



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS  
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

ESTUDIO DE UNA MICRORRED INTELIGENTE EN  
LA CIUDAD DE CIUDAD REAL

Autor: Enrique Iber Díaz

Director: Julio Montes Ponce de León

Madrid

12 de agosto de 2021



Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
Estudio de una microrred inteligente en la ciudad de Ciudad Real 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.: Enrique Iber Díaz

Fecha: 12/08/2021

Autorizada la entrega del proyecto  
EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Julio Montes Ponce de León

Fecha: 24/08/2021



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

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

El autor D. ENRIQUE IBER DÍAZ

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: “ESTUDIO DE UNA MICRORRED INTELIGENTE EN LA CIUDAD DE CIUDAD REAL”, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

### ***2º. Objeto y fines de la cesión.***

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

### ***3º. Condiciones de la cesión y acceso***

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

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

### ***4º. Derechos del autor.***

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

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

### ***5º. Deberes del autor.***

El autor se compromete a:

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

intereses a causa de la cesión.

- 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 agosto de 2021

**ACEPTA**



Fdo.....

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





**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

## ESTUDIO DE UNA MICRORRED INTELIGENTE EN LA CIUDAD DE CIUDAD REAL

Autor: Enrique Iber Díaz

Director: Julio Montes Ponce de León

Madrid

12 de agosto de 2021



# ESTUDIO DE UNA MICRORRED INTELIGENTE EN LA CIUDAD DE CIUDAD REAL

**Autor: Iber Díaz, Enrique.**

Director: Montes Ponce de León, Julio.

Entidad colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## RESUMEN DEL PROYECTO

En este proyecto se presenta una solución a dos de los problemas energéticos actuales en España. Por un lado, existe un desaprovechamiento de los recursos biomásicos generados en muchos sectores como por ejemplo la producción del vino o de aceite. Por otro lado, la prioridad y las ventajas otorgadas por el gobierno mediante primas a las energías renovables no gestionables hacen que se produzcan fluctuaciones en la generación (ya que estas fuentes de energía no son controlables) y sea necesario un sistema de reserva para la satisfacción de la demanda.

La microrred planteada en este proyecto emplea los recursos biomásicos y los residuos de la zona de Ciudad Real para su aprovechamiento energético. De esta manera se genera un sistema de reserva energético para las formas de energía no gestionables. Así, se da una solución a los dos problemas planteados anteriormente.

La creación de la microrred inteligente favorece la descentralización de la generación de energía en el sistema energético nacional, lo que supone una ventaja, encontrándose los puntos de generación cercanos a los de consumo, reduciendo así las pérdidas en el transporte de la energía. La implantación de este tipo de sistemas ya se está llevando a cabo en la actualidad, como por ejemplo en Australia u Holanda. También podemos encontrar un ejemplo en el territorio nacional español: en Canarias, en la isla la Graciosa, que proporciona autosuficiencia energética a los poco más de 600 habitantes de la isla canaria.

Como lugar de implantación de la microrred se ha elegido la ciudad española de Ciudad Real. Se trata de una ciudad de 75504 habitantes, siendo además la segunda provincia más poblada de la comunidad autónoma de Castilla-La Mancha. En los alrededores de Ciudad Real se encuentran instalados 1165,483 MW de potencia de fuentes de generación no gestionable, en concreto 525,883 MW de energía solar y 639,6 MW de energía eólica.

Estas fuentes de generación ya instaladas en los alrededores de la ciudad se incluirán en la microrred como suministro de potencia para cubrir la demanda de la ciudad. Además, se necesitará un sistema de reserva para las situaciones en las que el aporte de energía de las fuentes renovables no sea suficiente para satisfacer la demanda. Con este fin se instalará una planta de gasificación por plasma de residuos, que aprovechará todos los

residuos de la zona de Ciudad Real para su revalorización energética (residuos sólidos urbanos, residuos de la agricultura, la producción de vino y la ganadería).

La demandad que se ha de cubrir en Ciudad Real se ha estimado en 75 MW de demanda máxima y 50 MW de media. Los 75 MW de demanda máxima es el dato que se empleará para el dimensionamiento de la planta de gasificación por plasma.

La Unión Europea ha establecido en un comunicado que para el año 2030 han de desaparecer los vertederos controlados convencionales, por lo que es necesaria una alternativa para el tratamiento de los residuos. Como solución se ha elegido la gasificación por plasma, un método a altas temperaturas en el que se alcanza la disociación completa de la materia. Como resultado se obtiene un gas de síntesis rico en hidrógeno (que se empleará para la generación de energía) y una escoria vitrificada no tóxica que se puede aprovechar en otros procesos como por ejemplo en la construcción.

El proceso de la gasificación por plasma es un proceso limpio, libre de subproductos tóxicos, que no requiere de tratamiento previo de los residuos y cuyo calor es reaprovechado mediante un ciclo de Rankine para el abastecimiento energético de la planta y el secado de los residuos a la entrada. La planta diseñada tiene un rendimiento de casi un 10% de obtención de hidrógeno por cada kilogramo de residuos introducido.

Este hidrógeno obtenido del gas de síntesis se almacena en tanques de hidrógeno, de manera que, mediante pilas de combustible de hidrógeno, esté listo para la generación de energía en el momento que sea necesario por falta de generación eólica y solar.

Según los datos proporcionados por de la Dirección General de Economía Circular de la Junta de Castilla-La Mancha, los residuos disponibles anualmente en Ciudad Real y sus alrededores ascienden a las 201368 toneladas anuales. Sin embargo, como se ha comunicado por esta misma institución, estas son las cifras proporcionadas de los residuos que tienen la obligación de registrar y recoger, hay otra cantidad grande de residuos que hoy en día no se recoge y se desaprovecha (como por ejemplo tras incendios forestales o la poda de viñedo u olivar).

Por otro lado, a través de la plataforma *Bioraise*, creada por CIEMAT, usada para la estimación de residuos biomásicos disponibles para recepción en la planta de biomasa de Puertollano (cercana a Ciudad Real), se ha obtenido el dato de disponibilidad de 784748 toneladas anuales, una cifra que casi cuadriplica la anterior. A pesar de disponer de este dato se ha decidido trabajar con la cifra anterior, para ponerse en el peor de los casos en el que sólo se disponga de las cifras registradas.

Se ha realizado un estudio de configuración de la microrred, analizando el comportamiento de las distintas fuentes de generación según diferentes condiciones. Se ha tomado la media de generación anual por horas de energía solar y eólica en Ciudad Real y se ha analizado su capacidad de satisfacer la demanda en tres casos: generación renovable disponible al 100% ,en la que no era necesaria la aportación de las pilas de combustible, la demanda se cubre completamente con las fuentes renovables; falta de energía solar durante 24h, en la que la energía eólica es suficiente para satisfacer la

demanda; y falta de generación eólica durante 24h, en la que la energía solar proporciona un 48% de la generación, un 12% las pilas de combustible y se depende de la red en un 40%. Esta situación es la más desfavorable, ya que el caso en el que no se dispone eólica durante 24 horas es muy raro, incluso casi inexistente.

Para este mismo último caso, si se analizase usando la cantidad de residuos proporcionados por *Bioraise*, se obtendría un 48% de generación solar, un 43% pilas de combustible y una dependencia de la red de un 9%. Por lo tanto, sería interesante comprobar la veracidad de la disponibilidad de las casi 790000 toneladas que se obtendrían según la plataforma de CIEMAT, ya que supondría una gran mejora para la microrred y una menor dependencia de la red.

Para el análisis económico de la planta, se ha fijado una vida útil de 30 años, periodo que se usará también para el cálculo del VAN, del TIR y como periodo de amortización de la inversión inicial. A pesar de obtener un retorno de inversión a los 28 años, se obtiene un VAN menor que cero y un TIR del 0,76% (menor al 3% de tasa de descuento fijada previamente). Por estas razones se decide rechazar el proyecto debido a que carece de viabilidad económica.

Sin embargo, si se repite el estudio económico con la planta dimensionada para la recepción de la cantidad de residuos proporcionada por *Bioraise*, se obtiene un retorno de inversión de 14 años, un VAN de 152747600 € y un TIR de 5,77%. Por lo tanto, con estos números el proyecto sería económicamente viable, además de proporcionar la posibilidad de abaratar el precio de la electricidad de cara al consumidor.

Como conclusión, este proyecto demuestra la gran cantidad de recursos energéticos en forma de residuos que se están desaprovechando en España, en primer lugar, demostrando ser una opción energéticamente viable y, en segundo lugar, obteniendo dos cifras de residuos tan dispares de dos fuentes distintas de alta credibilidad, siendo una de ellas económicamente viable. Por lo tanto, merecería la pena la explotación y aprovechamiento de los recursos existentes, así como el fomento de su uso como fuente energética. Además, este proyecto se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible propuestos por la ONU en cada uno de los tres niveles: económico, social y ambiental.

## STUDY OF A SMART MICRO GRID IN THE SPANISH CITY OF CIUDAD REAL

This project presents a solution to two of the current energy problems in Spain. On the one hand, there is a waste of biomass resources generated in different sectors such as the production of wine or oil. On the other hand, the priority and advantages granted by the government through premiums to non-manageable renewable energies cause fluctuations in the power generation (since these energy sources are not controllable) and a reserve system is necessary for the satisfaction of power demand.

The microgrid proposed in this project uses biomass resources and waste from the Ciudad Real area for its energy use. In this way, an energy reserve system is generated for non-manageable forms of energy. Thus, a solution is given to the two problems mentioned above.

The creation of the smart microgrid favours the decentralization of energy generation in the national energy system, which is an advantage, bringing the generation points closer to those of consumption, therefore reducing losses in energy transport. The implementation of this type of system is already being carried out at present, such as in Australia or the Netherlands. We can also find an example in the Spanish national territory: in the Canary Islands, on the island of La Graciosa, which provides energy self-sufficiency to the little more than 600 inhabitants of the Canary Island.

The Spanish city of Ciudad Real has been chosen as the place of implantation for the microgrid. It is a city of 75.504 inhabitants, and it is also the second most populated province in the autonomous community of Castilla-La Mancha. In the surroundings of Ciudad Real, 1.165.483 MW of non-manageable generation sources are installed, specifically 525,883 MW of solar energy and 639,6 MW of wind energy.

These generation sources already installed around the city will be included in the microgrid as power supply to meet the city's power demand. In addition, a reserve system will be needed for situations where the energy input from renewable sources is not sufficient to meet sustains the city's demand. To this end, a waste plasma gasification plant will be installed, which will use all the waste in the Ciudad Real area for its energy revaluation (solid urban waste, waste from agriculture, wine production and livestock).

The demand to be covered in Ciudad Real has been estimated at 75 MW of maximum demand and 50 MW on average. The 75 MW of maximum demand is the data that will be used for the sizing of the plasma gasification plant.

The European Union has established in a statement that by 2030 conventional controlled landfills must disappear, so an alternative is necessary for the treatment of waste. As a solution, plasma gasification has been chosen, a method at high temperatures in which complete dissociation of matter is achieved. As a result, a synthesis gas rich in hydrogen

(which will be used for power generation) along with a non-toxic vitrified slag that can be given other uses in other processes such as construction material.

The plasma gasification process is a clean process, free of toxic by-products, that does not require previous treatment of the waste and whose heat is reused through a Rankine cycle for the energy supply of the plant and the drying of the waste to the entrance. The designed plant has a performance of almost 10% in obtaining hydrogen for each kilogram of waste introduced.

This hydrogen obtained from synthesis gas is stored in hydrogen tanks, so that, by means of hydrogen fuel cells, it is ready for the generation of energy when it is necessary due to the lack of wind and solar generation.

According to the data provided by the General Directorate of Circular Economy of the Junta de Castilla-La Mancha, the waste available annually in Ciudad Real and its surroundings amounts to 201368 tons per year. However, as it has been communicated by this same institution, these are the provided figures of the waste that they have the obligation to record and collect. There is another large amount of waste that nowadays is not collected and is wasted such as after forest fires wastes or the waste resulting from the pruning of vineyards or olive groves.

On the other hand, through the *Bioraise* platform, created by CIEMAT, which was used to estimate biomass waste availability for reception at the Puertollano biomass plant (near Ciudad Real), the availability data of 784748 tons per year has been obtained. This figure almost quadruples the previous one provided by the General Directorate of Circular Economy of the Junta de Castilla-La Mancha. Despite having this data, it has been decided to work with the previous figure, to put ourselves in the worst case in which only the registered waste production is available.

A microgrid configuration study has been carried out, analysing the behaviour of the different generation sources under different conditions. The average annual generation per hour of solar and wind energy in Ciudad Real has been taken and its capacity to satisfy the demand has been analysed in three cases: 100% renewable generation available, in which the contribution of fuel cell batteries was not necessary, the demand was completely covered with renewable sources; lack of solar energy for 24 hours, in which wind energy was sufficient to satisfy the power demand; and lack of wind generation for 24 hours, in which solar energy provided 48% of generation, 12% is provided from fuel cells and 40% comes from the grid. This situation is the most unfavourable, since the situation in which wind power is not available for 24 hours is very rare, even almost non-existent.

For the same last case, if it were analysed using the amount of waste provided by *Bioraise*, 48% of solar generation would be obtained, 43% of fuel cells and a dependency of the grid of 9%. Therefore, it would be interesting to verify the veracity of the availability of the almost 790.000 tons that would be obtained according to the CIEMAT platform, since it would mean a great improvement for the microgrid and less dependence on the network.

For the economic analysis of the plant, a lifespan of 30 years has been set, a period which will also be used to calculate the NPV, the IRR and as the amortization period for the initial investment. Despite obtaining a return on investment at 28 years, a negative NPV and an IRR of 0,76% (less than the 3% discount rate previously set) is obtained. For these reasons it is decided to reject the project because it lacks economic viability.

However, the economic study was repeated with the plant sized to receive the amount of waste provided by *Bioraise*, a return on investment of 14 years is obtained, a NPV of 152.747.600 € and an IRR of 5,77%. Therefore, with these numbers the project would be economically viable, in addition to providing the possibility of lowering the price of electricity for the consumer.

In conclusion, this project demonstrates the large amount of energy resources in the form of waste that are being unused in Spain, firstly, proving to be an energetically viable option and, secondly, obtaining two such disparate figures for waste from two different sources of high credibility, one of them being economically viable. Therefore, it would be worth the exploitation and use of existing resources, as well as the promotion of their use as an energy source. In addition, this project is aligned with the Sustainable Development Goals proposed by the UN at each of the three levels: economic, social and environmental.



## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>PARTE I: MEMORIA</b>	<b>10</b>
<b>Capítulo 1: Introducción</b>	<b>11</b>
1.1 Planteamiento	11
1.2 Objetivos	14
<b>Capítulo 2: Estado del arte</b>	<b>15</b>
2.1 El sistema eléctrico español	15
2.2 Las microrredes inteligentes	16
2.3 La gasificación por plasma	18
<b>Capítulo 3: La microrred en Ciudad Real</b>	<b>20</b>
3.1 Localización geográfica	20
3.2 Condiciones climatológicas	21
3.3 Red en Ciudad Real	23
3.4 Análisis de la potencia instalada en Ciudad Real	26
3.4.1 Potencia gestionable y no gestionable	26
3.4.2 Energía solar fotovoltaica	27
3.4.3 Energía eólica	29
3.4.4 Biomasa	30
3.4.5 Resumen de la potencia instalada	31
<b>Capítulo 4. Los recursos biomásicos en Ciudad Real</b>	<b>33</b>
4.1 Introducción a los residuos biomásicos	33
4.2 Residuos sólidos urbanos (RSU)	33
4.3 Residuos de la agricultura, horticultura, acuicultura, silvicultura, caza y pesca; residuos de la preparación y elaboración de alimentos	34
4.4 Resumen de los residuos	35

4.5 Valorización energética de residuos	36
4.5.1 Incineración	37
4.5.2 Pirólisis	38
4.5.3 Vertedero controlado	39
4.5.4 Biometanización	40
4.5.5 Gasificación por plasma	40
<b>Capítulo 5: La planta de gasificación por plasma</b>	<b>42</b>
5.1 El plasma	42
5.2 Tecnologías de gasificación por plasma	43
5.3 El proceso de gasificación por plasma (directo)	44
5.4 Elementos de la planta de gasificación por plasma	50
5.4.1 Vasija	50
5.4.2 La antorcha de plasma	52
5.4.3 El generador de corriente continua	53
5.4.4 El sistema de control del proceso	53
5.4.5 La refrigeración de la antorcha	54
5.4.6 El sistema de gas	54
5.4.7 El sistema de descarga del material vitrificado	54
5.5 El gas de síntesis	55
5.6 Dimensionamiento de la planta de gasificación por plasma	56
5.7 Ciclo Rankine: Recuperación de calor	57
5.7.1 El condensador	58
5.7.2 La bomba	59
5.7.3 La caldera de recuperación de calor	60
5.7.4 La turbina	61
5.7.5 Rendimiento y potencia total del ciclo	61
5.7.6: Reacción Shift para la producción de hidrógeno	62
5.8 El almacenamiento del hidrógeno	63

5.9 Pilas de combustible	65
5.9.1 Funcionamiento de las pilas de combustible	65
5.9.2 Tipos de pilas de combustible	67
5.9.3 Energía proporcionada por las pilas	70
<b>Capítulo 6: Configuración de la microrred</b>	<b>71</b>
6.1 Introducción	71
6.2 Disponibilidad total de energía no gestionable	73
6.3 Ausencia de generación de energía solar	74
6.4 Ausencia de generación de energía eólica	75
6.5 Análisis de la configuración de la microrred	78
6.5.1 Alternativa de residuos	80
<b>Capítulo 7: Conclusiones energéticas y alineación con los ODS</b>	<b>83</b>
<b>PARTE II: ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA</b>	<b>84</b>
<b>Capítulo 1: Estudio de las fuentes de generación</b>	<b>85</b>
1.1 Introducción	85
1.2 Inversión inicial (CAPEX)	85
1.3 Costes de operación (OPEX)	86
1.4 Flujo de caja	91
1.5 Rentabilidad económica	98
<b>Capítulo 2: Estudio económico alternativo</b>	<b>100</b>
2.1 Viabilidad económica	100
<b>PARTE III: ANEXOS</b>	<b>101</b>
<b>ANEXO I: Especificaciones de la pila de combustible</b>	<b>102</b>

<b>ANEXO II: Estudio económico alternativo</b>	<b>104</b>
<b>ANEXO III: Potencia fotovoltaica instalada en Ciudad Real</b>	<b>108</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>153</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>154</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Comparativa de precios de la electricidad en consumo privado en Europa para el segundo semestre de 2019	12
Figura 2: Potencia eléctrica instalada peninsular a 31 diciembre 2020	15
Figura 3: Saldos por fronteras 2020 (GWh)	16
Figura 4: Esquema microrred	17
Figura 5: Municipio y alrededores de Ciudad Real	20
Figura 6: Temperaturas en Ciudad Real en 2020	21
Figura 7: Horas de sol en Ciudad Real en 2020	22
Figura 8: Viento en Ciudad Real en 2020	22
Figura 9: Mapa del sistema eléctrico en los alrededores de Ciudad Real	23
Figura 10: Leyenda del mapa del sistema eléctrico	23
Figura 11: Población de los municipios de la provincia de Ciudad Real en 2020	25
Figura 12: Perfil medio horario de la solar fotovoltaica sobre la generación total en 2020 (%)	28
Figura 13: CopenHill	38
Figura 14: Productos derivados de la pirólisis y sus aplicaciones	38
Figura 15: Fuentes de la contaminación en vertederos	39
Figura 16: Proceso de gasificación por plasma	41
Figura 17: Ionización en cascada	42
Figura 18: Plasco Energy Group gasificación por plasma	43
Figura 19: Gasificación por plasma Westinghouse Plasma Corporation	44
Figura 20: Etapas del proceso de gasificación por plasma	45
Figura 21: Fases de la disociación en función de la temperatura	47
Figura 22: Sistema combinado Scrubber y quench	49
Figura 23: Esquema de la disociación en la vasija	51
Figura 24: Perfil de temperaturas de la vasija	51
Figura 25: Diagrama de los dos tipos de antorcha	53
Figura 26: Composición del syngas en función de los residuos de entrada	55

Figura 27: Ciclo Rankine	57
Figura 28: Tanque de almacenamiento HBond - 7000L de LabTech LTD	64
Figura 29: Pila de combustible	66
Figura 30: Tipos de pilas de combustible	67
Figura 31: Pila de combustible HyPM HD30 de Hydrogenics	69
Figura 32: Generación con totalidad de energía no gestionable disponible	73
Figura 33: Reparto de generación con totalidad de energía no gestionable disponible	74
Figura 34: Generación en ausencia de energía solar	75
Figura 35: Generación en ausencia de energía eólica	76
Figura 36: Generación en ausencia de eólica, con generación de las pilas de hidrógeno y aporte de la red	77
Figura 37: Reparto de generación en ausencia total de generación eólica	78
Figura 38: Viento medio a 80m en Castilla-La Mancha en 2020	79
Figura 39: Generación en ausencia de eólica usando los datos de BIORAISE	81
Figura 40: Reparto de generación en ausencia de eólica usando los datos de BIORAISE	81

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Población de cada provincia de Castilla-La Mancha en 2020	24
Tabla 2: Resumen energía solar fotovoltaica en los alrededores de Ciudad Real	28
Tabla 3: Energía eólica en los alrededores de Ciudad Real	30
Tabla 4: Plantas generación a partir de biomasa	31
Tabla 5: Resumen potencia instalada	31
Tabla 6: R.S.U Ciudad Real 2017	34
Tabla 7: Otros residuos de Ciudad Real del año 2018	35
Tabla 8: Composición del syngas limpio	49
Tabla 9: Condiciones en el condensador	58
Tabla 10: Condiciones en la bomba	59
Tabla 11: Condiciones en la caldera de recuperación	60
Tabla 12: Condiciones en la turbina	61
Tabla 13: Composición del gas de síntesis antes de la reacción Shift	62
Tabla 14: Costes de inversión inicial	86
Tabla 15: Costes de operación 1	87
Tabla 16: Costes de operación 2	88
Tabla 17: Costes de operación 3	89
Tabla 18: Costes de operación 4	90
Tabla 19: Flujo de caja 1	92
Tabla 20: Flujo de caja 2	93
Tabla 21: Flujo de caja 3	94
Tabla 22: Flujo de caja 4	95
Tabla 23: Flujo de caja 5	96
Tabla 24: Flujo de caja 6	97
Tabla 25: Flujo de caja 7	97

**ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**

**GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

---

# Parte I: MEMORIA

## Capítulo 1: Introducción

### 1.1 Planteamiento

Actualmente en España no se está aprovechando la biomasa para la generación de energía, se está inutilizando este recurso tan común en el país. Anualmente en España se genera un gran número de residuos biomásicos de la industria ganadera, forestal, la agricultura (olivar, viñedo...) y otras fuentes como pueden ser los incendios forestales que se producen anualmente. En los últimos años se ha fomentado la instalación de energías renovables no gestionables, como son la energía solar y la energía fotovoltaica, lo que ha provocado la necesidad de aumentar a su vez la instalación de energía gestionable (como la cogeneración, siendo esta más contaminante) para el apoyo de las energías no gestionables cuando estas no están disponibles. En este estudio se tratará de unificar estas dos condiciones actuales en la energía de España, estableciendo una forma de producción energética gestionable que además aproveche los recursos biomásicos.

Además, a raíz de la decisión de la Unión Europea emitida en 2018 en la que se establece la eliminación de los vertederos controlados para el año 2030, se han de tomar medidas para gestionar los residuos. Además de esta decisión, la Unión Europea abre camino a una economía circular en la que los productos, materiales y recursos se mantengan en la economía durante el mayor tiempo posible.

Una de las medidas que se han de tomar para la gestión de los residuos es el aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos (además de los residuos biomásicos, forestales y agrícolas) para la generación de energía.

El objetivo de este proyecto, pues, es la instalación de una planta de gasificación por plasma en la ciudad española de Ciudad Real. De esta manera se aprovechan los residuos para la producción de hidrógeno que podrá ser reutilizado para la generación de electricidad gestionable mediante pilas de combustible.

En los últimos años en España se ha impulsado la instalación de energías renovables, en especial la energía eólica y la energía fotovoltaica. Para promover el uso de estas tecnologías, el sistema eléctrico español se ha organizado en dos grupos de generación:

- El régimen ordinario, que incluye las formas de producción energética que compiten por acceder a la curva de generación del sistema eléctrico español (centrales con potencia instalada igual o mayor a 50 MW). En el régimen ordinario se encuentran

las centrales convencionales como los ciclos combinados, centrales nucleares y de carbón o las grandes hidráulicas.

- El régimen especial, formado por las unidades con potencia instalada menor que 50 MW que empleen cogeneración, energías renovables, biocarburantes, biomasa y residuos no renovables. Las tecnologías pertenecientes a este grupo reciben primas por parte del estado con el objetivo de reducir el consumo de combustibles fósiles. Además, la generación de régimen especial se conecta a la red siempre que tenga capacidad de generación.

La prioridad otorgada en generación y las primas concedidas a la generación de régimen especial ha supuesto un encarecimiento de la factura eléctrica. En el precio actual de la electricidad, sólo un tercio refleja el coste de generación; el resto se corresponde con las primas, los impuestos y las regulaciones impuestas por el gobierno. Esto lleva a que España se sitúe como uno de los países con los precios más elevados de Europa, como se puede observar en la siguiente figura:

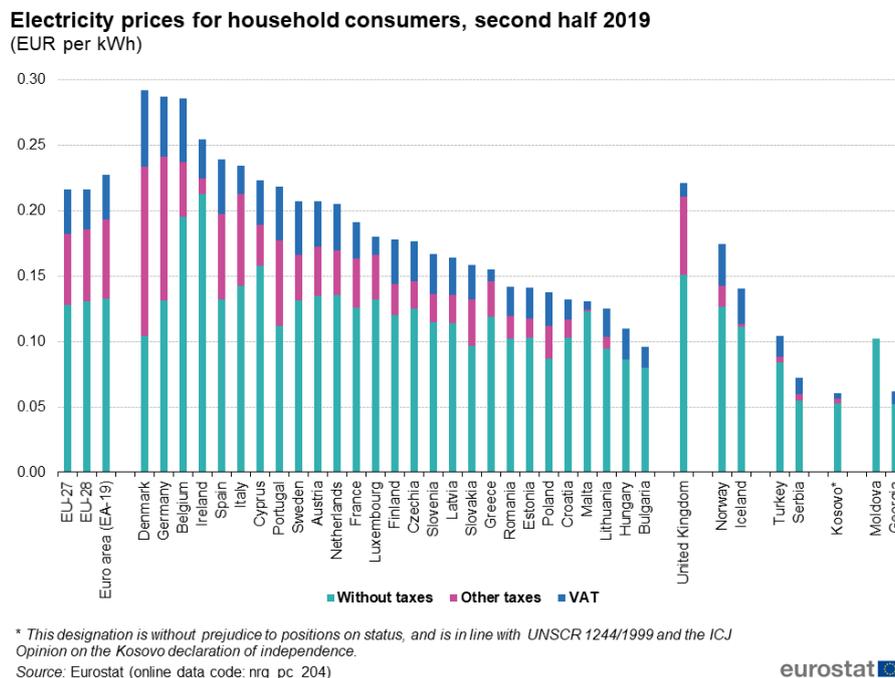


Figura 1: Comparativa de precios de la electricidad en consumo privado en Europa para el segundo semestre de 2019. (Fuente: Eurostat)

La nueva potencia renovable instalada e impulsada con las primas buscando el beneficio de los inversores conlleva un problema: la gran mayoría son fuentes de energía no controlables (energía eólica y solar). Se trata de tecnologías aleatorias e impredecibles,

ya que dependen de las condiciones climatológicas (no controlables por el ser humano). Esto resulta en una necesidad de disponer de fuentes de energía gestionables equivalentes, garantizando así el suministro de la potencia demandada cuando no es posible cubrir los picos de demanda con la generación eólica o fotovoltaica. Estas dos formas de generación son las más impulsadas por las primas, dejando de lado a otras energías como la geotérmica o mareomotriz, pero sobre todo a la biomasa (que incluye residuos sólidos urbanos) que ofrece una alta gestionabilidad, y resulta de especial interés para este proyecto.

Así pues, este proyecto pretende implantar una microrred inteligente que aproveche todos los recursos renovables de la zona para funcionar de modo independiente, sin necesidad de importación de energía por parte de la red. Para cumplir este objetivo, se instalará una planta de gasificación por plasma para aprovechar los residuos sólidos urbanos de la zona, así como los residuos agrícolas, forestales y del sector vinícola. Con la instalación de esta microrred inteligente con las características mencionadas se cumplirían los objetivos de la Unión Europea de eliminación de vertederos convencionales y aprovechamiento de residuos en la zona escogida, al igual que se aprovecharían las fuentes renovables gestionables y no gestionables de la zona para lograr la autosuficiencia energética de esta.

## 1.2 Objetivos

El avance de las energías renovables supone de vital importancia para el futuro debido al aumento de la demanda energética y la paulatina extinción de gas natural y de las reservas petrolíferas.

Se pone como objeto de estudio la viabilidad de la instalación de una microrred inteligente en la ciudad de Ciudad Real. Ha de ser económica y técnicamente viable, suponiendo una reducción de precios de electricidad y que satisfaga la demanda energética en Ciudad Real, aprovechando los recursos naturales de la zona y la generación renovable ya instalada. A continuación, se presentan los objetivos a cumplir:

- Analizar las posibilidades existentes de aprovechamiento de residuos sólidos urbanos para determinar si la gasificación por plasma es la mejor alternativa, comprobando su viabilidad económica y la disponibilidad de residuos urbanos empleables para la generación.

- Realizar un estudio de la zona investigando sobre los recursos disponibles en la zona y las energías renovables no gestionables instaladas en torno a 50km a la redonda. En este estudio se incluirá la variación anual y diaria (máximos y mínimos) de la demanda energética de la ciudad, de manera que finalmente la microrred pueda satisfacer esta demanda.

- Decidir cuáles de las energías renovables no gestionables disponibles se han de añadir a la microrred, teniendo en cuenta que se traten de tecnologías poco contaminantes, renovables y económicamente viables.

- Diseño de la planta de gasificación por planta para que sea energéticamente autosuficiente. Se ha de aprovechar, además de los RSU, el calor de los procesos para generar energía y poder funcionar sin aportes externos. Tras el diseño se seleccionará el método y la cantidad de almacenamiento necesario, estudiando los casos más desfavorables para decidir el tipo de pila de combustible idónea en función de los distintos casos de generación que se puedan presentar teniendo en cuenta que se emplearán fuentes de energía no gestionables.

- Determinar si la red es rentable para posibles inversores, así como consumidores, mediante un estudio económico sobre los costes de generación y explotación de las tecnologías incluidas en la microrred.

- Por último, estudio de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y alineación del proyecto respecto a los mismos.

## Capítulo 2: Estado del arte

### 2.1 El sistema eléctrico español

A 31 de diciembre de 2020, la potencia eléctrica instalada peninsular es de 105224 MW, distribuida de la siguiente manera:

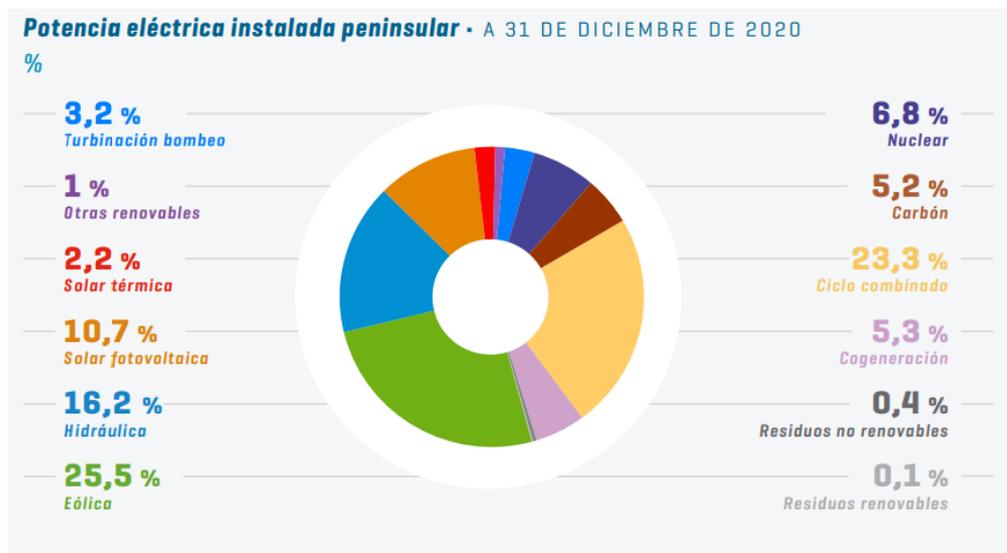


Figura 2: Potencia eléctrica instalada peninsular a 31 diciembre 2020. (Fuente: REE)

La red eléctrica de España (REE) distribuye esta energía mediante una red de transporte de líneas de 440 kV y de  $\leq 220$  kV, que en total suman 41 063 km de red de transporte. Además, el sistema eléctrico español está conectado a los sistemas de transporte de otros países como Andorra, Portugal, Marruecos y Francia. Esto hace que haya comunicación e intercambio de energía con los países vecinos, resultando en 2020 en un intercambio positivo (importación) de 3279585 MWh, como se muestra en la siguiente figura:

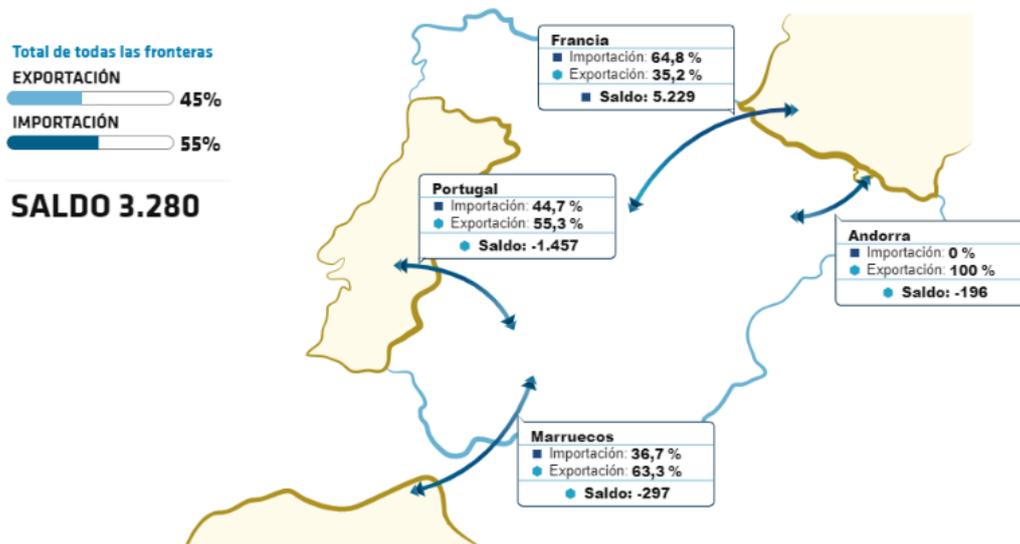


Figura 3: Saldos por fronteras 2020 (GWh). (Fuente: REE)

El sistema eléctrico español se encuentra en transición hacia las energías renovables, pero el planteamiento actual presenta una serie de dificultades hacia ese cambio. La centralización de la generación conlleva un déficit de comunicación entre generadores y consumidores y elevadas pérdidas de potencia en el transporte (actualmente en torno al 15% [1]). Además, el mix energético actual es muy dependiente de las centrales de generación convencionales como el carbón, petróleo, nuclear, gas, etc., lo que hace que sea difícil la integración de las energías renovables al ser impulsada la instalación de energías no gestionables. Debido a las primas otorgadas, se ha concedido prioridad a tecnologías de generación renovables no gestionables, y se sigue dependiendo de las formas de generación convencionales para los momentos en los que las tecnologías no gestionables no son capaces de satisfacer la demanda.

## 2.2 Las microrredes inteligentes

Las microrredes inteligentes son una aplicación de las redes inteligentes, más conocidas como Smartgrids. Desde la Unión Europea y organismos internacionales como IEA (International Energy Agency) se está impulsando la expansión y la implementación de estas redes. La inversión que se está realizando en las Smartgrids está provocando una descentralización de la generación de energía, tanto a nivel nacional en España como a nivel mundial. [2]

Una red inteligente es aquella que, asegurando un sistema energético sostenible y eficiente, con altos niveles de calidad y seguridad de suministro y bajas pérdidas, integra de forma eficiente el comportamiento y las acciones de todos los usuarios conectados a ella. [1]

Además, a nivel de usuario final, permiten una mayor flexibilidad en la demanda y participación en el sistema energético mediante un flujo de energía bidireccional, en el que además de obtener energía de la red, se puede aportar energía a la red en caso de exceso de producción de energía para el autoconsumo.

Las microrredes inteligentes son sistemas de generación que cubren la demanda de una zona reducida y que, aun estando conectadas a un sistema eléctrico mayor, pueden ser autosuficientes. Para ello es necesario una buena gestión de la generación dentro de la microrred para cubrir las demandas locales, una buena capacidad de reacción para que la microrred sea segura.



Figura 4: Esquema microrred (Fuente: ESMARCITY)

A continuación, se exponen varios ejemplos de microrredes inteligentes instalados en la actualidad:

- ESCRI-SA Battery Project, Australia

Este proyecto dirigido por ABB consiste en la instalación de baterías hasta 30MW con el objetivo de fortalecer la red y mejorar la calidad del abastecimiento eléctrico en la parte baja de la península de York. Se espera que proporcione servicios de mercado diarios adicionales y respalde la transferencia de energía en las interconexiones con el estado de Victoria.

La instalación de esta microrred podría asegurar el suministro energético a alrededor de 400 hogares durante al menos 24 horas en el caso de que falte la generación de las tecnologías renovables. [3]

- Proyecto G.R.A.C.I.O.S.A, Isla la Graciosa, Canarias  
Endesa, junto con el Instituto Tecnológico de Canarias (ITC) llevan a cabo este proyecto para alcanzar la autosuficiencia energética de los poco más de 600 habitantes de la isla canaria. La microrred integra la generación distribuida a través de pacas fotovoltaicas, con baterías y condensadores (además de otras tecnologías) para gestionar el almacenaje y la integración eficiente de la energía fotovoltaica en las redes convencionales. [4]
- Microrred de Bronsbergen, Holanda  
Esta microrred localizada en Holanda garantiza la calidad de la energía y asegura el suministro de esta. Aunque está conectada a la red de media tensión, también puede funcionar de manera aislada. Proporciona suministro a 210 viviendas, de las cuales 108 poseen generación fotovoltaica (315 KWp instalados) y almacenamiento con baterías para cubrir un día de demanda. [5]

### 2.3 La gasificación por plasma

La microrred objeto de este proyecto incluye una planta de gasificación por plasma para la generación de hidrógeno a partir de la disociación de los residuos. Como se ha comentado anteriormente, se empleará este hidrógeno para la generación de energía.

La técnica empleada tradicionalmente para el aprovechamiento de residuos biomásicos es la incineración o combustión. Se emplea como alternativa a los vertederos convencionales para la extracción eficiente de energía (térmica). Este método conlleva una combustión completa y formación de ceniza, que ha de ser tratada como deshecho peligroso.

Esta es la razón por la cual en este proyecto se propone como alternativa la gasificación por plasma, un proceso libre de combustión (ya que se realiza en la ausencia de oxígeno), con menos emisiones que la combustión y un proceso del que se obtienen gases empleados para la generación de energía o productos químicos de uso industrial. [6]

A continuación, se presentan algunas instalaciones de gasificación por plasma en funcionamiento:

- Plasco (Ottawa)  
Plasco Energy Group (actualmente OMNI Conversion Technologies Inc) realizó la instalación de esta planta de gasificación por plasma en 2011. Procesando 85 toneladas diarias de residuos, generaba 1150 kWh por cada tonelada, suficiente

para mantener un hogar en Ottawa durante 45 días. Finalmente, el ayuntamiento de Ottawa rescindió el contrato con la empresa por el incumplimiento de las condiciones de volumen de producción acordado. [7]

- Mihama-Mikata (Japón)

Esta planta situada entre las ciudades de Mihama y Mikata en Japón comenzó a funcionar en 2003. Configurada para procesar 22 toneladas diarias de residuos (17.2 toneladas de residuos sólidos urbanos y 4.8 toneladas de lodos residuales), se emplea para la generación de calor, aprovechado para el secado de los lodos en la entrada. [8]

- Pune (India)

Operativa desde 2008, esta planta procesa residuos peligrosos de distintas industrias de la zona, con una capacidad de 72 toneladas diarias. Esta planta de gasificación es operada por SMS MEPL. [9]

## Capítulo 3: La microrred en Ciudad Real

### 3.1 Localización geográfica

La localización elegida para la llevar a cabo este proyecto es Ciudad Real. Ciudad Real se encuentra en Castilla la Mancha y es capital de la provincia de Ciudad Real. A partir de este punto, cuando se mencione Ciudad Real hará referencia a la ciudad de Ciudad Real, no a la provincia. De lo contrario se hará una aclaración oportunamente.

Ciudad Real cuenta con 75504 habitantes (INE 2020), se encuentra a 625 metros sobre el nivel del mar y cuenta con 28598 km<sup>2</sup> de superficie. En la siguiente figura se muestra la localización y alrededores del municipio de Ciudad Real:

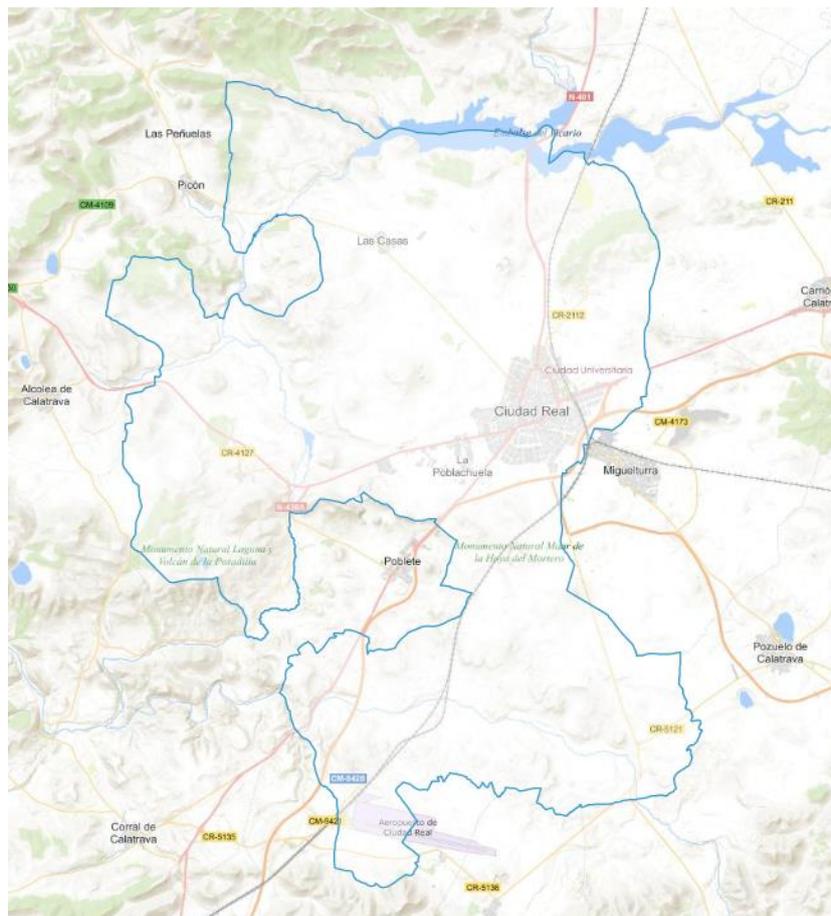


Figura 5: Municipio y alrededores de Ciudad Real (Fuente: CNIG)

### 3.2 Condiciones climatológicas

El clima de Ciudad real es un clima mediterráneo, con gran amplitud de temperaturas, siendo cálido el verano y el invierno algo frío. La temperatura media en el año 2020 fue de 16,5°C, alcanzando un máximo de 41,1°C el 27 de julio de 2020 y un mínimo de -3,5°C fechado el 27 de diciembre de ese mismo año. A continuación se expone en la siguiente figura las temperaturas máxima, mínima y media de Ciudad Real en 2020:

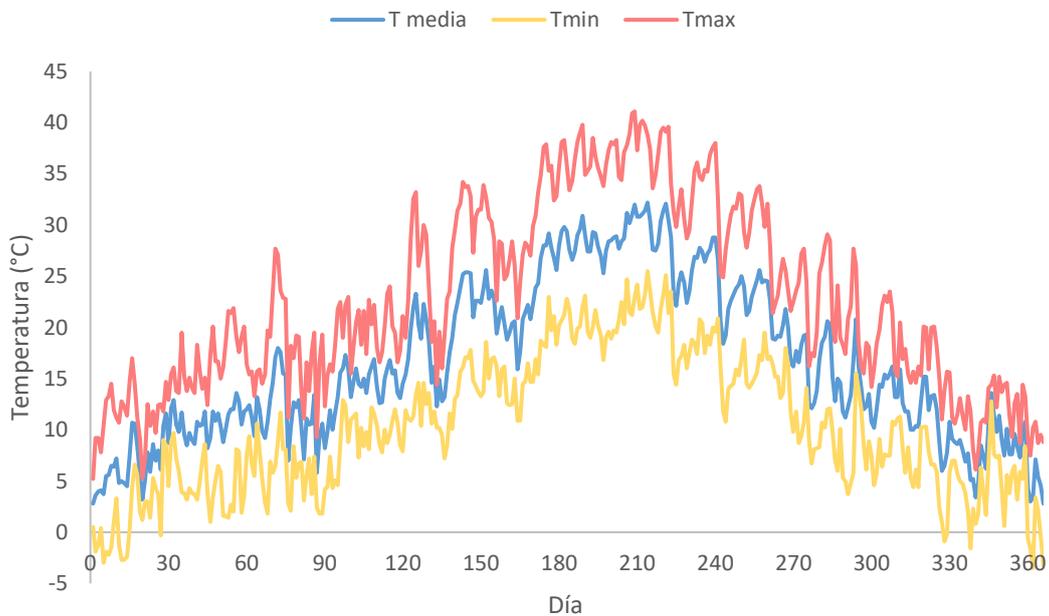


Figura 6: Temperaturas en Ciudad Real en 2020 (Fuente: elaboración propia con datos de AEMET)

Las condiciones climatológicas de la zona son de gran importancia ya que de ellas dependen las fuentes de energía no gestionables de la zona. Los parámetros más importantes son la radiación solar (horas de sol) y la velocidad del viento, que se relacionarán con la energía solar y eólica respectivamente. Para el análisis de estas dos características meteorológicas también se han empleado los datos más recientes encontrados, obtenidos de AEMET y correspondientes al año 2020.

En 2020 se alcanzaron las 2910,6 horas totales de sol en Ciudad Real, siendo julio el mes con mayor número de horas de sol con un total de 387 horas. Por otro lado, el mes con

menor número de horas de sol fue enero, con 141 horas. Estos datos se muestran en la siguiente figura:

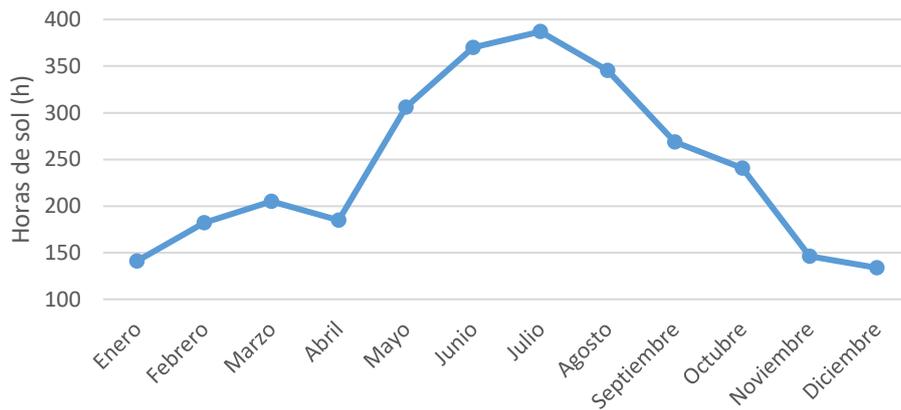


Figura 7: Horas de sol en Ciudad Real en 2020 (Fuente: elaboración propia con datos de AEMET)

La velocidad del viento media en 2020 en Ciudad Real fue de 7,3 Km/h alcanzando rachas máximas de 69,12 Km/h el 2 de octubre. La velocidad media y la racha máxima diaria se muestran en la siguiente figura:

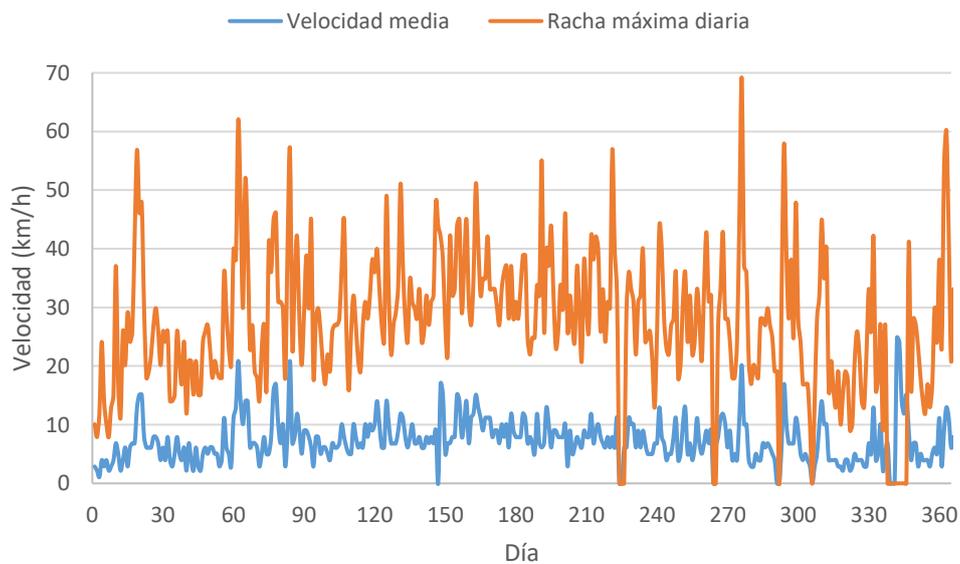


Figura 8: Viento en Ciudad Real en 2020 (Fuente: elaboración propia con datos de AEMET)

### 3.3 Red en Ciudad Real

En la siguiente figura se muestra la situación del sistema eléctrico actual en los alrededores de Ciudad Real:

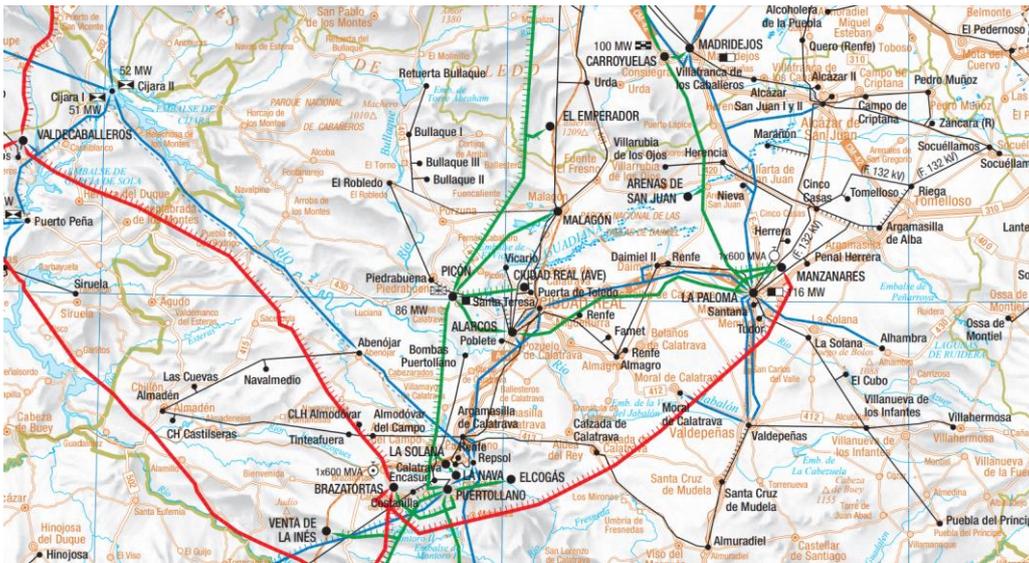


Figura 9: Mapa del sistema eléctrico en los alrededores de Ciudad Real (Fuente: REE)

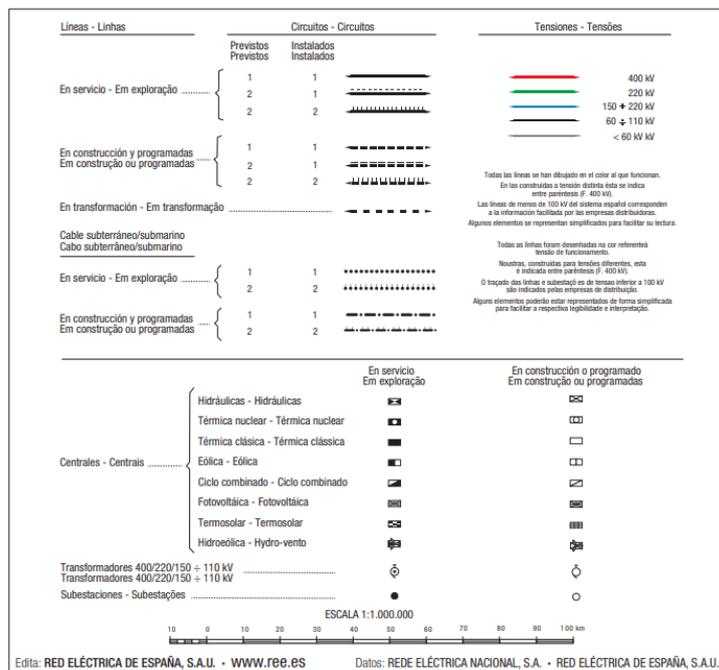


Figura 10: Leyenda del mapa del sistema eléctrico (Fuente: REE)

Como se puede observar en la figura 9, Ciudad Real está conectada a la red de 220 KV, además de líneas internas de conexión de 60/110 KV que la hacen estar conectada con líneas de 150/220 KV.

Se tendrá en cuenta el emplazamiento de la planta de gasificación por plasma en el diseño de esta, procurando que se establezca en un punto próximo a los centros de generación actuales, para facilitar el aporte de energía a la red cuando sea necesario.

UFD (la antigua Unión Fenosa Distribución) es la compañía responsable de la distribución de la red eléctrica en Castilla-La Mancha, por lo tanto, en Ciudad Real. Lamentablemente, ni a través de la distribuidora ni de Red Eléctrica ha sido posible la obtención de los datos de la demanda anual en la provincia de Ciudad Real. Debido a este contratiempo, a continuación se realiza una estimación de la demanda energética anual de Ciudad Real basada en algunos datos que se han podido obtener.

De acuerdo con los datos obtenidos de REE, la demanda energética de Castilla-La Mancha en 2020 fueron 11745146 MWh. Dado que este dato corresponde a la totalidad de la comunidad autónoma, se ha de estimar la demanda en Ciudad real.

La población total de la Castilla-La mancha en 2020 era 2045221 habitantes, siendo la provincia de Ciudad Real la segunda más poblada, después de Toledo, con 495045 habitantes, que supone un un 24,2% de la población total de la comunidad autónoma. En la siguiente tabla se muestra el número de habitantes por provincia en Castilla-La Mancha:

	<b>Total</b>
	<b>2020</b>
<b>Albacete</b>	388270
<b>Ciudad Real</b>	495045
<b>Cuenca</b>	196139
<b>Guadalajara</b>	261995
<b>Toledo</b>	703772

*Tabla 1: Población de cada provincia de Castilla-La Mancha en 2020 (Fuente: INE)*

Realizar una estimación de la demanda tan sólo con la población de la zona no es una solución precisa, por esta razón se va a tener en cuenta también el grado de industrialización de cada provincia. El sector industrial predominante en Castilla-La Mancha es la producción de energía, por lo que esto será un factor importante en la estimación de la demanda. Se han podido obtener datos de la producción energética en

las provincias de Castilla-La Mancha para el año 2009, por lo que se usará ese dato para realizar la estimación. En 2009, el 36% de la energía producida por la comunidad autónoma provino de Guadalajara, un 22% de Albacete, 18% de Toledo, Ciudad Real aportó un 13% y por último Cuenca un 11%. [10]

Teniendo en cuenta que ciudad real supone un 24% de la población de la comunidad autónoma, siendo la segunda provincia más poblada, pero siendo la segunda provincia con menor aporte de energía, un 13% (aunque sin una diferencia grande respecto al resto de provincias de la comunidad autónoma), se podría estimar la demanda anual de la provincia con un factor del 25%, justificado por el crecimiento industrial de la provincia desde 2009 hasta la actualidad. Con esta estimación se obtendría una demanda media anual de la provincia de 2936286 MWh, lo que supone una demanda media diaria de 8045 MWh y una potencia demandada media de 335 MW.

Una vez se ha estimado la demanda media horaria de la provincia, se ha de estimar la demanda de la ciudad de Ciudad Real. Para ello se realizará empleará un proceso similar al anterior.

La ciudad de Ciudad Real se compone de 75504 habitantes, que supone un 15% de la población total de la provincia. La siguiente ciudad más poblada de la provincia es Puertollano, con 46607 habitantes, seguida de Tomelloso, Alcázar de San Juan y Valdepeñas, cada una con alrededor de 30000 habitantes. Estos cinco municipios componen casi el 50% de la población de la provincia. Además, la brecha de cantidad de población con el resto de los 98 municipios de la provincia es grande, estando repartida casi el 50% de la población en estos 5 municipios anteriormente mencionados.

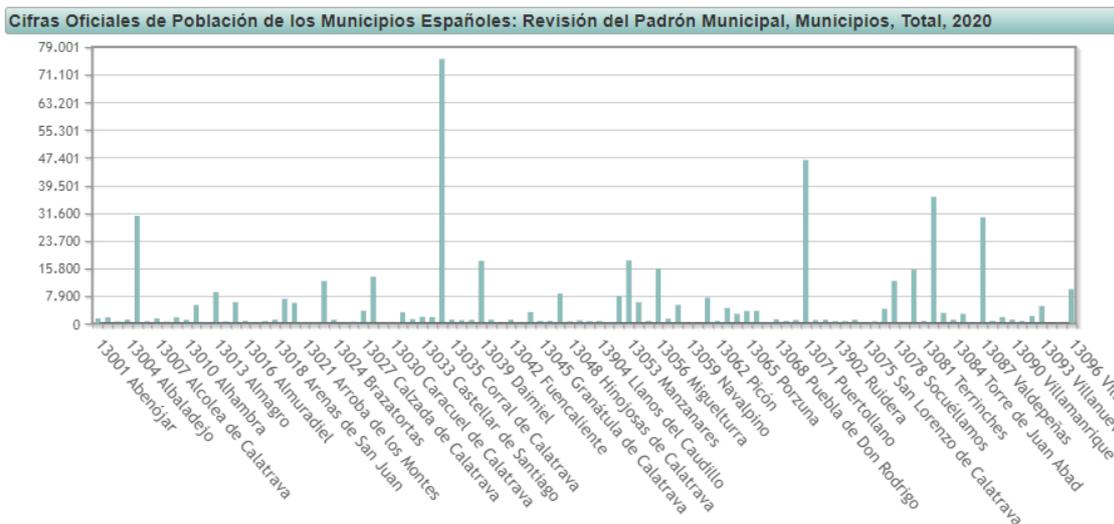


Figura 11: Población de los municipios de la provincia de Ciudad Real en 2020 (Fuente: INE)

Además, teniendo en cuenta que Ciudad Real es la capital de la provincia (lo que implica que la mayor parte de la actividad comercial, financiera y residencial se produce en este municipio), sería razonable aplicar un factor de 15% para la estimación de la demanda. Con esto se obtendría una potencia media demandada de 50 MW.

Para dimensionar la planta es necesario conocer la potencia máxima demandada. Teniendo en cuenta que se trata de una zona mayoritariamente residencial, comercial, de negocios y agrícola, se podría estimar la potencia máxima con un 150% de la potencia media demandada. Esto implica una potencia máxima demandada de 75MW, dato que se empleará para el dimensionamiento de la planta de gasificación por plasma como potencia gestionable instalada necesaria.

### **3.4 Análisis de la potencia instalada en Ciudad Real**

#### **3.4.1 Potencia gestionable y no gestionable**

Como se ha mencionado con anterioridad, actualmente existe un proceso de descentralización de la generación de la energía. El crecimiento de las energías renovables y el uso de las redes inteligentes para su gestión conduce hacia una gestión local de la generación.

La energía renovable actualmente se compone de energía gestionable y no gestionable. Este último tipo de energía se caracteriza por ser dependiente de la meteorología y, por tanto, no estar disponible siempre para su uso. Actualmente en España se emplean centrales de ciclo combinado para cubrir estos momentos de falta de energía no gestionable, pero se pierde alrededor de un 10% de la energía generada en el transporte.

Cuando se habla de potencia instalada en Ciudad Real, la instalación más característica es la central de gasificación integrada en ciclo combinado de Puertollano. Esta central que, aunque ya no se encuentra operativa, fue símbolo mundial de la gasificación de carbón de un modo limpio.

Puertollano comenzó a operar en 1996 y se convirtió en la central de este tipo de mayor potencia instalada a nivel mundial, con 335 MW de potencia instalada. Se caracterizaba por el bajo contenido en azufre del carbón utilizado y por la reutilización de los gases resultantes de la combustión para la generación de energía eléctrica a través de una

turbina. La emisión de contaminantes era mínima y contaba con un rendimiento por encima de otras centrales térmicas convencionales (hasta un 15%), pero no fue suficiente para evitar su cierre en 2014, ya que su coste de producción era mayor que las centrales térmicas convencionales. En el caso de esta central prevaleció el beneficio económico ante la baja contaminación a la hora de tomar la decisión de cierre. [11]

En 2020 se inauguró en las mismas instalaciones de la antigua central térmica de Puertollano, el proyecto “Biollano” de Ence. Una planta de generación con biomasa de 50MW de potencia, que espera recibir 360000 toneladas de biomasa de residuos agrícolas. [12]

En este proyecto se pretende establecer una microrred capaz de satisfacer la demanda de Ciudad Real con la energía gestionable a través de hidrógeno para pilas de combustible, garantizando así el suministro de energía necesario. Para ello se hará uso de las fuentes de energía ya existentes en los alrededores de la ciudad sujeta a estudio, así como la planta de gasificación por plasma que se dimensionará en este proyecto para apoyar esta generación.

### **3.4.2 Energía solar fotovoltaica**

La energía solar fotovoltaica depende de las condiciones climatológicas de la zona, en concreto de la radiación solar. Esta radiación se mide en HSP (horas solar pico), definido como tiempo, en horas, de radiación solar constante de  $1000W/m^2$ . En la siguiente figura se muestra el perfil medio horario de la solar fotovoltaica sobre la generación total en 2020 (%), en el que se puede ver la influencia del momento del día y la radiación solar en la generación, de ahí la importancia de las condiciones climatológicas de la zona para esta tecnología.



Figura 12: Perfil medio horario de la solar fotovoltaica sobre la generación total en 2020 (%). (Fuente: REE)

En Ciudad Real la energía fotovoltaica es la energía renovable más importante, seguida por la generación eólica. El predominio de esta tecnología se debe a las condiciones climatológicas favorables de la zona, como se puede observar con las horas de sol analizadas en el apartado de meteorología de este documento. Por lo tanto, la generación solar fotovoltaica tendrá un papel importante en el transcurso de este proyecto.

De acuerdo con los datos obtenidos del Ministerio para la Transición Ecológica, en 2020 la potencia fotovoltaica instalada en los alrededores de Ciudad Real (hasta 50 - 60 Km) alcanzó un total de aproximadamente 665MW. Debido a la extensión de las tablas de estos datos, éstas de adjuntan en los anexos. En la siguiente tabla se recoge un resumen de los datos más significativos de las instalaciones fotovoltaicas en la zona:

Número de instalaciones	1786
Potencia media	372 KW
Potencia total instalada	664,828 MW

Tabla 2: Resumen energía solar fotovoltaica en los alrededores de Ciudad Real (Elaboración propia con datos del Ministerio para la Transición ecológica y el Reto Demográfico)

La importancia de la energía fotovoltaica en Ciudad Real se ve reflejado en el hecho de que la comunidad autónoma de Castilla-La Mancha fue la región con más producción solar fotovoltaica en 2020 [13]. Además, tan favorables son las condiciones climatológicas en la zona para este tipo de generación de energía que actualmente existen

27 proyectos en curso que resultarán en una duplicación de la potencia fotovoltaica instalada en la provincia [14]. Tal es la fiebre de fotovoltaica en Ciudad Real que se han producido concentraciones contra la “descontrolada avalancha” de instalación de plantas de generación de energía fotovoltaica en Ciudad Real [15]

### **3.4.3 Energía eólica**

La energía eólica es la energía obtenida al aprovechar la fuerza del viento. Observando los datos climatológicos del viento en Ciudad Real, anteriormente analizados en el apartado meteorológico, se puede ver que el viento en la zona de Ciudad Real tiene buenas condiciones para la generación eólica. Por esta misma razón, se trata de la segunda energía renovable más importante de la zona, por detrás de la energía solar fotovoltaica, de acuerdo con lo comentado anteriormente.

Con 19 parques eólicos en las proximidades de Ciudad Real, y un promedio de casi 34MW de potencia instalada en cada parque, la potencia eólica instalada en los alrededores de Ciudad Real asciende a 639,6 MW. En la siguiente tabla se recogen las plantas eólicas de la zona:

Suma de Potencia Instalada MW	
Nombre	Potencia instalada
P. E. COLLADO DE LAS CRUCES	50,0
P.E. ALMODOVAR II	28,5
P.E. ALTOS DE JARREY	24,7
P.E. CERRO RODRIGO	24,7
P.E. COLLADO	22,4
P.E. CUEVAS NEGRAS	49,5
P.E. EL ENEBRILLO	22,1
P.E. EL MORAL	40,0
P.E. FRESNO	24,7
P.E. MALAGON I	36,0
P.E. MALAGON II	50,0
P.E. SALVATIERRA	50,0
P.E. SIERRA DE GUINDOS	24,7
P.E. SIERRA DE LOS CANALIZOS	24,7
P.E. SIERRA DEL HONTANAR	24,7
P.E. SOLANAZO	19,6
P.E. ZARZALAGORDA	24,7
PARQUE EOLICO LA ZARZA	49,3
PARQUE EOLICO OLLA DE VACAS	49,3
<b>Total general</b>	<b>639,6</b>

*Tabla 3: Energía eólica en los alrededores de Ciudad Real (Elaboración propia con datos del Ministerio para la Transición ecológica y el Reto Demográfico)*

### 3.4.4 Biomasa

En el mix energético de la zona, un porcentaje de participación proviene de tecnologías de producción de energía eléctrica a partir de biomasa, lo cual es un indicador del potencial de la cantidad de biomasa en la zona sujeta a estudio. El resumen de estas centrales se recoge en la siguiente tabla:

Suma de Potencia Instalada MW	
Nombre	Potencia instalada
ENCE ENERGIA PUERTOLLANO	50
ENEMANSA	16
PLANTA BIOMASA DE ALVINESA	3,55
URBAOIL	10
<b>Total general</b>	<b>79,55</b>

Tabla 4: Plantas generación a partir de biomasa (Elaboración propia con datos del Ministerio para la Transición ecológica y el Reto Demográfico)

### 3.4.5 Resumen de la potencia instalada

Para concluir el análisis de la potencia renovable instalada en los alrededores de Ciudad Real, se presenta una tabla a modo de análisis de las tecnologías mencionadas anteriormente:

Tecnología	Potencia instalada MW
Solar fotovoltaica	525,883
Eólica	639,6
<b>TOTAL</b>	<b>1165,483</b>

Tabla 5: Resumen potencia instalada (Elaboración propia)

Como se puede observar en la tabla, la potencia instalada de energía solar fotovoltaica es menor a la analizada anteriormente en el apartado 3.4.2. Esto se debe a que, para el análisis del proyecto en cuestión, sólo se tendrán en cuenta las instalaciones con más de 5MW de potencia instalada, ya que para plantas instaladas de menor potencia se considera demasiado alto el gasto de transporte y conexión a la red comparado con la poca energía generada. Aplicando este criterio se pasa de tener 1786 centrales de generación a tan solo 15, con lo que se reducen mucho los gastos de transporte y la potencia generada se encuentra más centralizada y por lo tanto más fácilmente accesible para su transporte.

También cabe destacar que no se incluyen las tecnologías productoras a partir de biomasa, porque su potencia instalada es mucho menor comparada con las otras dos tecnologías analizadas.

El resto de las tecnologías de origen renovable (como puede ser la energía hidráulica) no han sido incluidas en estos anteriores apartados de análisis porque su aporte es no es

significativo comparado con las tres tecnologías que han sido analizadas o directamente su aporte es nulo.

Todas las tecnologías resumidas en esta tabla son de generación no gestionable, ya que dependen de la meteorología o de excedentes de industrias (como es la biomasa), por lo que no se pueden emplear como fuente fiable de energía y será objeto de este proyecto dimensionar un buen sistema de reserva para estas.

## **Capítulo 4. Los recursos biomásicos en Ciudad Real**

### **4.1 Introducción a los residuos biomásicos**

Como se ha visto en el apartado anterior, para los casos en los que falle la generación de energía renovable no gestionable, es necesaria la instalación de un recurso energético renovable que sea gestionable, con la capacidad de conexión inmediata en el caso de indisponibilidad de generación solar o eólica.

Por otro lado, la Unión Europea emitió en 2018 la decisión de eliminar los vertederos controlados para 2030. Esta decisión conlleva la necesidad de buscar una alternativa para la gestión de los residuos generados. En este proyecto se propone el aprovechamiento de estos residuos para el desarrollo del potencial energético que poseen, mediante una planta de gasificación por plasma.

Con el fin de su aprovechamiento energético, es necesario conocer el volumen y los diferentes tipos de residuos disponibles en Ciudad Real, cuyo objetivo es precisamente el de este cuarto capítulo.

### **4.2 Residuos sólidos urbanos (RSU)**

Los residuos sólidos urbanos se definen en la Ley de Residuos como los generados en domicilios particulares, oficinas, comercios y servicios, así como todos los residuos que no tengan la calificación de peligrosos y que por naturaleza o composición se puedan asemejar a los producidos en los anteriores lugares o actividades. [16]

Debido a la imposibilidad de obtener los datos de los residuos sólidos urbanos producidos en Ciudad Real en 2020, se realizará el análisis con los datos obtenidos del año 2017 de R.S.U. Castilla-La Mancha. Los datos se recogen en la siguiente tabla:

Material recogido	Cantidad (Tn)
Fracción orgánica + Resto	145227
Papel y cartón	5391
Vidrio	4528
Envases ligeros	4360
Puntos limpios	8945
<b>TOTAL</b>	<b>168451</b>

Tabla 6: R.S.U Ciudad Real 2017 (Elaboración propia con datos de R.S.U. Castilla-La Mancha)

### 4.3 Residuos de la agricultura, horticultura, acuicultura, silvicultura, caza y pesca; residuos de la preparación y elaboración de alimentos

Debido a la dificultad de obtener los datos de los residuos producidos en Ciudad Real en 2020, se ha conseguido obtener, a través de la Dirección General de Economía Circular de la Junta de Castilla-La Mancha, los datos de los residuos producidos en la provincia de Ciudad Real en el año 2018.

Junto con el envío de los datos, se obtiene la indicación de que de acuerdo con la Ley de residuos 22/2011 sólo se establece la obligatoriedad de inscribirse a los productores de residuos peligrosos y a los que producen más de 1000 t/año de residuos no peligrosos. Esto supone que los datos recogidos en la siguiente tabla son los que incluyen a los recogidos en estas dos categorías anteriormente mencionadas, para el año 2018, por lo que habrá residuos producidos que no se encuentran incluidos en los datos obtenidos. No obstante, este estudio se realizará con los datos oficiales obtenidos para el año 2018, procedentes de los residuos forestales y agrícolas (incluido el sector de producción vinícola).

LER	Descripción	Cantidad (Tn)
<b>0201...</b>	<b>Residuos de la agricultura, horticultura, acuicultura, silvicultura, caza y pesca</b>	
020103	Residuos de tejidos vegetales	33,066
020104	Residuos de plásticos	2291,884
020106	Heces de animales, orina y estiércol	17562,68367
020107	Residuos de la silvicultura	8,6
020110	Residuos metálicos	106,35775
020199	Residuos no especificados en otra categoría	1009,94
<b>0203...</b>	<b>Residuos de la preparación y elaboración de frutas, hortalizas, cereales, aceites comestibles, cacao, café, té y tabaco; producción de conservas; producción de levadura y extracto de levadura, preparación y fermentación de melazas</b>	
020301	Lodos de lavado, limpieza, pelado, centrifugado y separación	8160,85
<b>0207...</b>	<b>Residuos de la producción de bebidas alcohólicas y no alcohólicas (excepto café, té y cacao)</b>	
020701	Residuos de lavado, limpieza y reducción mecánica de materias primas	878
020702	Residuos de la destilación de alcoholes	2411,316
020705	Lodos del tratamiento in situ de efluentes	295
020799	Residuos no especificados en otra categoría	159,88
<b>TOTAL</b>		<b>32917,57742</b>

Tabla 7: Otros residuos de Ciudad Real del año 2018 (Elaboración propia)

Además, se han solicitado los datos de los residuos generados en las industrias de primera generación de madera y las industrias de la piel, cuero y textil, pero al no haber residuos de las categorías mencionadas anteriormente, no se han obtenido datos referentes a estas industrias. Esto se debe en mayor parte a que en la agricultura leñosa se producen muchos residuos originarios de la poda y tala, que no se recogen y no son aprovechados, por lo que existe un potencial energético grande en el sector, que hoy en día se está desaprovechando.

#### 4.4 Resumen de los residuos

Si se suman los residuos sólidos urbanos y los procedentes de la industria agrícola, ganadera y forestal de la provincia de Ciudad Real, se obtiene un total de 201368,577 toneladas de residuos anuales que serán utilizables para la generación de energía en la planta de gasificación objeto de este estudio.

Sin embargo, la producción de residuos del sector agrícola y forestal no es constante a lo largo del año, por lo que no conduce a una producción energética fiable. De esta manera, se valora en primer lugar únicamente los residuos sólidos urbanos. Para realizar la valorización energética de los RSU, se considera un PCI medio de los residuos de 3500kcal/kg, ya que los valores de los tipos de residuos sólidos urbanos pueden oscilar entre 800 y 8000 kcal/kg. [17]

Por lo tanto, se realiza la valorización energética de los RSU de la siguiente manera:

$$168451 \frac{tn}{año} \times \frac{1 año}{365 días} \approx 461,51 tn/día$$

Para tener en cuenta los residuos procedentes de la industria agrícola, ganadera y forestal (que en el cálculo anterior no se han tenido en cuenta por su irregularidad temporal) se añade un 15% a la producción diaria de RSU. Este porcentaje se ha calculado sabiendo que los residuos del sector agrícola y ganadero componen un 20% de los RSU, y dentro de estos un 50% proceden de la ganadería (cuya producción de residuos a lo largo del año es más regular que los procedentes de la agricultura).

Por lo tanto, el cálculo energético se realizará con un total de:

$$461,51 \frac{Tn}{día} \times 115\% \approx 530,736 Tn/día$$

Esta cantidad es una aproximación realizada en este punto del estudio, aunque más adelante se calculará con mayor detalle en el apartado de dimensionamiento de la planta (ya que por ejemplo aquí se ha considerado que la planta funciona los 365 días del año).

## 4.5 Valorización energética de residuos

Para el aprovechamiento energético de los residuos de la zona, se ha de elegir una tecnología que permita la gestión y aprovechamiento de los residuos y proporcione la reserva energética necesaria a la red para las ocasiones en las que las energías renovables no cubran la demanda energética. Para cumplir estos requisitos, existen distintas tecnologías disponibles que se analizarán en los siguientes apartados:

- Incineración
- Pirólisis
- Vertedero controlado
- Biometanización
- Gasificación por plasma

### 4.5.1 Incineración

La incineración se emplea normalmente como una parte del proceso de tratamiento de residuos. Estos procesos complejos permiten la gestión de un amplio abanico de residuos generados en la sociedad.

El sector de la incineración ha sufrido una gran evolución en los últimos años, de la mano de distintas legislaciones para el sector, reduciendo las emisiones a la atmósfera, desarrollando nuevas técnicas para la reducción de costes y la mejora del rendimiento.

El objetivo de este método de tratamiento de residuos es la reducción de la peligrosidad y volumen de los residuos, capturando las sustancias nocivas que se puedan emitir durante su incineración. La incineración se realiza a temperaturas elevadas (850°C) y se producen gases y energía como resultado del proceso. [18]

En algunos lugares se aprovechan los gases y el calor resultantes de la incineración para la generación de energía térmica. Este es el caso de CopenHill, una planta incineradora a 6km del centro de Copenhague en la que se convierten y reciclan 440000 toneladas de residuos al año, aportando energía y calefacción a 150000 hogares. Además, se ha hecho un diseño arquitectónico, modernizando la planta incineradora convirtiéndola en su exterior en un espacio lúdico para practicar esquí o escalada. [19]

Por otro lado, si el objetivo es el aprovechamiento energético de los gases resultantes de la incineración para la producción de energía eléctrica, es necesaria la intervención de motores o generadores de combustión interna. Este tipo de motores tienen un tiempo de arranque elevado (10-15 minutos), lo que supone un inconveniente ya que en este proyecto es necesario el arranque inmediato para la generación en caso de fallo de las energías renovables no gestionables.



Figura 13: CopenHill (Fuente: OVACEN)

#### 4.5.2 Pirólisis

Se trata de un proceso de degradación térmica en ausencia de oxígeno. A diferencia de la incineración (en la que se empleaba la combustión y, por tanto, exceso de oxígeno), en la pirólisis el único oxígeno presente es el contenido en el propio residuo. Los residuos se descomponen por medio de calor, sin que se produzcan reacciones de combustión, a una temperatura de entre 300 y 800 °C. [20]

De la pirólisis derivan varios productos que se pueden reutilizar de distintas maneras:

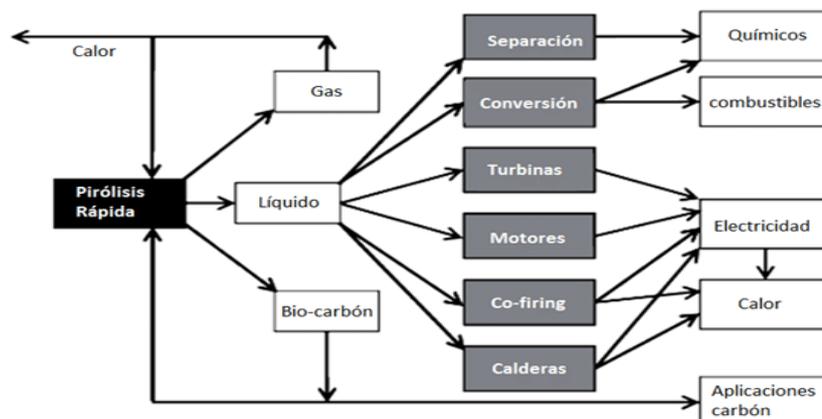


Figura 14: Productos derivados de la pirólisis y sus aplicaciones (Fuente: Bridgwater 2012)

A pesar de ser una tecnología muy similar a la gasificación por plasma, la mayor diferencia es que la pirólisis requiere la separación y clasificación de los residuos antes

del proceso, lo que complica y eleva los costes del proceso, por lo que se descarta esta tecnología.

### 4.5.3 Vertedero controlado

Los vertederos son instalaciones de eliminación de residuos mediante su deposición en espacios subterráneos por un período de tiempo mayor al considerado para el almacenamiento temporal. Dentro de la gestión de residuos de ámbito municipal, el vertido es la última opción contemplada en la jerarquía de gestión según la Ley 22/2011, de residuos y suelos contaminados. [20]

Los vertederos incontrolados se caracterizan por ser simplemente un lugar en el que se acumula basura, normalmente en la superficie, sin atender a medidas sanitarias especiales. Por otra parte, los vertederos controlados consisten en un depósito con suelo totalmente impermeabilizado y sistemas de canalización de lixiviados y tuberías con el fin de recoger el biogás formado en su interior, permitiendo así su aprovechamiento energético. En los vertederos controlados los residuos se acumulan por capas, alternando capas de residuos con otras de tierra, que se añaden diariamente para evitar los malos olores y la atracción de animales como las ratas [21]. Es importante el control y mantenimiento del vertedero para controlar la contaminación, que se puede dar por distintos medios, como se muestra en la siguiente figura:

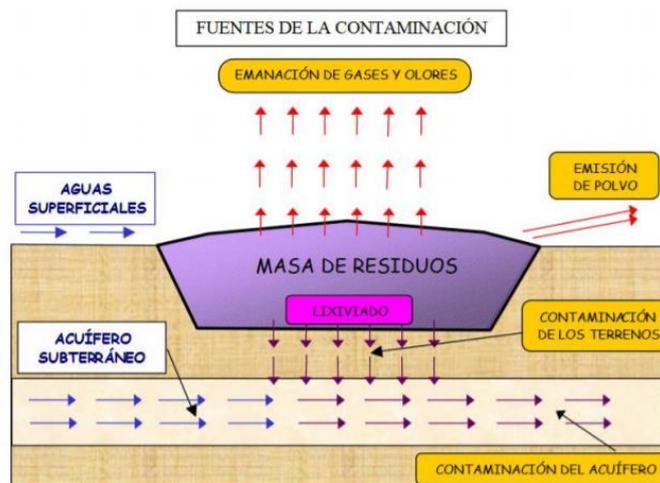


Figura 15: Fuentes de la contaminación en vertederos (Fuente: Apuntes asignatura Ingeniería Medioambiental, ICAI)

Respecto a la técnica de aprovechamiento energético, al igual que en técnicas mencionadas anteriormente, se requiere de motores o generadores de combustión interna para la producción de energía eléctrica. Como se ha discutido con anterioridad, estos motores poseen un tiempo de arranque alto, por lo que se descarta esta tecnología para la realización de este estudio en concreto.

#### **4.5.4 Biometanización**

La biometanización, también conocida como digestión anaerobia, consiste en un proceso biológico por el cual los residuos, mediante la acción de microorganismos, son transformados en biogás, una mezcla de gases formada principalmente por metano y dióxido de carbono. Se trata de un proceso en ausencia de oxígeno y compuesto por distintas fases. Para un mejor rendimiento y mayor provecho energético, es necesario el tratamiento y la separación de los residuos previamente al proceso, lo que supone un aumento de coste y una de las razones que lleva rechazar esta tecnología. Además, al igual que otras formas de recuperación energética, requiere la acción de motores o generadores de combustión interna, por lo que se decide rechazar esta tecnología de manera definitiva para este estudio. [20]

#### **4.5.5 Gasificación por plasma**

El plasma se obtiene al someter a un gas a altas temperaturas (entre 5000°C y 15000°C, obteniendo así una mezcla de electrones, iones y partículas neutras. Esta mezcla se consigue haciendo fluir un gas inerte a través de un campo eléctrico entre dos electrodos. En la gasificación por plasma se emplea como fuente de calor la energía térmica adquirida por el propio plasma a partir de la energía (habitualmente eléctrica) consumida para su generación. Como producto final de la gasificación por plasma se obtienen dos subproductos: por un lado, gas, compuesto mayoritariamente por monóxido de carbono e hidrógeno; y, por otro lado, un residuo sólido que consiste en una escoria inerte generalmente vitrificada. [20]

Como se ha mencionado anteriormente, la ventaja de la gasificación por plasma respecto a otras alternativas de aprovechamiento energético es que no es necesario el tratamiento ni la separación de los residuos previamente a la gasificación. Además, los subproductos de la gasificación por plasma no son tóxicos, se trata de una tecnología limpia que no

forma nuevos compuestos, sino que transforma los residuos en sus componentes fundamentales. [6]

Uno de los retos de esta tecnología es el almacenamiento del hidrógeno resultante para su aprovechamiento energético, que será objeto de investigación más adelante en este estudio. La ventaja que posee esta forma de generación de energía eléctrica se basa en que su generación es inmediata, es decir, el comienzo de generación es instantáneo en cuanto la generación es demandada (a diferencia, por ejemplo, de los motores o generadores de combustión interna). Además, es una tecnología limpia y libre de emisiones tóxicas, sin necesidad de otros tratamientos, lo que no hace aumentar sus costes. Por estas razones se elige la gasificación por plasma como método de aprovechamiento energético de residuos objeto de este estudio.



Figura 16: Proceso de gasificación por plasma (Fuente: Julio Montes, 2006)

## Capítulo 5: La planta de gasificación por plasma

### 5.1 El plasma

El plasma es conocido como el cuarto estado de la materia. Esto se debe a que una vez la materia se encuentra en estado gaseoso, si se sigue calentando a altas temperaturas (pudiendo alcanzar hasta los 15000°C), alcanza un estado de ionización llamado plasma. Lo que caracteriza al plasma a diferencia del estado gaseoso es que es una materia fuertemente ionizada, con el mismo número de cargas eléctricas libres, positivas y negativas. Esto hace que el plasma sea conductor eléctrico.

Para alcanzar el estado de plasma se sigue un proceso de ionización por el cual se liberan electrones de la materia. Estos electrones pueden ser acelerados por campos electromagnéticos externos, ganando así energía. Esto provoca sucesivos choques moleculares que generan una ionización en cadena, estableciendo así una corriente eléctrica.

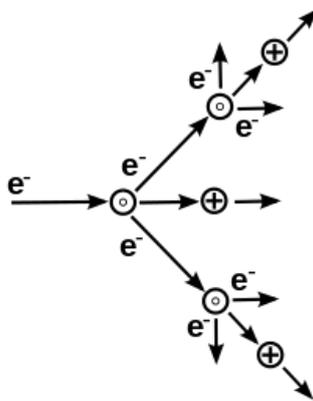


Figura 17: Ionización en cascada (Fuente: Scientific Electronic Library Brasil)

Este estado de la materia es empleado en diferentes aplicaciones tecnológicas, como pueden ser lámparas fluorescentes, lámparas de arco, en la fabricación de microcircuitos o en televisiones (pantallas de plasma). Los plasmas constituyen más del 99% de la materia conocida del universo, estando presentes en distintas formas y cobrando cada vez más importancia en el desarrollo tecnológico y científico. [22]

## 5.2 Tecnologías de gasificación por plasma

Hoy en día existen tres tecnologías distintas de gasificación por plasma:

- **El sistema de plasma tradicional:** esta tecnología tradicional es la empleada por la antigua empresa Plasco Conversion Technologies, ahora llamada OMNI Conversion Technologies. Este sistema se caracteriza por su uso del plasma, que únicamente se emplea en el refinado del gas de síntesis obtenido. Esto significa que los residuos son gasificados, pero sin llegar a alcanzar el estado de plasma. En el refinado, el syngas es mezclado con una pequeña cantidad de oxígeno con el propósito de elevar su temperatura, mientras es sometido a las antorchas de plasma, que aportan tan solo un 4% del calor del proceso, garantizando la catálisis del plasma. El ratio combustible-oxígeno se tiene bajo control en todo momento para asegurar la temperatura deseada. [7]

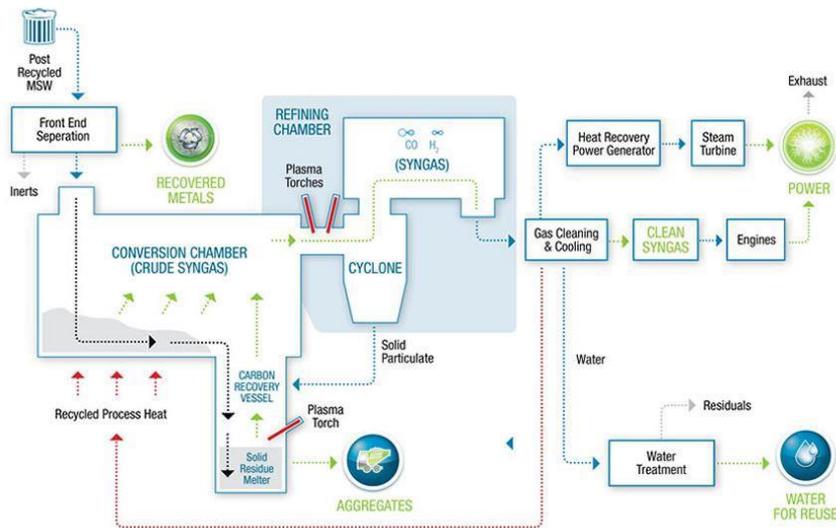


Figura 18: Plasco Energy Group gasificación por plasma (Fuente: Omni Conversion Technologies)

- **Sistema de plasma mixto:** este sistema de gasificación por plasma es el empleado por Westinghouse Plasma Corporation, una división de Alter NRG Group. Como se puede apreciar en la figura presentada a continuación, lo que caracteriza a este proceso es que sí emplea el plasma en la gasificación de los residuos, pero lo hace mezclándolo con una pequeña cantidad de aire u oxígeno, lo que hace que no sea un proceso anaeróbico. Esto hace que el gas de síntesis obtenido tenga un alto

contenido de nitrógeno y sea necesario un tratamiento posterior, que hace encarecer el proceso, para posibilitar su aprovechamiento energético. [23]

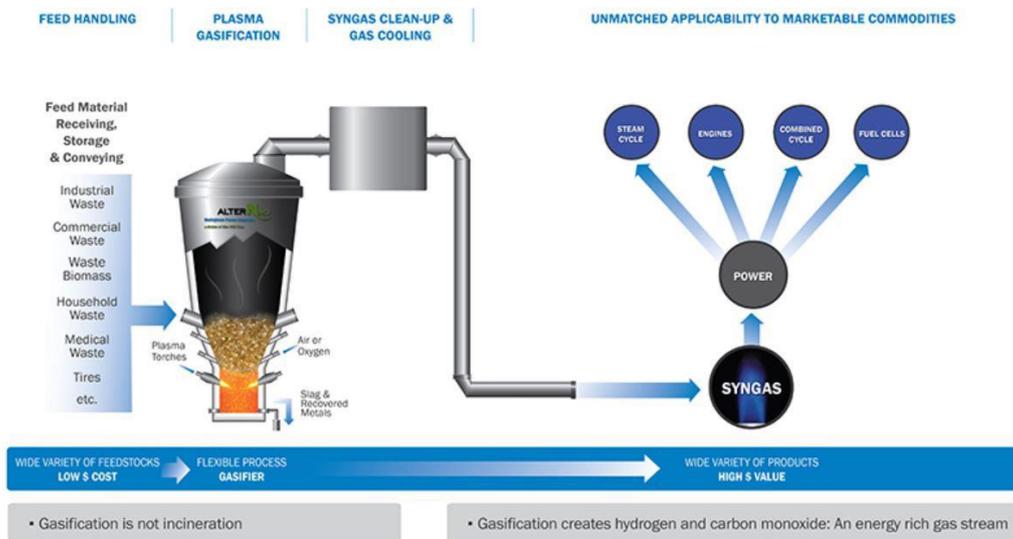


Figura 19: Gasificación por plasma Westinghouse Plasma Corporation (Fuente: Westinghouse Plasma Corporation)

- **El sistema de plasma directo:** esta es la tecnología que se ha seleccionado para el estudio en cuestión. A continuación, se explica con detalle el proceso y elementos de gasificación por plasma, cuya información se ha obtenido de *Materiales Renovados* y el trabajo de fin de grado de Almudena Valenciano López (2015).

### 5.3 El proceso de gasificación por plasma (directo)

El sistema está formado por 5 etapas: la alimentación, la disociación, el enfriamiento, el filtrado de gases y la neutralización.

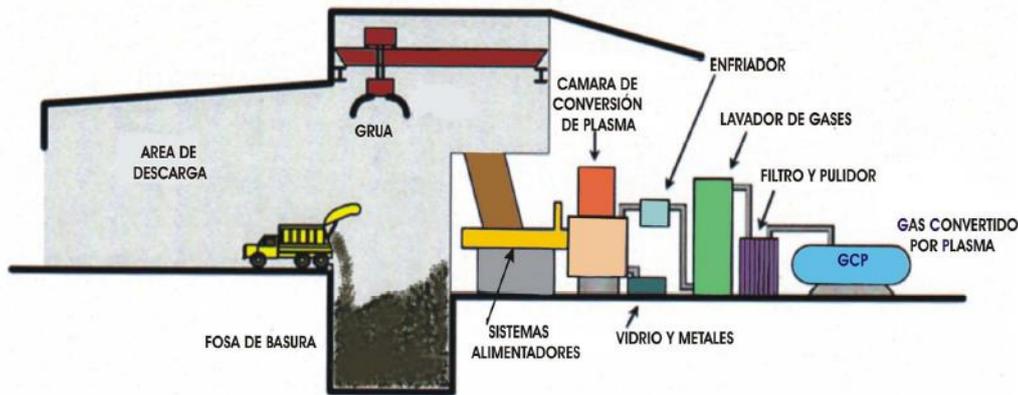


Figura 20: Etapas del proceso de gasificación por plasma (Fuente: Julio Montes, 2006)

a) La alimentación

Es la primera fase del proceso, en la que los residuos son introducidos al reactor en el que se disociarán. Con el objetivo de aumentar la eficiencia del proceso, se implementan distintas etapas previas que, aunque no necesarias, resultan beneficiosas:

- **Reducción:** consiste en reducción de volumen de los residuos, facilitando así su traslado e introducción al reactor, siendo más manejables y aumentando su peso específico. Para conseguir esto se emplean molinos de tornillo o trituradores.
- **Separación:** con la separación de los residuos se consigue una mayor calidad y uniformidad de los residuos, evitando así una variación en la composición del gas de síntesis. Al introducir residuos uniformes se mejora la calidad del proceso. Para la consecución de la separación se pueden emplear separadores ópticos, magnéticos o balísticos.
- **Compactación:** el objetivo de esta parte del proceso es la mejora de manejabilidad, almacenamiento y transporte de los residuos, aumentando además su densidad. En la actualidad se emplea la peletización, reduciendo los residuos a volúmenes rectangulares facilitando así su almacenamiento.
- **Reducción de humedad:** antes de la alimentación, se aprovecha el calor del gas de síntesis a la salida de la vasija para reducir de un 20% hasta un 5% la humedad de los residuos orgánicos, aumentando así el rendimiento del proceso.

- **Alimentación:** la alimentación se realiza a través de una línea, asegurando así un flujo continuo de residuos en el reactor y pudiendo controlar el ritmo de entrada de residuos. El sistema de control calcula para cada instante el flujo óptimo de residuos para la línea de alimentación.

Además, en el sistema de alimentación hace falta considerar el sistema que inyecta los gases necesarios para la disociación: gas de oxígeno (para generar el medio necesario para la oxidación) y gas plasmógeno o aire (alimenta las antorchas para la formación de plasma).

b) La disociación:

La disociación tiene lugar en la vasija de plasma, en la que se rompen los enlaces moleculares de las sustancias introducidas.

La antorcha de plasma, conectada a corriente continua, genera una diferencia de potencial entre los dos electrodos, que genera el cebado del arco eléctrico. Este arco eléctrico permite el aumento de la temperatura hasta alcanzar la disociación completa de las partículas de materia orgánica. De aquí se obtiene el gas de síntesis y la escoria inerte vitrificada.

Con la subida de temperatura gracias al arco eléctrico, se pueden identificar diferentes etapas en la disociación. Cuando la temperatura se encuentra entre 500°C y 1000°C las partículas comienzan con rotación y traslación, seguidas de vibración, que se alcanza cuando la temperatura sube hasta los 2000°C. A partir de los 2750°C comienza la disociación de las partículas, cuya ionización se produce a partir de los 5250°C. Como resultado se obtiene el estado de plasma deseado, una mezcla de partículas e iones excitados. Todo este proceso en función de la temperatura que se ha descrito se ve ilustrado en la siguiente figura:

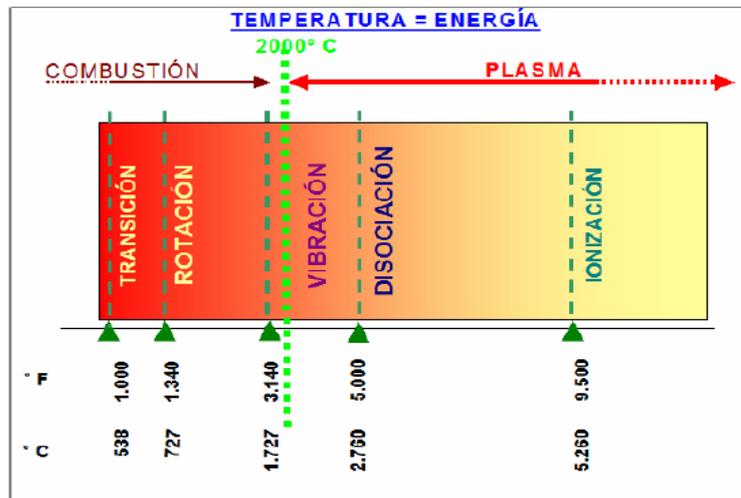
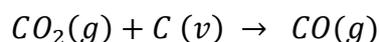
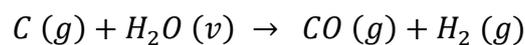


Figura 21: Fases de la disociación en función de la temperatura (Fuente: Julio Montes, 2006)

Por lo tanto, al darse la disociación, la vasija alcanzará temperaturas de entorno a los 5000°C. Además, en la vasija tienen lugar varios procesos térmicos, que se detallan a continuación:

- **Cracking térmico:** se forman gases de hidrocarburos e hidrógeno a través de la disociación de las moléculas más complejas.
- **Oxidación parcial:** la oxidación de átomos de carbono favorece la formación de monóxido de carbono. Como resultado de esta oxidación, se forman pequeñas cantidades de agua y dióxido de carbono, que reducen el poder calorífico del gas de síntesis resultante. Por lo tanto, se ha de controlar la entrada de oxígeno para minimizar o erradicar la formación de estas sustancias entorpecedoras.
- **Reformación:** se recombinan los elementos primarios para formar nuevas moléculas, principalmente hidrógeno y monóxido de carbono (además de la escoria vitrificada):



Para lograr la eliminación de los elementos inorgánicos, se recubre el suelo de la vasija con arena fundida a altas temperaturas rica en silicio. De esta manera, los elementos

inorgánicos reaccionan en el fondo de la vasija con el silicio y los restos de metales pesados que puedan haber sido introducidos durante la alimentación, quedan atrapados en la arena. Se forma, pues, un material no tóxico, no lixiviable e inocuo. En la disociación se logra reducir el volumen de los residuos hasta un ratio de 300:1.

c) El enfriamiento

El objetivo de esta etapa es disminuir la temperatura del gas de síntesis, que sale de la vasija a una temperatura aproximada de 100°C, con el propósito de evitar el deterioro del equipo empleado en las siguientes fases del proceso. Implementando un ciclo de Rankine, en esta fase se puede aprovechar el calor obtenido para generar vapor y producir electricidad, además de emplearlo para reducir la humedad de los residuos de la fase de alimentación.

d) El filtrado de gases

A pesar de que la composición del gas de síntesis obtenido de la vasija es mayoritariamente monóxido de carbono e hidrógeno, también están presentes en el gas de síntesis en menores cantidades otros componentes que hacen disminuir la calidad de este gas, por lo que se somete a un proceso de purificación y filtrado.

Para realizar este proceso se emplea un ciclón, un sistema de separación mecánico muy popular, más utilizado que otros métodos como las cámaras de separación o los separadores de impacto, ya que ofrecen un menor rendimiento.

La tecnología de separación del ciclón se basa en la diferencia de densidad entre sólidos y gases. Se trata de un colector de partículas cilíndrico que, mediante una fuerza centrífuga resultante de la entrada del gas de manera tangencial, provoca cambio de dirección en el flujo, imponiendo un giro de forma helicoidal. Las partículas sólidas colisionan contra las paredes del ciclón, cayendo posteriormente al fondo cónico del mismo. Finalmente, el gas limpio libre de partículas abandona el ciclón por la parte superior.

El rendimiento del ciclón ronda entre el 65% y el 99%, dependiendo del tipo de ciclón y las características del gas de entrada. Además de un alto rendimiento, este proceso tiene otras ventajas: debido a la ausencia de componentes móviles en el mecanismo, se trata de un proceso de bajos costes de operación, mantenimiento e inversión. Sin embargo, es un proceso que únicamente es válido para partículas de diámetro mínimo de 10µm.

e) La neutralización

Tras el filtrado del gas de síntesis en el ciclón, sigue presentando componentes halogenados que han de ser reducidos. Con el fin de conseguir esta reducción, se emplea un sistema combinado Scrubber (lavado) y quench.

El sistema anteriormente mencionado consiste en aplicar a la corriente de gas una ducha básica, neutralizando así los halogenuros, depositándose en el fondo como subproducto un agua salada. El gas obtenido tras la ducha se somete a un filtro de alta eficiencia de captación de partículas HEPA (High Efficiency Particle Arresting), eliminando así la presencia de los sulfuros añadiendo carbón activo en el proceso. En la siguiente figura se muestra un esquema del proceso de neutralización:



Figura 22: Sistema combinado Scrubber y quench. (Fuente: Valenciano, 2015)

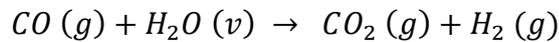
A la salida del filtro HEPA se obtiene un gas de síntesis libre de sulfuros y halógenos a una temperatura aproximada de 27°C con la siguiente composición:

COMPOSICIÓN DEL SYNGAS LIMPIO	
%CO	77,6
%CO <sub>2</sub>	6,67
%H <sub>2</sub>	4,46
%N <sub>2</sub>	7,11
%H <sub>2</sub> S	0,00
%Ar	1,22
%H <sub>2</sub> O	2,93
%CH <sub>4</sub>	0,01

Tabla 8: Composición del syngas limpio. (Fuente: Valenciano, 2015)

Tal y como se ve en la tabla, la composición de monóxido de carbono del gas de síntesis es muy grande respecto a la de hidrógeno. A eso hay que añadirle la presencia de dióxido de carbono, que ha de ser capturado. Para eliminar el monóxido de carbono y capturar el dióxido de carbono, se implementan dos procesos posteriores al neutralizado:

- **Reacción Shift:** el objetivo de esta reacción es el aumento de la pureza de hidrógeno del gas de síntesis, eliminando el monóxido de carbono. Se aplica un catalizador de hierro para producir la reacción que se presenta a continuación:



A raíz de esta reacción, se transforma el monóxido de carbono en hidrógeno y dióxido de carbono, que será gestionado en la siguiente etapa.

- **Captura y secuestro de  $CO_2$ :** se aplica un baño solvente de ácidos para eliminar el contenido de  $CO_2$  del gas de síntesis.

## 5.4 Elementos de la planta de gasificación por plasma

A continuación se exponen los elementos y sistemas más importantes presentes en la planta de gasificación por plasma.

### 5.4.1 Vasija

La vasija, también llamada reactor, es el lugar en el que tiene lugar la disociación de la materia orgánica. La vasija se compone de dos partes: el cuerpo y la tapa de acero inoxidable. Resulta de gran importancia el buen sellado entre las dos partes para evitar escapes de gas de síntesis a la hora de introducir nuevos residuos, por ejemplo. Por esta razón, se trabaja a presiones negativas, para simplificar el proceso. Para realizar la extracción de los subproductos de la disociación (el gas de síntesis y el material vitrificado) existe la posibilidad de hacerlo por una única vía común o cada subproducto por una salida distinta. En la figura a continuación se representa el proceso de disociación en la vasija, así como las correspondientes temperaturas alcanzadas:

### La Cámara del Sistema Convertidor de Plasma

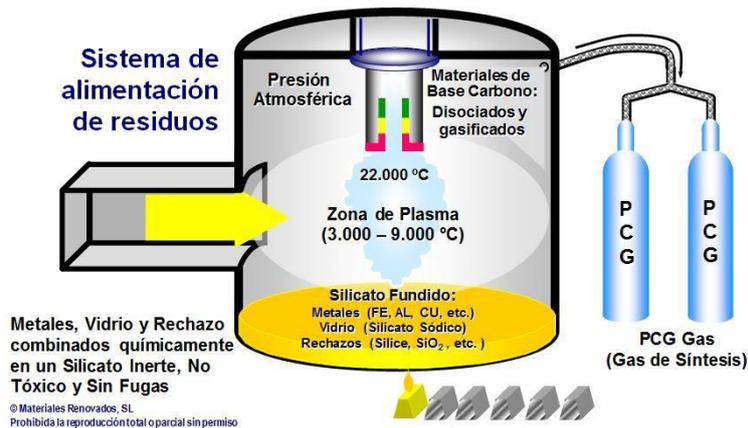


Figura 23: Esquema de la disociación en la vasija. (Fuente: Valenciano, 2015)

Con el objetivo de proteger el cuerpo de la vasija frente a las altas temperaturas alcanzadas en su interior, se recubre con una capa de material refractario aislante, cuya labor es mantener la temperatura del interior de la vasija por encima de la temperatura de condensación de los gases ácidos, evitando así su presencia en el syngas. La siguiente figura muestra le perfil de temperaturas en el interior de la vasija.

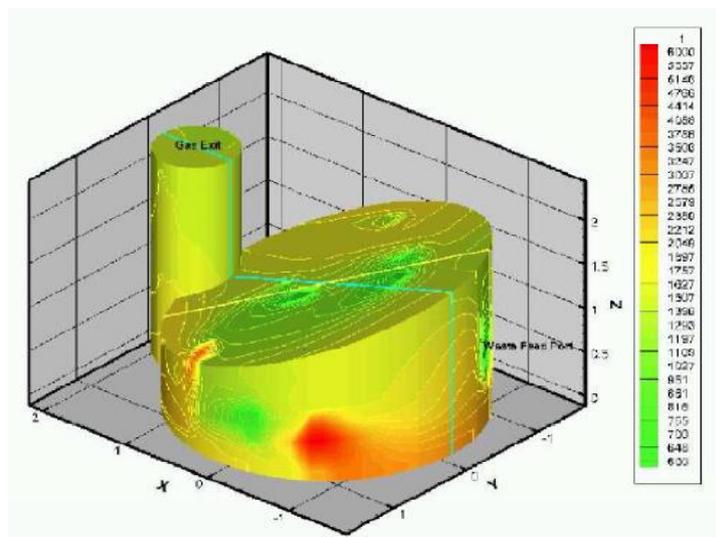


Figura 24: Perfil de temperaturas de la vasija. (Fuente: Valenciano, 2015)

Al analizar la figura se puede percibir que las temperaturas más altas (incluyendo las máximas de 6000°C) se alcanzan en la punta de la antorcha, siendo las temperaturas en el resto de la vasija notablemente inferiores (una media de entorno a los 1600°C).

#### **5.4.2 La antorcha de plasma**

En la antorcha se genera el arco eléctrico, gracias a la diferencia de potencial entre sus dos electrodos (ánodo y cátodo); y con el fin proteger la antorcha de las altas temperaturas, cuenta con la instalación de un sistema de refrigeración. A continuación se explican los dos tipos de antorchas existentes:

- Antorcha de arco transferido: en este tipo de antorcha el arco eléctrico es generado entre el cátodo, cuya localización se encuentra en el fondo de la vasija, y el ánodo (que necesita ser reemplazado cada cierto tiempo). Se emplea en procesos que requieran la fundición de materias sólidas o semisólidas y la transmisión de calor se produce por conducción, radiación y convección.
- Antorcha de arco no transferido: en este caso tanto ánodo como el cátodo se encuentran dentro de la antorcha y ambos necesitan sustitución periódica. En este tipo de antorcha la energía es transferida a través de la radiación del haz. La antorcha de arco no transferido se emplea para el calentamiento y vaporización de polvo, sólidos, líquidos y gases.

Se selecciona para este estudio la antorcha de arco no transferido, ya que supone una alternativa más barata y de prestaciones suficientes para el uso al que se va a destinar. En la siguiente figura se muestran los dos tipos de antorcha explicados previamente.

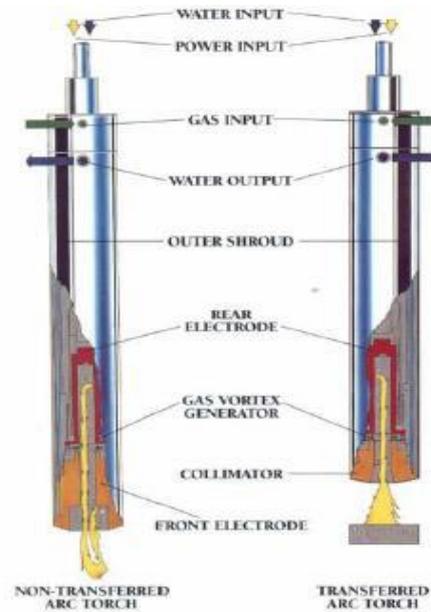


Figura 25: Diagrama de los dos tipos de antorcha. (Fuente: Valenciano, 2015)

### 5.4.3 El generador de corriente continua

Es necesaria la implementación de un generador de corriente continua para la alimentación de la antorcha, como se ha expuesto anteriormente en la explicación de la fase de disociación.

### 5.4.4 El sistema de control del proceso

El proceso está controlado por la implantación de un control lógico programable o PLC. Algunas funciones de este sistema son el control del flujo de entrada de residuos en la vasija, la monitorización de la composición del gas de síntesis a tiempo real y el control del sistema de corriente continua para el manejo de las antorchas. Este control PCL se encuentra centralizado en un sistema operado por trabajadores de la planta de gasificación.

#### **5.4.5 La refrigeración de la antorcha**

Para refrigerar la antorcha se implementa un intercambiador de calor agua-agua, que transfiere el calor a un circuito cerrado secundario de agua desionizada, que cuenta con otro intercambiador de calor agua-aire.

El objetivo de este sistema de refrigeración es la protección de los componentes de la antorcha y el control de la temperatura en el electrodo.

#### **5.4.6 El sistema de gas**

La entrada del gas se regula a través del sistema de control descrito con anterioridad. Se trata del sistema que genera la corriente de gas necesaria a través de la antorcha para producir el arco eléctrico, cuya entrada se realiza a entre 6 y 7 bares de presión. Se denomina gas plasmógeno y puede ser reductor, inerte u oxidante. Las posibilidades existentes son nitrógeno, hidrógeno, oxígeno, argón o aire. Este último es el más común y el más utilizado por ser la alternativa más económica.

#### **5.4.7 El sistema de descarga del material vitrificado**

Existen dos posibilidades para la extracción del subproducto sólido de la disociación:

- Sistema mecánico de extracción: la extracción se produce de manera continua, normalmente mediante un tornillo sinfín.
- Extracción lateral por inclinación: este método no supone una extracción continua. Se trata del método más utilizado puesto que generalmente las cantidades de escoria vitrificada no son grandes, por lo que no se requiere una extracción continua.

Para el diseño de este proyecto, se elegirá la extracción con tornillo sinfín, ya que ofrece un método continuo de extracción que evita la acumulación de materia vitrificada que pueda obstruir la salida.

La escoria vitrificada extraída será enfriada rápidamente con agua, formando pequeños fragmentos lisos facilitando así su manipulación.

### 5.5 El gas de síntesis

Como se ha explicado en anteriores apartados de este estudio, el gas de síntesis obtenido de la gasificación por plasma de los residuos se compone en su mayor parte de hidrógeno y monóxido de carbono, aunque no son estos dos sus únicos componentes, existen otros componentes presentes en menor proporción.

La característica más importante del proceso de gasificación por plasma, que lleva a la elección de esta tecnología frente a otras posibles, es la composición constante del gas de síntesis sin importar la composición de los residuos de entrada.

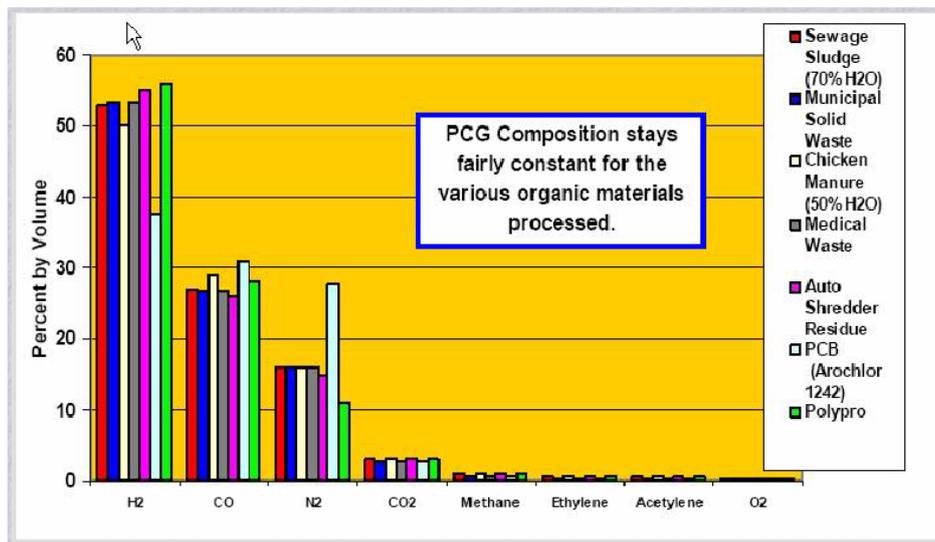


Figura 26: Composición del syngas en función de los residuos de entrada. (Fuente: Valenciano, 2015)

Esto supone una ventaja ya que evita la necesidad de una exhaustiva separación de los residuos previa a la disociación y no son necesarios procedimientos específicos que dependen del tipo de residuo de entrada. Como consecuencia de esto, no se realiza un estudio de composición de residuos a la entrada de la vasija.

## 5.6 Dimensionamiento de la planta de gasificación por plasma

Como se ha analizado en el apartado 4.4 de este proyecto, se espera un total de 201368,577 toneladas de residuos totales al año (RSU y residuos de origen agrícola, ganadero y forestal). De esta cantidad de residuos, tan solo se considera una recepción constante mensual a lo largo del año de residuos sólidos urbanos, que suponen 168451 toneladas anuales de residuos. Al no disponer los datos específicos mensuales de producción de RSU, se considera la misma producción de residuos sólidos urbanos cada mes.

Los residuos de los sectores agrícola, forestal y ganadero no presentan una producción regular a lo largo del año, ya que dependen de la época de vendimia y otros factores de los respectivos sectores. La ventaja de estos residuos es que pueden ser almacenados, por lo que se pueden repartir equitativamente para el aprovechamiento energético a lo largo del año. En total estos residuos suponen aproximadamente 33000 toneladas anuales, que representa un 20% de la cantidad de RSU. El 50% de estas 33000 toneladas provienen del sector de la ganadería, cuya generación de residuos es más regular que el sector agrícola y forestal. Por esta razón, se hace el cálculo de residuos anuales aprovechables con un 75% de los residuos procedentes de estos tres sectores, y en caso de una llegada mayor de residuos, estos son almacenables y podrán ser empleados como sistema de reserva en alguna mensualidad que la llegada de residuos sea menor o haya una mayor demanda de energía.

Por lo que finalmente se obtendría un total de residuos anuales:

$$168451 \frac{tn \text{ RSU}}{\text{año}} + 0,75 * 32917,577 \frac{tn \text{ otros resid.}}{\text{año}} \approx 193139,183 \text{ tn/año}$$

Por motivo de días festivos y cierre de la planta por motivos de mantenimiento de las máquinas u otros motivos, se estima que la planta de gasificación por plasma estará fuera de operación 30 días al año; por lo tanto, se contará con 335 días al año en funcionamiento.

Por lo tanto, finalmente se obtiene un flujo diario de residuos:

$$193139,183 \frac{tn}{año} \times \frac{1 \text{ año}}{335 \text{ días}} \approx 576 \text{ tn/día}$$

Se espera, pues, un aprovechamiento energético de 576 toneladas de residuos diaria. Al ser esta una cantidad media, se dimensionará la planta de gasificación por plasma para un flujo de **600 tn/día** para los días que pueda ser necesaria mayor producción energética (por ausencia de energía eólica o solar, por ejemplo).

### 5.7 Ciclo Rankine: Recuperación de calor

Como se ha comentado con anterioridad en los elementos de la planta, es conveniente el enfriamiento del gas de síntesis a la salida de la caldera, que se produce a unos 1000°C, con el objetivo de proteger el resto de los elementos del proceso. Además, es posible el aprovechamiento del calor del gas de salida, para lo que se procede dimensionar un Ciclo Rankin con ese fin. En la siguiente figura se representa el esquema del proceso:

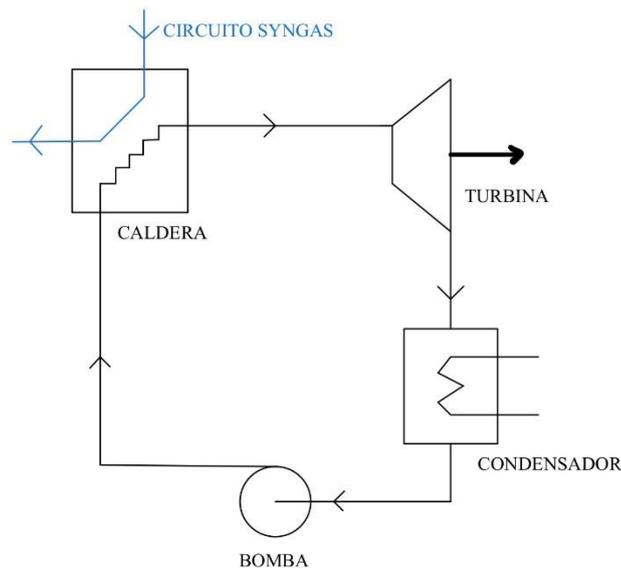


Figura 27: Ciclo Rankine (Elaboración propia)

Para el dimensionamiento del ciclo de Rankine y el gasto másico de agua que ha de circular por el mismo, se calcula el calor necesario para el secado de los residuos a la entrada de la vasija.

$$Q = \dot{m}_{vapor} \times L_{V_{H_2O}},$$

donde  $\dot{m}$  es el gasto másico de vapor. Como se reducir la humedad de los residuos de un 20% hasta un 5%,

$$\dot{m}_{vapor} = (0,2 - 0,005) * 24000 \frac{kg}{h} = 3600 \frac{kg}{s}$$

El calor latente de vaporización del agua es 2260 kJ/kg, por lo que se calcula el calor necesario para el secado:

$$Q = \dot{m}_{vapor} \times L_{V_{H_2O}} = 2260 \text{ kW}$$

Este calor es el procedente del condensador, por lo que se empleará este dato para dimensionarlo, y a partir de ahí el resto de los elementos del ciclo de Rankine.

### 5.7.1 El condensador

El calor intercambiado en el condensador debe ser como mínimo 2260 kW.

$$\frac{2260 \text{ kW}}{\eta_{cond}} \leq Q_{cond} = \dot{m} \times (h_{e \text{ cond}} - h_{s \text{ cond}})$$

El condensador transforma el agua de estado vapor saturado a líquido saturado, por lo que a través de las tablas de las propiedades del agua se puede establecer la temperatura y las entalpías de entrada y salida al condensador:

Punto	Temperatura (°C)	Presión (bar)	Entalpía (kJ/kg)
Entrada	41,51	0,08	2576,2
Salida	41,51	0,08	173,84

Tabla 9: Condiciones en el condensador (Elaboración propia)

Por lo tanto, con los datos de la tabla se obtiene el gasto másico que ha de circular por el ciclo de Rankine para cumplir con la condición del calor intercambiado necesario y considerando el rendimiento del condensador un 90%:

$$\dot{m} \geq 1,045 \frac{kg}{s}$$

Por lo que se toma un gasto másico de 1,1 kg/s, es decir, 3960 kg/h, que es suficiente para que el intercambio de calor sea el deseado con el objetivo de secar los residuos a la entrada de la vasija.

### 5.7.2 La bomba

Cuando sale del condensador, el agua llega hasta la bomba, donde sufre una expansión isentrópica de la que se obtiene líquido comprimido a 50 bar a la salida. Se calcula el trabajo realizado por la bomba de la siguiente manera:

$$\dot{W}_{bomba} = v_1 \times (P_2 - P_1) = 5,03 \frac{kJ}{kg}$$

que a su vez se puede calcular como:

$$W_{bomba} = \dot{m} \times (h_s - h_e),$$

de donde se obtiene que  $h_s = 178,87 \frac{kJ}{kg}$ . Por lo tanto, los puntos de funcionamiento de la bomba quedarían de la siguiente manera:

Punto	Temperatura (°C)	Presión (bar)	Entalpía (kJ/kg)
Entrada	41,51	0,08	173,84
Salida	41,66	50	178,87

Tabla 10: Condiciones en la bomba (Elaboración propia)

Se considera que el rendimiento de la bomba es de un 90%, por lo que finalmente el trabajo requerido en la bomba será:

$$W_{bomba} = 6,15 kW$$

### 5.7.3 La caldera de recuperación de calor

La caldera de recuperación consiste en un intercambiador de calor compuesto por dos ciclos independientes, es decir, que no se mezclan en ningún momento del ciclo. Por un lado, se encuentra el gas de síntesis, que reducirá su temperatura para ceder su calor al otro ciclo: el circuito de agua del ciclo Rankine. Gracias a este calor, el agua del ciclo de Rankine aumentará su temperatura y cambiará de estado líquido a vapor de agua.

Al entrar en la caldera, el gas de síntesis se encuentra a una temperatura aproximada de 1000°C, y al pasar por la caldera su temperatura se reduce aproximada a 500°C-600°C, por lo que se tomará un valor medio de 550°C. El calor cedido se calcula de la siguiente manera:

$$Q = m \times C_p \times \Delta T,$$

en la que consideraremos el gasto másico serán los kg/h de residuos tratados en la planta y el calor específico considerado será el del monóxido de carbono ya que supone un 77% de la composición del gas a la salida de la vasija.

$$\begin{aligned} Q = m \times C_p \times \Delta T &= \left( 576000 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \right) \times 1,04 \frac{\text{KJ}}{\text{kg} \times \text{K}} \times (1273 - 823) \text{K} = \\ &= 11232 \frac{\text{MJ}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \times \frac{1000000 \text{ J}}{1 \text{ MJ}} = 3,12 \text{ MW} \end{aligned}$$

Se considera que el rendimiento de la caldera de recuperación de calor es del 90% (valor típico para este tipo de equipos), por lo que el calor intercambiado en la caldera será:

$$Q = 3,12 \times 0,9 = 2,8 \text{ MW}$$

Suponiendo que la salida del agua de la cámara se produce a 550°C y que la presión de trabajo de la caldera es de 50 bar, con el diagrama de Mollier del agua se haya la entalpía del agua a la salida de la caldera, siendo esta 3550 kJ/kg.

Punto	Temperatura (°C)	Presión (bar)	Entalpía (kJ/kg)
Entrada	41,66	50	178,87
Salida	550	50	3550

Tabla 11: Condiciones en la caldera de recuperación (Elaboración propia)

### 5.7.4 La turbina

En la turbina se produce la generación de electricidad aprovechando el vapor salido de la cámara de recuperación de calor. Esta electricidad se empleará para la alimentación de la bomba del propio ciclo Rankine y en otras fases del proceso de gasificación por plasma. El agua pasa de vapor sobrecalentado a vapor saturado, que entrará de nuevo al condensador.

Punto	Temperatura (°C)	Presión (bar)	Entalpía (kJ/kg)
Entrada	550	50	3550
Salida	41,51	0,08	2576,2

Tabla 12: Condiciones en la turbina (Elaboración propia)

El trabajo que se produce en la turbina se puede calcular de la siguiente manera:

$$W_{turbina} = \dot{m} \times (h_e - h_s) = 1071,18 \text{ kW}$$

Si se considera que el rendimiento mecánico de la turbina es un 90%:

$$W_{turbina} = 1071,18 \times 0,9 = 964 \text{ kW}$$

### 5.7.5 Rendimiento y potencia total del ciclo

Se calcula el rendimiento del ciclo como:

$$\eta_{ciclo} = \frac{W_{NETO}}{Q_{APORT}} = \frac{W_{TURB} - W_{BOMBA}}{Q_{CALDERA}} = \frac{964 - 6,15}{2808} = 0,3411$$

Por lo tanto, se cuenta con un rendimiento del ciclo de Rankine de un 34,11%, lo cual es razonable teniendo en cuenta que se trata del aprovechamiento del calor del syngas.

El ciclo de Rankine cumplirá dos objetivos: reducir la temperatura del gas de síntesis que sale de la vasija y la generación de energía para alimentación de otros procesos. La energía producida anualmente por el ciclo Rankine se calcula de la siguiente manera:

$$E_{ciclo} = 957,85 \text{ kW} \times 335 \text{ días} \times \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} = 7701 \text{ MWh}$$

La energía producida por el ciclo será empleada en el suministro eléctrico de la microrred y para el consumo de la propia planta de gasificación.

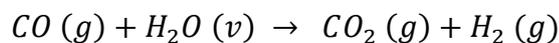
### 5.7.6: Reacción Shift para la producción de hidrógeno

El gas de síntesis se trata en una reacción Shift con el fin de aumentar el contenido de hidrógeno del syngas. La composición del gas antes de la reacción Shift, como se ha mostrado anteriormente, es la siguiente:

COMPOSICIÓN DEL SYNGAS LIMPIO	
%CO	77,6
%CO <sub>2</sub>	6,67
%H <sub>2</sub>	4,46
%N <sub>2</sub>	7,11
%H <sub>2</sub> S	0,00
%Ar	1,22
%H <sub>2</sub> O	2,93
%CH <sub>4</sub>	0,01

Tabla 13: Composición del gas de síntesis antes de la reacción Shift. (Fuente: Valenciano, 2015)

La reacción Shift transforma el monóxido de carbono en hidrógeno y CO<sub>2</sub> con la adición de agua de la siguiente manera:



Se calcula la cantidad de hidrógeno obtenida de la reacción Shift de la siguiente manera:

$$\dot{m}_{H_2} = \dot{m}_{CO} \times \frac{MM_{H_2}}{MM_{CO}} = 0,776 \times 24000 \frac{kg}{h} \times \frac{2}{28} = 1130,29 \text{ kg/h}$$

Por lo tanto, el gasto másico total de hidrógeno será el obtenido por la reacción Shift más el que ya había inicialmente en la composición del gas de síntesis:

$$\dot{m}_{TOTALH_2} = 0,0446 \times 24000 \frac{kg}{h} + 1130,29 \frac{kg}{h} = 2248,69 \text{ kg/h}$$

El rendimiento final de obtención de hidrógeno se calcula como la cantidad de hidrógeno obtenido a partir de la cantidad total de gas de síntesis producido:

$$\frac{\dot{m}_{TOTALH_2}}{\dot{m}_{SYNGAS}} = \frac{2248,69}{24000} = 0,0937$$

Se obtiene un rendimiento de producción de hidrógeno del 9,37%.

## 5.8 El almacenamiento del hidrógeno

Existen distintas alternativas para el almacenamiento del hidrógeno, que se pueden clasificar según el estado en el que se almacena el hidrógeno:

- Almacenamiento en forma gaseosa: la obtención del hidrógeno por lo general se produce en forma de gas, por lo que a primera instancia parece una ventaja poder almacenarlo en este mismo estado. Sin embargo, se trata de una forma de almacenamiento poco competitiva. Esto se debe a la baja densidad del hidrógeno y al alto coste de los tanques a presión para el almacenamiento. Además, el coste por unidad de energía es alto y el almacenamiento del hidrógeno gaseoso comprimido es voluminoso.
- Almacenamiento en forma líquida (criogenización): este método de almacenamiento, también conocido como criogenización, se relaciona directamente con la aplicación de los materiales a temperaturas muy bajas. Se logra la criogenización en recipientes aislados por vacío para mantener temperaturas bajas. La temperatura de criogenización del hidrógeno es  $-253^\circ\text{C}$ , es decir, 20 K, cercano al cero absoluto. La complejidad de mantener esa temperatura

y el alto coste de los tanques de almacenamiento al vacío hace que se descarte este almacenamiento en muchas aplicaciones.

- Almacenamiento en forma sólida (hidruros metálicos): existen tres grupos de hidruros para el almacenamiento de hidrógeno:  $AB$  (menor coste),  $A_2B$  (más ligeros) y  $AB_5$  (poca histéresis, tolerancia a impurezas y fácil hidrogenación). Inicialmente el metal se encuentra libre de hidrógeno y mediante un aumento de temperatura se consigue que la fase alfa se convierta en fase hidruro. Para la liberación posterior del hidrógeno es necesaria la aplicación de calor, que en este caso será suficiente el calor liberado en la pila de combustible.

Tras el análisis de las tres alternativas de almacenamiento, para la aplicación en este estudio se escoge el almacenamiento en hidruros metálicos, ya que ofrece una seguridad mayor y menor volumen de almacenamiento necesario.

Como sistema de almacenamiento se escogen tanques de almacenamiento de hidrógeno de la empresa *LabTech LTD*, en concreto el modelo *HBond – 7000L*, que posee una capacidad de almacenamiento de hasta 46 kg. [24]



Figura 28: Tanque de almacenamiento HBond - 7000L de LabTech LTD (Fuente: LabTech)

## 5.9 Pilas de combustible

Una vez realizada la gasificación por plasma de los residuos y obtenido el hidrógeno a partir de ellos de la reacción Shift, se almacena en hidruros metálicos, como se ha comentado anteriormente. Para hacer un uso inmediato de la energía aportada por el hidrógeno, la mejor alternativa son las pilas de combustible.

Respecto a otras formas de generación que se han analizado anteriormente (como por ejemplo los motores y generadores de combustión interna), las pilas de combustible poseen la ventaja de no necesitar un arranque previo y poder aportar energía inmediata a la microrred.

### 5.9.1 Funcionamiento de las pilas de combustible

Las pilas de combustible funcionan en ausencia de combustión. El principio de funcionamiento de las pilas se basa en la transformación electrolítica, es decir, la conversión directa de energía química en energía eléctrica.

La pila de combustible está compuesta por los siguientes componentes:

- Electrodos: ánodo y cátodo, donde se reduce el hidrógeno en protones  $H^+$  y donde reaccionan los protones  $H^+$  y  $O_2$ , respectivamente.
- Electrolito: hace de separación para los gases, permitiendo el paso de los iones  $H^+$  al cátodo y separando los  $e^-$ . Se trata de un elemento importante, ya que debe permitir únicamente el paso de los iones apropiados e impedir el paso de otro tipo de sustancias o electrones libres.
- Placas bipolares: evacúan agua, canalizan los gases y separan las distintas celdas.

La siguiente figura representa de manera esquemática el funcionamiento de la pila de combustión:

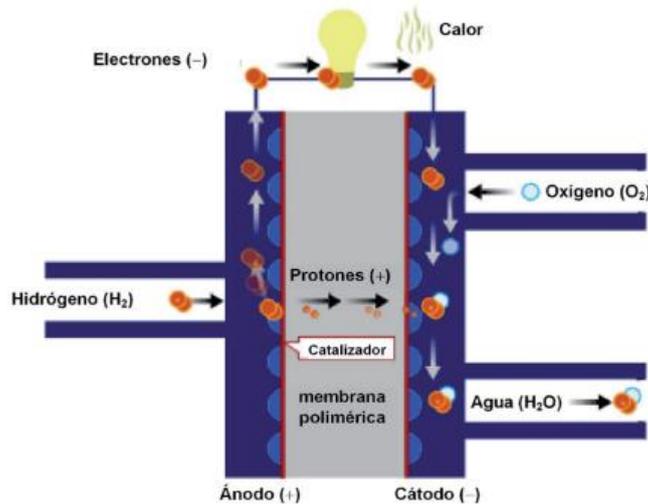
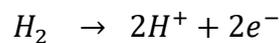


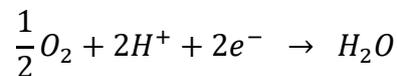
Figura 29: Pila de combustible (Fuente: Año Internacional de la Energía Sostenible para todos)

Para la generación de electricidad, en cada uno de los electrolitos tienen lugar distintas reacciones químicas. En el ánodo tiene lugar la siguiente reacción:

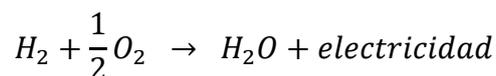


Según esta reacción, en el ánodo los átomos de hidrógeno ceden sus electrones, y el hidrógeno queda ionizado. Por otra parte, los átomos con carga negativa generan una corriente eléctrica.

A su vez, en el cátodo tiene lugar una reacción entre los iones positivos del hidrógeno, el oxígeno que entra por el cátodo y los electrones negativos que abandonan el circuito eléctrico:



La combinación de ambas reacciones producidas en el ánodo y el cátodo respectivamente dan lugar a la siguiente reacción:



La transformación electrolítica que ocurre en la pila de combustible no está sujeta al ciclo de Carnot, por lo que permite alcanzar rendimientos de entre un 40% e 50% en la práctica, sin embargo, teóricamente pueden llegar a ser mayores. El rendimiento de la pila de combustible se puede calcular con la ecuación de Nernst:

$$E = E_0 + R \times T \times \ln \frac{MM_{H_2} + MM_{O_2}}{MM_{H_2O}} ,$$

con:

- $E_0 = 1,229V$  , el potencial estándar
- $T$  = temperatura absoluta en grados Kelvin
- $F = 96,48 \frac{J}{v \times mol}$  , la constante de Faraday
- $R = 8,31 \frac{J}{mol \times K}$  , l constante de los gases

La temperatura tiene un gran papel en el rendimiento de las pilas de combustible ya que, si se observa con detenimiento la ecuación del rendimiento, todos los términos son constantes menos la temperatura.

### 5.9.2 Tipos de pilas de combustible

Las pilas de combustible se suelen clasificar según el tipo de electrolito que empleen. Existen las pilas de baja temperatura como las alcalinas y las de polímeros (PEM, entre las que se encuentran la de metanol; las de media temperatura, que son las de ácido fosfórico; y las de alta temperatura: las pilas de carbonatos fundidos y óxidos sólidos.

	AFC	PEM	SOFC	DMFC	MCFC	PAFC
Nombre	Alcalina	Membrana de intercambio Protónico	Óxidos Sólidos	Metanol Directo	Carbonatos Fundidos	Acido Fosfórico
Carga	OH <sup>-</sup>	H <sup>+</sup>	O <sup>2-</sup>	H <sup>+</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	H <sup>+</sup>
Temperaturas	90-100°C	50-120 °C	700-1000°C	50-100 °C	600-700°C	150-200°C
Eficiencias	60-70%	60%	60%	40%	45-50%	40%
Electrolito	KOH disuelto en Agua	Membrana de polímeros	Óxidos Sólidos	Membrana de polímeros	Carbonatos fundidos	Acido Fosfórico
Combustible	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub>	Metanol	H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>

Figura 30: Tipos de pilas de combustible. (Fuente: ARIEMA)

A continuación se va a disponer a analizar cada uno de los tipos de pilas de combustible, de manera que tras el análisis se pueda elegir la pila más apropiada para este proyecto.

- a) Pila alcalina (AFC: Alkaline Fuel Cell): se trata de una pila que emplea hidróxido de potasio como electrolito. El hidróxido de potasio se concentra el 35-50% para temperaturas de operar a temperaturas menores a 120°C, pudiendo elevar la concentración del electrolito hasta un 85% para poder operar hasta una temperatura de 250°C. Al ser el hidróxido de potasio un líquido, es necesaria la presencia de una matriz que lo contenga. Este tipo de pilas están muy desarrolladas (la primera descripción de su funcionamiento data de 1902) y han sido empleadas en diferentes campos, como en dispositivos espaciales.
- b) Pila de combustible polimérica (PEM: Proton Exchange Fuel Cell): en esta pila se emplea como electrolito una membrana polimérica basada en ácidos sulfónicos perfluorados. Esta membrana debe mantenerse hidratada permanentemente durante la operación para favorecer el flujo de electrones, lo que hace que la temperatura de operación esté limitada a 100°C. Esta condición de temperatura es crítica para la eficiencia. El primer hito de este tipo de pilas se produjo en 1962 cuando General Electric desarrolló el primer electrolito de membrana polimérica.
- c) Pila de combustible de ácido fosfórico (PAFC: Phosphoric Acid Fuel Cell): en estas pilas una matriz de carburo de silicio retiene el ácido fosfórico concentrado que hace de electrolito. La temperatura de operación se encuentra entre los 150°C y 250°C. Junto con la pila alcalina, las PAFC tienen un alto nivel de desarrollo, estando presente en un amplio abanico de aplicaciones en fase de demostración. Su tolerancia a contaminantes durante el proceso es muy superior al resto de pilas de baja temperatura.
- d) Pila de combustible de carbonatos fundidos (MCFC: Molten Carbonate Fuel Cell): como electrolito se emplea una sal fundida de carbonatos alcalinos (litio, sodio y potasio), contenidos en una matriz de aluminato de litio. Se trata de una pila de operación a alta temperatura (superior a 650°C), que mejora su rendimiento al trabajar a presión. El desarrollo de estas pilas está muy avanzado, estando muy próximas a la comercialización, siendo empleadas en distintas aplicaciones estacionarias con aprovechamiento del calor residual.
- e) Pila de combustible de óxidos sólidos (SOFC: Solid Oxide Fuel Cell): se usa un óxido metálico no poroso que sea buen conductor como electrolito (comúnmente óxido de zirconio estabilizado con óxido de ytrio). Se trata de nuevo de una pila que opera a altas temperaturas, en torno a los 900°C y 1000°C. Permite unas condiciones de trabajo a mayor densidad de corriente y mostrar problemas de corrosión, lo que la hace ser la más prometedora de las pilas de combustible de alta temperatura. Actualmente se está investigando el uso de otros materiales, basados en los óxidos lantánidos, que proporcionen alta conductividad iónica a menores temperaturas (600°C a 800°C).

Si se analiza con detenimiento la pila de combustible necesaria para la implantación en este proyecto, se llega a la conclusión de que la pila seleccionada ha de cumplir una serie de requisitos que se exponen a continuación. En primer lugar, ha de ser una pila de combustible que sea permisiva frente a las impurezas en el hidrógeno, ya que el gas de síntesis proviene de la reacción Shift, de la que es posible que el hidrógeno obtenido no sea puro en su totalidad y contenga restos de impurezas. Por otro lado, debe ser válida para aplicaciones estacionarias, es decir, capaz de generar energía eléctrica y calor en la cercanía del punto de consumo. Además, debe tener capacidad de potencia elevada (ya que se ha de satisfacer la demanda de 50MW de potencia media), una vida útil lo mayor posible, un rendimiento aceptable y que sea competitiva a nivel económico.

Teniendo en cuenta estas condiciones de operación, se escoge la pila de combustible polimérica. Esta elección se debe a que proporciona un arranque rápido al encontrarse su temperatura de trabajo alrededor de los 80°C, una condición imprescindible para este proyecto, que ha llevado a descartar otras tecnologías.

Se selecciona, pues, la solución de *Hydrogenics* de una plataforma de generación de pilas de combustible PEM, cuya capacidad de generación es de 1MW. La plataforma de generación está basada en pilas de combustible de hidrógeno *HyPM<sup>TM</sup> HD30* de la misma compañía *Hydrogenics*. Existe una posibilidad similar de la empresa *Ballard*, pero la eficiencia y el gasto másico de hidrógeno de esta alternativa son menores que para la pila seleccionada.

Las especificaciones de esta pila se encuentran en los anexos.



Figura 31: Pila de combustible HyPM HD30 de Hydrogenics (Fuente: Hydrogenics)

### 5.9.3 Energía proporcionada por las pilas

De acuerdo con las especificaciones del fabricante de la pila seleccionada, cada pila tiene potencia de 1MW, eficiencia de un 49% y un gasto másico de hidrógeno de  $780 \text{ m}^3/\text{h}$ . Este dato, junto con la densidad del hidrógeno, se puede transformar de la siguiente manera:

$$780 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 0,0899 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 70,122 \text{ kg/h}$$

Al haberse estimado en este proyecto la demanda máxima en Ciudad Real como 75MW, se requerirán 75 pilas de combustible como las seleccionadas de 1 MW, lo que supone un gasto másico total:

$$70,122 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 75 \text{ pilas} = 5259,15 \text{ kg/h}$$

Teniendo en cuenta que el rendimiento de cada pila es de un 49%, el gasto másico necesario es:

$$5259,15 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times \frac{1}{0,49} = 10732,96 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Con el dato de la capacidad de almacenamiento de los tanques, se puede calcular el número de tanques que será necesario para almacenar esa cantidad de hidrógeno:

$$N^{\circ} \text{ tanques} = \frac{10732,96 \text{ kg/h}}{46 \text{ kg}} \times 1\text{h} \approx 234 \text{ tanques}$$

Con 234 tanques de hidrógeno y 75 pilas sería suficiente para abastecer los 75MW de demanda máxima estimada de Ciudad Real.

## Capítulo 6: Configuración de la microrred

### 6.1 Introducción

El propósito de este apartado es realizar distintos estudios con el fin de configurar la gestión de la microrred inteligente y establecer la generación necesaria que debe aportar la planta de gasificación objeto de este estudio.

Como no se dispone de la demanda anual desglosada de Ciudad Real, el estudio para la configuración de la microrred se considerará la demanda más desfavorable, es decir, demanda máxima constante durante todo el año.

Para cubrir esta demanda se incluirán en la microrred las fuentes de energía renovable no gestionable disponibles en los alrededores de Ciudad Real (analizadas en apartados anteriores) y la planta de gasificación por plasma. Se dará prioridad a la generación de las fuentes de energía no gestionables, de manera que se aproveche la energía proporcionada por estas fuentes al no ser gestionables y no poder decidir cuándo generan. En los casos en los que sea necesario, la planta de gasificación por plasma suministrará potencia extra para cubrir la demanda energética.

Como la potencia instalada de las energías no gestionables es 1165MW, superior a los 75MW de demanda máxima, se conectará la microrred a la red general. De esta forma se desaprovecha la energía producida en condiciones de generación favorables en las que la potencia generada por las energías no gestionables sea mayor que la demanda.

Para efectuar el estudio de la configuración de la microrred, se han tomado los datos anuales de generación eólica y solar por horas a nivel peninsular. Se ha realizado la media de generación peninsular por cada hora para cada una de las dos tecnologías y se le ha aplicado un factor para estimar los datos de Ciudad Real. Como no se dispone de la potencia generada eólica ni solar a nivel provincial en España, pero sí los datos de potencia instalada a nivel provincial, se utilizará el factor de potencia instalada en Ciudad Real frente a la instalada a nivel peninsular. Se verifica a continuación la fiabilidad de este factor, aceptándose errores menores al 10%.

Para la energía eólica, se ha calculado la proporción de la potencia instalada a nivel peninsular frente a la potencia instalada en Castilla-La Mancha; y se ha comparado con la proporción de energía eólica generada en 2020 a nivel peninsular frente a la potencia

eólica generada en la comunidad autónoma en 2020. Se trabaja con datos obtenidos de REE (*Red Eléctrica de España*):

$$\frac{\textit{Eólica instalada Castilla – La Mancha}}{\textit{Eólica instalada península}} = \frac{3848 \text{ MW}}{27485 \text{ MW}} = 0,14 \approx 0,13 =$$
$$= \frac{7165 \text{ GWh}}{54899 \text{ GWh}} = \frac{\textit{Eólica generada Castilla – La Mancha}}{\textit{Eólica generada península}}$$

Se obtiene para la energía eólica un error en el factor menor al 10%, por lo que se acepta este factor de conversión como aplicable.

Respecto a la energía solar, se ha seguido el mismo procedimiento que con la energía eólica:

$$\frac{\textit{Solar instalada Castilla – La Mancha}}{\textit{Solar instalada península}} = \frac{1939 \text{ MW}}{11714 \text{ MW}} = 0,17 \approx 0,2 =$$
$$= \frac{3081 \text{ GWh}}{15289 \text{ GWh}} = \frac{\textit{Solar generada Castilla – La Mancha}}{\textit{Solar generada península}}$$

En el caso de la energía solar, se obtiene un error del 15%, que a priori no se aceptaría. Sin embargo, el valor del cociente de potencia instalada es menor que el de el de generada, y cómo se va a emplear este primer cociente para el cálculo, se acepta ya que sería ponerse en una situación peor de generación.

Se concluye que la proporción de potencia instalada en Ciudad Real frente a la potencia instalada en Castilla-La Mancha es aplicable, gracias a la comprobación de similitud que se ha realizado.

Por lo tanto, se transformarán los datos de la generación eólica y solar por horas a nivel peninsular para obtener los datos de generación de Ciudad Real con el factor de potencia instalada, y se procederá al análisis de distintos casos a continuación.

## 6.2 Disponibilidad total de energía no gestionable

Este caso se trata de las condiciones que se han mencionado en la introducción de este capítulo, en el que las condiciones para la generación no gestionable son las más favorables. Se comparan en la siguiente figura la generación por horas de cada una de las fuentes de energía no gestionable (eólica y solar) y la demanda de Ciudad Real:

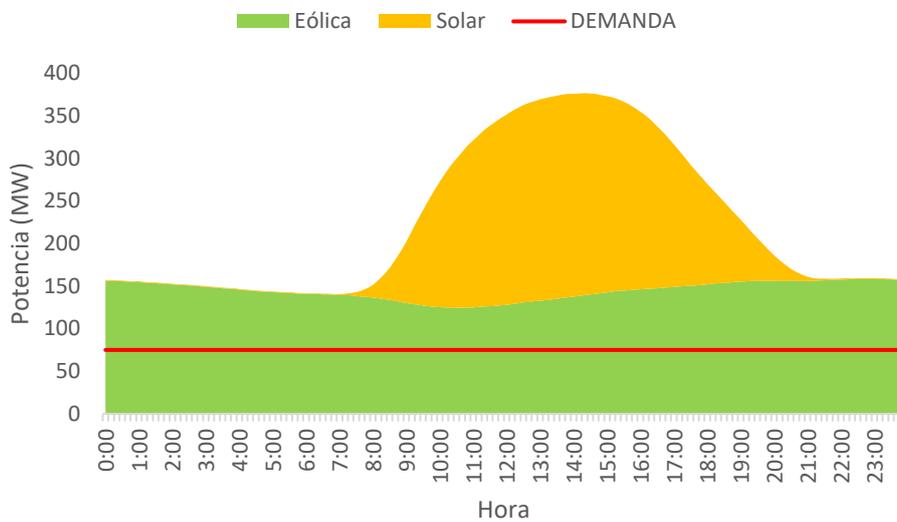


Figura 32: Generación con totalidad de energía no gestionable disponible (Elaboración propia)

Como se puede comprobar en la figura, la demanda se cubre completamente con la generación de energía eólica y fotovoltaica, es decir, con la energía no gestionable (incluso quedaría cubierta únicamente con la energía eólica). De esta manera toda la producción de hidrógeno, de los días en los que la generación no gestionable sea suficiente, podrá ser almacenada para situaciones de necesidad posterior.

En la planta de gasificación se producen por hora 2248,69 kg de hidrógeno, lo que supone en un día:

$$2248,69 \frac{\text{kg } H_2}{h} \times 24 \text{ horas} = 53968,56 \text{ kg } H_2/\text{día}$$

Este hidrógeno se almacena en los tanques seleccionados anteriormente para poder disponer de ellos en un futuro. Se necesitan:

$$\frac{53968,56 \text{ kg } H_2}{46 \frac{\text{kg}}{\text{tanque}}} = 1174 \text{ tanques}$$

Dado que no se disponen de tantos tanques, se llenarán los 234 tanques de hidrógeno para futuro uso. Sin embargo, hidrógeno ahorrado en 24h sería suficiente para llenar 5 veces los tanques de hidrógeno disponibles.

En este caso, se dará prioridad a la generación de energía solar frente a la fotovoltaica, ya que en Ciudad Real predomina este tipo de energía y las condiciones de sol son más favorables que las de viento en esta zona. El reparto de generación para cubrir la demanda es el siguiente:

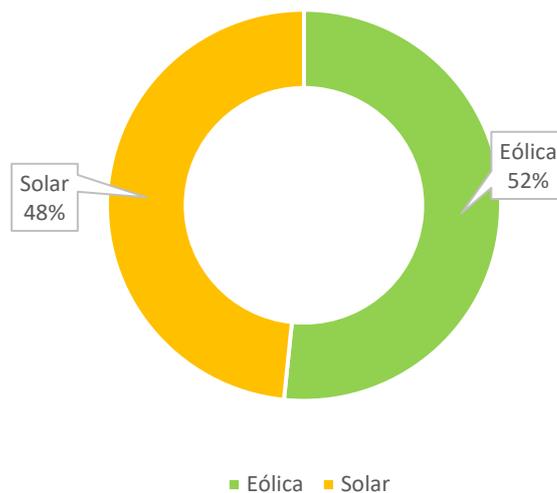


Figura 33: Reparto de generación con totalidad de energía no gestionable disponible (Elaboración propia)

### 6.3 Ausencia de generación de energía solar

En este apartado se pretende analizar la generación necesaria en el caso extremo en el que la generación solar fotovoltaica sea nula las 24h del día. Se expone la situación en la siguiente figura:

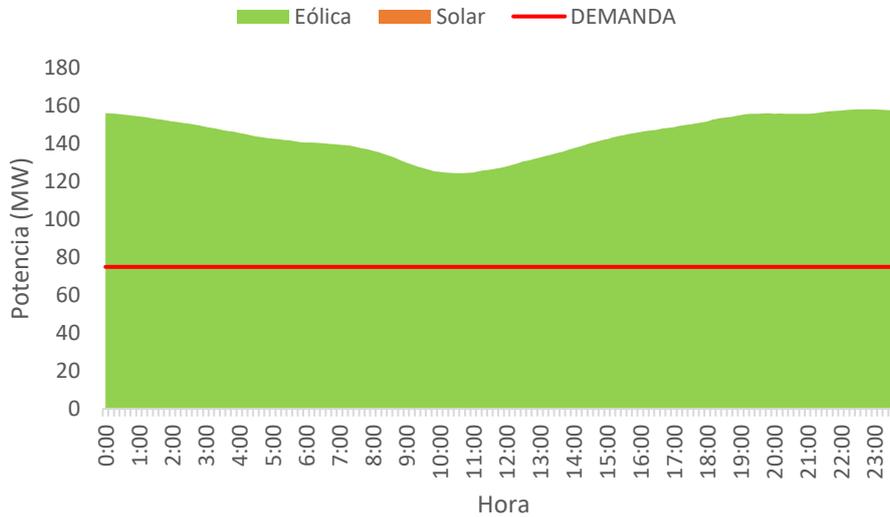


Figura 34: Generación en ausencia de energía solar (Elaboración propia)

Como se puede ver en la figura, la energía eólica es capaz de cubrir la demanda totalmente, sin necesidad de aporte de energía por parte de las pilas de combustible. Por lo tanto, en el caso de ausencia de energía solar, se podrá almacenar el hidrógeno producido por la planta de gasificación, al igual que ocurría en el caso anterior.

### 6.4 Ausencia de generación de energía eólica

En este apartado se analizará la generación para el caso más desfavorable de energía eólica: la ausencia total de generación eólica durante las 24 horas del día.

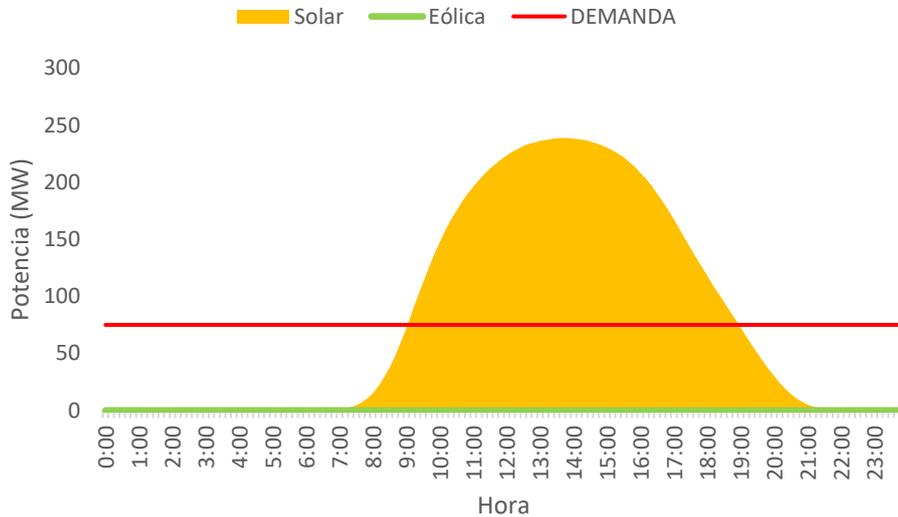


Figura 35: Generación en ausencia de energía eólica (Elaboración propia)

La energía solar aporta 870,74 MW de generación, por lo tanto, el resto (929,26 MW) tendrá que ser aportado por las pilas de combustible o por la red durante las 14 horas que no alcanza la generación para abastecer la demanda.

Se ha dimensionado el almacenamiento de hidrógeno para cubrir la demanda máxima de 75MW durante una hora, para lo que serían necesarios 10732,96 kg/h de flujo de hidrógeno. La planta proporciona 2248,69 kg/h de hidrógeno, por lo que se puede producir de manera continua 15,71 MW cada hora, si no hay hidrogeno previamente almacenado, lo cual es poco habitual. Las pilas proporcionarán estos 15,71MW cada hora durante las 14 horas que no se satisface la demanda, y la potencia restante (712 MW) será suministrada por la red.

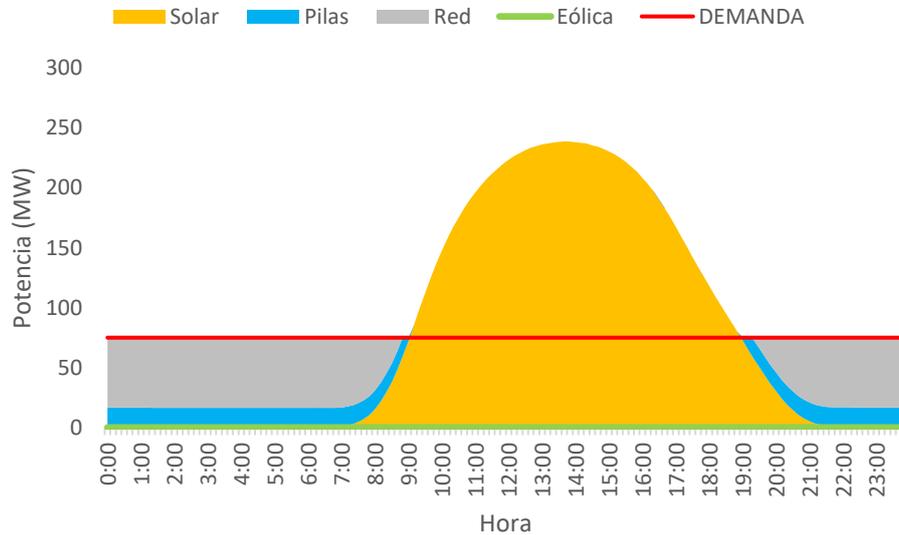


Figura 36: Generación en ausencia de eólica, con generación de las pilas de hidrógeno y aporte de la red (Elaboración propia)

Como se puede apreciar en la figura siguiente en la que se representa el reparto de generación en ausencia total de generación de energía eólica, la red aporta en este caso el 40% de la potencia. Se debe tener en cuenta que, aunque aparente ser un porcentaje muy alto, esta situación será muy poco frecuente, se dará en ocasiones muy contadas. Esto se debe a que normalmente la ausencia de eólica no se da de forma continua durante un día entero, sino que ocurre durante intervalos horarios. Además, al estar los parques de generación eólica repartidos por los alrededores se suele dar la situación en la que algunos se encuentren generando y otros no, pero rara vez todos estarán fuera de funcionamiento.

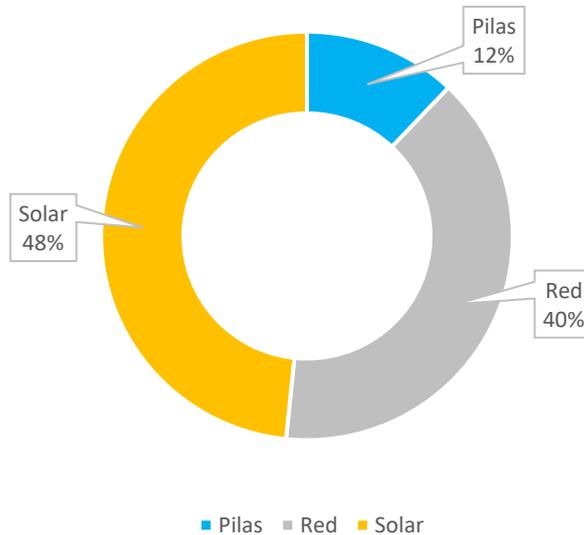


Figura 37: Reparto de generación en ausencia total de generación eólica (Elaboración propia)

Al tratarse este caso de ausencia de producción eólica del caso más desfavorable se puede concluir que, en el peor de los casos, la red deberá aportar el 40% de la potencia generada para cubrir la peor de las situaciones de demanda (demanda máxima durante las 24 horas del día). Por lo tanto, se puede concluir que la dependencia de la red estará por debajo del 40%.

## 6.5 Análisis de la configuración de la microrred

En funcionamiento favorable de las tecnologías de producción de energía renovable no gestionable, la producción de energía de las pilas de hidrógeno no llegaría a alcanzar el funcionamiento establecido para su valor nominal dimensionado. El hidrógeno sobrante de la planta de gasificación podría tener salida con distintas aplicaciones químicas, o podría ser implementable en otros sectores de la industria como en el creciente sector de la movilidad con hidrógeno.

A pesar de que en algunas situaciones no sea necesaria el aporte de potencia por parte de las pilas de hidrógeno, estas situaciones pueden ser engañosas ya que dependen de una

energía no gestionable. Estas energías no son previsibles y no el ser humano no tiene influencia en la producción energética de estas formas de energía.

La energía solar no se encuentra disponible las 24 horas diarias como se ha estudiado en la climatología de Ciudad Real, que cuenta en 2020 con 2910,6 horas totales de sol de las 8760 horas del año. Esto supone una probabilidad de funcionamiento del 33%.

En el caso de la energía eólica ocurre algo parecido, depende de la aleatoriedad del viento. Si se observa la figura expuesta a continuación, se puede ver cómo la zona de la provincia de Ciudad Real tiene un viento medio de entre 4 m/s y 5,5 m/s a 80 metros de altura, siendo de las zonas menos idóneas para la energía eólica de la provincia. No se puede concluir que la energía eólica sea una fuente de energía fiable; siendo su disponibilidad y probabilidad de producción bajas.

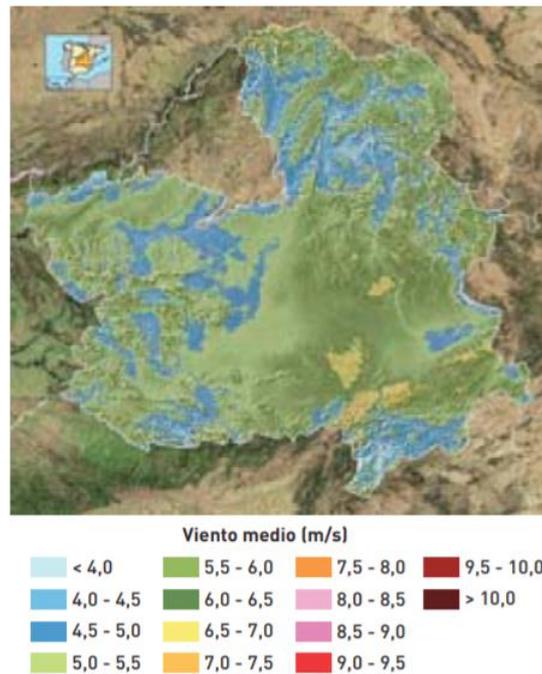


Figura 38: Viento medio a 80m en Castilla-La Mancha en 2020 (Fuente. IDAE)

Dada la baja disponibilidad de las fuentes de energía renovables no gestionables, se refuerza la necesidad de la implantación del sistema de reserva proporcionado por la planta de gasificación a través de las pilas de combustible. Además, se ha visto que la dependencia energética en el caso más desfavorable es de un 40%, por lo que por lo

general será menor que ese valor, ya que la ausencia total de energía eólica las 24 horas del día es una situación poco frecuente.

La instalación de la planta de gasificación proporciona un sistema de reserva a la microrred, haciéndola menos dependiente de la red, reduciendo los costes y las pérdidas energéticas de transporte. Además, proporciona una salida de aprovechamiento energético a la biomasa que actualmente no está siendo aprovechada en esta provincia de España.

### **6.5.1 Alternativa de residuos**

Los datos obtenidos de los residuos disponibles en la provincia de Ciudad Real han sido proporcionados directamente por la Dirección General de Economía Circular de la Junta de Castilla-La Mancha. Entre estos datos no se encuentran la cantidad de residuos que no se aprovechan o no se recogen anualmente de distintas fuentes como pueden ser los incendios forestales, las talas de las distintas agriculturas, matorrales, etc. El total de los datos obtenidos de residuos suma de 201368,577 toneladas de residuos anuales.

Sin embargo, también se pueden obtener los datos de los residuos biomásicos disponibles en los alrededores de Ciudad Real a través de la plataforma BIORAISE. Esta plataforma, creada por CIEMAT, el Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas, a través de su unidad de biomasa CEDER-CIEMAT. Esta plataforma es la que se usó para el dimensionamiento y la estimación de los residuos disponibles cuando se instaló la planta de gasificación de biomasa “Biollano” en Puertollano.

Las cifras obtenidas a través de esta plataforma ascienden a 784748 toneladas de residuos al año. Esto supone casi 4 veces más residuos que los datos empleados para el dimensionamiento de la planta objeto de este estudio.

Procediendo a la gestión de la microrred con estos datos obtenidos a través de BIORAISE, se obtendría la siguiente distribución de generación en el caso más desfavorable (ausencia de eólica):

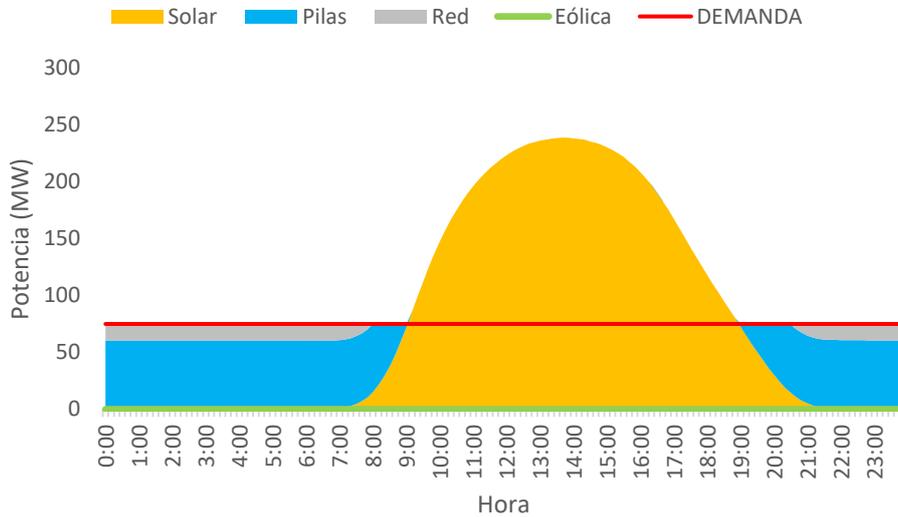


Figura 39: Generación en ausencia de eólica usando los datos de BIORAISE (Elaboración propia)

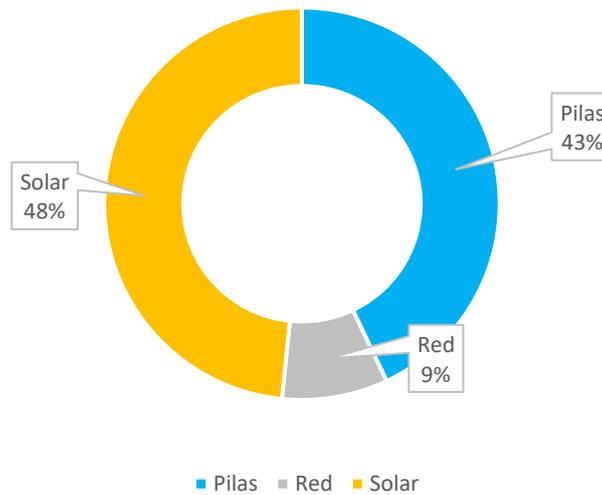


Figura 40: Reparto de generación en ausencia de eólica usando los datos de BIORAISE (Elaboración propia)

Con esta nueva cifra de residuos, la planta de gasificación produciría casi 4 veces más hidrógeno por hora, lo que supone una capacidad de producción de 59,7 MW cada hora por parte de las pilas de hidrógeno en el peor de los casos (cuando no hay hidrógeno almacenado en los tanques y se emplea directamente el extraído de la planta de gasificación en las pilas).

Como se observa en las figuras, esta nueva capacidad de generación supone la dependencia de tan sólo un 9% de la red en el caso más desfavorable.

Para una hipotética futura implantación de la planta de gasificación por plasma en Ciudad Real, será interesante verificar los datos proporcionados por la plataforma BIORAISE, ya que supone una gran diferencia respecto a los cálculos realizados con los datos anteriores. Aunque tal vez no se llegue a la cifra tan alta de casi 800000 toneladas de residuos anuales, los datos y la cantidad de superficie dedicada al sector agrícola, ganadero y forestal en Ciudad Real y la cantidad de residuos que se desaprovechan y no quedan registrados en esos sectores hace pensar que alcanzar esa cifra de residuos no es un hecho ficticio, sino que puede ser una realidad si se aprovechen al máximo los residuos biomásicos de la zona.

Aunque CIEMAT se trata de una fuente de investigación fiable y la plataforma BIORAISE es propiedad de este centro, se ha realizado este estudio con los datos oficiales registrados proporcionados por instituciones gubernamentales, asegurándose así la fiabilidad del dimensionamiento de la planta.

## **Capítulo 7: Conclusiones energéticas y alineación con los ODS**

Una vez se ha estudiado la implantación de la microrred en Ciudad Real, se puede concluir que se trata de un proyecto viable técnicamente. Además, proporciona una solución al desaprovechamiento actual de la biomasa generada en España, y al problema de os vertederos convencionales.

Con la implantación de esta microrred, se logra el almacenamiento de los residuos en forma de hidrógeno, que podrá ser empleado en numerosas aplicaciones. Una de ellas es la generación de energía a través de pilas de combustible, ya sea para el suministro eléctrico como el caso de este estudio, o para el consumo de vehículos de hidrógeno. Las distintas formas de aprovechamiento energético que proporciona el hidrógeno están actualmente en desarrollo y en el futuro jugará un gran papel en el marco de la producción energética.

Por lo tanto, este estudio es una apuesta por la energía del futuro, un proyecto pionero que ofrece soluciones a los problemas planteados el comienzo de este mismo estudio. Ofrece una solución a la descentralización de la generación mediante la implantación de una microrred inteligente capacidad de lograr el autoabastecimiento energético, con una dependencia de la red reducida.

Además, este proyecto se alinea con distintos Objetivos de Desarrollo Sostenible propuestos por la ONU. El principal objetivo ligado a este estudio es el objetivo número 12: producción y consumo responsables. En este punto la ONU promueve el “hacer más con menos”, es decir, desligar la degradación ambiental del crecimiento económico y aumentar la eficiencia de los recursos. Precisamente ese es el objetivo principal de este proyecto, empleando para la producción energética los recursos biomásicos que actualmente se están desaprovechando.

Así mismo, el proyecto se puede ligar a los objetivos 7 (Energía asequible y no contaminante) y el número 13 (Acción por el clima). La gasificación por plasma se escoge como alternativa frente a los métodos de combustión y de tratamiento de los residuos, ofreciendo una alternativa más limpia, sin emisión de gases ni materias tóxicas y contribuyendo así a las dimensiones ambiental, social y económica (en la que se contribuye con el objetivo 12)

# **PARTE II: ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA**

# Capítulo 1: Estudio de las fuentes de generación

## 1.1 Introducción

El objetivo de este capítulo es el análisis económico de las fuentes de generación que componen la microrred. La microrred está compuesta por generación eólica, generación solar y la generación a través de la planta de gasificación por plasma instalada.

La energía solar y la eólica, al ser tecnologías ya instaladas y que simplemente se incluirán en la microrred para el abastecimiento energético de Ciudad Real, no se consideran en el estudio económico. Los gastos de explotación de estas tecnologías corren a cargo de las empresas distribuidoras, los costes de instalación son nulos ya que se aprovechan los recursos ya instalados en los alrededores y los gastos de operación y mantenimiento tampoco corren a cargo de la microrred, sino de la empresa distribuidora. Por lo tanto, no se tendrán en cuenta las tecnologías ya instaladas, sino sólo la tecnología que se va a implantar: la gasificación por plasma y las pilas de combustible.

Para el análisis económico se parte de las siguientes premisas:

- La inversión inicial se realizará de manera íntegra el primer año.
- La vida útil de las instalaciones se considera que son 30 años, este mismo periodo se considerará para las amortizaciones.

Se contratará una EPC para la construcción de la planta, de tal forma que sea la empresa contratista la responsable del diseño, los suministros necesarios y la construcción de la planta. Además, deberá asegurar la puesta en marcha y el funcionamiento de la planta de acuerdo con las especificaciones dadas previamente, así como la construcción bajo el plazo y el precio establecidos.

## 1.2 Inversión inicial (CAPEX)

La inversión inicial o CAPEX (Capital Expenditure) tiene en cuenta los gastos necesarios iniciales para la instalación y construcción de la planta, los equipos, infraestructura,

terreno y otros gastos que puedan surgir en esta primera etapa del proyecto. Esta inversión inicial será devuelta a lo largo de la vida útil de la planta.

En la siguiente tabla se recoge la estructura de los principales componentes de la inversión inicial necesaria para este proyecto:

<i>Tecnología</i>	<i>€/Tn-año</i>	<i>€/MWp</i>	<i>Producción (Tn)</i>	<i>MWp</i>	<i>CAPEX, €</i>
<i>Inv. en Gasificación y almacenamiento residuos</i>	430		201.000		86.430.000
<i>Inv. en Almacenamiento hidrógeno y pilas de combustible</i>		1.500.000		75	112.500.000
<i>Inv. Ciclo Rankine</i>		7.000.000		1	7.000.000
<b>TOTAL</b>					<b>205.930.000</b>

*Tabla 14: Costes de inversión inicial (elaboración propia)*

Como se puede ver en la tabla, se han estimado los costes de cada una de las tecnologías en: 430€/Tn de residuos para la parte de la planta de la gasificación y almacenamiento de residuos; 1500000 € por MWp de potencia de pilas de combustible; y 7000000 por MWp para el ciclo de Rankine. Se obtiene una inversión inicial total de 205.930.000 €. Esta inversión se amortizará anualmente a lo largo de los 30 años de vida útil de la planta.

### 1.3 Costes de operación (OPEX)

En este apartado se analizan los costes de operación u OPEX (Operational Expenditure) que tendrá la planta de gasificación por plasma junto con las pilas de combustible y el almacenamiento de hidrógeno. En primer lugar, se expone una tabla resumen de los costes que pueden surgir anualmente:

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

<b>OPEX/año</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>
Recepción de residuos (Tn)	201.000	201.000	201.000	201.000	201.000	201.000	201.000
Producción energía en ciclo Rankine (MWh)	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700
Producción de H (MWh)	137.620	137.620	137.620	137.620	137.620	137.620	137.620
FTE #, operarios	20	20	20	20	20	20	20
FTE #, jefes de planta	5	5	5	5	5	5	5
Factor de rotura de equipos	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
Factor de O&M	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
Mantenimiento equipos gasificación, €							
Productos químicos	301.500	301.500	301.500	301.500	301.500	301.500	301.500
Electrodos	361.800	361.800	361.800	361.800	361.800	361.800	361.800
Antorchas	361.800	361.800	361.800	361.800	361.800	361.800	361.800
Coste O&M ciclo Rankine, €	462.000	462.000	462.000	462.000	462.000	462.000	462.000
Coste O&M pilas combustible, €	1.651.435	1.651.435	1.651.435	1.651.435	1.651.435	1.651.435	1.651.435
Nóminas operarios, €	459.000	459.000	459.000	459.000	459.000	459.000	459.000
Nóminas jefes de planta, €	182.250	182.250	182.250	182.250	182.250	182.250	182.250
<b>TOTAL, €</b>	<b>3.779.785</b>						

Tabla 15: Costes de operación 1

**ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**

**GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

<b>OPEX/año</b>	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>	<b>Año 10</b>	<b>Año 11</b>	<b>Año 12</b>	<b>Año 13</b>	<b>Año 14</b>	<b>Año 15</b>
<i>Recepción de residuos (Tn)</i>	201.000	201.000	201.000	201.000	201.000	201.000	201.000	201.000
<i>Producción energía en ciclo Rankine (MWh)</i>	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700
<i>Producción de H (MWh)</i>	137.620	137.620	137.620	137.620	137.620	137.620	137.620	137.620
<i>FTE #, operarios</i>	20	20	20	20	20	20	20	20
<i>FTE #, jefes de planta</i>	5	5	5	5	5	5	5	5
<i>Factor de rotura de equipos</i>	30%	30%	30%	65%	65%	65%	65%	65%
<i>Factor de O&amp;M</i>	80%	80%	80%	90%	90%	90%	90%	90%
<i>Mantenimiento equipos gasificación, €</i>								
<i>  Productos químicos</i>	301.500	301.500	301.500	653.250	653.250	653.250	653.250	653.250
<i>  Electrodos</i>	361.800	361.800	361.800	783.900	783.900	783.900	783.900	783.900
<i>  Antorchas</i>	361.800	361.800	361.800	783.900	783.900	783.900	783.900	783.900
<i>Coste O&amp;M ciclo Rankine, €</i>	462.000	462.000	462.000	519.750	519.750	519.750	519.750	519.750
<i>Coste O&amp;M pilas combustible, €</i>	1.651.435	1.651.435	1.651.435	1.857.865	1.857.865	1.857.865	1.857.865	1.857.865
<i>Nóminas operarios, €</i>	459.000	459.000	459.000	459.000	459.000	459.000	459.000	459.000
<i>Nóminas jefes de planta, €</i>	182.250	182.250	182.250	182.250	182.250	182.250	182.250	182.250
<b>TOTAL, €</b>	<b>3.779.785</b>	<b>3.779.785</b>	<b>3.779.785</b>	<b>5.239.915</b>	<b>5.239.915</b>	<b>5.239.915</b>	<b>5.239.915</b>	<b>5.239.915</b>

*Tabla 16: Costes de operación 2*

**ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**

**GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

<b>OPEX/año</b>	<b>Año 16</b>	<b>Año 17</b>	<b>Año 18</b>	<b>Año 19</b>	<b>Año 20</b>	<b>Año 21</b>	<b>Año 22</b>	<b>Año 23</b>
<i>Recepción de residuos (Tn)</i>	201.000	201.000	201.000	201.000	201.000	201.000	201.000	201.000
<i>Producción energía en ciclo Rankine (MWh)</i>	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700
<i>Producción de H (MWh)</i>	137.620	137.620	137.620	137.620	137.620	137.620	137.620	137.620
<i>FTE #, operarios</i>	20	20	20	20	20	20	20	20
<i>FTE #, jefes de planta</i>	5	5	5	5	5	5	5	5
<i>Factor de rotura de equipos</i>	65%	65%	65%	65%	65%	100%	100%	100%
<i>Factor de O&amp;M</i>	90%	90%	90%	90%	90%	100%	100%	100%
<i>Mantenimiento equipos gasificación, €</i>								
<i>Productos químicos</i>	653.250	653.250	653.250	653.250	653.250	1.005.000	1.005.000	1.005.000
<i>Electrodos</i>	783.900	783.900	783.900	783.900	783.900	1.206.000	1.206.000	1.206.000
<i>Antorchas</i>	783.900	783.900	783.900	783.900	783.900	1.206.000	1.206.000	1.206.000
<i>Coste O&amp;M ciclo Rankine, €</i>	519.750	519.750	519.750	519.750	519.750	577.500	577.500	577.500
<i>Coste O&amp;M pilas combustible, €</i>	1.857.865	1.857.865	1.857.865	1.857.865	1.857.865	2.064.294	2.064.294	2.064.294
<i>Nóminas operarios, €</i>	459.000	459.000	459.000	459.000	459.000	459.000	459.000	459.000
<i>Nóminas jefes de planta, €</i>	182.250	182.250	182.250	182.250	182.250	182.250	182.250	182.250
<b>TOTAL, €</b>	<b>5.239.915</b>	<b>5.239.915</b>	<b>5.239.915</b>	<b>5.239.915</b>	<b>5.239.915</b>	<b>6.700.044</b>	<b>6.700.044</b>	<b>6.700.044</b>

*Tabla 17: Costes de operación 3*

**ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**

**GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

<b>OPEX/año</b>	<b>Año 24</b>	<b>Año 25</b>	<b>Año 26</b>	<b>Año 27</b>	<b>Año 28</b>	<b>Año 29</b>	<b>Año 30</b>	<b>Media Total</b>
<i>Recepción de residuos (Tn)</i>	201.000	201.000	201.000	201.000	201.000	201.000	201.000	<b>201.000</b>
<i>Producción energía en ciclo Rankine (MWh)</i>	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	<b>7.700</b>
<i>Producción de H (MWh)</i>	137.620	137.620	137.620	137.620	137.620	137.620	137.620	<b>137.620</b>
<i>FTE #, operarios</i>	20	20	20	20	20	20	20	<b>20</b>
<i>FTE #, jefes de planta</i>	5	5	5	5	5	5	5	<b>5</b>
<i>Factor de rotura de equipos</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	<b>65%</b>
<i>Factor de O&amp;M</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	<b>90%</b>
<i>Mantenimiento equipos gasificación, €</i>								
<i>Productos químicos</i>	1.005.000	1.005.000	1.005.000	1.005.000	1.005.000	1.005.000	1.005.000	<b>653.250</b>
<i>Electrodos</i>	1.206.000	1.206.000	1.206.000	1.206.000	1.206.000	1.206.000	1.206.000	<b>783.900</b>
<i>Antorchas</i>	1.206.000	1.206.000	1.206.000	1.206.000	1.206.000	1.206.000	1.206.000	<b>783.900</b>
<i>Coste O&amp;M ciclo Rankine, €</i>	577.500	577.500	577.500	577.500	577.500	577.500	577.500	<b>519.750</b>
<i>Coste O&amp;M pilas combustible, €</i>	2.064.294	2.064.294	2.064.294	2.064.294	2.064.294	2.064.294	2.064.294	<b>1.857.865</b>
<i>Nóminas operarios, €</i>	459.000	459.000	459.000	459.000	459.000	459.000	459.000	<b>459.000</b>
<i>Nóminas jefes de planta, €</i>	182.250	182.250	182.250	182.250	182.250	182.250	182.250	<b>182.250</b>
<b>TOTAL, €</b>	<b>6.700.044</b>	<b>5.239.915</b>						

*Tabla 18: Costes de operación 4*

Para los costes de operación, al igual que se ha hecho en la inversión inicial, se han dividido los costes de operación y mantenimiento en las tres partes de la planta: la gasificación de residuos, las pilas de combustible y el ciclo Rankine.

Para la gasificación, se han considerado los productos químicos necesarios para el proceso, el mantenimiento de los electrodos y las antorchas, así como otros equipos. Todos estos costes se han dimensionado en función de la cantidad de toneladas de residuos procesados. Para los productos químicos se ha considerado 5€/Tn y para el resto 6€/Tn. Además, se ha añadido un factor de rotura de equipos, que tiene en cuenta que a medida que pasa el tiempo es más probable la rotura de los equipos, siendo los primeros años más improbable.

Los costes de operación y mantenimiento (O&M) del ciclo de Rankine y de las pilas de combustible y el almacenamiento de hidrógeno se han calculado en función de los kWh producidos para cada uno. Para el ciclo de Rankine se ha aplicado 75€/kWh y para las pilas y el almacenamiento 15€/kWh. Se ha añadido un factor de operación y mantenimiento, teniendo en cuenta que inicialmente es más barato y con el paso del tiempo el mantenimiento de los equipos se vuelve más caro.

Para la operación de la planta, se contratarán 25 empleados: 20 operarios y 5 jefes de planta, que trabajarán en turnos de 8h. El salario neto de los operarios neto será 17000 € anuales, y el de los jefes de planta 27000 € anuales. Se ha aplicado un factor de 1,3 para calcular los costes de seguridad social e impuestos de manera que los trabajadores reciban la cantidad establecida en valor neto.

La media de costes de operación anual de la planta es de 5.239.915 €.

## 1.4 Flujo de caja

El flujo de caja consiste en el análisis del balance anual de ingresos y gastos de la planta teniendo en cuenta los posibles impuestos, amortizaciones, depreciaciones e inversiones. Se aplicará un impuesto sobre beneficios del 25%, se calculará el EBITDA (Earnings Before Interests, Tax, Depreciation and Amortization), el EBIT (Earnings Before Interest and Tax), el beneficio neto (beneficio después de impuestos) el flujo de caja operativo y el flujo de caja acumulado. Se exponen los resultados en las siguientes tablas:

ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

<b>FLUJO DE CAJA</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>
<b>TOTAL OPEX, €</b>		<b>3.779.785</b>	<b>3.779.785</b>	<b>3.779.785</b>	<b>3.779.785</b>
Venta de energía eléctrica a microrred, €		5.734.150	5.734.150	5.734.150	5.734.150
Venta de energía eléctrica excedentaria, €		8.027.810	8.027.810	8.027.810	8.027.810
<b>TOTAL Ingresos, €</b>		<b>13.761.960</b>	<b>13.761.960</b>	<b>13.761.960</b>	<b>13.761.960</b>
EBITDA, €		9.982.175	9.982.175	9.982.175	9.982.175
Amortización planta, €		6.864.333	6.864.333	6.864.333	6.864.333
EBIT, €		3.117.841	3.117.841	3.117.841	3.117.841
Impuesto sobre beneficios (25%), €		779.460	779.460	779.460	779.460
<b>BENEFICIO NETO, €</b>		<b>2.338.381</b>	<b>2.338.381</b>	<b>2.338.381</b>	<b>2.338.381</b>
<b>Inversión, €</b>	<b>- 205.930.000</b>				
Dotación amortización, €		6.864.333	6.864.333	6.864.333	6.864.333
<b>FLUJO DE CAJA OPERATIVO, €</b>	<b>- 205.930.000</b>	<b>9.202.714</b>	<b>9.202.714</b>	<b>9.202.714</b>	<b>9.202.714</b>
<b>Flujo de caja acumulado, €</b>	<b>- 205.930.000</b>	<b>- 196.727.286</b>	<b>- 187.524.571</b>	<b>- 178.321.857</b>	<b>- 169.119.142</b>

Tabla 19: Flujo de caja 1

ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

<b>FLUJO DE CAJA</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>
<b>TOTAL OPEX, €</b>	<b>3.779.785</b>	<b>3.779.785</b>	<b>3.779.785</b>	<b>3.779.785</b>	<b>3.779.785</b>
<i>Venta de energía eléctrica a microrred, €</i>	5.734.150	5.734.150	5.160.735	5.160.735	5.160.735
<i>Venta de energía eléctrica excedentaria, €</i>	8.027.810	8.027.810	7.225.029	7.225.029	7.225.029
<b>TOTAL Ingresos, €</b>	<b>13.761.960</b>	<b>13.761.960</b>	<b>12.385.764</b>	<b>12.385.764</b>	<b>12.385.764</b>
<i>EBITDA, €</i>	9.982.175	9.982.175	8.605.979	8.605.979	8.605.979
<i>Amortización planta, €</i>	6.864.333	6.864.333	6.864.333	6.864.333	6.864.333
<i>EBIT, €</i>	3.117.841	3.117.841	1.741.645	1.741.645	1.741.645
<i>Impuesto sobre beneficios (25%), €</i>	779.460	779.460	435.411	435.411	435.411
<b>BENEFICIO NETO, €</b>	<b>2.338.381</b>	<b>2.338.381</b>	<b>1.306.234</b>	<b>1.306.234</b>	<b>1.306.234</b>
<b>Inversión, €</b>					
<i>Dotación amortización, €</i>	6.864.333	6.864.333	6.864.333	6.864.333	6.864.333
<b>FLUJO DE CAJA OPERATIVO, €</b>	<b>9.202.714</b>	<b>9.202.714</b>	<b>8.170.567</b>	<b>8.170.567</b>	<b>8.170.567</b>
<i>Flujo de caja acumulado, €</i>	- 159.916.428	- 150.713.713	- 142.543.146	- 134.372.579	- 126.202.011

Tabla 20: Flujo de caja 2

ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

<b>FLUJO DE CAJA</b>	<b>Año 10</b>	<b>Año 11</b>	<b>Año 12</b>	<b>Año 13</b>	<b>Año 14</b>
<b>TOTAL OPEX, €</b>	<b>3.779.785</b>	<b>5.239.915</b>	<b>5.239.915</b>	<b>5.239.915</b>	<b>5.239.915</b>
<i>Venta de energía eléctrica a microrred, €</i>	5.160.735	5.160.735	5.160.735	5.160.735	5.160.735
<i>Venta de energía eléctrica excedentaria, €</i>	7.225.029	7.225.029	7.225.029	7.225.029	7.225.029
<b>TOTAL Ingresos, €</b>	<b>12.385.764</b>	<b>12.385.764</b>	<b>12.385.764</b>	<b>12.385.764</b>	<b>12.385.764</b>
<i>EBITDA, €</i>	8.605.979	7.145.849	7.145.849	7.145.849	7.145.849
<i>Amortización planta, €</i>	6.864.333	6.864.333	6.864.333	6.864.333	6.864.333
<i>EBIT, €</i>	1.741.645	281.516	281.516	281.516	281.516
<i>Impuesto sobre beneficios (25%), €</i>	435.411	70.379	70.379	70.379	70.379
<b>BENEFICIO NETO, €</b>	<b>1.306.234</b>	<b>211.137</b>	<b>211.137</b>	<b>211.137</b>	<b>211.137</b>
<b>Inversión, €</b>					
<i>Dotación amortización, €</i>	6.864.333	6.864.333	6.864.333	6.864.333	6.864.333
<b>FLUJO DE CAJA OPERATIVO, €</b>	<b>8.170.567</b>	<b>7.075.470</b>	<b>7.075.470</b>	<b>7.075.470</b>	<b>7.075.470</b>
<i>Flujo de caja acumulado, €</i>	- 118.031.444	- 110.955.973	- 103.880.503	- 96.805.033	- 89.729.562

Tabla 21: Flujo de caja 3

ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

<b>FLUJO DE CAJA</b>	<b>Año 15</b>	<b>Año 16</b>	<b>Año 17</b>	<b>Año 18</b>	<b>Año 19</b>
<b>TOTAL OPEX, €</b>	<b>5.239.915</b>	<b>5.239.915</b>	<b>5.239.915</b>	<b>5.239.915</b>	<b>5.239.915</b>
<i>Venta de energía eléctrica a microrred, €</i>	5.160.735	4.874.028	4.874.028	4.874.028	4.874.028
<i>Venta de energía eléctrica excedentaria, €</i>	7.225.029	6.823.639	6.823.639	6.823.639	6.823.639
<b>TOTAL Ingresos, €</b>	<b>12.385.764</b>	<b>11.697.666</b>	<b>11.697.666</b>	<b>11.697.666</b>	<b>11.697.666</b>
<i>EBITDA, €</i>	7.145.849	6.457.751	6.457.751	6.457.751	6.457.751
<i>Amortización planta, €</i>	6.864.333	6.864.333	6.864.333	6.864.333	6.864.333
<i>EBIT, €</i>	281.516	- 406.582	- 406.582	- 406.582	- 406.582
<i>Impuesto sobre beneficios (25%), €</i>	70.379	- 101.645	- 101.645	- 101.645	- 101.645
<b>BENEFICIO NETO, €</b>	<b>211.137</b>	<b>- 304.936</b>	<b>- 304.936</b>	<b>- 304.936</b>	<b>- 304.936</b>
<b>Inversión, €</b>					
<i>Dotación amortización, €</i>	6.864.333	6.864.333	6.864.333	6.864.333	6.864.333
<b>FLUJO DE CAJA OPERATIVO, €</b>	<b>7.075.470</b>	<b>6.559.397</b>	<b>6.559.397</b>	<b>6.559.397</b>	<b>6.559.397</b>
<i>Flujo de caja acumulado, €</i>	- 82.654.092	- 76.094.695	- 69.535.298	- 62.975.901	- 56.416.504

Tabla 22: Flujo de caja 4

ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

<b>FLUJO DE CAJA</b>	<b>Año 20</b>	<b>Año 21</b>	<b>Año 22</b>	<b>Año 23</b>	<b>Año 24</b>
<b>TOTAL OPEX, €</b>	<b>5.239.915</b>	<b>6.700.044</b>	<b>6.700.044</b>	<b>6.700.044</b>	<b>6.700.044</b>
<i>Venta de energía eléctrica a microrred, €</i>	4.874.028	4.874.028	4.874.028	4.874.028	4.874.028
<i>Venta de energía eléctrica excedentaria, €</i>	6.823.639	6.823.639	6.823.639	6.823.639	6.823.639
<b>TOTAL Ingresos, €</b>	<b>11.697.666</b>	<b>11.697.666</b>	<b>11.697.666</b>	<b>11.697.666</b>	<b>11.697.666</b>
<i>EBITDA, €</i>	6.457.751	4.997.622	4.997.622	4.997.622	4.997.622
<i>Amortización planta, €</i>	6.864.333	6.864.333	6.864.333	6.864.333	6.864.333
<i>EBIT, €</i>	- 406.582	- 1.866.711	- 1.866.711	- 1.866.711	- 1.866.711
<i>Impuesto sobre beneficios (25%), €</i>	- 101.645	- 466.678	- 466.678	- 466.678	- 466.678
<b>BENEFICIO NETO, €</b>	<b>- 304.936</b>	<b>- 1.400.034</b>	<b>- 1.400.034</b>	<b>- 1.400.034</b>	<b>- 1.400.034</b>
<b>Inversión, €</b>					
<i>Dotación amortización, €</i>	6.864.333	6.864.333	6.864.333	6.864.333	6.864.333
<b>FLUJO DE CAJA OPERATIVO, €</b>	<b>6.559.397</b>	<b>5.464.300</b>	<b>5.464.300</b>	<b>5.464.300</b>	<b>5.464.300</b>
<i>Flujo de caja acumulado, €</i>	- 49.857.107	- 44.392.807	- 38.928.508	- 33.464.208	- 27.999.908

Tabla 23: Flujo de caja 5

**ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**

**GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

<b>FLUJO DE CAJA</b>	<b>Año 25</b>	<b>Año 26</b>	<b>Año 27</b>
<b>TOTAL OPEX, €</b>	<b>6.700.044</b>	<b>6.700.044</b>	<b>6.700.044</b>
<i>Venta de energía eléctrica a microrred, €</i>	4.874.028	6.880.980	6.880.980
<i>Venta de energía eléctrica excedentaria, €</i>	6.823.639	9.633.372	9.633.372
<b>TOTAL Ingresos, €</b>	<b>11.697.666</b>	<b>16.514.352</b>	<b>16.514.352</b>
<i>EBITDA, €</i>	4.997.622	9.814.308	9.814.308
<i>Amortización planta, €</i>	6.864.333	6.864.333	6.864.333
<i>EBIT, €</i>	- 1.866.711	2.949.975	2.949.975
<i>Impuesto sobre beneficios (25%), €</i>	- 466.678	737.494	737.494
<b>BENEFICIO NETO, €</b>	<b>- 1.400.034</b>	<b>2.212.481</b>	<b>2.212.481</b>
<b>Inversión, €</b>			
<i>Dotación amortización, €</i>	6.864.333	6.864.333	6.864.333
<b>FLUJO DE CAJA OPERATIVO, €</b>	<b>5.464.300</b>	<b>9.076.814</b>	<b>9.076.814</b>
<b>Flujo de caja acumulado, €</b>	- 22.535.608	- 13.458.794	- 4.381.979

*Tabla 24: Flujo de caja 6*

<b>FLUJO DE CAJA</b>	<b>Año 28</b>	<b>Año 29</b>	<b>Año 30</b>	<b>Media anual</b>
<b>TOTAL OPEX, €</b>	<b>6.700.044</b>	<b>6.700.044</b>	<b>6.700.044</b>	<b>5.239.915</b>
<i>Venta de energía eléctrica a microrred, €</i>	6.880.980	6.880.980	6.880.980	<b>5.466.556</b>
<i>Venta de energía eléctrica excedentaria, €</i>	9.633.372	9.633.372	9.633.372	<b>7.653.179</b>
<b>TOTAL Ingresos, €</b>	<b>16.514.352</b>	<b>16.514.352</b>	<b>16.514.352</b>	<b>13.119.735</b>
<i>EBITDA, €</i>	9.814.308	9.814.308	9.814.308	<b>7.879.821</b>
<i>Amortización planta, €</i>	6.864.333	6.864.333	6.864.333	<b>6.864.333</b>
<i>EBIT, €</i>	2.949.975	2.949.975	2.949.975	<b>1.015.487</b>
<i>Impuesto sobre beneficios (25%), €</i>	737.494	737.494	737.494	<b>253.872</b>
<b>BENEFICIO NETO, €</b>	<b>2.212.481</b>	<b>2.212.481</b>	<b>2.212.481</b>	<b>761.615</b>
<b>Inversión, €</b>				- <b>6.864.333</b>
<i>Dotación amortización, €</i>	6.864.333	6.864.333	6.864.333	<b>6.864.333</b>
<b>FLUJO DE CAJA OPERATIVO, €</b>	<b>9.076.814</b>	<b>9.076.814</b>	<b>9.076.814</b>	<b>7.625.949</b>
<b>Flujo de caja acumulado, €</b>	4.694.835	13.771.649	22.848.464	

*Tabla 25: Flujo de caja 7*

Como se puede percibir en las tablas del flujo de caja, se han dividido los ingresos en la electricidad proporcionada a la microrred y la excedentaria. Esto es porque se ha supuesto que se suministrará energía a la microrred a través de las pilas durante 10 horas diarias los 365 días del año. Las 14 horas restantes del día se seguirá produciendo hidrógeno y por tanto se puede producir electricidad y puede ser inyectada a la red de manera que se obtenga también un beneficio. Otra alternativa sería la venta del hidrógeno excedentario para otras aplicaciones como los coches de hidrógeno o la venta del syngas como gas natural. Se ha decidido la venta como electricidad debido al poco desarrollo existente en las aplicaciones futuras para el hidrógeno.

Para el cálculo de los ingresos, se ha estimado la bajada del precio de la electricidad en el mercado mayorista hasta 85 €/MWh debido a la penetración de las energías renovables en el sistema y las primas concedidas a estas energías, seguida de un aumento de precio por la penetración y asentamiento del hidrógeno como fuente de energía.

## 1.5 Rentabilidad económica

Como se puede ver en las tablas del flujo de caja, observando el flujo de caja acumulado se observa que el retorno de la inversión se produce a partir del año 28. Además de este dato, para calcular la viabilidad económica se analizan el parámetro del VAN y el TIR. Para el estudio de ambos indicadores se aplicará una tasa de descuento del 3%.

Así, el VAN indica el valor actual neto del proyecto. Deja ver las ganancias o pérdidas del proyecto: si el VAN es positivo indica que el proyecto es rentable y un VAN negativo indica que la implantación del proyecto implica la pérdida de dinero.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=0}^{30} \frac{F_t}{(1+i)^t} = -53539813 \text{ €} \quad ,$$

siendo  $I_0$  la inversión inicial,  $i$  la tasa de descuento y  $t$  el periodo para el que se calcula el van (en este caso 30 años, igual que la vida útil de la planta).

El TIR (Tasa Interna de Retorno) expresa la tasa de rentabilidad o porcentaje de beneficio o pérdida que implica el proyecto. Se busca que el TIR sea mayor que la tasa de descuento para poder concluir que el proyecto es económicamente rentable.

En este caso se ha obtenido un TIR con valor 0,72%, es decir, menor que el 3% aplicado como tasa de descuento.

Se puede concluir, por tanto, que, a pesar de obtener un retorno de inversión a los 28 años, este proyecto no resulta económicamente rentable debido a los valores desfavorables obtenidos en los parámetros del VAN y el TIR. Esto se debe a la gran inversión que conlleva la implantación de una planta de este tamaño con una tecnología que hoy en día todavía se encuentra en desarrollo (y se espera que el precio baje), en comparación con la energía que se puede producir.

A pesar de no ser económicamente rentable, se ha demostrado que energéticamente es una solución y en un futuro se espera que esta alternativa sea económicamente viable.

## Capítulo 2: Estudio económico alternativo

### 2.1 Viabilidad económica

En este capítulo se pretende estudiar la viabilidad económica de la alternativa presentada en este mismo estudio en la primera parte en el apartado 6.5.1. En dicho capítulo se estudió la configuración energética con los números alternativos de generación de residuos anuales en la provincia aportados por la plataforma *Bioraise*.

Haciendo uso de esos mismos datos se ha realizado un estudio económico con los mismos parámetros que el estudio de viabilidad económica anterior y se dispone a realizar el análisis. De la misma manera que en estudio económico anterior, se ha aplicado una tasa de descuento del 3% y una vida útil de 30 años.

Para no cargar el cuerpo del proyecto se incluyen las tablas de este estudio económico en los anexos y en este apartado se exponen los parámetros más importantes.

Con estos datos se ha obtenido un VAN de 152747600 € y un TIR de 5,77%. Además, en este caso el retorno de inversión se produce a partir del decimocuarto año.

Por lo tanto, se puede concluir que, si los datos proporcionados por *Bioraise* son verídicos, el proyecto sería económicamente rentable ya que se obtiene un VAN mayor que cero y un valor para el TIR mayor que la tasa de descuento aplicada.

Como se ha comprobado en este proyecto, la alternativa de *Bioraise* ofrece una mejora energética (mayor capacidad de abastecer la demanda y menor dependencia de la red) y proporciona la viabilidad económica que la alternativa inicial carece. Por lo tanto, merece la pena verificar los datos proporcionados por esta plataforma y plantear la implantación de la microrred objeto de este estudio para el abastecimiento eléctrico de Ciudad Real.

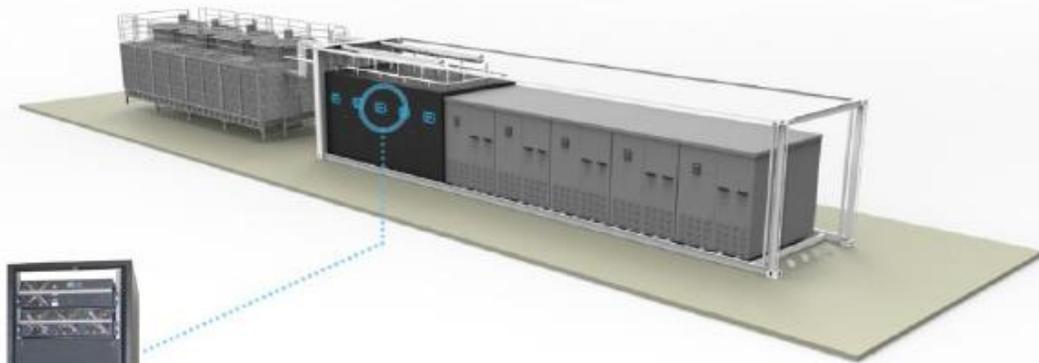
# PARTE III: ANEXOS

# ANEXO I: Especificaciones de la pila de combustible



## Fuel Cell Megawatt Power Generation Platform

Hydrogenics' MW Power Plant platform is a clean, highly-reliable, cost effective power solution for backup, stand-by, and peak shaving stationary applications.



Our self-contained fuel cell solution can replace or augment both renewable and diesel generators. It can deliver DC power or can be combined with an inverter or UPS for AC power. It uses hydrogen stored on-site or via pipeline to feed to the fuel cell architecture and its management system handles control, monitoring and safety functions.

Hydrogenics' HyPM™ HD30 is the core of this modular solution. It provides peak efficiency greater than 50% with small footprint, high runtime capabilities, unlimited start-stop cycling, no water for humidification and no nitrogen for shutdown is required.

Hydrogenics' HyPM™ Racks lead the industry for power delivery on a volume and weight basis.

**\* Conditions:**

- Inlet air temperature: 15°C
- Atmosphere pressure: 101.3 kPa
- Fuel type: Hydrogen according to ISO/TS 14687-2:2008(E)

### Product Specifications\*

Type:	PEM (Proton Exchange Membrane) Fuel Cell Power Generator	
Performance:	Electrical Output Continuous	1 MWe
	Electrical Efficiency	49% LHV
	System Output Voltage	380 - 480 VAC
	System Output Frequency	50 - 60 Hz
Physical Characteristics:	Package Design Life	20 years with LTSA
	Dimensions (H x W x L)	8 x 10 x 50 feet
Fuel:	Weight	32,000 kg
	Hydrogen	> 99.99%
	Fuel Consumption	780 m <sup>3</sup> /h BQL <sup>1</sup>
Available Heat:	Aux Electrical Input Power	30 kW continuous, 40 kW at start-up
	Output Heat Load	< 2 MW
	Stack Temperature	Up to 70°C
Emissions:	Exhaust Gas Temperature	70°C
	Noise level at 1m	Approx. 75 dB in open air
	Pollutants	Zero emissions (No GHG or local air pollutants)

<sup>1</sup> Fuel consumption calculated for reference only. Actual fuel consumption may vary.

**We're Ready.**

powersales@hydrogenics.com

**ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

## ANEXO II: Estudio económico alternativo

<i>Flujo de caja</i>	<i>Año 0</i>	<i>Año 1</i>	<i>Año 2</i>	<i>Año 3</i>	<i>Año 4</i>	<i>Año 5</i>	<i>Año 6</i>	<i>Año 7</i>
<b>TOTAL OPEX, €</b>		<b>11.183.515</b>						
<i>Venta de energía eléctrica a microrred, €</i>		21.794.150	21.794.150	21.794.150	21.794.150	21.794.150	21.794.150	19.614.735
<i>Venta de energía eléctrica excedentaria, €</i>		30.511.810	30.511.810	30.511.810	30.511.810	30.511.810	30.511.810	27.460.629
<b>TOTAL Ingresos, €</b>		<b>52.305.960</b>	<b>52.305.960</b>	<b>52.305.960</b>	<b>52.305.960</b>	<b>52.305.960</b>	<b>52.305.960</b>	<b>47.075.364</b>
<i>EBITDA, €</i>		41.122.445	41.122.445	41.122.445	41.122.445	41.122.445	41.122.445	35.891.849
<i>Amortización planta, €</i>		14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667
<i>EBIT, €</i>		27.105.778	27.105.778	27.105.778	27.105.778	27.105.778	27.105.778	21.875.182
<i>Impuesto sobre beneficios (25%), €</i>		6.776.445	6.776.445	6.776.445	6.776.445	6.776.445	6.776.445	5.468.796
<b>BENEFICIO NETO, €</b>		<b>20.329.334</b>	<b>20.329.334</b>	<b>20.329.334</b>	<b>20.329.334</b>	<b>20.329.334</b>	<b>20.329.334</b>	<b>16.406.387</b>
<b>Inversión, €</b>	<b>-420.500.000</b>							
<i>Dotación amortización, €</i>		14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667
<b>FLUJO DE CAJA OPERATIVO, €</b>	<b>-420.500.000</b>	<b>34.346.000</b>	<b>34.346.000</b>	<b>34.346.000</b>	<b>34.346.000</b>	<b>34.346.000</b>	<b>34.346.000</b>	<b>30.423.053</b>
<b>Flujo de caja acumulado, €</b>	<b>-420.500.000</b>	<b>-386.154.000</b>	<b>-351.807.999</b>	<b>-317.461.999</b>	<b>-283.115.999</b>	<b>-248.769.999</b>	<b>-214.423.998</b>	<b>-184.000.945</b>

**ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

<i>Flujo de caja</i>	<i>Año 8</i>	<i>Año 9</i>	<i>Año 10</i>	<i>Año 11</i>	<i>Año 12</i>	<i>Año 13</i>	<i>Año 14</i>	<i>Año 15</i>
<b>TOTAL OPEX, €</b>	<b>11.183.515</b>	<b>11.183.515</b>	<b>11.183.515</b>	<b>16.190.855</b>	<b>16.190.855</b>	<b>16.190.855</b>	<b>16.190.855</b>	<b>16.190.855</b>
<i>Venta de energía eléctrica a microrred, €</i>	19.614.735	19.614.735	19.614.735	19.614.735	19.614.735	19.614.735	19.614.735	19.614.735
<i>Venta de energía eléctrica excedentaria, €</i>	27.460.629	27.460.629	27.460.629	27.460.629	27.460.629	27.460.629	27.460.629	27.460.629
<b>TOTAL Ingresos, €</b>	<b>47.075.364</b>							
<i>EBITDA, €</i>	35.891.849	35.891.849	35.891.849	30.884.509	30.884.509	30.884.509	30.884.509	30.884.509
<i>Amortización planta, €</i>	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667
<i>EBIT, €</i>	21.875.182	21.875.182	21.875.182	16.867.843	16.867.843	16.867.843	16.867.843	16.867.843
<i>Impuesto sobre beneficios (25%), €</i>	5.468.796	5.468.796	5.468.796	4.216.961	4.216.961	4.216.961	4.216.961	4.216.961
<b>BENEFICIO NETO, €</b>	<b>16.406.387</b>	<b>16.406.387</b>	<b>16.406.387</b>	<b>12.650.882</b>	<b>12.650.882</b>	<b>12.650.882</b>	<b>12.650.882</b>	<b>12.650.882</b>
<b>Inversión, €</b>								
<i>Dotación amortización, €</i>	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667
<b>FLUJO DE CAJA OPERATIVO, €</b>	<b>30.423.053</b>	<b>30.423.053</b>	<b>30.423.053</b>	<b>26.667.549</b>	<b>26.667.549</b>	<b>26.667.549</b>	<b>26.667.549</b>	<b>26.667.549</b>
<b>Flujo de caja acumulado, €</b>	-153.577.892	-123.154.839	- 92.731.785	- 66.064.237	- 39.396.688	- 12.729.139	13.938.410	40.605.958

**ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

<i>Flujo de caja</i>	<i>Año 16</i>	<i>Año 17</i>	<i>Año 18</i>	<i>Año 19</i>	<i>Año 20</i>	<i>Año 21</i>	<i>Año 22</i>	<i>Año 23</i>
<b>TOTAL OPEX, €</b>	<b>16.190.855</b>	<b>16.190.855</b>	<b>16.190.855</b>	<b>16.190.855</b>	<b>16.190.855</b>	<b>21.198.194</b>	<b>21.198.194</b>	<b>21.198.194</b>
<i>Venta de energía eléctrica a microrred, €</i>	18.525.028	18.525.028	18.525.028	18.525.028	18.525.028	18.525.028	18.525.028	18.525.028
<i>Venta de energía eléctrica excedentaria, €</i>	25.935.039	25.935.039	25.935.039	25.935.039	25.935.039	25.935.039	25.935.039	25.935.039
<b>TOTAL Ingresos, €</b>	<b>44.460.066</b>							
<i>EBITDA, €</i>	28.269.211	28.269.211	28.269.211	28.269.211	28.269.211	23.261.872	23.261.872	23.261.872
<i>Amortización planta, €</i>	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667
<i>EBIT, €</i>	14.252.545	14.252.545	14.252.545	14.252.545	14.252.545	9.245.205	9.245.205	9.245.205
<i>Impuesto sobre beneficios (25%), €</i>	3.563.136	3.563.136	3.563.136	3.563.136	3.563.136	2.311.301	2.311.301	2.311.301
<b>BENEFICIO NETO, €</b>	<b>10.689.409</b>	<b>10.689.409</b>	<b>10.689.409</b>	<b>10.689.409</b>	<b>10.689.409</b>	<b>6.933.904</b>	<b>6.933.904</b>	<b>6.933.904</b>
<b>Inversión, €</b>								
<i>Dotación amortización, €</i>	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667
<b>FLUJO DE CAJA OPERATIVO, €</b>	<b>24.706.075</b>	<b>24.706.075</b>	<b>24.706.075</b>	<b>24.706.075</b>	<b>24.706.075</b>	<b>20.950.571</b>	<b>20.950.571</b>	<b>20.950.571</b>
<b>Flujo de caja acumulado, €</b>	65.312.033	90.018.109	114.724.184	139.430.259	164.136.334	185.086.905	206.037.476	226.988.046

**ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

<i>Flujo de caja</i>	<i>Año 24</i>	<i>Año 25</i>	<i>Año 26</i>	<i>Año 27</i>	<i>Año 28</i>	<i>Año 29</i>	<i>Año 30</i>	<i>Media total</i>
<b>TOTAL OPEX, €</b>	<b>21.198.194</b>	<b>16.190.855</b>						
<i>Venta de energía eléctrica a microrred, €</i>	18.525.028	18.525.028	26.152.980	26.152.980	26.152.980	26.152.980	26.152.980	20.777.090
<i>Venta de energía eléctrica excedentaria, €</i>	25.935.039	25.935.039	36.614.172	36.614.172	36.614.172	36.614.172	36.614.172	<b>29.087.926</b>
<b>TOTAL Ingresos, €</b>	<b>44.460.066</b>	<b>44.460.066</b>	<b>62.767.152</b>	<b>62.767.152</b>	<b>62.767.152</b>	<b>62.767.152</b>	<b>62.767.152</b>	<b>49.865.015</b>
<i>EBITDA, €</i>	23.261.872	23.261.872	41.568.958	41.568.958	41.568.958	41.568.958	41.568.958	33.674.161
<i>Amortización planta, €</i>	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667
<i>EBIT, €</i>	9.245.205	9.245.205	27.552.291	27.552.291	27.552.291	27.552.291	27.552.291	19.657.494
<i>Impuesto sobre beneficios (25%), €</i>	2.311.301	2.311.301	6.888.073	6.888.073	6.888.073	6.888.073	6.888.073	4.914.373
<b>BENEFICIO NETO, €</b>	<b>6.933.904</b>	<b>6.933.904</b>	<b>20.664.219</b>	<b>20.664.219</b>	<b>20.664.219</b>	<b>20.664.219</b>	<b>20.664.219</b>	<b>14.743.120</b>
<b>Inversión, €</b>								<b>- 14.016.667</b>
<i>Dotación amortización, €</i>	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667	14.016.667
<b>FLUJO DE CAJA OPERATIVO, €</b>	<b>20.950.571</b>	<b>20.950.571</b>	<b>34.680.885</b>	<b>34.680.885</b>	<b>34.680.885</b>	<b>34.680.885</b>	<b>34.680.885</b>	<b>28.759.787</b>
<b>Flujo de caja acumulado, €</b>	247.938.617	268.889.188	303.570.073	338.250.958	372.931.843	407.612.728	442.293.614	

## ANEXO III: Potencia fotovoltaica instalada en Ciudad Real

Nombre de la instalación	kW instalados
ABADILLO I	40
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 1	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 10	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 11	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 12	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 13	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 14	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 15	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 16	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 17	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 18	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 19	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 2	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 20	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 21	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 22	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 23	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 24	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 25	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 26	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 27	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 28	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 29	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 3	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 30	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 31	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 32	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 33	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 34	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 35	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 36	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 37	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 38	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 39	100

# ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

## GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 4	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 40	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 41	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 42	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 43	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 44	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 45	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 46	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 47	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 48	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 49	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 5	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 50	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 6	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 7	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 8	100
ABENOJAR SOLAR MERIDIONAL 9	100
ACSOLAR 1	15
ACSOLAR 10	20
ACSOLAR 2	20
ACSOLAR 3	18
ACSOLAR 4	20
ACSOLAR 5	20
ACSOLAR 7	13,8
ACSOLAR 8	20
ACSOLAR 9	9
AGROCEREVAL	30
AGUSTIN SANZ	10
ALCOBA 70	70
ALFONSO VICTORIA BUSTOS	19,6
ALG-1	5
ALMODOVAR DEL CAMPO 1	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 10	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 100	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 11	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 12	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 13	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 14	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 15	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 16	100

# ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

## GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

ALMODOVAR DEL CAMPO 17	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 18	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 19	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 2	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 20	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 21	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 22	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 23	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 24	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 25	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 26	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 27	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 28	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 29	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 3	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 30	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 31	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 32	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 33	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 34	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 35	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 36	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 37	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 38	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 39	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 4	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 40	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 41	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 42	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 43	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 44	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 45	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 46	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 47	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 48	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 49	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 5	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 50	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 51	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 52	100

# ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

## GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

ALMODOVAR DEL CAMPO 53	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 54	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 55	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 56	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 57	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 58	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 59	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 6	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 60	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 61	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 62	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 63	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 64	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 65	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 66	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 67	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 68	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 69	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 7	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 70	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 71	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 72	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 73	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 74	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 75	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 76	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 77	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 78	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 79	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 8	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 80	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 81	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 82	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 83	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 84	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 85	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 86	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 87	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 88	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 89	100

# ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

## GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

ALMODOVAR DEL CAMPO 9	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 90	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 91	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 92	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 93	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 94	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 95	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 96	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 97	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 98	100
ALMODOVAR DEL CAMPO 99	100
ALMODOVENSA 40 KW	39,9
ALMODOVENSA MT	150
ALMURADIEL SOLAR 1	100
ALMURADIEL SOLAR 10	100
ALMURADIEL SOLAR 11	100
ALMURADIEL SOLAR 12	100
ALMURADIEL SOLAR 13	100
ALMURADIEL SOLAR 14	100
ALMURADIEL SOLAR 15	100
ALMURADIEL SOLAR 16	100
ALMURADIEL SOLAR 17	100
ALMURADIEL SOLAR 18	100
ALMURADIEL SOLAR 19	100
ALMURADIEL SOLAR 2	100
ALMURADIEL SOLAR 20	100
ALMURADIEL SOLAR 21	100
ALMURADIEL SOLAR 22	100
ALMURADIEL SOLAR 23	100
ALMURADIEL SOLAR 24	100
ALMURADIEL SOLAR 25	100
ALMURADIEL SOLAR 3	100
ALMURADIEL SOLAR 4	100
ALMURADIEL SOLAR 5	100
ALMURADIEL SOLAR 6	100
ALMURADIEL SOLAR 7	100
ALMURADIEL SOLAR 8	100
ALMURADIEL SOLAR 9	100
ANCHA 1	9,9
ANCHA 2	9,9

# ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

## GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

ANGEL IGNACIO CANDELAS MATEOS-APARICIO	11,5
ANGEL VILLANUEVA MOLINA	5
ANTONIA ROJAS 60	59,85
ANTONIO FERNANDEZ MENCHEN	64
ANTONIO FERNANDEZ, 10 KW	10
ANTONIO GARCIA 20	19,95
AQUILATUX	3
ARGAMASILLA FOTOVOLTAICA 1	100
ARGAMASILLA FOTOVOLTAICA 2	100
ARGAMASILLA FOTOVOLTAICA 3	100
ARGAMASILLA FOTOVOLTAICA 4	100
ARGAMASILLA FOTOVOLTAICA 5	100
ARGAMASILLA SOLAR 1	100
ARGAMASILLA SOLAR 10	100
ARGAMASILLA SOLAR 11	100
ARGAMASILLA SOLAR 12	100
ARGAMASILLA SOLAR 13	100
ARGAMASILLA SOLAR 14	100
ARGAMASILLA SOLAR 15	100
ARGAMASILLA SOLAR 16	100
ARGAMASILLA SOLAR 17	100
ARGAMASILLA SOLAR 18	100
ARGAMASILLA SOLAR 19	100
ARGAMASILLA SOLAR 2	100
ARGAMASILLA SOLAR 20	100
ARGAMASILLA SOLAR 3	100
ARGAMASILLA SOLAR 4	100
ARGAMASILLA SOLAR 5	100
ARGAMASILLA SOLAR 6	100
ARGAMASILLA SOLAR 7	100
ARGAMASILLA SOLAR 8	100
ARGAMASILLA SOLAR 9	100
ARIMOSAN	100
ARSOL 1 A101	100
ARSOL 1 A102	100
ARSOL 1 A103	100
ARSOL 1 A104	100
ARSOL 1 A105	100
ARSOL 1 A106	100
ARSOL 1 A107	100

ARSOL 1 A108	100
ARSOL 1 A109	100
ARSOL 1 A110	100
ARSOL 1 A111	100
ARSOL 1 A112	100
ARSOL 1 A113	100
ARSOL 1 A114	100
ARSOL 1 A115	100
ARSOL 1 A116	100
ARSOL 1 A117	100
ARSOL 1 A118	100
ARSOL 1 A119	100
ARSOL 1 A120	100
ARSOL 1 A121	100
ARSOL 1 A122	100
ARSOL 1 A123	100
ARSOL 1 A124	100
ARSOL 1 A125	100
ARSOL 1 A126	100
ARSOL 1 A127	100
ARSOL 1 A128	100
ARSOL 1 A129	100
ARSOL 1 A130	100
ARSOL 1 A131	100
ARSOL 1 A132	100
ARSOL 1 A133	100
ARSOL 1 A134	100
ARSOL 1 A135	100
ARSOL 1 A136	100
ARSOL 1 A137	100
ARSOL 1 A138	100
ARSOL 1 A139	100
ARSOL 1 A140	100
ARSOL 1 A141	100
ARSOL 1 A142	100
ARSOL 1 A143	100
ARSOL 1 A144	100
ARSOL 1 A145	100
ARSOL 1 A146	100
ARSOL 1 A147	100

# ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

## GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

ARSOL 1 A148	100
ARSOL 1 A149	100
ARSOL 1 A150	100
ASESORES SPORT 1	100
ASESORES SPORT 2	100
ATALAYUELA-1	5
AUTOMOCIONES RENOVABLES	19,95
AYUNTAMIENTO	5
BAZAN 20	20
BEGOÑA RODRIGUEZ RISCO	5
BITRAZOS	50
BITU	100
BITUMAT 1	100
BITUMAT 2	100
BLAM 1	40
BYTE	90
CABALLERO 1	30
CALCAL 1	100
CALCAL 10	100
CALCAL 100	100
CALCAL 11	100
CALCAL 12	100
CALCAL 13	100
CALCAL 14	100
CALCAL 15	100
CALCAL 16	100
CALCAL 17	100
CALCAL 18	100
CALCAL 19	100
CALCAL 2	100
CALCAL 20	100
CALCAL 21	100
CALCAL 22	100
CALCAL 23	100
CALCAL 24	100
CALCAL 25	100
CALCAL 26	100
CALCAL 27	100
CALCAL 28	100
CALCAL 29	100

# ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

## GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

CALCAL 3	100
CALCAL 30	100
CALCAL 31	100
CALCAL 32	100
CALCAL 33	100
CALCAL 34	100
CALCAL 35	100
CALCAL 36	100
CALCAL 37	100
CALCAL 38	100
CALCAL 39	100
CALCAL 4	100
CALCAL 40	100
CALCAL 41	100
CALCAL 42	100
CALCAL 43	100
CALCAL 44	100
CALCAL 45	100
CALCAL 46	100
CALCAL 47	100
CALCAL 48	100
CALCAL 49	100
CALCAL 5	100
CALCAL 50	100
CALCAL 51	100
CALCAL 52	100
CALCAL 53	100
CALCAL 54	100
CALCAL 55	100
CALCAL 56	100
CALCAL 57	100
CALCAL 58	100
CALCAL 59	100
CALCAL 6	100
CALCAL 60	100
CALCAL 61	100
CALCAL 62	100
CALCAL 63	100
CALCAL 64	100
CALCAL 65	100

# ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

## GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

CALCAL 66	100
CALCAL 67	100
CALCAL 68	100
CALCAL 69	100
CALCAL 7	100
CALCAL 70	100
CALCAL 71	100
CALCAL 72	100
CALCAL 73	100
CALCAL 74	100
CALCAL 75	100
CALCAL 76	100
CALCAL 77	100
CALCAL 78	100
CALCAL 79	100
CALCAL 8	100
CALCAL 80	100
CALCAL 81	100
CALCAL 82	100
CALCAL 83	100
CALCAL 84	100
CALCAL 85	100
CALCAL 86	100
CALCAL 87	100
CALCAL 88	100
CALCAL 89	100
CALCAL 9	100
CALCAL 90	100
CALCAL 91	100
CALCAL 92	100
CALCAL 93	100
CALCAL 94	100
CALCAL 95	100
CALCAL 96	100
CALCAL 97	100
CALCAL 98	100
CALCAL 99	100
CAMILO	7,5
CAMPO FOTOVOLTAICO MORAL 1	80
CAÑADA DE MADRID I	75

# ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

## GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

CAÑADA DE MADRID II	75
CAÑADA DE MADRID III	75
CAÑADA DE MADRID IV	75
CAÑADA DE MADRID IX	75
CAÑADA DE MADRID V	75
CAÑADA DE MADRID VI	75
CAÑADA DE MADRID VII	75
CAÑADA DE MADRID VIII	75
CAÑADA DE MADRID X	75
CAÑADA DE MADRID XI	75
CAÑADA DE MADRID XII	75
CARMEN GARCIA I	80
CARMEN GARCIA MAROTO	8
CARRILLO Y SEPULVEDA 1	30
CASA ARGAMASILLA	20
CASA ARGAMASILLA E	15
CASA CANOVAS	5
CASA GUERRERO	5
CASAS DE DON PEDRO I	39288
CASAS DE DON PEDRO II	30012
CASTAÑO LEON 20	19,94
CASTAÑO LEON 60	59,85
CASTELLANA 1	100
CASTELLANA 10	100
CASTELLANA 11	100
CASTELLANA 12	100
CASTELLANA 13	100
CASTELLANA 14	100
CASTELLANA 15	100
CASTELLANA 16	100
CASTELLANA 17	100
CASTELLANA 18	100
CASTELLANA 19	100
CASTELLANA 2	100
CASTELLANA 20	100
CASTELLANA 21	100
CASTELLANA 22	100
CASTELLANA 23	100
CASTELLANA 24	100
CASTELLANA 25	100

# ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

## GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

CASTELLANA 26	100
CASTELLANA 27	100
CASTELLANA 28	100
CASTELLANA 29	100
CASTELLANA 3	100
CASTELLANA 30	100
CASTELLANA 31	100
CASTELLANA 32	100
CASTELLANA 33	100
CASTELLANA 34	100
CASTELLANA 35	100
CASTELLANA 36	100
CASTELLANA 37	100
CASTELLANA 38	100
CASTELLANA 39	100
CASTELLANA 4	100
CASTELLANA 40	100
CASTELLANA 41	100
CASTELLANA 42	100
CASTELLANA 43	100
CASTELLANA 44	100
CASTELLANA 45	100
CASTELLANA 46	100
CASTELLANA 47	100
CASTELLANA 48	100
CASTELLANA 49	100
CASTELLANA 5	100
CASTELLANA 50	100
CASTELLANA 51	100
CASTELLANA 52	100
CASTELLANA 53	100
CASTELLANA 54	100
CASTELLANA 55	100
CASTELLANA 56	100
CASTELLANA 57	100
CASTELLANA 58	100
CASTELLANA 59	100
CASTELLANA 6	100
CASTELLANA 60	100
CASTELLANA 61	100

# ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

## GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

CASTELLANA 62	100
CASTELLANA 63	100
CASTELLANA 64	100
CASTELLANA 65	100
CASTELLANA 66	100
CASTELLANA 67	100
CASTELLANA 68	100
CASTELLANA 69	100
CASTELLANA 7	100
CASTELLANA 70	100
CASTELLANA 8	100
CASTELLANA 9	100
CASTRO SOLAR	24
CECI-FV	20
CENTRAL FOTOVOLTAICA CALATRAVA 1	100
CENTRAL FOTOVOLTAICA CALATRAVA 10	100
CENTRAL FOTOVOLTAICA CALATRAVA 2	100
CENTRAL FOTOVOLTAICA CALATRAVA 3	100
CENTRAL FOTOVOLTAICA CALATRAVA 4	100
CENTRAL FOTOVOLTAICA CALATRAVA 5	100
CENTRAL FOTOVOLTAICA CALATRAVA 6	100
CENTRAL FOTOVOLTAICA CALATRAVA 7	100
CENTRAL FOTOVOLTAICA CALATRAVA 8	100
CENTRAL FOTOVOLTAICA CALATRAVA 9	100
CENTRAL MANCHEGA 2, 65	65
CENTRAL MANCHEGA 3, 65	65
CENTRAL MANCHEGA DE MARCAS 4	64,85
CENTRAL MANCHEGA DE MARCAS 5	64,85
CENTRAL MANCHEGA MARCAS 8	64,85
CF 20 KW EL HOYO	20
CF MESTANZA - JM DUQUE	19,95
CFS ALARCOS	49965,3
COCINAS ARQUILICE	19,8
COMERCIAL MEDINA MALAGONERA	30
CONFECCIONES DOMINGUEZ	100
CONSERVAS HUERTAS	70
COOPERATIVA OLIVARERA SAN ISIDRO	19,8
CORCHERO	5,88
CORONEL 1	20
CUBIERTA SOLAR 1º DE JULIO	20

DACASOL	20
DAIMIEL SOLAR 1	5
DAIMIEL SOLAR 10	5
DAIMIEL SOLAR 100	5
DAIMIEL SOLAR 101	5
DAIMIEL SOLAR 102	5
DAIMIEL SOLAR 103	5
DAIMIEL SOLAR 104	5
DAIMIEL SOLAR 105	5
DAIMIEL SOLAR 106	5
DAIMIEL SOLAR 107	5
DAIMIEL SOLAR 108	5
DAIMIEL SOLAR 109	5
DAIMIEL SOLAR 11	5
DAIMIEL SOLAR 110	5
DAIMIEL SOLAR 111	5
DAIMIEL SOLAR 112	5
DAIMIEL SOLAR 113	5
DAIMIEL SOLAR 114	5
DAIMIEL SOLAR 115	5
DAIMIEL SOLAR 116	5
DAIMIEL SOLAR 117	5
DAIMIEL SOLAR 118	5
DAIMIEL SOLAR 119	5
DAIMIEL SOLAR 12	5
DAIMIEL SOLAR 120	5
DAIMIEL SOLAR 121	5
DAIMIEL SOLAR 122	5
DAIMIEL SOLAR 123	5
DAIMIEL SOLAR 124	5
DAIMIEL SOLAR 125	5
DAIMIEL SOLAR 126	5
DAIMIEL SOLAR 127	5
DAIMIEL SOLAR 128	5
DAIMIEL SOLAR 129	5
DAIMIEL SOLAR 13	5
DAIMIEL SOLAR 130	5
DAIMIEL SOLAR 131	5
DAIMIEL SOLAR 132	5
DAIMIEL SOLAR 133	5

DAIMIEL SOLAR 134	5
DAIMIEL SOLAR 135	5
DAIMIEL SOLAR 136	5
DAIMIEL SOLAR 137	5
DAIMIEL SOLAR 138	5
DAIMIEL SOLAR 139	5
DAIMIEL SOLAR 14	5
DAIMIEL SOLAR 140	5
DAIMIEL SOLAR 15	5
DAIMIEL SOLAR 16	5
DAIMIEL SOLAR 17	5
DAIMIEL SOLAR 18	5
DAIMIEL SOLAR 19	5
DAIMIEL SOLAR 2	5
DAIMIEL SOLAR 20	5
DAIMIEL SOLAR 21	5
DAIMIEL SOLAR 22	5
DAIMIEL SOLAR 23	5
DAIMIEL SOLAR 24	5
DAIMIEL SOLAR 25	5
DAIMIEL SOLAR 26	5
DAIMIEL SOLAR 27	5
DAIMIEL SOLAR 28	5
DAIMIEL SOLAR 29	5
DAIMIEL SOLAR 3	5
DAIMIEL SOLAR 30	5
DAIMIEL SOLAR 31	5
DAIMIEL SOLAR 32	5
DAIMIEL SOLAR 33	5
DAIMIEL SOLAR 34	5
DAIMIEL SOLAR 35	5
DAIMIEL SOLAR 36	5
DAIMIEL SOLAR 37	5
DAIMIEL SOLAR 38	5
DAIMIEL SOLAR 39	5
DAIMIEL SOLAR 4	5
DAIMIEL SOLAR 40	5
DAIMIEL SOLAR 41	5
DAIMIEL SOLAR 42	5
DAIMIEL SOLAR 43	5

DAIMIEL SOLAR 44	5
DAIMIEL SOLAR 45	5
DAIMIEL SOLAR 46	5
DAIMIEL SOLAR 47	5
DAIMIEL SOLAR 48	5
DAIMIEL SOLAR 49	5
DAIMIEL SOLAR 5	5
DAIMIEL SOLAR 50	5
DAIMIEL SOLAR 51	5
DAIMIEL SOLAR 52	5
DAIMIEL SOLAR 53	5
DAIMIEL SOLAR 54	5
DAIMIEL SOLAR 55	5
DAIMIEL SOLAR 56	5
DAIMIEL SOLAR 57	5
DAIMIEL SOLAR 58	5
DAIMIEL SOLAR 59	5
DAIMIEL SOLAR 6	5
DAIMIEL SOLAR 60	5
DAIMIEL SOLAR 61	5
DAIMIEL SOLAR 62	5
DAIMIEL SOLAR 63	5
DAIMIEL SOLAR 64	5
DAIMIEL SOLAR 65	5
DAIMIEL SOLAR 66	5
DAIMIEL SOLAR 67	5
DAIMIEL SOLAR 68	5
DAIMIEL SOLAR 69	5
DAIMIEL SOLAR 7	5
DAIMIEL SOLAR 70	5
DAIMIEL SOLAR 71	5
DAIMIEL SOLAR 72	5
DAIMIEL SOLAR 73	5
DAIMIEL SOLAR 74	5
DAIMIEL SOLAR 75	5
DAIMIEL SOLAR 76	5
DAIMIEL SOLAR 77	5
DAIMIEL SOLAR 78	5
DAIMIEL SOLAR 79	5
DAIMIEL SOLAR 8	5

# ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

## GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

DAIMIEL SOLAR 80	5
DAIMIEL SOLAR 81	5
DAIMIEL SOLAR 82	5
DAIMIEL SOLAR 83	5
DAIMIEL SOLAR 84	5
DAIMIEL SOLAR 85	5
DAIMIEL SOLAR 86	5
DAIMIEL SOLAR 87	5
DAIMIEL SOLAR 88	5
DAIMIEL SOLAR 89	5
DAIMIEL SOLAR 9	5
DAIMIEL SOLAR 90	5
DAIMIEL SOLAR 91	5
DAIMIEL SOLAR 92	5
DAIMIEL SOLAR 93	5
DAIMIEL SOLAR 94	5
DAIMIEL SOLAR 95	5
DAIMIEL SOLAR 96	5
DAIMIEL SOLAR 97	5
DAIMIEL SOLAR 98	5
DAIMIEL SOLAR 99	5
DECLAR	90
DILABOFV	49,9
DISEÑOS VELAZQUESZ, SL	5
EDUARDO LOPEZ TRIGO	5
EL NARANJO 15	15
EL OLIVAR SOLAR 1	5
EL OLIVAR SOLAR 10	5
EL OLIVAR SOLAR 11	5
EL OLIVAR SOLAR 12	5
EL OLIVAR SOLAR 13	5
EL OLIVAR SOLAR 14	5
EL OLIVAR SOLAR 15	5
EL OLIVAR SOLAR 16	5
EL OLIVAR SOLAR 17	5
EL OLIVAR SOLAR 18	5
EL OLIVAR SOLAR 19	5
EL OLIVAR SOLAR 2	5
EL OLIVAR SOLAR 20	5
EL OLIVAR SOLAR 3	5

---

EL OLIVAR SOLAR 4	5
EL OLIVAR SOLAR 5	5
EL OLIVAR SOLAR 6	5
EL OLIVAR SOLAR 7	5
EL OLIVAR SOLAR 8	5
EL OLIVAR SOLAR 9	5
EL RASO 1	25
EL RASO 2	25
EL RASO 3	25
EL RASO 4	25
EL RASO 5	25
EL RASO 6	25
EL RASO 7	25
EL RASO 8	25
EL TERRERO	9,5
ELECTRICIDAD VALDEPEÑAS - 1	50
ELECTRO ALDEA, S.L.	15
EMILIA	50
EMILIO MURCIA DÍAZ-CANO	7,5
EMILIO MURCIA PACHECO	7,5
ENCARNACION LOPEZ LABIAN	5
ENCASUR	25
ENERCAJA SOLAR 5.1	50
ENERGÍA CONVENIENTE CATORCE	5
ENERGÍA CONVENIENTE CINCO	5
ENERGÍA CONVENIENTE CUATRO	5
ENERGÍA CONVENIENTE DIECINUEVE	5
ENERGÍA CONVENIENTE DIECIOCHO	5
ENERGÍA CONVENIENTE DIECISÉIS	5
ENERGÍA CONVENIENTE DIECISIETE	5
ENERGÍA CONVENIENTE DIEZ	5
ENERGÍA CONVENIENTE DOCE	5
ENERGÍA CONVENIENTE DOS	5
ENERGÍA CONVENIENTE NUEVE	5
ENERGÍA CONVENIENTE OCHO	5
ENERGÍA CONVENIENTE ONCE	5
ENERGÍA CONVENIENTE QUINCE	5
ENERGÍA CONVENIENTE SEIS	5
ENERGÍA CONVENIENTE SIETE	5
ENERGÍA CONVENIENTE TRECE	5

# ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

## GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

ENERGÍA CONVENIENTE TRES	5
ENERGÍA CONVENIENTE UNO	5
ENERGÍA CONVENIENTE VEINTE	5
ENERGIA SOLAR F. VICENTE MALAGON	5
ENERGIAS RENOVABLES PIEDRABUENA	20
ENERSONNE ENERGIAS RENOVABLES	49,5
ENSOMAN 2007	40
ESTELA MOLINA MADRID	5
EUROHIPER 100 KW NOMINALES	100
EUROHIPER 300	300
FERNANDO III	5
FERNANDO RECHE MORA	5
FLORES DEL HIERRO RENOVABLES	39,9
FOT. HORTOFRUTICOLA 100	100
FOT. MIPAC 100	100
FOT. SUNVISO 1	100
FOT. SUNVISO 10	100
FOT. SUNVISO 11	100
FOT. SUNVISO 12	100
FOT. SUNVISO 13	100
FOT. SUNVISO 14	100
FOT. SUNVISO 15	100
FOT. SUNVISO 16	100
FOT. SUNVISO 17	100
FOT. SUNVISO 18	100
FOT. SUNVISO 19	100
FOT. SUNVISO 2	100
FOT. SUNVISO 20	100
FOT. SUNVISO 21	100
FOT. SUNVISO 22	100
FOT. SUNVISO 23	100
FOT. SUNVISO 24	100
FOT. SUNVISO 25	100
FOT. SUNVISO 3	100
FOT. SUNVISO 4	100
FOT. SUNVISO 5	100
FOT. SUNVISO 6	100
FOT. SUNVISO 7	100
FOT. SUNVISO 8	100
FOT. SUNVISO 9	100

**ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS****GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

---

FOTOV. GIRASOL	32
FOTOV. MISACAN	95
FOTOV. SANTA QUITERIA	19,95
FOTOVOLTAICA JAC ENERGIA	100
FOTOVOLTAICA LUSER	49,5
FRANCISCO ANTONIO TAUSTE ORTIZ	5
FRANCISCO DONADO	6,6
FRANCISCO JOSE GARCIA SAGRA	5
FRUTAS SISTERNES	15
FV - PARROS - 525 KW	525
FV RED	30
FV RED 1	50
FV RED 2	80
FV RED 3	50
FV10 BERNAL	10
FVC MAXIMINO	9,9
GAMIC	90
GENERADOR DE LAS ESTRELLAS	40
GERARDO 15	15
GICASA	100
GOMEZ-RICO RENOVABLES	19,95
GONZALEZ	10
GRANDE PETROLEOS, SL	4,6
GREGORIO VELAZQUEZ	70
GRENIA	90
GRUPO DE ARQUITECTURA	20
HERMENEGILDO NIETO-SANDOVAL DIAZ-BENITO	7,5
HERRERA I	75
HERRERA II	75
HERRERA III	75
HERRERA IV	75
HERRERA IX	75
HERRERA V	75
HERRERA VI	75
HERRERA VII	75
HERRERA VIII	75
HERRERA X	75
HERRERA XI	75
HERRERA XII	75
HERRERA XIII	75

**ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS****GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

---

HERRERA XIV	75
HERRERA XIX	75
HERRERA XV	75
HERRERA XVI	75
HERRERA XVII	75
HERRERA XVIII	75
HERRERA XX	75
HERRERA XXI	75
HERRERA XXII	75
HERRERA XXIII	75
HERRERA XXIV	75
HERRERA XXV	75
HGL - 100	100
HIJOS DE DIONISIO GRANDE, SA	4,6
HISPASOL II	7,15
HNOS TORRES AREVALO - I	20
HNOS TORRES FV-1	9,9
HNOS TORRES FV-2	9,9
HNOS. MARTÍN DEL OLMO I/II	15
HNOS. TORRES AREVALO - II	20
HUERTO SOLAR 19	79,8
HUERTO SOLAR 8	50
HUERTOS SOLARES MANCHEGOS	90
I.F. EN PARAJE EL PRADO DE VILLAMAYOR DE CALATRAVA	4
I.F. FLORENCIO ROSA LOPEZ	2
I.F. FRANCISCO ANTONIO TAUSTE	2,5
I.F. GABRIEL MAROTO ROMERO DE AVILA	5
I.F. RAIMUNDO GOMEZ RICO	5
I.F. VICENTE RAMON TORRES	5
I.S.F.	62,4
I.S.F. CENTRAL FOTOVOLTAICA JUAN MANUEL DUQUE DUQUE	79,8
I.S.F. EL GUIJORRAL	79,2
I.S.F. GABRIEL MAROTO ROMERO DE ÁVILA	5
I.S.F. GREN RAINBOW	5
I.S.F. ISABEL	5
I.S.F. JARDÍN SOLAR VALDEPEÑAS 7	20
I.S.F. LAMANCHASOLAR II	49,5
I.S.F. LAMANCHASOLAR III	49,5
I.S.F. LAMANCHASOLAR IV	49,5
I.S.F. PRADO 1	9,9

I.S.F. PRADO 2	9,9
I.S.F. PRADO 3	9,9
I.S.F. PRADO 4	9,9
I.S.F. RAINBOW ENERGY	5
I.S.F. RAINBOW ENERGY PALENCIA	5
I.S.F. RAP-1	5
I.S.F. RENOV ENERGY ABARCA	5
I.S.F. RENOV ENERGY ALBA	5
I.S.F. RENOV ENERGY AÑOZA	5
I.S.F. RENOV ENERGY AREÑOS	5
I.S.F. RENOV ENERGY AYUELA	5
I.S.F. RENOV ENERGY BAQUERIN	5
I.S.F. RENOV ENERGY BAQUEZO	5
I.S.F. RENOV ENERGY CAÑIZO	5
I.S.F. RENOV ENERGY CASTRILLO	5
I.S.F. RENOV ENERGY CASTRIZO	5
I.S.F. RENOV ENERGY CASTROZO	5
I.S.F. RENOV ENERGY CORVIZO	5
I.S.F. RENOV ENERGY HERMEZO	5
I.S.F. RENOV ENERGY MAGAZO	5
I.S.F. RENOV ENERGY MENEZO	5
I.S.F. RENOV ENERGY MOARVES	5
I.S.F. RENOV ENERGY OLLEZO	5
I.S.F. RENOV ENERGY REVILLA	5
I.S.F. RENOV ENERGY REVIZO	5
I.S.F. RENOV ENERGY TARIEZO	5
I.S.F. VALLEJO 1	9,9
I.S.F. VALLEJO 2	9,9
I.S.F. VALLEJO 3	9,9
IBERICA VOLTAIC ENERGY-1	100
IBERICA VOLTAIC ENERGY-10	100
IBERICA VOLTAIC ENERGY-11	100
IBERICA VOLTAIC ENERGY-12	100
IBERICA VOLTAIC ENERGY-13	100
IBERICA VOLTAIC ENERGY-14	100
IBERICA VOLTAIC ENERGY-15	100
IBERICA VOLTAIC ENERGY-16	100
IBERICA VOLTAIC ENERGY-17	100
IBERICA VOLTAIC ENERGY-18	100
IBERICA VOLTAIC ENERGY-19	100

**ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**

**GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

IBERICA VOLTAIC ENERGY-2	100
IBERICA VOLTAIC ENERGY-20	100
IBERICA VOLTAIC ENERGY-3	100
IBERICA VOLTAIC ENERGY-4	100
IBERICA VOLTAIC ENERGY-5	100
IBERICA VOLTAIC ENERGY-6	100
IBERICA VOLTAIC ENERGY-7	100
IBERICA VOLTAIC ENERGY-8	100
IBERICA VOLTAIC ENERGY-9	100
ID ENERGIAS VIII	9,9
IFV-CR 19,2 KW GERARDO SAEZ	19,2
IM DE MEMBRILLA	50
INAESA	90
INDUSTRIAL QUESERA CUQUERELLA	100
INERGENIA 13,8	13,8
INERGENIA 5 KW	5
INERGENIA 60 KW	60
INERGENIA 90	90
INSTALACION FOTOVOLTAICA 0,925 MWN PEC	925
INVERSIONES RENTABLES	49,5
ISABEL NAVARRO	45
ISF	882,8
ISF ALCUDIA SOLAR 1	100
ISF ALCUDIA SOLAR 2	100
ISF ALCUDIA SOLAR 3	100
ISF ALCUDIA SOLAR 4	100
ISF ALCUDIA SOLAR 5	100
ISF ALCUDIA SOLAR 6	100
ISF ALCUDIA SOLAR 7	100
ISF ALCUDIA SOLAR 8	100
ISF ALJACA 20 KW	20
ISF ATALAYUELA - 2	5
ISF DE 100	100
ISFOC-EL VILLAR	900
ISFV PICON I	49989
ISFV PICON II	49989
ISFV PICON III	49990
ITV CIUDAD REAL	29,95
JARDIN SOLAR VALDEPEÑAS ALBERTO DIEGUEZ VIRGALA Y	100
JARDIN SOLAR VALDEPEÑAS ANA BELLA MATUTE	20

**ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**

**GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

JARDIN SOLAR VALDEPEÑAS ANA M <sup>a</sup> PENAS RGUEZ	20
JARDIN SOLAR VALDEPEÑAS ARASAZ	20
JARDIN SOLAR VALDEPEÑAS ARESOL	100
JARDIN SOLAR VALDEPEÑAS BETA RIOJANA SUMINISTROS	20
JARDIN SOLAR VALDEPEÑAS CAUCHOS ARNEDO	100
JARDIN SOLAR VALDEPEÑAS EDUARDO GONZALEZ ARNAIZ	40
JARDIN SOLAR VALDEPEÑAS ELECTRICIDAD ADE	100
JARDIN SOLAR VALDEPEÑAS ELISEO ROMERO ORTEGA	100
JARDIN SOLAR VALDEPEÑAS INSTALAC. Y MANTENIM. DAVA	20
JARDIN SOLAR VALDEPEÑAS INVERS. ENERGET. MENDOZA	100
JARDIN SOLAR VALDEPEÑAS IÑAKI LOPEZ DAVALILLO LARA	20
JARDIN SOLAR VALDEPEÑAS ISAAC MUGA PALACIN	20
JARDIN SOLAR VALDEPEÑAS JORGE MUGA PALACIN	100
JARDIN SOLAR VALDEPEÑAS JOSE ANT. PASCUAL GARRIDO	20
JARDIN SOLAR VALDEPEÑAS JOSMAG	60
JARDIN SOLAR VALDEPEÑAS JUAN M <sup>a</sup> PEREZ ECHEVARRIA	20
JARDIN SOLAR VALDEPEÑAS JUCAVIEL ENERGIA SOLAR	40
JARDIN SOLAR VALDEPEÑAS LA VENTANA TALES	20
JARDIN SOLAR VALDEPEÑAS LULU SOLAR	40
JARDIN SOLAR VALDEPEÑAS M <sup>a</sup> JULIA CASIS PASTOR	20
JARDIN SOLAR VALDEPEÑAS MANUEL PENAS RDGUEZ	20
JARDIN SOLAR VALDEPEÑAS MIGUEL A. ROMERO ORTEGA	100
JARDIN SOLAR VALDEPEÑAS MODELOS ESCALONA	100
JARDIN SOLAR VALDEPEÑAS PEDRO COLMENARES GONZALEZ	20
JARDIN SOLAR VALDEPEÑAS RAMON AYALA CALVO	100
JARDIN SOLAR VALDEPEÑAS TELUC	20
JARDIN SOLAR VALDEPEÑAS VIÑARESOL	20
JESUS CANDELO MEDINA RODRIGUEZ	50
JESÚS CARRERO MOLINA	3
JESUS MARTIN NIETO SANTOS	20
JESUS MARTIN-NIETO II	30
JESÚS MOYA MEGÍA	5
JOSE	100
JOSE MANUEL CRUZ PALACIOS	12
JOSE MARIA GARCIA MEDINA	5
JOSE VICENTE RUEDAS EXPOSITO	5
JOVEPRASA 1	29,7
JOVEPRASA 2	39,6
JUAN CARLOS SANCHEZ BENITEZ	3
JUAN FRANCISCO RUEDAS EXPOSITO	5

# ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

## GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

JUAN GARRIDO 10 KWN	10
JUAN IGNACIO HERRAIZ	7,5
JUAN VICENTE 1	4,5
JULIAN ALCAZAR DELGADO	5
JULIÁN RUEDAS EXPOSITO	5
JULIO ANTONIO PUEBLA PEREZ	4,8
JUSTINO MARTÍN SATURIO	15
JUVIMEPEMA	30
LA BALLESTERA Nº 1	100
LA BALLESTERA Nº 3	100
LA GRANJA	7,5
LA NAVA	49740,11
LA PAJARITA	45
LA POBLACHUELA	85
LA SOLANA 1	100
LA SOLANA 10	100
LA SOLANA 11	100
LA SOLANA 12	100
LA SOLANA 13	100
LA SOLANA 14	100
LA SOLANA 15	100
LA SOLANA 16	100
LA SOLANA 17	100
LA SOLANA 18	100
LA SOLANA 19	100
LA SOLANA 2	100
LA SOLANA 20	100
LA SOLANA 21	100
LA SOLANA 22	100
LA SOLANA 23	100
LA SOLANA 24	100
LA SOLANA 25	100
LA SOLANA 26	100
LA SOLANA 27	100
LA SOLANA 28	100
LA SOLANA 29	100
LA SOLANA 3	100
LA SOLANA 30	100
LA SOLANA 31	100
LA SOLANA 32	100

# ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

## GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

LA SOLANA 33	100
LA SOLANA 34	100
LA SOLANA 35	100
LA SOLANA 36	100
LA SOLANA 37	100
LA SOLANA 38	100
LA SOLANA 39	100
LA SOLANA 4	100
LA SOLANA 40	100
LA SOLANA 41	100
LA SOLANA 42	100
LA SOLANA 43	100
LA SOLANA 44	100
LA SOLANA 45	100
LA SOLANA 46	100
LA SOLANA 47	100
LA SOLANA 48	100
LA SOLANA 49	100
LA SOLANA 5	100
LA SOLANA 50	100
LA SOLANA 51	100
LA SOLANA 52	100
LA SOLANA 53	100
LA SOLANA 54	100
LA SOLANA 55	100
LA SOLANA 56	100
LA SOLANA 57	100
LA SOLANA 58	100
LA SOLANA 59	100
LA SOLANA 6	100
LA SOLANA 60	100
LA SOLANA 7	100
LA SOLANA 8	100
LA SOLANA 9	100
LA VENECIANA	7,5
LAGUNA FV	20
LAGUNA GARRIDO FV	20
LCL	90
LINCE ARTES GRAFICAS	60
LOS PEPOTES	100

**ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**

**GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

LUIS EMILIO VILLANUEVA MOLINA	5
LUISA VELAZQUEZ	9,9
LUMANCHA 80	80
LUMENARIA 20	20
M <sup>a</sup> ASCENCION GARCIA-CONSUEGRA GALLEGO	5
M <sup>a</sup> DE LAS CRUCES MARQUEZ SAEZ	5
M <sup>a</sup> PAZ CARMEN	4,6
MALAGON CENTROS SOCIALES	100
MANUEL ANGEL	9,9
MANUELA MARTIN MERINO	5
MARGARITA 1	9,9
MARGARITA 2	9,9
MARIA BELEN BRAVO	10
MARIA GUADALUPE	5
MARIA GUADALUPE 20 KW	20
MARIA TERESA MENCHEN VILLALTA	5,5
MARIN II	50
MARIN III	10
MARIN IV	11,4
MARINO MARTÍN SERRANO TERCERO	9
MARMOLES	15
MARMOLES 2	20
MECP FV 40	40
MERCADO	7,5
MIGUEL ANGEL FANEGA	99,75
MIGUEL BARCINO ALVAREZ	20
MIGUEL ESCRIBANO	60
MIGUELTURRA 1	100
MIGUELTURRA 10	100
MIGUELTURRA 11	100
MIGUELTURRA 12	100
MIGUELTURRA 13	100
MIGUELTURRA 2	100
MIGUELTURRA 3	100
MIGUELTURRA 4	100
MIGUELTURRA 5	100
MIGUELTURRA 6	100
MIGUELTURRA 7	100
MIGUELTURRA 8	100
MIGUELTURRA 9	100

# ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

## GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

MIRNA ESTHER RIVERO LASTRE	5
MODULO 1 CALZADA	100
MODULO 10 CALZADA	100
MODULO 11 CALZADA	100
MODULO 12 CALZADA	100
MODULO 13 CALZADA	100
MODULO 14 CALZADA	100
MODULO 15 CALZADA	100
MODULO 2 CALZADA	100
MODULO 3 CALZADA	100
MODULO 4 CALZADA	100
MODULO 5 CALZADA	100
MODULO 6 CALZADA	100
MODULO 7 CALZADA	100
MODULO 8 CALZADA	100
MODULO 9 CALZADA	100
MONTOYA I	5
MORALAS SOLAR 1	100
MORALAS SOLAR 10	100
MORALAS SOLAR 11	100
MORALAS SOLAR 12	100
MORALAS SOLAR 13	100
MORALAS SOLAR 14	100
MORALAS SOLAR 15	100
MORALAS SOLAR 16	100
MORALAS SOLAR 17	100
MORALAS SOLAR 18	100
MORALAS SOLAR 19	100
MORALAS SOLAR 2	100
MORALAS SOLAR 20	100
MORALAS SOLAR 21	100
MORALAS SOLAR 22	100
MORALAS SOLAR 23	100
MORALAS SOLAR 24	100
MORALAS SOLAR 25	100
MORALAS SOLAR 26	100
MORALAS SOLAR 27	100
MORALAS SOLAR 28	100
MORALAS SOLAR 29	100
MORALAS SOLAR 3	100

**ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS****GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

---

MORALAS SOLAR 30	100
MORALAS SOLAR 31	100
MORALAS SOLAR 32	100
MORALAS SOLAR 33	100
MORALAS SOLAR 34	100
MORALAS SOLAR 35	100
MORALAS SOLAR 36	100
MORALAS SOLAR 37	100
MORALAS SOLAR 38	100
MORALAS SOLAR 39	100
MORALAS SOLAR 4	100
MORALAS SOLAR 40	100
MORALAS SOLAR 41	100
MORALAS SOLAR 42	100
MORALAS SOLAR 43	100
MORALAS SOLAR 44	100
MORALAS SOLAR 45	100
MORALAS SOLAR 46	100
MORALAS SOLAR 47	100
MORALAS SOLAR 48	100
MORALAS SOLAR 49	100
MORALAS SOLAR 5	100
MORALAS SOLAR 50	100
MORALAS SOLAR 6	100
MORALAS SOLAR 7	100
MORALAS SOLAR 8	100
MORALAS SOLAR 9	100
MORALES I	20
MUREDA FV	99,96
NAVALAENCINA	24
NAVARRO PIQUER	20
NAVE ALCOLEA	17
NIVEL 15	99
Nº 1	100
Nº 10	100
Nº 100	100
Nº 101	100
Nº 102	100
Nº 103	100
Nº 104	100

# ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

## GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

Nº 105	100
Nº 106	100
Nº 107	100
Nº 108	100
Nº 109	100
Nº 11	100
Nº 110	100
Nº 111	100
Nº 112	100
Nº 113	100
Nº 114	100
Nº 115	100
Nº 116	100
Nº 117	100
Nº 118	100
Nº 119	100
Nº 12	100
Nº 120	100
Nº 121	100
Nº 122	100
Nº 123	100
Nº 124	100
Nº 125	100
Nº 126	100
Nº 127	100
Nº 128	100
Nº 129	100
Nº 13	100
Nº 130	100
Nº 131	100
Nº 132	100
Nº 133	100
Nº 134	100
Nº 135	100
Nº 136	100
Nº 137	100
Nº 138	100
Nº 139	100
Nº 14	100
Nº 140	100

# ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

## GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

Nº 141	100
Nº 142	100
Nº 143	100
Nº 144	100
Nº 145	100
Nº 146	100
Nº 147	100
Nº 148	100
Nº 149	100
Nº 15	100
Nº 150	100
Nº 151	100
Nº 152	100
Nº 153	100
Nº 154	100
Nº 155	100
Nº 156	100
Nº 157	100
Nº 158	100
Nº 159	100
Nº 16	100
Nº 160	100
Nº 161	100
Nº 162	100
Nº 163	100
Nº 164	100
Nº 165	100
Nº 166	100
Nº 167	100
Nº 168	100
Nº 169	100
Nº 17	100
Nº 170	100
Nº 171	100
Nº 172	100
Nº 173	100
Nº 174	100
Nº 175	100
Nº 176	100
Nº 177	100

# ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

## GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

Nº 178	100
Nº 179	100
Nº 18	100
Nº 180	100
Nº 181	100
Nº 182	100
Nº 183	100
Nº 184	100
Nº 185	100
Nº 186	100
Nº 187	100
Nº 188	100
Nº 189	100
Nº 19	100
Nº 190	100
Nº 191	100
Nº 192	100
Nº 193	100
Nº 194	100
Nº 195	100
Nº 196	100
Nº 197	100
Nº 198	100
Nº 199	100
Nº 2	100
Nº 20	100
Nº 200	100
Nº 201	100
Nº 202	100
Nº 203	100
Nº 204	100
Nº 205	100
Nº 206	100
Nº 207	100
Nº 208	100
Nº 209	100
Nº 21	100
Nº 210	100
Nº 211	100
Nº 212	100

# ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

## GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

Nº 213	100
Nº 214	100
Nº 215	100
Nº 216	100
Nº 217	100
Nº 218	100
Nº 219	100
Nº 22	100
Nº 220	100
Nº 221	100
Nº 222	100
Nº 223	100
Nº 224	100
Nº 225	100
Nº 226	100
Nº 227	100
Nº 228	100
Nº 229	100
Nº 23	100
Nº 230	100
Nº 231	100
Nº 232	100
Nº 233	100
Nº 234	100
Nº 235	100
Nº 236	100
Nº 237	100
Nº 238	100
Nº 239	100
Nº 24	100
Nº 240	100
Nº 241	100
Nº 242	100
Nº 243	100
Nº 244	100
Nº 245	100
Nº 246	100
Nº 247	100
Nº 248	100
Nº 249	100

# ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

## GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

Nº 25	100
Nº 250	100
Nº 251	100
Nº 252	100
Nº 253	100
Nº 254	100
Nº 255	100
Nº 256	100
Nº 257	100
Nº 258	100
Nº 259	100
Nº 26	100
Nº 260	100
Nº 261	100
Nº 262	100
Nº 263	100
Nº 264	100
Nº 265	100
Nº 266	100
Nº 267	100
Nº 268	100
Nº 269	100
Nº 27	100
Nº 270	100
Nº 271	100
Nº 272	100
Nº 273	100
Nº 274	100
Nº 275	100
Nº 276	100
Nº 277	100
Nº 278	100
Nº 279	100
Nº 28	100
Nº 280	100
Nº 281	100
Nº 282	100
Nº 283	100
Nº 284	100
Nº 285	100

# ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

## GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

Nº 286	100
Nº 287	100
Nº 288	100
Nº 289	100
Nº 29	100
Nº 290	100
Nº 291	100
Nº 292	100
Nº 293	100
Nº 294	100
Nº 295	100
Nº 296	100
Nº 297	100
Nº 298	100
Nº 299	100
Nº 3	100
Nº 30	100
Nº 300	100
Nº 301	100
Nº 302	100
Nº 303	100
Nº 304	100
Nº 305	100
Nº 306	100
Nº 307	100
Nº 308	100
Nº 309	100
Nº 31	100
Nº 310	100
Nº 311	100
Nº 312	100
Nº 313	100
Nº 314	100
Nº 315	100
Nº 316	100
Nº 317	100
Nº 318	100
Nº 319	100
Nº 32	100
Nº 320	100

# ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

## GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

Nº 321	100
Nº 322	100
Nº 323	100
Nº 324	100
Nº 325	100
Nº 326	100
Nº 327	100
Nº 328	100
Nº 329	100
Nº 33	100
Nº 330	100
Nº 331	100
Nº 332	100
Nº 333	100
Nº 334	100
Nº 335	100
Nº 336	100
Nº 337	100
Nº 338	100
Nº 339	100
Nº 34	100
Nº 340	100
Nº 341	100
Nº 342	100
Nº 343	100
Nº 344	100
Nº 345	100
Nº 346	100
Nº 347	100
Nº 348	100
Nº 349	100
Nº 35	100
Nº 350	100
Nº 351	100
Nº 352	100
Nº 353	100
Nº 354	100
Nº 355	100
Nº 356	100
Nº 357	100

# ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

## GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

Nº 358	100
Nº 359	100
Nº 36	100
Nº 360	100
Nº 361	100
Nº 362	100
Nº 363	100
Nº 364	100
Nº 365	100
Nº 366	100
Nº 367	100
Nº 368	100
Nº 369	100
Nº 37	100
Nº 370	100
Nº 371	100
Nº 372	100
Nº 373	100
Nº 374	100
Nº 375	100
Nº 376	100
Nº 377	100
Nº 378	100
Nº 379	100
Nº 38	100
Nº 380	100
Nº 381	100
Nº 382	100
Nº 383	100
Nº 384	100
Nº 385	100
Nº 386	100
Nº 387	100
Nº 388	100
Nº 389	100
Nº 39	100
Nº 390	100
Nº 391	100
Nº 392	100
Nº 393	100

# ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

## GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

Nº 394	100
Nº 395	100
Nº 396	100
Nº 397	100
Nº 398	100
Nº 399	100
Nº 4	100
Nº 40	100
Nº 400	100
Nº 401	100
Nº 402	100
Nº 403	100
Nº 404	100
Nº 405	100
Nº 406	100
Nº 407	100
Nº 408	100
Nº 409	100
Nº 41	100
Nº 410	100
Nº 411	100
Nº 412	100
Nº 413	100
Nº 414	100
Nº 415	100
Nº 416	100
Nº 417	100
Nº 418	100
Nº 419	100
Nº 42	100
Nº 420	100
Nº 421	100
Nº 422	100
Nº 423	100
Nº 424	100
Nº 425	100
Nº 426	100
Nº 427	100
Nº 428	100
Nº 429	100

# ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

## GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

Nº 43	100
Nº 430	100
Nº 431	100
Nº 432	100
Nº 433	100
Nº 434	100
Nº 435	100
Nº 436	100
Nº 437	100
Nº 438	100
Nº 439	100
Nº 44	100
Nº 440	100
Nº 441	100
Nº 442	100
Nº 443	100
Nº 444	100
Nº 445	100
Nº 446	100
Nº 447	100
Nº 448	100
Nº 449	100
Nº 45	100
Nº 450	100
Nº 451	100
Nº 452	100
Nº 453	100
Nº 454	100
Nº 455	100
Nº 456	100
Nº 457	100
Nº 458	100
Nº 459	100
Nº 46	100
Nº 460	100
Nº 461	100
Nº 462	100
Nº 463	100
Nº 464	100
Nº 465	100

# ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

## GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

Nº 466	100
Nº 467	100
Nº 468	100
Nº 469	100
Nº 47	100
Nº 470	100
Nº 471	100
Nº 472	100
Nº 473	100
Nº 474	100
Nº 475	100
Nº 476	100
Nº 48	100
Nº 49	100
Nº 5	100
Nº 50	100
Nº 51	100
Nº 52	100
Nº 53	100
Nº 54	100
Nº 55	100
Nº 56	100
Nº 57	100
Nº 58	100
Nº 59	100
Nº 6	100
Nº 60	100
Nº 61	100
Nº 62	100
Nº 63	100
Nº 64	100
Nº 65	100
Nº 66	100
Nº 67	100
Nº 68	100
Nº 69	100
Nº 7	100
Nº 70	100
Nº 71	100
Nº 72	100

# ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

## GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

Nº 73	100
Nº 74	100
Nº 75	100
Nº 76	100
Nº 77	100
Nº 78	100
Nº 79	100
Nº 8	100
Nº 80	100
Nº 81	100
Nº 82	100
Nº 83	100
Nº 84	100
Nº 85	100
Nº 86	100
Nº 87	100
Nº 88	100
Nº 89	100
Nº 9	100
Nº 90	100
Nº 91	100
Nº 92	100
Nº 93	100
Nº 94	100
Nº 95	100
Nº 96	100
Nº 97	100
Nº 98	100
Nº 99	100
NOHEDA	15
NUÑO Y CRUZ	29,7
OCTAGINTA	15
OLIVAR DEL MARQUES	10
P.S.M. -3	5
P.S.M. -4	5
PABELLON ALCOLEA	99
PABELLON ARGAMASILLA DE CALATRAVA	60
PABLO	5
PASAMONTES SOLAR	100
PATRICIO GIRALT MUIÑA	5

**ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**

**GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

PEDRO JOSE MURCIA PACHECO	47,5
PEDRO LAGUNA VIZCAINO	1,8
PETRI FV	20
PFV ALARCOS	49990
PIENSOS HIDALGO 10	9,9
PIENSOS HIDALGO E HIJOS 85	85
POSADILLA 1	100
POSADILLA 2	100
POSADILLA 3	100
POSADILLA 4	100
POSADILLA 5	100
PRIME	90
PROBI	100
PROMOCIONES JARAMILLO CANO	40
PRONATURE CONSULTING AND ENGINEERING, S.L.	80
PSFV PERSEO FOTON I	43560
PSFV PERSEO FOTON II	43560
PSM2	5
PUERTOLLANO 1	100
PUERTOLLANO 2	100
PUERTOLLANO 3	100
PUERTOLLANO 4	15
PUERTOLLANO 5	13300
PUERTOLLANO 500	500
PUERTOLLANO 6	17600
PUERTOLLANO 7	17600
PUERTOLLANO 8	13300
PUERTOLLANO 9	8000
PUERTOSOL ENERGIA 1	99
PUERTOSOL ENERGIA 10	99
PUERTOSOL ENERGIA 2	99
PUERTOSOL ENERGIA 3	99
PUERTOSOL ENERGIA 4	99
PUERTOSOL ENERGIA 5	99
PUERTOSOL ENERGIA 6	99
PUERTOSOL ENERGIA 7	99
PUERTOSOL ENERGIA 8	99
PUERTOSOL ENERGIA 9	99
PUGNANDO	90
PV LAS MORALAS I	75

**ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS****GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

---

PV LAS MORALAS II	75
PV LAS MORALAS III	75
PV LAS MORALAS IV	75
PV LAS MORALAS V	75
PV LAS MORALAS VI	75
PV MANZANARES I	75
PV MANZANARES II	75
PV MANZANARES III	75
PV MANZANARES IV	75
PV MANZANARES IX	75
PV MANZANARES V	75
PV MANZANARES VI	75
PV MANZANARES VII	75
PV MANZANARES VIII	75
PV MANZANARES X	75
PV MANZANARES XI	75
PV MANZANARES XII	75
PV MANZANARES XIII	75
PV MANZANARES XIV	75
PV MANZANARES XIX	75
PV MANZANARES XV	75
PV MANZANARES XVI	75
PV MANZANARES XVII	75
PV MANZANARES XVIII	75
PV MANZANARES XX	75
PV MANZANARES XXI	75
PV MANZANARES XXII	75
PV MANZANARES XXIII	75
PV MANZANARES XXIV	75
PV MANZANARES XXV	75
PV MANZANARES XXVI	75
RAFAEL FONT MUELA	13,8
RAFAEL GIL GARCIA	5
RAFAEL MAESTRE	99
RAIMUNDO MURILLO BLANC	5
RAMISOL 1	80
RAMISOL 2	10
RAMONA A. NUÑEZ DE ARENAS CARABALLO	4,2
RECUPERACIONES OVIDIO	30
RENOVABLES CIUDAD REAL 60	60

**ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS****GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

---

RENOVABLES CIUDAD REAL 70	70
RETAMAR	100
RIAGO	60
RICARDO RAFAEL ORTEGA LOPEZ	5
RICARDO RIVAS TELLERIA	27,6
RIO ENERGIA	100
ROBERTO ROMERA ROMERA	5
RODRIGUEZ RODRIGUEZ	9,9
ROMERO MONFORTE, S.L.	20
RUBIALES 1	100
RUBIALES 2	100
RUBIALES 3	100
RUBIALES 4	100
SANTOS	5,88
SERGIO PALOMARES	14,7
SERGIO RUEDAS EXPOSITO	5
SETECIENTAS	100
SF JOSE ANTONIO CASTRO ARROYO	5
SF VAQUERIA	100
SFJ1	5
SILVERIA	90
SKY	90
SOLAR NOVA	90
SOLBIMA-CIUDAD REAL	50
SOLQUIXOTE 21	100
SOLQUIXOTE 22	100
SOLQUIXOTE 23	100
SOLQUIXOTE 24	100
SOLQUIXOTE 25	100
SOLQVIXOTE 1	99
SOLQVIXOTE 10	99
SOLQVIXOTE 11	99
SOLQVIXOTE 12	99
SOLQVIXOTE 13	99
SOLQVIXOTE 14	99
SOLQVIXOTE 15	99
SOLQVIXOTE 16	99
SOLQVIXOTE 17	99
SOLQVIXOTE 18	99
SOLQVIXOTE 19	99

# ICAI - UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

## GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

---

SOLQVIXOTE 2	99
SOLQVIXOTE 20	99
SOLQVIXOTE 3	99
SOLQVIXOTE 4	99
SOLQVIXOTE 5	99
SOLQVIXOTE 6	99
SOLQVIXOTE 7	99
SOLQVIXOTE 8	99
SOLQVIXOTE 9	99
SUMINISTROS CAMACHO SAEZ	5
TACMAN 1	100
TACMAN MT	120
TALLERES ESTRADA, S.L.	79,8
TALLERES RODRIGUEZ PEINADO	16,5
TALLERES TUDEDA I	50
TANATORIO ESTADOS DEL DUQUE 2002	25
TAPIADOR MORAGA	10
TECMOELECTRIC	58,8
TEJERA	100
TEYDI PORZUNA 1- 2	96
TEYDI PORZUNA 3	96
TEYDI PORZUNA 4	96
TEYDI PORZUNA 5	96
TEYDI PORZUNA 6	96
TORRITEL RENOVABLES	100
TRANSGRACAMP	100
TRANSPORTES BALDOMERO E HIJOS	100
VICENTE	10
VILLARRUBIA	25
YOURSOLAR	990
ZEMILUX	50
ZENYT RENOVATIUM	4,8

## Referencias

- [1] Red Eléctrica de España
- [2] International Energy Agency, IEA
- [3] ABB
- [4] ENDESA
- [5] Orkestra - Fundación DEUSTO
- [6] Dovetail Partners Inc.
- [7] Plasco Energy Group
- [8] Juniper Consultancy Services
- [9] MEPL
- [10] Estadística Energética de Castilla-La Mancha AGE CAM (Agencia Regional de la energía de castilla la mancha)
- [11] La Tribuna de Ciudad Real
- [12] Energías Renovables. <https://www.energias-renovables.com/>
- [13] Energía de Castilla-La Mancha. <https://energiacastillalamancha.net/>
- [14] Lanza, Diario de La Mancha
- [15] Diario: MiCiudadReal
- [16] UNED
- [17] Ambientum
- [18] Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino
- [19] OVACEN
- [20] Ministerio para la Transición Energética y el Reto Demográfico
- [21] Apuntes asignatura Ingeniería Medioambiental – ICAI
- [22] CSIC
- [23] Westinghouse Plasma Corporation
- [24] LabTech

## Bibliografía

*ABB to install multipurpose microgrid in Australia.* (2018, 11 junio). ABB.

<https://new.abb.com/news/detail/4994/abb-to-install-multipurpose-microgrid-in-australia>

*AEMET OpenData.* (2021). AEMET.

<https://opendata.aemet.es/centrodedescargas/productosAEMET?>

*AlterNRG.* (2021). Alter NRG. <https://alternrg.com>

Álvaro, R., Larrea, M., & Álvarez, E. (2018, julio). *Autoconsumo eléctrico -*

*Normativa actual y experiencias internacionales de promoción del autoconsumo.* Orkestra - Fundación DEUSTO.

[https://www.orkestra.deusto.es/images/investigacion/publicaciones/informes/cuadernos-orkestra/Alvaro\\_Larrea\\_Alvarez\\_Autoconsumo\\_Electrico.pdf](https://www.orkestra.deusto.es/images/investigacion/publicaciones/informes/cuadernos-orkestra/Alvaro_Larrea_Alvarez_Autoconsumo_Electrico.pdf)

*Archive: Estadísticas de los precios de la electricidad - Statistics Explained.* (2020).

Eurostat. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity\\_price\\_statistics/es&oldid=496140#Precios\\_de\\_la\\_electricidad\\_para\\_los\\_consumidores\\_dom.C3.A9sticos](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_price_statistics/es&oldid=496140#Precios_de_la_electricidad_para_los_consumidores_dom.C3.A9sticos)

Arias, A. S. (2021, 30 julio). *Tasa interna de retorno (TIR).* Economipedia.

<https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>

Asociación Española de Pilas de Combustible. (2018, 27 agosto). *Pilas de Combustible.*

APPICE. <https://appice.es/pilas-de-combustible/>

Baquero, R. P. (2019, 23 julio). *Almacenamiento de Hidrógeno*. ARIEMA.

<https://www.ariema.com/almacenamiento-de-h2>

Barreras, F., & Lozano, A. (2012). *Hidrógeno. Pilas de combustible de tipo PEM*. Año Internacional de la Energía Sostenible para todos.

<http://www.energia2012.es/sites/default/files/Hidr%C3%B3geno.%20Pilas%20de%20combustible%20de%20tipo%20PEM.pdf>

*Bioraise*. (2021). Bioraise. <http://bioraise.cimat.es/Bioraise/Home/About>

Bowyer, J., & Fernholz, K. (2013). *Plasma Gasification: An Examination of the Health, Safety, and Environmental Records of Established Facilities*. Dovetail Partners Inc.

Bridgwater, A. V. (2012, 1 marzo). *Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading*. ScienceDirect.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953411000638>

*Características químicas de los residuos sólidos urbanos*. (2018, 11 abril).

AMBIENTUM.

[https://www.ambientum.com/enciclopedia\\_medioambiental/suelos/caracteristicas\\_quimicas\\_de\\_los\\_rsu.asp](https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/suelos/caracteristicas_quimicas_de_los_rsu.asp)

*Centro de Descargas del CNIG (IGN)*. (2021). Centro de Descargas del CNIG.

<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/buscador.do>

*Confinamiento del hidrógeno*. (2021). Energía Sostenible.

[http://www.energiasostenible.net/almacenamiento\\_y\\_transporte\\_de\\_hidrog.htm](http://www.energiasostenible.net/almacenamiento_y_transporte_de_hidrog.htm)

Contenidos Digitales Endesa. (2021, 20 agosto). *La Graciosa, la isla de energía inteligente*. Endesa. <https://www.endesa.com/es/proyectos/todos-los-proyectos/transicion-energetica/redes-inteligentes/la-graciosa-isla-energia-inteligente>

ESMARTCITY • *Noticias Diarias sobre Ciudades Inteligentes*. (2018, 15 octubre). ESMARTCITY. <https://www.esmartcity.es/>

Fernández Fernández, J. (2018, julio). *ESTUDIO DE UNA MICRORRED INTELIGENTE EN LA CIUDAD DE ÁVILA* (TFG). ICAI - Universidad Pontificia Comillas.

*Fuel Cell Megawatt Power Generation Platform - Hydrogen Systems - PDF Catalogs / Technical Documentation | Brochure*. (2021). Hydrogenics. <https://pdf.directindustry.com/pdf/hydrogen-systems/fuel-cell-megawatt-power-generation-platform/14703-642457.html>

IDAE. (2020). *Análisis del recurso. Atlas eólico de España*. IDAE - Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. [https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_11227\\_e4\\_atlas\\_eolico\\_A\\_9b90ff10.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e4_atlas_eolico_A_9b90ff10.pdf)

INE - Instituto Nacional de Estadística. (2021). *Instituto Nacional de Estadística*. (*National Statistics Institute*). <https://www.ine.es/dynt3/inebase/es/index.htm?padre=517&capsel=525>

- Informe del Sistema Eléctrico Español 2020*. (2021, junio). Red Eléctrica de España.  
<https://www.ree.es/es/datos/publicaciones/informe-anual-sistema/informe-del-sistema-electrico-espanol-2020>
- Juniper Consultancy Services. (2008, noviembre). *The Alter NRG / Westinghouse Plasma Gasification Process*. Juniper - Waste Technology Reports.  
[http://energy.cleartheair.org.hk/wp-content/uploads/2013/09/Westinghouse\\_Plasma\\_Gasification.pdf](http://energy.cleartheair.org.hk/wp-content/uploads/2013/09/Westinghouse_Plasma_Gasification.pdf)
- LabTech Int. Co. Ltd. - metal hydride alloys and hydrogen storage containers - research and manufacturing*. (2021). LabTech. <http://www.labtech-hydrogen.com/index.php?page=HS3>
- Leal-Quirós, E. (2004, 1 diciembre). *Plasma processing of municipal solid waste*. SciELO -Brasil.  
<https://www.scielo.br/j/bjp/a/t5PRwtytnPXHJttCTgbsJSm/?lang=en>
- Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea para Incineración de Residuos (BREF)*. (2011). Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.  
[https://prtr-es.es/Data/images/MTD\\_Incineracion\\_residuos\\_ES.pdf](https://prtr-es.es/Data/images/MTD_Incineracion_residuos_ES.pdf)
- MEPL*. (2021). SMS Maharashtra Enviro Power LTD. <https://smsmepl.com/>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico - Energía*. (2021). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.  
<https://energia.gob.es/es-es/Paginas/index.aspx>

Montes Ponce De León, J. (2006). *RECUPERACIÓN ENERGÉTICA DE LOS RESIDUOS URBANOS, RESIDUOS AGRICOLAS Y RESIDUOS FORESTALES*.

Universidad Pontificia Comillas.

Morales, V. V. (2021, 30 julio). *Valor actual neto (VAN)*. Economipedia.

<https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>

Omni Conversion Technologies Inc. (2021, 5 febrero). *Waste gasification to syngas for fuels - OMNI Conversion Technologies*. <https://omnict.com/>

Ordóñez, M. F. (2011, 29 septiembre). *Sistema eléctrico español (IV): régimen ordinario y régimen especial*. Libre Mercado.

<https://www.libremercado.com/2011-09-29/manuel-fernandez-ordonez-sistema-electrico-espanol-iv-regimen-ordinario-y-regimen-especial-61221/>

*Pilas de Combustible*. (2019, 7 febrero). Centro Nacional de Hidrógeno.

<https://www.cnh2.es/pilas-de-combustible/>

*La planta incineradora que produce energía y es una pista de esquí*. (2020, 8 enero).

OVACEN. <https://ovacen.com/planta-incineradora-energia/>

*Resíduos Sólidos de Castilla la Mancha S.A.* (2017). RSU Ciudad Real.

<https://rsuciudadreal.es/pantallas/recogidaTratamiento/resumenDatos/ResumenDatos.aspx>

Rico, D. S. (2019, 30 julio). *Pilas de Combustible*. ARIEMA.

<https://www.ariema.com/pilas-de-combustible>

Rico, J. (2017, 12 noviembre). *Ence sustituye con biomasa en Puertollano el fracaso de Elcogás con carbón y petróleo*. Energías Renovables, el periodismo de las

energías limpias. <https://www.energias-renovables.com/biomasa/ence-sustituye-con-biomasa-en-puertollano-el-20171112>

Rodríguez, D. (2016, 7 febrero). *Elcogas: dos décadas de sobresaltos para un proyecto innovador*. La Tribuna de Ciudad Real.

<https://www.latribunadeciudadreal.es/noticia/z32fef47a-c9d4-4f9c-dd2b69287080e69e/201602/elcogas-dos-decadas-de-sobresaltos-para-un-proyecto-innovador>

*Sistemas de tratamiento*. (2021). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-tratamiento/>

Tanarro, I. (2011, noviembre). *PLASMA , El Cuarto Estado de la Materia*. CSIC. <https://www.iem.csic.es/semanaciencia/semanaciencia11/semciencia11-Tanarro.pdf>

*Tema 4.- Contaminación Suelo y Residuos Sólidos*. (2020). [Diapositivas]. ICAI - Universidad Pontificia Comillas. [https://sifo.comillas.edu/pluginfile.php/2815161/mod\\_resource/content/3/4.%20GRSU%20Suelo%20y%20vertedero%202019\\_20\\_FINAL.pdf](https://sifo.comillas.edu/pluginfile.php/2815161/mod_resource/content/3/4.%20GRSU%20Suelo%20y%20vertedero%202019_20_FINAL.pdf)

UN. (2021). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible*. Objetivos y Metas de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Valenciano López, A. (2015, junio). *ESTUDIO DE UNA MICRORRED INTELIGENTE EN LA CIUDAD DE HUESCA* (PFC). ICAI - Universidad Pontificia Comillas.