



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

Itinerario de Organización

Departamento de Economía y Administración de Empresas

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Economía Circular Aplicada al Ciclo de Vida de las Instalaciones Fotovoltaicas. Análisis Estratégico.

Autor: César Pinilla Torres

Tutora: María Ascensión Castro Mérida

Málaga, 4 de septiembre de 2023

Resumen

La instalación de plantas fotovoltaicas comienza en el territorio nacional en el año 2006, las cuales poseen una vida útil de entre unos 25 y 30 años. Es más, de acuerdo con el Centro de Energías Medioambientales y Tecnológicas y el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) se estima una generación anual aproximada de unas 10.000 toneladas de paneles solares en el periodo comprendido entre los años 2022 y 2027. En consecuencia, se observa la necesidad y oportunidad de desarrollar una empresa cuya actividad sea el reciclaje del elemento rector de dichas plantas, el panel fotovoltaico.

Por tanto, el presente Trabajo de Fin de Grado busca explorar el desarrollo viable de una empresa cuyo fin sea la obtención de materias primas secundarias (vidrio, silicio, aluminio, entre otras) a partir de la segregación de los paneles fotovoltaicos de silicio usados u obsoletos, incluidos como Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE). De esta forma, se reintroducen estos materiales en los modelos productivos y se consigue cerrar el ciclo de vida del panel solar, dando lugar a la economía o modelo circular, puesto que se transforma un residuo en un recurso.

Palabras Clave: *panel fotovoltaico, economía circular, ciclo de vida, reciclaje, residuo.*

Abstract

The installation of photovoltaic plants began in Spain in 2006, which have a useful life of between 25 and 30 years. Moreover, according to the Centre for Environmental and Technological Energies and the Ministry for Ecological Transition and the Demographic Challenge (MITECO), it is estimated that approximately 10,000 tonnes of solar panels will be generated annually between 2022 and 2027. Consequently, there is a need and opportunity to develop a company whose activity is the recycling of the main element of these plants, the photovoltaic panel.

Therefore, this Final Degree Project seeks to explore the viable development of a company whose purpose is to obtain secondary raw materials (glass, silicon, aluminium, among others) from the segregation of used or obsolete silicon photovoltaic panels, included as Waste Electrical and Electronic Equipment (RAEE). In this way, these materials are reintroduced into the production models and the life cycle of the solar panel is closed, giving rise to the circular economy or model, since waste is transformed into a resource.

Key Words: photovoltaic panel, circular economy, life cycle, recycling, waste.

Índice

Declaración de Originalidad del Proyecto/Trabajo de Fin de Grado	3
Resumen	5
Abstract	5
1. Introducción	13
1.1. La Energía Solar Fotovoltaica	16
1.2. Energía Solar Fotovoltaica, Residuos y Economía Circular	21
2. Objetivos	23
3. Materiales y Métodos	23
4. La Instalación Solar Fotovoltaica	25
4.1. Tipos de Instalación	25
4.1.1. Instalaciones Fotovoltaicas a Gran Escala	25
4.1.2. Instalaciones de Autoconsumo	27
4.1.3. Estructura de la Instalación	29
4.1.3.1. Estructura Soporte	30
4.1.3.2. Seguidor Solar	33
4.1.3.3. Inversor Solar	34
4.1.3.4. Optimizador de Potencia	36
4.1.3.5. Equipos de Protección	36
4.1.3.6. Software de Optimización y Meter	37
4.1.3.7. Batería Solar	38
4.1.3.8. Regulador de Carga	39
5. Resultados	41
5.1. Proceso de Reciclaje	41
5.2. Maquinaria, Almacenaje y Transporte	48
5.2.1. Maquinaria	48
5.2.2. Almacenaje	58
5.2.3. Transporte	60
5.3. Situación, Emplazamiento y Distribución de la Planta	61
5.4. Viabilidad Económica	65
6. Conclusión	77
Anexo: Planos	79
Referencias	81

Índice de figuras

1.	Porcentaje de energía renovable respecto al consumo final de energía.	13
2.	Potencia instalada (MW) nacional, en los años 2015 y 2022.	14
3.	Generación (GWh) nacional, en los años 2015 y 2022.	15
4.	Publicidad de los Laboratorios Bell (New Jersey, USA) para promocionar el primer panel solar fotovoltaico desarrollado por sus investigadores en 1953.	17
5.	Paneles fotovoltaicos con tecnología de silicio.	18
6.	Paneles solares fotovoltaicos de capa delgada flexibles.	18
7.	Estructura de las distintas capas que conforman un panel solar fotovoltaico de silicio.	19
8.	Evolución de la potencia total instalada y la generación total instalada en el periodo comprendido entre 2015 y 2022.	20
9.	Esquema gráfico de un parque fotovoltaico	26
10.	Esquema de una instalación fotovoltaica aislada.	27
11.	Esquema de una instalación fotovoltaica conectada a la red.	28
12.	Soporte para cubiertas inclinadas	31
13.	Soporte para cubiertas planas.	31
14.	Soporte para fachadas.	32
15.	Soporte sobre el terreno.	32
16.	Ejemplo de un seguidor solar	33
17.	Ejemplo de un inversor solar	34
18.	Ejemplo de una batería solar.	38
19.	Flujograma del proceso previo a la segregación de los materiales del panel fotovoltaico usado.	42
20.	Cursograma analítico del proceso de segregación de los materiales del panel fotovoltaico usado.	44
21.	Cursograma analítico del proceso de almacenamiento permanente de los materiales del panel fotovoltaico usado.	46
22.	Línea de producción, Solar 4.0, de la empresa IBER RECYCLING.	48
23.	Separador automático para marcos de la empresa IBER RECYCLING.	49
24.	Cortadora de línea completa de banco de la empresa IBER RECYCLING.	50
25.	Delaminadora de vidrio solar de la empresa IBER RECYCLING.	51
26.	Cinta transportadora para descarga del vidrio solar delaminado de la empresa IBER RECYCLING.	52
27.	Cinta transportadora para la carga de los paneles delaminados en la trituradora de la empresa IBER RECYCLING.	53
28.	Trituradora mono eje con empujador hidráulico de la empresa IBER RECYCLING.	54
29.	Turbina multisección de la empresa IBER RECYCLING.	55
30.	Sistema de cribado de tres estadios de la empresa IBER RECYCLING.	56
31.	Transportador de rodillos de la empresa Profishop JUGHEINRICH.	57
32.	Contenedor de plástico, BIG BOX, de la empresa GRUPO TEGUI.	58
33.	Contenedor metálico de la empresa GRUPO TEGUI.	59
34.	Carretilla eléctrica de la empresa STILL.	60
35.	Mapa de las instalaciones fotovoltaicas instaladas en el territorio nacional su correspondiente territorio nacional.	61

36.	Radio de acción de las dos posibles zonas en donde puede estar ubicada la nave.	62
37.	Plano de situación.	63
38.	Plano de emplazamiento.	64
39.	Factura de la luz simulada con las condiciones de la Tarifa Classic de Audax Renovables.	69
40.	Factura de la luz simulada con las condiciones del Plan Fijo Supra de Naturgy. .	70

Índice de tablas

1.	Características técnicas: dimensiones (ancho, altura y longitud, en mm) y potencia (kW) de los elementos de la línea de procesamiento.	57
2.	Características técnicas: dimensiones (ancho, altura y longitud, en mm), capacidad (m ³) y peso (kg) de los elementos de los contenedores de almacenaje de los materiales segregados.	59
3.	Características técnicas de mayor relevancia de la carretilla eléctrica seleccionada.	60
4.	Características generales de la nave industrial seleccionada.	63
5.	Características generales: cantidad (Uds.) y precio (€) de los elementos de la línea de procesamiento y los contenedores de almacenaje.	65
6.	Cantidad (%), peso (kg), precio (€/kg) de cada elemento que compone el P.F.U. de 60 células y el precio (€/P.F.U.) de cada elemento por P.F.U. de 60 células. . .	66
7.	Cantidad (%), peso (kg), precio (€/kg) de cada elemento que compone el P.F.U. de 72 células y el precio (€/P.F.U.) de cada elemento por P.F.U. de 72 células. . .	66
8.	Salarios, mensuales y anuales (€), de todos los empleados que conforman el personal de la planta de reciclaje.	67
9.	Importe, mensual y anual (€), de los suministros necesarios básicos, luz, agua e internet.	67
10.	Condiciones, coste por periodo de la potencia (€/kW día) y del consumo (€/kWh), de la Tarifa Classic de Audax Renovables.	68
11.	Condiciones, coste por periodo de la potencia (€/kW día) y del consumo (€/kWh), del Plan Fijo Supra de Naturgy.	69
12.	Importe, mensual y anual (€), de los seguros de Responsabilidad Civil (S.R.C.), de daños y de accidentes.	71
13.	Importe, mensual y anual (€), de marketing, seguridad privada, asesoría, mantenimiento y limpieza.	71
14.	Importe, mensual y anual (€), correspondiente a la cuota de autónomo.	71
15.	Costes variables (€) derivados del proceso de segregación del P.F.U. de 400 W. .	72
16.	Costes variables (€) derivados del proceso de segregación del P.F.U. de 500 W. .	72
17.	Estudio financiero a 5 años.	73

1. Introducción

El panorama energético en España se caracteriza por un desequilibrio evidente entre los distintos tipos de energía claramente desplazado hacia las energías no renovables, lo que supone un riesgo para alcanzar el objetivo de la neutralidad climática en 2050. Por ello, es preciso revertir la situación actual implementando las medidas que sean necesarias para incrementar la instalación de las energías renovables (energías limpias o autóctonas) que permitan una reducción drástica de las emisiones de gases efecto invernadero para contribuir a la sostenibilidad del planeta y al logro efectivo de frenar la grave crisis climática.

En esta línea de actuación, el Reglamento 2018/1999 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, sobre la gobernanza de la Unión de la Energía y de la Acción por el Clima, ha establecido dos instrumentos para alcanzar el objetivo de la neutralidad climática, escalonando y marcando objetivos cada diez años hasta 2050. Tales instrumentos son los Planes Nacionales Integrados de Energía y Clima y la Estrategia de Descarbonización a 2050 (ELP) que los Estados miembros han integrado en su legislación. En nuestro país el Marco Estratégico de Energía y Clima contempla el Plan el Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (en adelante PNIEC) que prevé la instalación de 59 GW de energías renovables durante el período señalado y de 6 GW de almacenamiento homogéneo de energía procedente de las diversas tecnologías renovables y como se muestra en la Figura 1 mejora el progreso en el incremento de la contribución de las energías renovables sobre el consumo final de energía alcanzando valores máximos del 97 % en 2050 [20].

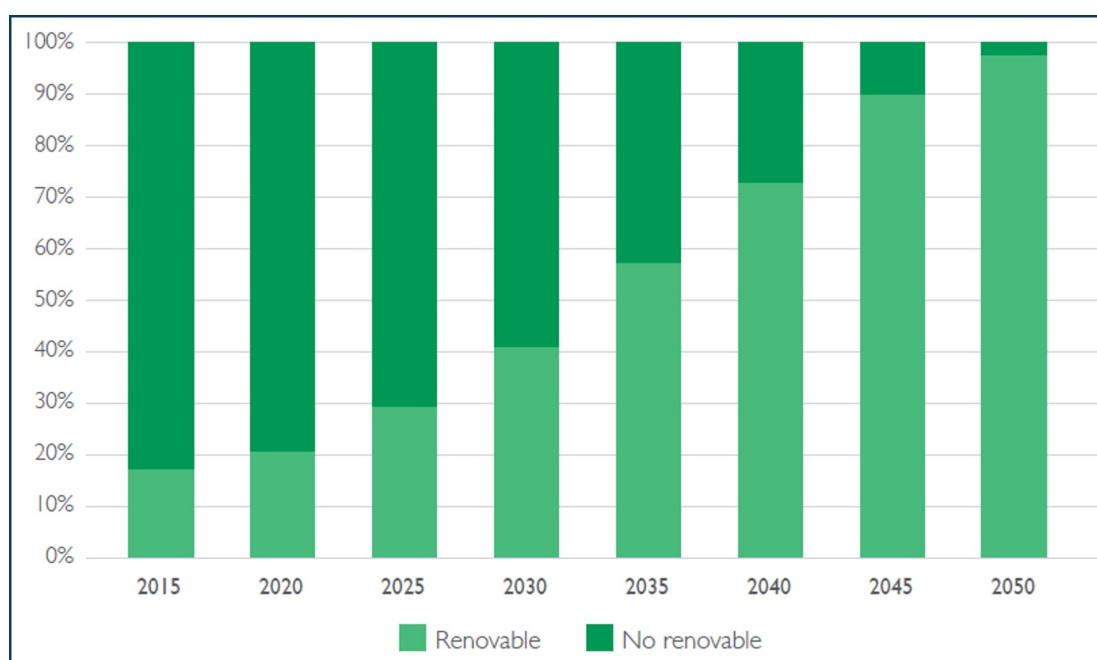


Figura 1. Porcentaje de energía renovable respecto al consumo final de energía, medido según la metodología establecida en la Directiva relativa al fomento del uso de la energía procedente de fuentes renovables, que es la 2018/2001. Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO,2020).

Además, la Ley 7/2021, [16], de 20 de mayo, de Cambio Climático y Transición Energética refleja el compromiso de nuestro país de impulsar el desarrollo de las actuaciones señaladas anteriormente y fija alcanzar los objetivos con un enfoque de esfuerzo compartido y solidario de la sociedad en su conjunto, temporal y expresamente señalados y cuantificados.

Por tanto, el foco no es solo la obligación de la reducción del consumo de energías no renovables, especialmente las procedentes de combustibles fósiles (carbón petróleo y gas) y en consecuencia, la reducción de los gases efecto invernadero, sino el impulso e implementación de medidas coadyuvantes de eficiencia energética como la economía circular o las actuaciones I+D en tecnologías renovables más eficientes, sin olvidar el fomento de la concienciación, cooperación y participación de todos los sectores de la sociedad y de su compromiso real con el medio ambiente con medidas proactivas sencillas como simples cambios en los estilos de vida, lo que contribuirá a lograr la necesaria neutralidad climática.

Ante el reto del cambio energético, el sector de energías renovables en 2022 ha respondido con un incremento del 32,23% de la potencia total instalada respecto de la instalada en 2015, Figura 2, lo que parece estar en consonancia con la estrategia establecida en el PNIEC. La mayor contribución a este incremento se debe a las energías eólica terrestre y solar fotovoltaica. El incremento de esta última es muy significativo ya que ha pasado de 4.684 MW en 2015 a 19.977 MW en 2022. Sin embargo, la potencia instalada de energía solar térmica ha permanecido invariable y tampoco se presentan cambios significativos de las potencias instaladas de la energía hidráulica y otras energías renovables desde 2015.

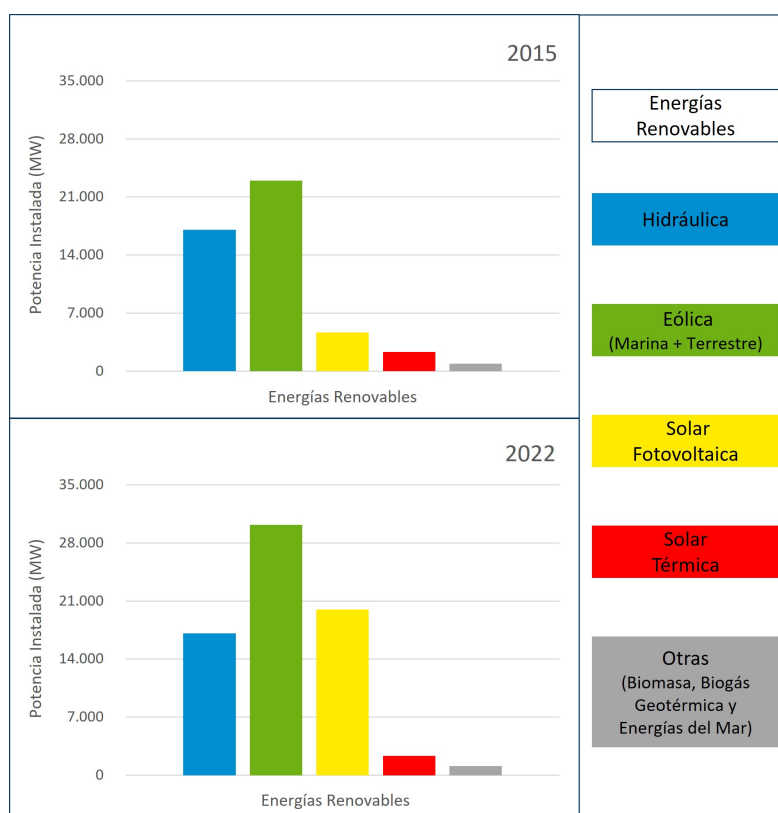


Figura 2. Potencia instalada (MW) nacional, en los años 2015 y 2022. Fuente: datos obtenidos de Red Eléctrica de España (REE) (www.ree.es). Acceso agosto 2023. Representación gráfica, elaboración propia.

En relación con la generación total (GWh) a nivel nacional de energías renovables en 2022 (Fig. 3) siguen destacando las energías eólica y solar fotovoltaica, que conjuntamente representan un 76,96% del total generado por las energías renovables. En comparación con la generación en 2015, se detecta un aumento significativo de la contribución de las energías eólica y solar fotovoltaica (1,27 y 3,38 puntos superior, respectivamente). Sin embargo, respecto del año 2021 se han generado 4.776 GWh menos, lo que podría explicarse por el significativo descenso generación por la energía hidráulica en 2022.

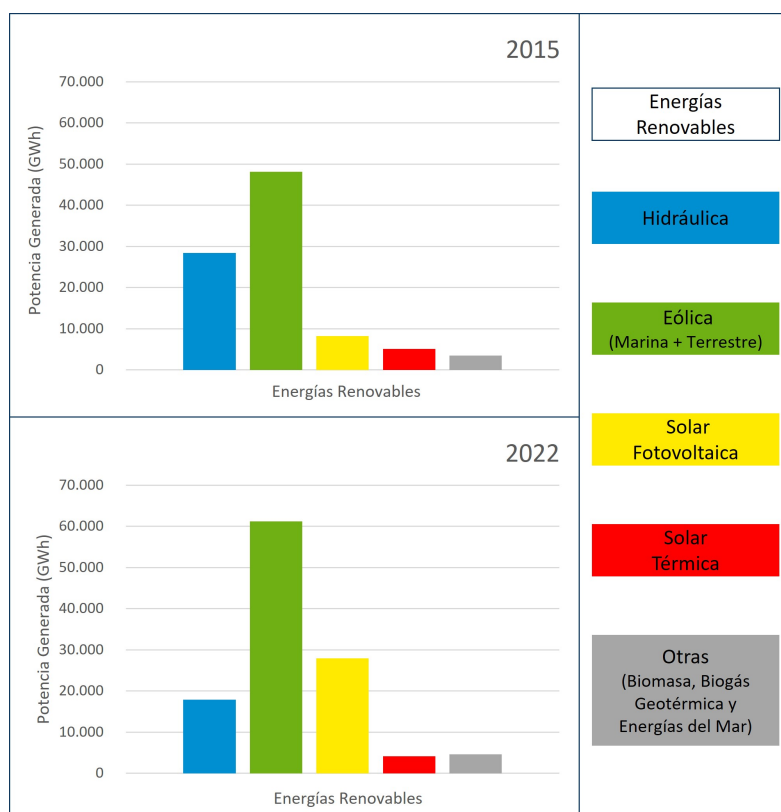


Figura 3. Generación (GWh) nacional, en los años 2015 y 2022. Fuente: datos obtenidos de Red Eléctrica de España (REE) (www.ree.es). Acceso agosto 2023. Representación gráfica, elaboración propia.

1.1. La Energía Solar Fotovoltaica

A lo largo del tiempo el hombre se ha sentido atraído por el sol. Su luz es una exigencia vital que mantiene nuestro planeta porque sin ella las bacterias fotosintéticas, las algas verdes y las plantas no podrían realizar la fotosíntesis, único proceso biológico de entrada de energía en el mundo de los seres vivos.

En la actualidad, en pleno siglo XXI, disponemos de tecnologías que nos permiten entender y aprovechar el calor y la luz que nos proporciona la energía solar para convertirla en energías renovables: **energía solar térmica y energía solar fotovoltaica**. La primera utiliza la energía solar para la producción de agua caliente o electricidad mediante colectores de alta temperatura siguiendo un proceso clásico del ciclo de Rankine y la segunda convierte la luz solar en electricidad empleando una tecnología fundamentada en el efecto fotoeléctrico que consiste en la emisión de electrones de una placa metálica al incidir sobre la misma la radiación solar.

Desde el siglo XIX se han ido sucediendo importantes descubrimientos en los que han participado científicos como Becquerel (1839) y Hertz (hacia 1880) cuyos trabajos complementarios condujeron al descubrimiento del efecto fotoeléctrico. Sin embargo, el desarrollo teórico de este efecto fue explicado por Albert Einstein en 1905 en su propuesta sobre una nueva teoría cuántica de la luz, por la que recibió el Premio Nobel de Física en 1921.

Resulta evidente que el conocimiento del efecto fotoeléctrico impulsó la investigación y desarrollo de la tecnología fotovoltaica. Sin ánimo exclusivo ni excluyente, se citan algunas aportaciones relevantes que contribuyeron decisivamente a sentar las bases para su implantación como las realizadas por:

- Charles Frittz en 1885, basándose en el trabajo de W. Smith publicado en Nature en 1873 sobre la sensibilidad del selenio a la luz, construyó la primera célula fotovoltaica formada por selenio recubierto de una fina capa de oro, con lo que consiguió la transformación parcial de la radiación solar en energía eléctrica.
- Russell Olh trabajando en los Laboratorios Bell descubrió la barrera PN (estructura fundamental de los componentes electrónicos de los semiconductores) y en 1941 determinó que el germanio superpurificado era la clave para obtener un material semiconductor útil para la fabricación de diodos, lo que le permitió patentar en 1946 una célula solar de silicio moderna que denominó “un dispositivo sensible a la luz”.
- Darryl Chapin en 1953 trabajando también en los Laboratorios Bell desarrolló una célula solar a base de silicio. El progreso de su investigación le permitió en 1954 dar a conocer y presentar el primer panel solar fotovoltaico capaz de generar electricidad conocido como Batería Solar Bell, cuya publicidad se presenta en la Figura 4, [24].

Desde entonces la industria ha ido desarrollando diferentes tecnologías de fabricación de paneles solares fotovoltaicos y mejorando su eficacia. Hoy son una realidad en los países más avanzados y particularmente importantes y esenciales en los estados miembros de la Unión Europea para el logro de su transición energética, como se ha comentado en el apartado anterior de este trabajo.



Figura 4. Publicidad de los Laboratorios Bell (New Jersey, USA) para promocionar el primer panel solar fotovoltaico desarrollado por sus investigadores en 1953. Fuente: imagen tomada de Puig y Jofrá (2009).

Los **paneles solares fotovoltaicos** son los dispositivos capaces de convertir la radiación solar en electricidad. Están formados por un conjunto de células o celdas solares o fotovoltaicas que se encuentran dispuestas en serie dentro del panel, mientras que las células solares son pequeñas placas de metales fotoeléctricos y semiconductores. Cuando la radiación solar incide sobre estas placas la energía de los fotones (partículas de luz portadoras de energía) interactúa con el material metálico de la placa cediendo su energía a un electrón de los orbitales externos del semiconductor, liberándolo y dejándolo libre por el metal, que produce una diferencia de potencial generándose una corriente eléctrica continua que pasa por un inversor para convertirse en corriente alterna destinada a la red eléctrica y al autoconsumo.

Existen dos tecnologías en la fabricación de paneles solares denominadas **paneles fotovoltaicos con tecnología de silicio** y **paneles fotovoltaicos de capa delgada** que se muestran en las Figuras 5 y 6, respectivamente. En los primeros, el material más empleado es el silicio, elemento muy abundante en nuestro planeta, que a nivel global representa el 92% de la producción de paneles fotovoltaicos. Estos paneles se fabrican en dos formas diferenciadas:

- a) Paneles con celdas monocristalinas (Figura 5A). Silicio de gran pureza y calidad. Aprovechamiento de la energía del 20-22%. Color negro o azul oscuro. Mayor eficacia en condiciones de baja luminosidad. Más delicados. Mayor coste. En su fabricación se desaprovecha mucho silicio. Representan el 45% del mercado global.

- b) Paneles con celdas policristalinas (Figura 5B) Presentan impurezas. Aprovechamiento de la energía 14-16%. Color verde o azul. Menor coste y mayor implantación. Representan el 55% del mercado global.

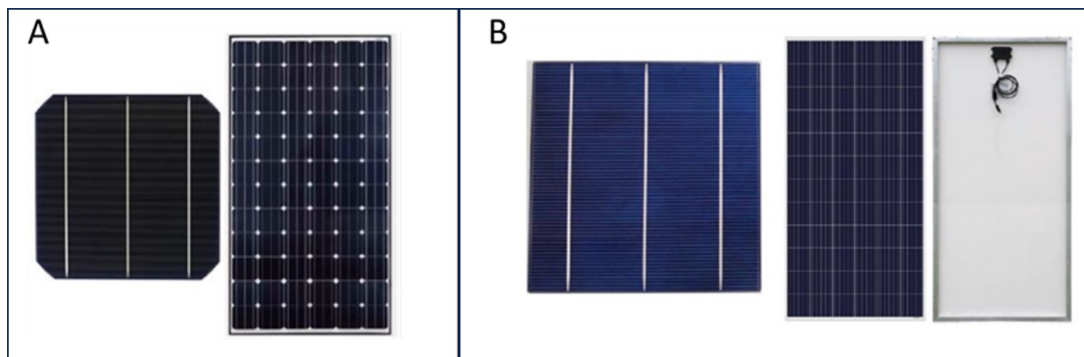


Figura 5. Paneles fotovoltaicos con tecnología de silicio. **A**, paneles (derecha) con celdas solares monocristalinas. **B**, paneles (izquierda) con celdas policristalinas. Fuente: **A**, Solivo Energy Systems (2020) y **B**, ADN Solar Energías Renovables (2020). Diseño, elaboración propia.

Por su parte, los paneles fotovoltaicos de capa o película delgada, Figura 6, [12], representan el 7% de la producción de energía por paneles fotovoltaicos a nivel global. Tamaño menor comparado con los paneles de silicio. Flexibles. Menor eficacia y menor degradación respecto de los paneles fotovoltaicos de silicio. Compuestos por varias capas de materiales fotovoltaicos que se colocan en distintos sustratos tales como:

- Telurio de Cadmio (CdTe). Sal neutra. Altamente tóxico. Eficacia 9-11 %
- Silicio amorfo. Baja eficacia 6 %.
- Seleniuro de galio e indio de cobre (CIGS). Sal neutra. Altamente tóxico. Eficacia 10-12 %
- Arseniuro de galio (GaAs). Sal neutra. Altamente tóxico. Cancerígeno. Eficacia alta (28,8%). Elevado coste. Uso para aplicaciones fotovoltaicas especiales, p.e. construcción de naves espaciales.

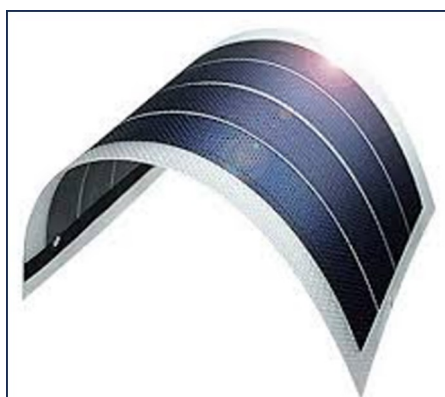


Figura 6. Paneles solares fotovoltaicos de capa delgada flexibles. Fuente: Energía solar fotovoltaica.org, 2023.

La problemática de estos paneles fotovoltaicos reside en la toxicidad de sus elementos como Cd, Te, I, As que producen efectos muy perjudiciales para la salud humana, e incluso la muerte, pudiendo afectar también a animales y plantas, [25], lo que implica una especial atención en el momento de su eliminación.

Los paneles solares fotovoltaicos con tecnología de silicio se estructuran en distintas capas compuestas de diferentes materiales, lo que conlleva un proceso de ensamblaje de todos los componentes durante la fabricación. En la Figura 7 se presenta la estructura con la disposición de cada una de las capas que integran un panel solar fotovoltaico de silicio. Vista desde la parte superior a la inferior, la disposición de estas capas es la siguiente: 1, marco de aluminio; 2, vidrio (sodio, sílice, cal); encapsulado del polímero etil-vinil- acetato (EVA); 4, células solares e interconexiones metálicas con cintas de silicio; 5, cubierta posterior con tres subcapas organizadas a modo de *sandwich* compuesta de los polímeros polivinilo de fluoruro, tereftalato de polietileno y polivinilo de fluoruro, y 6, cubierta posterior final del polímero polifenilén éter.

La capa 4 constituida por las células solares por la unión con los materiales semiconductores, conocida como unión PN, tiene una textura piramidal en las monocristalinas y aleatoria en las policristalinas, con una película para disminuir los reflejos de la luz. Es importante que la partes frontal y posterior de la célula solar contacten con pastas de aluminio y plata, encargadas de generar el campo eléctrico. Con la temperatura de cocción el aluminio se funde con el silicio creando un campo eléctrico.



Figura 7. Estructura de las distintas capas que conforman un panel solar fotovoltaico de silicio. Los materiales de cada capa se señalan en el texto. Fuente: imagen obtenida de www.areatecnología.com

Los paneles fotovoltaicos de silicio con células policristalinas son las más extendidas. Sus componentes se presentan en distintas proporciones: vidrio, 75%; aluminio, 10%; polímero, 8%; silicio, 5%; cobre, 1%; plata y otros componentes en cantidades menores. Por su parte, las placas con cubierta delgada presentan solo 5 capas y a veces dependiendo del fabricante no tienen marco de aluminio, pero la cubierta posterior es de este elemento. En estas placas los semiconductores con mayor implantación en el mercado son CdTe y CIGS. En su composición aparecen vidrio, 88%; aluminio, 7%; polímeros, 4% y metal, 1% distribuido en distintas proporciones de cobre y galio, 10%; indio, 28% y selenio, 53%.

La mejora en la fabricación de paneles solares fotovoltaicos con una mayor eficacia y mayor vida útil (25-30 años) ha favorecido la reducción de costes de los paneles solares, que junto con la estrategia energética y climática europea y española para la transición energética y neutralidad climática en 2050 han propiciado un incremento en la implantación de la energía solar fotovoltaica. En la Figura 8, se presenta la evolución de la potencia total instalada en España durante el período 2015-2022. Analizando la figura se observa que se presenta una situación diferenciada, con un estancamiento de la potencia instalada durante 2015 a 2018 y un incremento significativo y creciente durante 2019-2022. El punto de inflexión entre las dos situaciones señaladas se produce en 2018 cuando se alcanza la barrera de los 5000 MW, de potencia instalada, lo podría explicarse por el aumento de la inversión, atribuible probablemente a la derogación de la Ley 15/2012, de Medidas Fiscales para la sostenibilidad energética, que establecía un nuevo impuesto a la generación eléctrica. El año 2019 supone la consolidación con un aumento de 4000 MW de potencia instalada, lo que supone un 80 % de la potencia acumulada hasta 2018.



Figura 8. **A**, Evolución total de la potencia total instalada (MW) de energía solar fotovoltaica a nivel nacional durante el periodo 2015-2022. **B**, Evolución de la generación total (GWh) de energía solar fotovoltaica a nivel nacional durante el periodo 2015-2022. Fuente: **A**, (izquierda) datos obtenidos de Red Eléctrica de España (REE) (www.ree.es). Acceso agosto 2023. **B**, (derecha) datos obtenidos de Red Eléctrica de España (REE) (www.ree.es). Acceso agosto 2023. Representación gráfica, elaboración propia.

En relación con de la energía total generada (GWh) a nivel nacional, Figura 9, se observa una tendencia semejante a la potencia instalada, Figura 8, con un aumento significativo y exponencial durante el período 2019-2022. La mayor contribución a la energía total generada en España está liderada por Extremadura con un 25 % superando a Castilla-La Mancha y Andalucía que aportan cada una el 21 %. Estos datos parecen confirmar que la energía fotovoltaica es una realidad imparable y que está llamada como energía renovable, limpia e inagotable y también modular, según la calificación de ANPIER, a convertirse en un referente de las tecnologías de energía renovables en nuestro país.

1.2. Energía Solar Fotovoltaica, Residuos y Economía Circular

Considerando la mejora de las tecnologías de paneles solares fotovoltaicos y el crecimiento exponencial de la implantación de estos sistemas, resulta evidente el retraso del sector fotovoltaico español en la minimización de recursos. La Unión Española Fotovoltaica (UNEF), [31], señala que la mayoría de las instalaciones de reciclado de paneles fotovoltaicos están en Europa, indicando el caso de éxito el funcionamiento de una planta específica de reciclado de paneles fotovoltaicos ubicada en la francesa de Veolia por procesar 4000 toneladas en 2018 con una tasa de recuperación del 95 %.

Afortunadamente con la aprobación por el Consejo de Ministros, de 8 de marzo de 2022, del PERTE en Economía Circular (en adelante PERTE en EC), [21], marca un objetivo necesario para *“aliviar la presión de los recursos naturales finitos y garantizar la sostenibilidad del planeta y ganar eficacia y competitividad”*.

En opinión del autor de este Trabajo de Fin de Grado, se considera que el PERTE en EC es un documento extraordinario que contribuirá eficazmente al impulso definitivo del control de residuos generados por las instalaciones de energía solar fotovoltaica.

El PERTE en EC gira en torno a dos líneas de actuación que contemplan 18 instrumentos. Al sector de paneles fotovoltaicos se asignan los **instrumentos 13, 14 y 15** que hacen referencia a:

13. Ecodiseño de componente toda la cadena de valor para la mejora de la durabilidad, separabilidad, capacidad de reutilización y reciclabilidad.
14. Implementación de sistemas de reutilización al final de la vida útil para la instalación como autoconsumo.
15. Ayuda a la implantación de instalaciones de reciclaje de paneles fotovoltaicos.

El apartado 4 está dedicado a la Necesidad del PERTE en EC en las instalaciones de energía fotovoltaica, señalando expresamente que el aumento de la potencia instalada previsto durante los próximos años debe seguir la regla 3R: reducir, reutilizar y reciclar. En relación con los paneles fotovoltaicos señala que debe continuar la reducción de materiales para tener una mayor eficacia en el uso de materiales, menor impacto ambiental y menor volumen de residuos en el futuro. La segunda regla R la contempla para la reutilización de paneles fotovoltaicos reparados para venta como repuesto o paneles usados de segunda mano y respecto de la tercera regla específica que no existen en España plantas de reciclaje para afrontar en 2028 el volumen de residuos generados (previsto 22.000 toneladas anuales), ya que las actuales instalaciones se consideran que tienen una capacidad limitada (inferior a 2000 toneladas anuales).

Se recuerda en el PERTE en EC que los paneles fotovoltaicos están considerados como aparatos eléctricos y electrónicos e incluidos en el RD 110/2015, de 20 de febrero, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, [18], por lo que coste de gestión de residuos recae en el productor del panel fotovoltaico. En la normativa señalada se fija los objetivos de valorización, recuperación y reciclaje no pueden alcanzarse en la situación actual por la escasa

implantación de instalaciones específicas que puedan mantener la recuperación de materiales de alto calidad (vidrio, Aluminio, plásticos, Cu, Ag y Si). Además, se pretende centrar el foco en el sector del reciclado (reutilización tratamiento e I+D+i).

Según las estimaciones de IRENA, [27], la Unión Europea generará a partir de los paneles fotovoltaicos 8 millones de toneladas en 2030 y 78 millones de toneladas en 2050. Por tanto, la gestión de residuos es un punto clave en la estrategia de la transición energética y se deberá afrontar el reto tecnológico de la delaminación, separación y purificación del silicio del vidrio y la película semiconductor. En el PERTE en EC se considera también relevante, además en la gestión de residuos se contempla el desarrollo de tratamientos para el reciclaje, la digitalización del sector para reducir residuos generados y conocer la trazabilidad de los materiales empleado, su tipología y características.

En definitiva, y desde un punto de vista personal, el PERTE en EC fomenta e impulsa la economía circular como forma inteligente de lograr el objetivo señalado en el párrafo primero de este apartado para afrontar con éxito la transición energética y contribuir de forma eficaz al sostenimiento del planeta desde los sectores como el de la energía solar fotovoltaica.

2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es examinar y aprovechar el potencial de la economía circular como estrategia que permita cerrar ordenadamente el ciclo de vida de los paneles solares fotovoltaicos mediante el adecuado tratamiento de los residuos generados a través de la línea de procesamiento, cuyo desarrollo se presenta en el apartado 4, *Resultados*, de este documento.

3. Materiales y Métodos

La realización del presente trabajo ha requerido considerar tanto la búsqueda de información como la ejecución de los aspectos técnicos elaborados presentados en el apartado 4, *Resultados*, de este documento.

Respecto de la búsqueda de información de libros, artículos e informes técnicos se han tenido en cuenta los criterios de accesibilidad y disponibilidad en la biblioteca de la Universidad de Málaga. Se ha recurrido al buscador Google Academic/Scholar. Se han realizado consultas en línea en la revista Solar News especializada en energía solar y en el portal web líder en el sector de noticias medioambientales, de energías renovables y ecológicas. Igualmente se ha accedido a las páginas web de organismos e instituciones del sector de energías renovables, concretamente a las siguientes:

Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico (MITECO), Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), Observatorio de las Energías Renovables (OER), Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA), Asociación Nacional de Productores de Energías renovables (ANPIER), Unión Española Fotovoltaica (UNEF); Red Eléctrica de España (REE), IBERDROLA, SolarPower Europe, entre otros, para consultas relativas a la situación del sector, bases de datos estadísticas e informes técnicos y normativa legal.

La numerosa información obtenida ha requerido fijar filtros de selección, priorizando la búsqueda de acuerdo a los siguientes criterios: 1) el idioma (inglés y español); 2) el periodo de búsqueda seleccionado para este trabajo 2015-2022; 3) número de citas según los datos de Google Académico y 3) a selección de la información se ha realizado cruzando los términos de búsqueda de las palabras clave: *panel fotovoltaico; economía circular; ciclo de vida; reciclaje; residuo*.

En relación con la metodología empleada para la realización de los planos del estudio técnico que se presenta en el apartado de Resultados se han utilizado los programas AUTOCAD y Excel.

4. La Instalación Solar Fotovoltaica

Las instalaciones fotovoltaicas están compuestas por un conjunto de elementos cuyo propósito reside en la producción de electricidad a partir de la radiación solar captada. Aunque los dispositivos que componen este tipo de instalaciones no son muchos, sí que son importantes debido a su alta sofisticación técnica, como en los casos, por ejemplo, de los inversores solares o las baterías, y al cumplimiento de funciones básicas y necesarias, como los soportes o los sistemas de protección de la instalación.

Las diferentes partes de un sistema fotovoltaico varían ligeramente dependiendo de si su producción va a ser a gran escala, como los parques o huertos solares, o si va a ser para autoconsumo. Este segundo tipo de instalaciones también puede presentar diferentes componentes dependiendo de si se trata de sistemas aislados o conectados a la red, vertiendo energía cuando es generada de más o recibiendo energía cuando sea necesaria.

4.1. Tipos de Instalación

Las instalaciones fotovoltaicas se pueden dividir en dos grandes grupos, instalaciones fotovoltaicas a gran escala e instalaciones de autoconsumo. Aunque, el propósito principal de cada una de ellas es opuesto, ambas comparten una estructura muy similar con algunos elementos diferenciadores.

4.1.1. Instalaciones Fotovoltaicas a Gran Escala

Un parque fotovoltaico o parque solar es una instalación fotovoltaica a gran escala. Se trata de una central eléctrica cuyo fin es convertir la energía solar en electricidad mediante el efecto fotovoltaico o fotoeléctrico.

Estos parques establecidos en amplios terrenos, donde no existen sombras que puedan afectar al rendimiento de los paneles, logran captar grandes cantidades de luz solar que será convertida en energía eléctrica. Toda esta será inyectada a la red eléctrica para su posterior distribución a las industrias, complejos y núcleos urbanos.

La inyección a la red de toda la energía producida implica un mayor y mejor rendimiento de este tipo de instalaciones, dado que toda la electricidad generada es consumida.

Un parque solar requiere, por tanto, de una gran cantidad de placas fotovoltaicas interconectadas, un elevado número de inversores, una sala de control de la planta y varios transformadores para elevar la tensión.

A continuación, se muestra el esquema de un parque fotovoltaico, *figura 9*, [9].

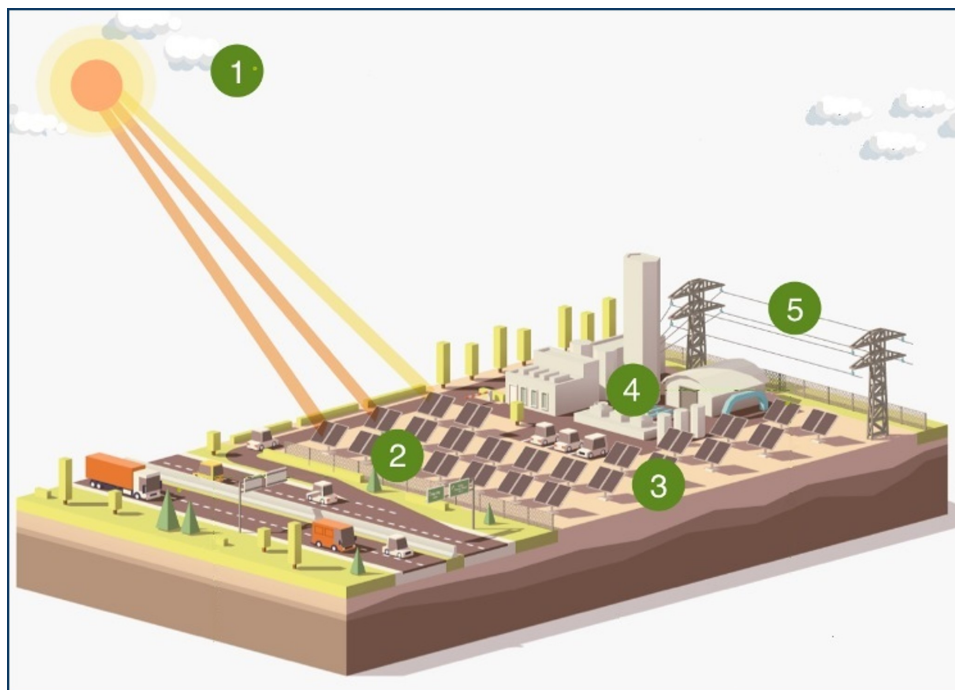


Figura 9. Esquema gráfico de un parque fotovoltaico. Fuente: imagen obtenida de la empresa IBERDROLA. (www.iberdrola.com). Diseño adaptado.

Donde los distintos puntos de la *figura 9*, comprendidos del 1 al 5, corresponden a:

1. Sol, fuente de energía renovable y emisor de las radiaciones electromagnéticas.
2. Paneles solares o fotovoltaicos, transforman la radiación en corriente continua (efecto fotoeléctrico).
3. Inversores, transforman la energía eléctrica continua generada en los paneles solares en corriente alterna.
4. Transformadores elevadores de tensión, hasta 36 kV.
5. Líneas de transporte, suministran la energía eléctrica alterna producida.

El parque solar más grande de Europa se encuentra en nuestro país, concretamente en la provincia de Badajoz. La *Planta Solar Nuñez de Balboa* abarca una extensión de aproximadamente 1.000 hectáreas, para una potencia instalada de 500 MW. Además, está en construcción en esta misma comunidad pero en la provincia de Cáceres la *Planta Solar Francisco Pizarro* de una extensión similar con una potencia pico de 554 MW.

4.1.2. Instalaciones de Autoconsumo

Como se ha mencionado anteriormente, qué es una instalación de autoconsumo, los tipos y las modalidades existentes vienen recogidas en la Ley 24/2013, de 26 de diciembre, en relación con el autoconsumo. A continuación, se distinguirán dichos tipos y modalidades:

- **Instalaciones fotovoltaicas aisladas.**

Este tipo de instalación es independiente del sistema eléctrico, es decir, no se encuentra conectado a la red eléctrica. La energía generada se consume en el mismo punto en el que se encuentra la instalación, en consecuencia, se evita la dependencia de la red.

Los elementos necesarios en las instalaciones solares de este tipo son las baterías, para el almacenamiento de la energía. Se acumulan los excedentes generados en los periodos de producción alta, y se pueda disponer de estos en periodos sin sol (días de climatología adversa o por la noche). Además, es necesario un regulador de carga cuya función será gestionar la carga de la batería.

Un inversor cargador y un grupo electrógeno. Este último dispositivo es opcional para instalaciones pequeñas, pero muy recomendable para instalaciones grandes. Es más, en el diseño del proyecto de la instalación se tendrá que calcular para que la energía generada y la capacidad de almacenamiento permitan pasar algunos días sin recibir dicha radiación.

La diferencia entre un tipo u otro de instalación es la gestión de los excedentes, es decir, lo que se hará con la energía generada y no consumida de nuestra instalación. En este caso, los excedentes de energía eléctrica generada se almacenan en las baterías para poder ser usado en momentos, en los que la generación sea inferior a la energía demandada.

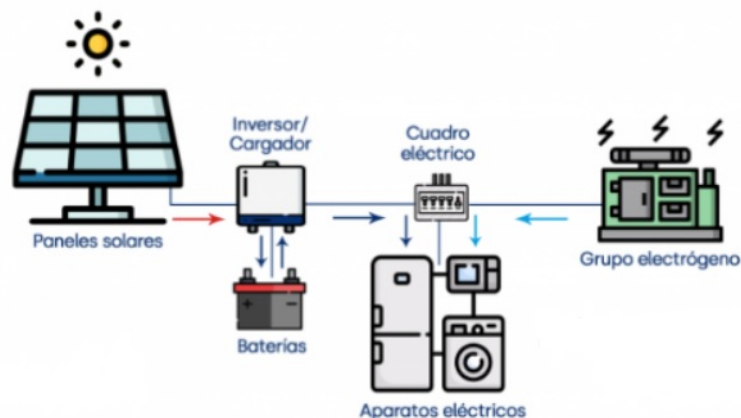


Figura 10. Esquema de una instalación fotovoltaica aislada.

■ **Instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red.**

Este tipo de instalación se caracteriza, por permanecer conectada a la red eléctrica, es decir, se trata de un modelo de generación distribuida. La electricidad generada se suministra a la red eléctrica general para su distribución.

Se prioriza el autoconsumo, por tanto, se utiliza la energía de la instalación solar mientras pueden contar con ella y cuando no es así, consiguen la energía de la red eléctrica.

El inversor necesita estar conectado a la red eléctrica y sincronizado a ella para funcionar. En el primer tipo de instalación mencionado esto no es necesario.

A diferencia de las instalaciones aisladas, los excedentes de energía de este segundo tipo de instalación son volcados a la red de distribución del sistema eléctrico.

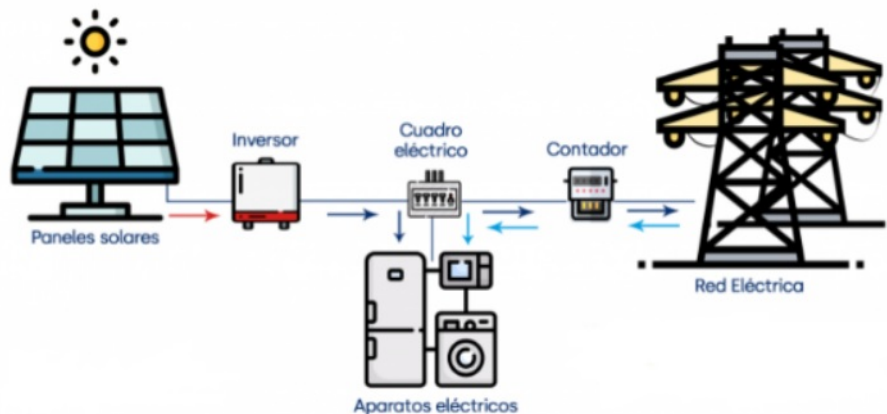


Figura 11. Esquema de una instalación fotovoltaica conectada a la red.

Desde abril de 2019, el autoconsumo solar está regulado a través del Real Decreto 244/2019 del 5 de Abril, donde se establecen las diferentes modalidades de autoconsumo. Se pueden destacar tres tipos de instalaciones:

Los tres modelos de instalación de autoconsumo han de cumplir una serie de requisitos establecidos en el Real Decreto mencionado anteriormente:

- Se ha de estar conectado a la red eléctrica, aunque el inmueble posea paneles solares y pueda ser autosuficiente.
- La instalación tiene que estar legalizada y en el contrato con la empresa comercializadora también tiene que indicarse.
- La potencia instalada no puede ser mayor a 100 kW, además, debe contar con un contador bidireccional, cuya función será, establecer el balance entre energía volcada y demandada de la red.
- La instalación no puede beneficiarse al mismo tiempo de un régimen retributivo adicional, como puede ser el caso de un régimen de autoconsumo compartido.

El objetivo del autoconsumo no consiste en aislarse totalmente de la red, sino en ahorrar lo máximo en la factura eléctrica. Durante el día se consume la energía que genera el sistema fotovoltaico y por la noche se usa energía de la red eléctrica, que combinándola con alguna tarifa de discriminación horaria se pagará menos por la energía consumida de la red. La ventaja radica en el ahorro que se obtiene durante el día, donde ya se reduce considerablemente la factura "de la luz", y además, se evita el coste de las baterías, contando con la seguridad de estar siempre conectados y de no quedarnos nunca sin suministro eléctrico.

4.1.3. Estructura de la Instalación

Como se ha mencionado anteriormente, no se aprecia gran diferencia, dado que, varía ligeramente entre las partes de un sistema fotovoltaico conectado a la red o uno que esté aislado. A continuación, se citan los principales componentes de una instalación solar fotovoltaica:

- **Módulo fotovoltaico o panel solar:** su función es la generación de la energía eléctrica a partir del efecto fotoeléctrico.
- **Estructura soporte:** su función es fijar los módulos fotovoltaicos al terreno o al tejado.
- **Seguidor solar:** su función es orientar la posición de los paneles fotovoltaicos respecto de la posición del Sol, consiguiéndose así aumentar el rendimiento de la instalación.
- **Inversor y microinversor solar:** su función es convertir la corriente continua en alterna. Además, estos almacenan información del estado general y la producción de la instalación y el consumo de la red.
- **Optimizador de potencia:** su función es mejorar el rendimiento de la instalación, para ello, hace operar cada panel en su punto de potencia máxima.
- **Equipos de protección:** su función es proteger la instalación y el inmueble en caso de un fallo eléctrico.
- **Software de monitorización y Meter:** su función es a través de una aplicación permitir al usuario monitorizar la instalación y, además, medir y mostrar la producción en tiempo real de la misma.
- **Batería solar:** su función es almacenar la energía producida para hacer uso de ella en períodos donde la producción es inferior a la demanda.
- **Regulador de carga:** su función es gestionar la carga de la batería.

4.1.3.1. Estructura Soporte

Las estructuras soporte para los módulos fotovoltaicos son un elemento necesario e indispensable en la instalación fotovoltaica. Además de servir como soporte para mantener los paneles perfectamente sujetos a la superficie, de la cubierta, fachada o terreno donde se vayan a instalar, son imprescindibles para garantizar la correcta orientación e inclinación de las mismas. Dicha orientación e inclinación se consideran fundamentales para que el sistema funcione correctamente y el aprovechamiento y rendimiento sean los más óptimos posibles.

Generalmente, las estructuras soporte son fabricadas de aluminio y acero, de modo que puedan soportar fenómenos meteorológicos adversos, como grandes rachas de viento, fuertes lluvias o granizo y cambios bruscos de temperatura. A veces, se usan bloques de hormigón cuando la topología del terreno es favorable a esta configuración.

La elección del tipo de estructura dependerá de la superficie donde se vaya a instalar el sistema fotovoltaico, no será la misma estructura para un tejado inclinado que para uno plano, ni será la misma para una fachada, y será completamente distinta si la instalación fuera en el terreno. Además, para cada una de estas superficies los anclajes y fijaciones serán diferentes, de modo que, la estructura sea la más óptima y duradera. Por tanto, el emplazamiento de la instalación es un requisito de estudio muy importante.

La zona geográfica ha de ser tenida muy en cuenta en el estudio, dado que se han de considerar las condiciones climatológicas adversas y posibles fenómenos naturales, como movimientos sísmicos, volcánicos, etc.

A continuación, se distinguirán diferentes tipos de estructuras, de acuerdo con la información obtenida de [26], esto no quiere decir que todas las estructuras tengan que estar englobadas en alguno de estos grupos, dado que, también pueden ser hechas a medida para las condiciones particulares del cliente.

- Soportes para cubiertas inclinadas.

En España, es un tipo de estructura muy frecuente, puesto que, la gran mayoría de las viviendas cuentan con tejados inclinados.

Cuando el tejado está constituido por tejas arábicas, el método de anclaje para es conocido como varilla roscada, esto es, realizar una perforación en las tejas sobre las que se introducen unas varillas que llegan a la base de la cubierta, y se sujetan enroscadas.

Cuando la cubierta, está compuesta por materiales frágiles, como la pizarra, se utilizan una serie de ganchos especiales en la estructura para sujetarla a la superficie.



Figura 12. Soporte para cubiertas inclinadas. Fuente: imagen obtenida de la empresa EFC SOLAR. (www.efcsolar.com).

■ Soportes para cubiertas planas.

Cuando la cubierta sea plana y el soporte de la instalación también sea plano y horizontal, se ha de tener en cuenta que la estructura ha de permitir que los paneles fotovoltaicos tengan un apoyo inclinado entre 15° y 30° .

Conocidos la situación (orientación y posición) y el emplazamiento, se ha de realizar el cálculo de los grados de inclinación. A partir, de este se escogerá el material que cumpla los requisitos del anclaje más seguro y adecuado.



Figura 13. Soporte para cubiertas planas. Fuente: imagen obtenida de la empresa EFC SOLAR. (www.efcsolar.com).

- Soportes para fachadas.

Este tipo de soporte estructura es muy específico. Suele estar fabricado de aluminio o aleaciones de acero, capaces soportar fenómenos meteorológicos adversos, como nieve, granizo o fuertes rachas de viento.

Se fijan generalmente con tacos químicos a la fachada, siendo su seguridad y eficiencia de igual grado que las estructuras situadas en las cubiertas.



Figura 14. Soporte para fachadas. Fuente: imagen obtenida de la empresa EFC SOLAR. (www.efcsolar.com).

Esta estructura se puede encontrar en la fachada principal de la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Industriales de la Universidad de Málaga.

- Soportes sobre el terreno.

Este tipo de soporte estructura está diseñado para anclarse sobre el terreno. Su anclaje es específico para el suelo o la tierra, aunque en algunos casos es común el uso de estructuras con bases de hormigón o algún otro material pesado con el fin de evitar la movilidad de los paneles solares.



Figura 15. Soporte sobre el terreno. Fuente: imagen obtenida de la empresa EFC SOLAR. (www.efcsolar.com).

Estas estructuras son típicas de las centrales solares o huertos solares que se instalan sobre amplios terrenos.

4.1.3.2. Seguidor Solar

El seguidor solar o regulador solar es un aparato cuya función principal es orientar e inclinar los paneles solares con el fin de mejorar el rendimiento de la instalación fotovoltaica para aumentar así su producción. La optimización de la orientación e inclinación de los paneles es realizada durante todo el día.

Este dispositivo es un brazo motorizado anexo a los paneles y cuyo movimiento se asemeja al que realizan los girasoles, es decir, buscar seguir al sol durante todo el día.

Actualmente, se distinguen dos tipos de sistema:

- Seguidores solares de un eje: optimizan la orientación de los paneles a lo largo del día, desde que el sol sale por el este hasta que se pone por el oeste.
- Seguidores solares de dos ejes: optimizan la orientación de los paneles a lo largo del día y, además, optimizan la inclinación de los paneles teniendo en cuenta la incidencia de los rayos solares.

La programación de estos dispositivos tiene en cuenta la hora del día, la estación del año y la latitud en la que se encuentra la instalación solar. Adicionalmente, estos pueden utilizar un sistema servo para reducir siempre la diferencia entre la insolación máxima y la insolación percibida por los paneles en base a una “sonda solar” y un sistema de cálculo.



Figura 16. Ejemplo de un seguidor solar. Fuente: imagen obtenida de la empresa ALMACEN FOTOVOLTAICO. (elalmacenfotovoltaico.com).

Las ventajas de este aparato son:

- Aumento del rendimiento de la instalación fotovoltaica, entre un 25% y un 30% en el caso de un eje, y del 40% en el caso del de dos ejes.

- Es un elemento independiente de la instalación.
- No requiere de ningún tipo de permiso especial para su instalación.

Sin embargo, no todo son ventajas, y es que la instalación de los seguidores solares llevan aparejadas una serie de desventajas:

- Eleva muy significativamente la inversión inicial a realizar (hasta 15.000 €, por unidad). En consecuencia, en viviendas particulares no suelen ser instalados.
- Requieren de un mantenimiento constante y periódico.
- En lugares donde las rachas de viento son elevadas, no son recomendables.
- Los sistemas mecánicos tienen una vida útil entre 15 y 20 años.

España cuenta con grandes empresas que se dedican a la fabricación de este elemento, como la madrileña *PV Hardware* o la murciana *Soltec*.

4.1.3.3. Inversor Solar

Un inversor solar es un dispositivo, concretamente un convertidor, que transforma la corriente continua que recibe de los paneles fotovoltaicos en corriente alterna.

Es un elemento fundamental para el correcto funcionamiento de la instalación, dado que es la corriente alterna la que se emplea en el hogar, la que se almacena en las baterías o la que se vierte a la red (procedente de instalaciones de consumo o de centrales solares).

Otras funciones del inversor solar son:

- Maximizar la potencia de los paneles para aumentar la generación de electricidad.
- Deja de transformar la corriente cuando existe un cortocircuito (voluntario, por mantenimiento, o involuntario, fallo eléctrico).



Figura 17. Ejemplo de un inversor solar. Fuente: imagen obtenida de la empresa ALMACEN FOTOVOLTAICO. (elalmacenfotovoltaico.com).

A continuación, se determinarán los distintos tipos de inversor existentes. Aunque todos ellos se pueden agrupar en dos bloques: inversores en función de la potencia y configuración eléctrica e inversores en función de la aplicación del sistema.

- Inversores monofásicos.

Como su nombre bien indica, este tipo de inversor solamente emplea una fase, es decir, la electricidad generada se traslada con una misma corriente.

Son característicos de pequeñas instalaciones, cuya potencia máxima es de 14,49 kW y de 230 V, como puede ser el caso de la gran mayoría de viviendas españolas. En consecuencia, el coste de este elemento no es muy elevado.

- Inversores trifásicos.

Este tipo de inversor, en cambio, dispone de tres fases (tres corrientes), siendo la tensión de 400 V. Son característicos de grandes instalaciones cuya demanda o generación es muy elevada, como grandes empresas o parques solares. Por tanto, el coste es elevado.

Una vez, mencionados los inversores pertenecientes al primer grupo, se proceden a determinar los del segundo, en función de la aplicación del sistema.

- Inversores string o en cadena.

Los módulos fotovoltaicos se conectan en serie o cadena entre sí, y se agrupan en ramales. Cada ramal se conecta a un único inversor solar, que es el encargado de convertir la corriente continua procedente de los paneles en corriente alterna. Debido a su principio de funcionamiento, un inversor de este tipo capta tanta electricidad como el panel menos eficiente del ramal, por tanto, el bajo rendimiento de un panel solar puede afectar a los restantes de esa cadena, en consecuencia, se limita la producción de energía al panel que genere menor potencia, siendo este el principal problema del inversor string.

Su acceso es fácil, la instalación es sencilla y son los más económicos y utilizados ya que apenas requieren mantenimiento. Son una buena inversión en lugares donde la luz solar es constante y carecen de sombras.

- Microinversores.

Los microinversores se instalan en cada panel solar distribuidos por todo el sistema fotovoltaico, en consecuencia, ya no es necesario que la producción sea dirigida a un inversor centralizado, como en el caso de los inversores string, es decir, cada panel transforma la electricidad de corriente continua a alterna. La producción de un panel que por diversos motivos no sea la esperada no afectará al resto y, por tanto, el rendimiento de la instalación apenas se ve afectado.

El acceso e instalación se complican, y el precio es muy elevado, dado que cada uno de estos elementos se incrustan en cada panel.

En último lugar, se mencionan los inversores híbridos e inversores de instalaciones aisladas. Sus funcionamientos son prácticamente idénticos, con la principal diferencia que el primero de ellos pueden convertir en ambas direcciones, esto es, puede convertir la corriente alterna en continua para cargar las baterías y convertir la corriente continua en alterna para su uso en la vivienda.

Ambos inversores, realizarán la función principal de convertir la corriente continua en alterna y, además, buscarán maximizar la vida útil de la batería.

4.1.3.4. Optimizador de Potencia

Un optimizador de potencia es una combinación de microinversores e inversores string. Se encuentran acoplados a la parte trasera de cada panel solar permitiendo que éste opere independientemente del resto de módulos de su fila, al igual que los microinversores. Pero envían la energía producida a un inversor centralizado de tipo string.

Mejoran la eficiencia de la instalación y ofrecen la ventaja de supervisar el rendimiento de cada panel solar individualmente. Además, son menos costosos que los microinversores y el mantenimiento es mucho menor.

4.1.3.5. Equipos de Protección

Los equipos de protección en una instalación fotovoltaica desempeñan un papel crucial en la seguridad y el funcionamiento adecuado del sistema, puesto que protegen a este y al inmueble en caso de fallo eléctrico. A continuación, se presentan los principales elementos de protección de la instalación es importante que la instalación cumpla con la normativa para garantizar una protección adecuada y segura del sistema y las personas involucradas.

- **Interruptor de circuito:** dispositivo de protección cuya función es cortar la corriente eléctrica en caso de una sobrecarga o cortocircuito. Ayuda a prevenir daños en los componentes del sistema y reduce el riesgo de incendios eléctricos.
- **Fusibles:** dispositivos de protección cuya función es interrumpir la corriente eléctrica en caso de una sobrecarga o cortocircuito. Se funde un elemento conductor alojado en el interior del fusible cuando se excede la corriente nominal, en consecuencia, se interrumpe el flujo de corriente y se protege a los componentes del sistema.

- Protección contra sobretensiones: dispositivo de protección cuya función es proteger el sistema fotovoltaico de variaciones bruscas en la tensión, como las provocadas por rayos o fallas en la red eléctrica. Estos dispositivos desvían las sobretensiones a tierra, evitando daños en los equipos sensibles.
- Protección contra descarga a tierra: Los sistemas fotovoltaicos también deben contar con protección contra descargas a tierra, lo que implica la conexión adecuada a tierra de los equipos y estructuras metálicas. Esto garantiza la seguridad de las personas al prevenir la acumulación de voltajes peligrosos y proporciona un camino de descarga seguro en caso de una falla en el sistema.
- Protección contra inversión de corriente: En una instalación conectada a la red eléctrica, es decir, que puede demandar y/o verter energía a la red, es necesario un dispositivo de protección contra la inversión de corriente para evitar que la energía generada fluya hacia la red cuando se produce una falta o cortocircuito. De esta forma se consigue proteger a los operarios de la compañía eléctrica que se encuentren reparando la red y se evitan posibles daños en los equipos.

4.1.3.6. Software de Optimización y Meter

El software de optimización es una aplicación o portal web donde la instalación vuelca sus datos cada pocos minutos, permitiendo al usuario, una vez dado de alta, monitorizar a través de su ordenador personal, móvil o tablet el estado de la instalación, la producción fotovoltaica y/o el consumo de la vivienda.

El Meter será el encargado de medir en tiempo real la producción de energía de la instalación permitiendo también monitorizar la misma.

Generalmente, se instala un contador bidireccional que mide el consumo eléctrico en ambos sentidos, la energía entrante al sistema y la saliente del sistema, en caso que se viertan los excedentes a la red. La compensación está limitada según la potencia contratada con la compañía comercializadora, y no podrá aportar beneficios, sólo permitirá reducir hasta cero el importe por energía consumida.

4.1.3.7. Batería Solar

Las baterías son esenciales en instalaciones aisladas de la red eléctrica para poder garantizar el suministro eléctrico en las horas nocturnas o en días nublados, aunque también se pueden encontrar en instalaciones de autoconsumo conectadas a la red con el fin de aprovechar la producción propia de energía fotovoltaica.

Las baterías solares o fotovoltaicas, por tanto, son acumuladores eléctricos cuyo fin radica en almacenar la energía eléctrica continua generada por una placa fotovoltaica en una instalación de energía solar. Dichos acumuladores son las celdas encargadas de almacenar la energía mediante un proceso electroquímico.

A continuación, se nombran otras funciones realizadas por la batería:

- Gestión de cargas pico, pueden suministrar energía almacenada durante momentos de alta demanda, reduciendo así la carga máxima de la red eléctrica.
- Respuesta a emergencias, en caso de cortes de energía, las baterías pueden proporcionar energía de respaldo, manteniendo ciertos sistemas críticos en funcionamiento.
- Mejora de la estabilidad de la red, pueden ayudar a estabilizar la red eléctrica al proporcionar regulación de frecuencia y control de voltaje.
- Optimización económica, en algunos casos, pueden ayudar a reducir los costes de la factura eléctrica o "factura de la luz", al cargar durante períodos de baja tarifa y descargar durante períodos de tarifas más altas (tarifas por horarios).

La *figura 18* muestra un ejemplo de una batería solar, en este caso de la marca Huawei.



Figura 18. Ejemplo de una batería solar. Fuente: imagen obtenida de la empresa ALMACEN FOTOVOLTAICO. (elalmacenfotovoltaico.com).

4.1.3.8. Regulador de Carga

El regulador de carga, también conocido como controlador de carga o cargador solar, es un dispositivo empleado en instalaciones fotovoltaicas para regular y controlar la carga de las baterías. Su función principal es gestionar el flujo de energía entre los paneles solares y las baterías, de esta forma se asegura una carga eficiente y se protegen las baterías.

El controlador de carga supervisa y controla, en todo momento, el voltaje y la corriente que provienen de los paneles solares con el fin de cargar las baterías. Es más, el regulador de carga ajusta los parámetros de carga para mantener las baterías en su nivel óptimo de carga.

Además, de la mencionada función principal también se encarga de proteger la batería de sobrecargas y descargas profundas, grandes incrementos de temperatura en las mismas, etc., cuyo efecto es la disminución de la vida útil de las mismas.

5. Resultados

5.1. Proceso de Reciclaje

A continuación, se procede a mostrar el proceso de reciclado de un panel solar usado u obsoleto. Previamente, se define qué es el reciclaje siendo este el proceso de reincorporación a la cadena o procesos de producción materiales usados y desechados. Es decir, consiste en dar un nuevo uso a cierto tipo de residuos, los cuales pasarán a ser materia prima para la elaboración de nuevos productos. De esta forma, se consigue ahorrar en materiales básicos, en energía y, además, se disminuye el impacto medioambiental de los productos involucrados (el nuevo y el reciclado).

Es una de las principales formas de combatir la contaminación medioambiental por acumulación de residuos físicos, dicha contaminación consiste en la dispersión de elementos sólidos en el entorno natural, donde su proceso de degradación se hace lento o a veces imposible, y donde su presencia, además, altera de manera impredecible la dinámica física y química del entorno. Por tanto, es una forma de paliar o matizar la acumulación de materiales de desecho propios de la vida industrial y la sociedad de consumo.

El proceso de reciclaje de paneles fotovoltaicos se realiza de forma continua, se busca en la mayor medida de lo posible no tener que interrumpir el proceso o interrumpirlo. Por tanto, una vez comienza la jornada laboral y se empieza a introducir la materia prima, el panel fotovoltaico usado (en adelante, P.F.U.), se tiene que lograr la máxima continuidad posible.

El proceso mecánico para la segregación de estos diferencia dos partes distinguidas. En la primera de ellas son requeridos los operarios para que se lleven a acabo las operaciones correspondientes, incluye las zonas de retirada del marco, de corte y de delaminado que se examinarán con mayor detalle más adelante en el documento. En la segunda, el proceso es completamente automatizado, sólo se requiere un operario para el vaciado de los contenedores temporales.

En primer lugar, se muestra el proceso previo a la segregación de los materiales que componen el P.F.U., Figura 19, para ello se ha empleado un flujograma con el fin de aportar una visión más gráfica.

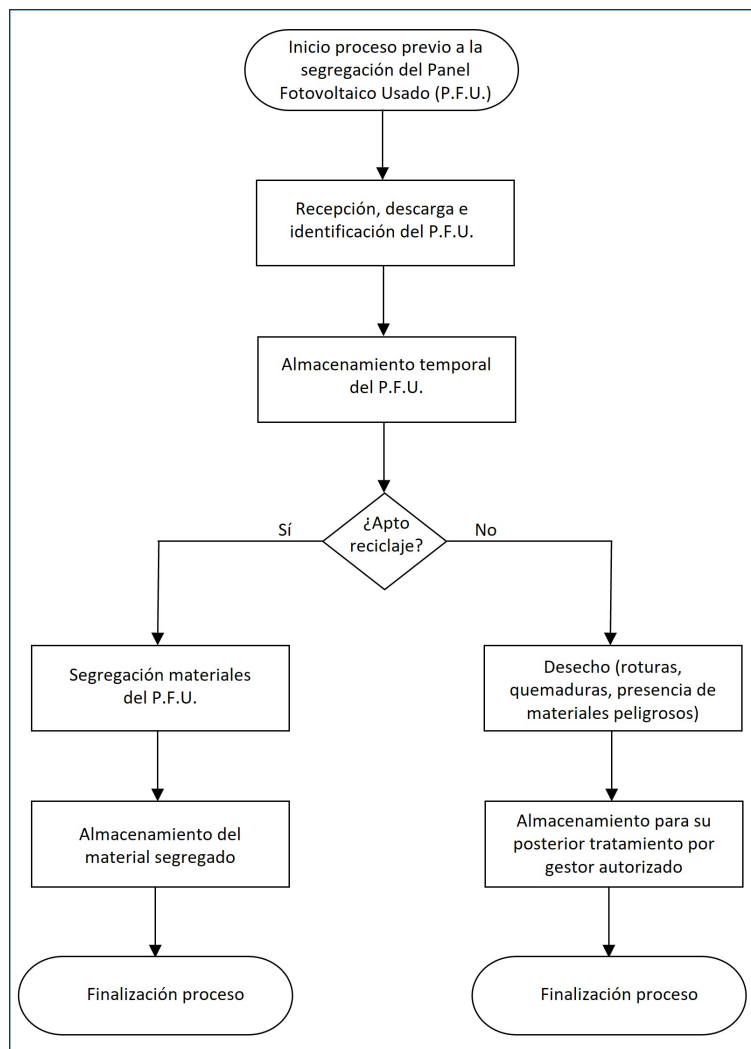


Figura 19. Flujograma del proceso previo a la segregación de los materiales del panel fotovoltaico usado. Elaboración propia.

El proceso del reciclaje del panel fotovoltaico, comienza con la recepción y descarga de las placas en la zona de almacenamiento destinada para ello. Será allí donde se identifiquen los paneles, dicho de otra forma, se señalarán estos con un cartel que indique de qué tipo son.

Cuando el operario coja un panel para llevarlo a la zona de corte deberá comprobar si este es apto para el reciclaje o no. Si este no es válido se depositará en el contenedor de residuos que será recogido y tratado por un gestor autorizado. Las causas para que un panel sea desechado pueden ser, sin ánimo ni exclusivo ni excluyente, composición de materiales peligrosos como los paneles de Teluro-Cadmio, que esté quemado, posea roturas que impidan su procesamiento, etc. Por el contrario, si un módulo solar es válido será procesado y segregado en la línea de procesamiento.

Una vez determinado la validez para el proceso de segregación del P.F.U., se procede a iniciar la deconstrucción del panel en la línea de procesamiento. De forma análoga, al proceso previo mencionado anteriormente, se ha realizado un cursograma analítico, Figura 21, que muestra de forma gráfica este proceso.

En primer lugar, se transporta a la zona de separación del marco. Allí se le retira el cableado de cobre externo, cuando proceda. Tras esta primera operación, cuya importancia es esencial para el posterior proceso de segregación automatizado, se introduce el módulo fotovoltaico en el separador automático de marcos, donde se eliminan los marcos de aluminio adheridos al panel. Una vez retirado el marco de aluminio se transporta a la zona de corte, en la cual, se cortará la placa a la mitad respecto de su eje longitudinal, con el fin de simplificar las operaciones posteriores y reducir tanto el esfuerzo como el consumo realizado por la máquina. Tanto el cableado eléctrico extraído como el aluminio, son almacenados temporalmente junto a la primera máquina del proceso, en recipientes distintos. Al final de la jornada o cuando estos estén llenos, se vuelcan en los contenedores de gran capacidad.

Tras la división del panel en dos partes se transporta hasta la zona de delaminado. En ella, se hará pasar el panel sin marcos, dado que ya fueron retirados, a través de unos rodillos que lo flexionan logrando así partir el vidrio en trozos de diferente tamaño que caerán a un recipiente como el empleado para recoger los materiales antes obtenidos. De igual forma, al final del día o cuando sea requerido, se traspasarán a un contenedor de mayor tamaño.

Son de vital importancia dos consideraciones en la operación de delaminado:

1. Introducir la placa boca abajo, esto es, el vidrio tiene que ser la cara inferior, de esta forma se consigue que el vidrio partido caiga por acción de la gravedad al recipiente correspondiente. Si se introdujera hacia arriba el vidrio no caería y podría suponer un peligro para el correcto funcionamiento de la máquina.
2. Debe estar introducido el tipo de placa y, por consiguiente, las características de esta antes de comenzar el delaminado.

Para que el vidrio llegue a su recipiente correspondiente se emplea una cinta transportadora con desferrizador, es decir, esta consta de un diferenciador magnético de neodimio que recoge las partículas de hierro existentes. Además, cuenta con una micro criba que separa las fracciones de vidrio cuyo tamaño es inferior a 1 mm.

A continuación, se dirige el panel a través de otra cinta transportadora a la zona de trituración. La máquina, mono eje, correspondiente a esta operación consigue reducirlo a partículas menores de 10-15 mm. Este material fraccionado es turbinado, mediante el efecto de la fuerza centrífuga en el interior de la cámara, consiguiéndose así la disgregación de los distintos elementos.

En último lugar, se procede a la separación de los distintos materiales obtenidos tras el proceso de segregación. Idénticamente, al cableado de cobre, al aluminio y al vidrio se vuelcan el silicio, el plástico EVA y el polvo de cobre y plata en contenedores de mayor capacidad cuando es necesario o requerido.

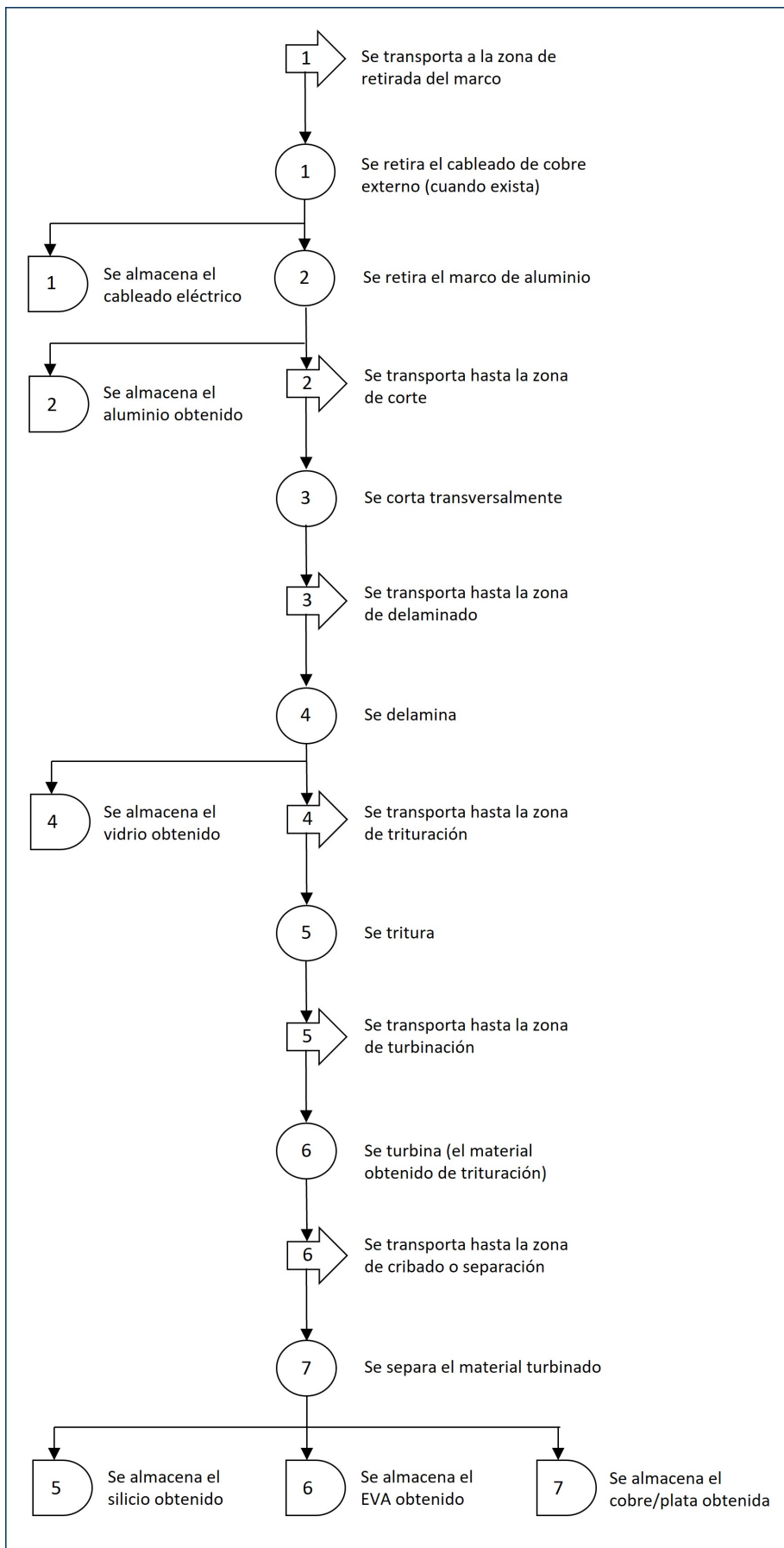


Figura 20. Cursograma analítico del proceso de segregación de los materiales del panel fotovoltaico usado. Elaboración propia.

A continuación, se procede a desarrollar cada uno de las actividades que han de realizarse en el proceso de segregación de materiales del panel solar.

- **Transporte 1:** Una vez determinada la validez del panel usado para poder ser segregado, se traslada este a la zona de corte. El caso más desfavorable es cuando este se encuentra a 8 metros del transportador de rodillos y se tardan 12 segundos.
- **Operación 1:** Se retira el cableado de cobre o caja de conexiones de forma manual, esta se retira para que pueda retirarse velozmente el marco de aluminio. Se tarda aproximadamente unos 50 segundos en retirarla. El operario es el mismo que el realizó la actividad transporte 1, aunque este caso no se desplaza.
- **Almacenamiento temporal 1:** Cuando la caja de conexiones es extraída es depositada en un contenedor temporal para este tipo de elementos. Se tardan 3 segundos. Cuando este se llene o al final de la jornada se transportará a su contenedor de gran capacidad respectivo.
- **Operación 2:** Se retira el marco de la aluminio, para ello, se introduce el panel en la máquina, separador automático de marcos. Como las actividades anteriores el mismo operario también se encarga de esta y tarda 25 segundos.
- **Almacenamiento temporal 2:** Retirado el marco de aluminio se deposita este en su recipiente temporal. Se tardan 3 segundos.
- **Transporte 2:** Transporte a la zona de corte por la segunda cinta transportadora de rodillos. Recorre 4 metros, 2 de la cinta transportadora mencionada y otros 2 del banco adherido a la sierra de corte. En total se tardan 3 segundos.
- **Operación 3:** Se corta transversalmente la placa dividiéndola en dos mitades, con esto se consiguen simplificar las operaciones posteriores. Esta operación es realizada por el operario de la zona de corte y tarda 13 segundos.
- **Transporte 3:** se transportan a la zona de delaminado las dos mitades obtenidas. El operario de la zona de corte las desliza por el banco, de longitud 2 metros, que actúa como conexión entre ambas máquinas. Se tardan 2 segundos en realizar este transporte.
- **Operación 4:** Se delaminan de una en una las mitades de panel obtenidas. Es de vital importancia que el vidrio situado en la cara inferior se ha introducido boca abajo, de esta forma se consigue que por efecto de la gravedad el vidrio caiga en la cinta transportadora desferrizadora que lo transporta a su contenedor temporal. Si no introduce de esa forma, se corre el riesgo de inutilizar esta máquina. El operario encargo de realizar esta operación, además deberá introducir el tipo de placa que se está procesando o los datos del modelo cuando esté no se haya definido con anterioridad. Tarda en total 16 segundos. A partir de esta operación el proceso está automatizado por completo, siendo sólo necesaria la mano de obra para volcar los materiales segregados en sus respectivos contenedores finales.

- **Almacenamiento temporal 4:** Se almacena el las fracciones de vidrio obtenidas de la operación de delaminado, para ello se emplea una cinta transportadora desferrizadora de descarga del vidrio en su respectivo contenedor temporal. Al ser el material de mayor presencia en el panel, será mayor la frecuencia de viajes que se realicen al contenedor de almacén final.
- **Transporte 4:** Se transporta a la zona de trituración el módulo delaminado mediante la segunda cinta transportadora, este recorre 4 metros y para ello emplea 18 segundos.
- **Operación 5:** Se trituran las mitades del panel transportadas desde la zona de delaminado en fracciones inferiores a los 15 milímetros. Se tardan 10 segundos.
- **Transporte 5:** Transporte hasta la zona de turbinado. Se tardan 3 segundos.
- **Operación 6:** Se turbinan el material con el fin de disgregarlo y dividirlo. El efecto centrífugo aplicado en el interior de la máquina es el encargado de esto.
- **Transporte 6:** El sistema de cribado, es decir, la última máquina del proceso se encarga de aspirar los materiales disgregados de la operación anterior.
- **Operación 7:** El sistema de cribado mencionado se encarga de separar los distintos materiales, silicio, plástico EVA y metales (cobre y plata), y volcarlos por las distintas aberturas en sus contenedores temporales.
- **Almacenamiento temporal 5, 6 y 7:** El orden de los almacenamientos temporales es igual dado que todos los materiales se expulsan a la vez por sus respectivas aberturas. Dado que el porcentaje de plástico EVA es mayor que el silicio y este a su vez mayor que el de metales, la frecuencia de volcado en los contenedores finales también estará en consonancia con este dato.

Como se ha determinado con anterioridad, todos los almacenajes temporales numerados del 1 al 7, llevan aparejados dos operaciones adicionales, un transporte hacia la zona de contenedores donde se encuentra el material segregado y un almacenaje permanente hasta su venta o, en el caso de los residuos no aptos para el proceso de segregación, hasta la recogida por un gestor de residuos autorizados.

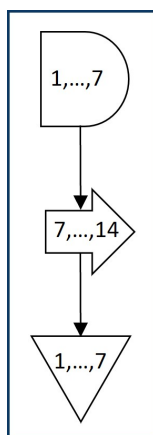


Figura 21. Cursograma analítico del proceso de almacenamiento permanente de los materiales del panel fotovoltaico usado. Elaboración propia.

El almacenamiento de cada material es idéntico, variando solamente el contenedor empleado para ello y el aspecto final del material segregado. Por ejemplo, el aluminio se mantiene prácticamente con la misma forma que cuando estaba adherido al panel, mientras que el silicio pasa a estar en forma de polvo o arena.

Los transportes numerados del 7 al 14, varían en la distancia recorrida y en la periodicidad que el operario realiza el volcado en su recipiente permanente. Aquellos, elementos que compongan en mayor parte el panel serán trasladados con mayor frecuencia, por ejemplo, el vidrio que corresponde al 76% del peso del panel. El otro extremo, serían los metales, plata y cobre, que representan el 2% y, por tanto, no se genera tanta cantidad de este para que el operario tenga que transportarlos continuamente.

5.2. Maquinaria, Almacenaje y Transporte

En el presente apartado, se procede a detallar tanto la maquinaria necesaria para llevar a cabo el proceso de segregación de los materiales del panel fotovoltaico como los contenedores de almacenaje y el transporte de estos.

5.2.1. Maquinaria

En primer lugar, tras una búsqueda exhaustiva se ha determinado que la empresa IBER RECYCLING, [14], ubicada en Zaragoza, presenta la mejor propuesta de maquinaria para acometer el proceso de segregación de los materiales de los paneles solares.

La línea de procesamiento de dicha empresa, llamada Solar 4.0, Figura 22, está compuesta de un total de 11 elementos que pueden llegar a procesar entre 30 y 50 paneles por hora, o lo que es lo mismo, entre 600 y 1.000 kilogramos de residuos en el mismo periodo de tiempo. Para que este conjunto de máquinas pueda operar es requerida una instalación eléctrica cuya potencia sea de más de 120 kW. El peso total es de 10 toneladas, por tanto, una vez instalada la línea su movimiento sería costoso y de elevada dificultad. Todos los datos han sido obtenidos de la ficha técnica del producto.

Dicha línea tiene una longitud total de 25 metros y un ancho máximo de 2,5 metros. La primera de estas dimensiones podría verse afectada en el caso de instalar un filtro autolimpiante completo de electro aspirador con sistema de limpieza por chorro de aire comprimido, exactamente, aumentaría hasta los 30,5 metros de largo. Sin embargo, el ancho máximo se mantiene igual.

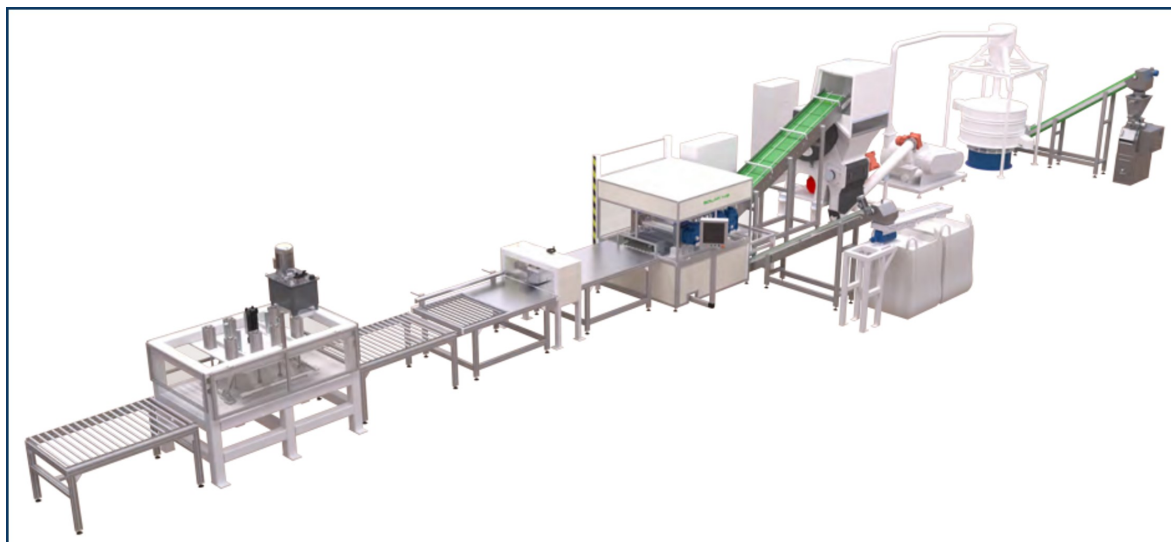


Figura 22. Línea de producción, Solar 4.0, de la empresa IBER RECYCLING. Fuente: imagen obtenida de la empresa IBER RECYCLING (www.iber-recycling.com)

■ **Separador automático para marcos.**

El separador automático para los marcos, Figura 23, de aluminio, tiene por objeto, como su nombre bien indica, remover rápidamente los marcos del panel para simplificar operaciones posteriores como el corte transversal o la trituración de este. Consta de cuatro brazos hidráulicos adaptables al amplio abanico de módulos fotovoltaicos y sus diferentes características. Estos son movidos por un bomba hidráulica que, a su vez, es accionada por un motor eléctrico con el fin de hacer circular el fluido en un sentido u otro dependiendo de si se busca subir o bajar el mecanismo. Dichos brazos ejercerán presión sobre el panel para que este no se mueva y, por tanto, las cuchillas puedan separar los marcos.

Esta máquina ha de estar supervisada por el operario que se encarga de cargarla y descargarla, esto es, de introducir el panel y posteriormente sacarlo, para transportarlo a la zona de corte. Además, será el mismo trabajador el responsable de retirar los marcos de aluminio, removidos, del separador automático.

Las dimensiones de esta máquina, separador automático para marcos, son 1.800 x 2.000 x 2.500 mm (ancho, altura y longitud) y requiere una potencia de 7,5 kW.

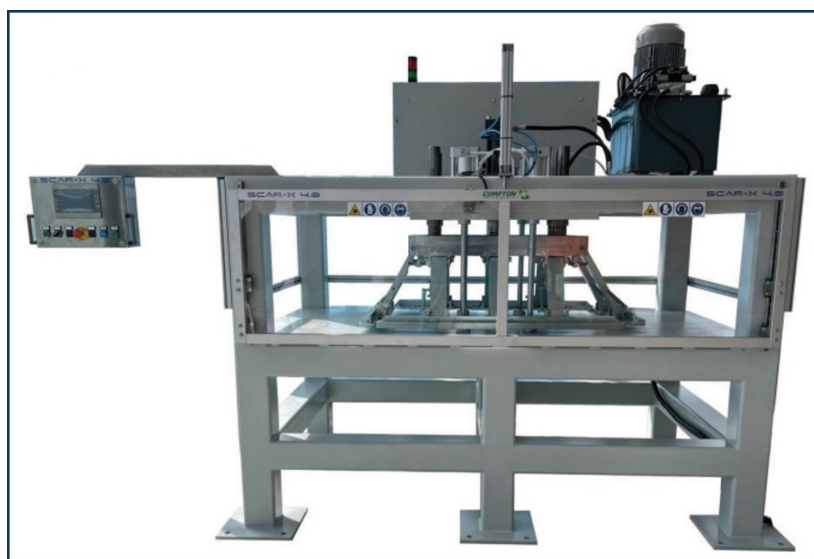


Figura 23. Separador automático para marcos de la línea de producción, Solar 4.0, de la empresa IBER RECYCLING. Fuente: imagen obtenida de la empresa IBER RECYCLING. (www.iber-recycling.com)

■ **Cortadora de línea completa con banco.**

La cortadora de línea completa, Figura 24, tiene por objeto dividir transversalmente el panel en dos mitades, con el fin de simplificar la operación de delaminado del mismo. Esta operación reduce el tamaño de todos los elementos posteriores y presenta un elevado ahorro energético, traduciéndose esto en un ahorro en la factura eléctrica, o lo que es mismo, se disminuyen los costes de producción o segregación.

Presenta dos bancos de apoyo en vez de cintas transportadoras de rodillo para reducir la velocidad de entrada y salida del panel. En consecuencia, se reducen los riesgos de accidentes mecánicos o laborales, esto es, un mal procesamiento de los módulos solares acorta la vida útil de la máquina o algo peor, que el operario sufra un accidente.

Al igual que la máquina anterior, esta también ha de estar supervisada por el responsable que, además, la carga y descarga. En el corte no se genera polvo tóxico que ponga en peligro la vida del operario.

Las dimensiones de esta son 1.700 x 1.200 x 5.000 mm (ancho, altura y longitud) y requiere una potencia de 1,5 kW.



Figura 24. Cortadora de línea completa de banco de la línea de producción, Solar 4.0, de la empresa IBER RECYCLING. Fuente: imagen obtenida de la empresa IBER RECYCLING. (www.iber-recycling.com)

■ **Delaminadora de vidrio solar.**

La delaminadora de vidrio solar, Figura 25, tiene por objeto separar el vidrio del panel. Se introduce una de las mitades cortadas boca abajo, es decir, el vidrio tiene que estar en la cara inferior para que cuando se haga pasar el módulo fotovoltaico por los rodillos contrapuestos que generan la flexión del mismo este material pueda caer por la acción de la gravedad en la cinta transportadora del vidrio fraccionado.

La carga de la máquina ha de ser realizada por un operario que introduce las mitades que se encuentran en el banco de apoyo contiguo a la máquina de corte. De igual forma, que la máquina anterior dicho banco genera resistencia a movimientos involuntarios de las mitades cortadas, de esta forma, sólo el responsable podrá introducirlas, evitando posibles accidentes laborales.

Además, esta cuenta con un ordenador en el cual se ha de introducir las características del panel que vaya a ser procesado. En su memoria, se guardan las configuraciones de los distintos paneles procesados, en el caso, que se trate de un tipo de panel nunca antes procesado se tendrán que introducir las características técnicas antes de poder introducirlo en la máquina. El sentido de este PC es regular los espesores de los rodillos de laminación en base a los datos almacenados.

Las dimensiones de esta son 2.200 x 2.600 x 5.000 mm (ancho, altura y longitud) y requiere una potencia de 22,0 kW.



Figura 25. Delaminadora de vidrio solar de la línea de producción, Solar 4.0, de la empresa IBER RECYCLING. Fuente: imagen obtenida de la empresa IBER RECYCLING. (www.iber-recycling.com)

■ **Cinta transportadora para descarga del vidrio.**

La cinta transportadora para descarga del vidrio, Figura 26, fabricada de aluminio tiene por objeto transportar el vidrio delaminado a su respectivo recipiente de carácter temporal, dado que, o bien al llenarse este o al final de la jornada se descargará este en un contenedor de grandes dimensiones.

Esta máquina está fraccionada con tapas removibles con el fin de separar las fracciones de vidrio inferiores a 1 mm. Además, consta de un diferenciador magnético de neodimio para extraer partículas puntuales de hierro que pueda contener el vidrio.

Las dimensiones de esta son 500 x 2.5000 mm (ancho y longitud), mientras que la altura tiene un mínimo de 200 mm y un máximo de 1.800 mm, esto se debe a que se trata de un plano inclinado con un 72% de pendiente. Requiere una potencia de 2,0 kW.



Figura 26. Cinta transportadora para descarga del vidrio solar delaminado de la línea de producción, Solar 4.0, de la empresa IBER RECYCLING. Fuente: imagen obtenida de la empresa IBER RECYCLING. (www.iber-recycling.com)

■ **Cinta transportadora para la carga de los paneles delaminados en la trituradora.**

La segunda cinta transportadora, Figura 27, se encarga cargar los paneles carga delaminados en la trituradora. Fabricada en tubo de acero modular y que, además, consta de una banda de transporte con goma anticorte fundida a presión.

Las dimensiones de esta son 600 x 3.200 mm (ancho y longitud), mientras que la altura tiene un mínimo de 200 mm y un máximo de 1.800 mm, esto se debe a que se trata de un plano inclinado con un 72 % de pendiente. Requiere una potencia de 2,0 kW.



Figura 27. Cinta transportadora para la carga de los paneles delaminados en la trituradora de la línea de producción, Solar 4.0, de la empresa IBER RECYCLING. Fuente: imagen obtenida de la empresa IBER RECYCLING. (www.iber-recycling.com)

■ **Trituradora mono eje con empujador hidráulico.**

La trituradora mono eje con empujador hidráulico, Figura 28, tiene por objeto triturar el panel delaminado con el fin de obtener fracciones no superiores a 15 mm de los diversos componentes restantes del panel, silicio, plástico EVA, plata y cobre. Es muy importante que la producción de esta máquina se encuentra sincronizada con la salida del módulo solar delaminado.

Las dimensiones de esta son 1.600 x 1.750 x 2.3000 mm (ancho, altura y longitud) y requiere una potencia de 18,5 kW.



Figura 28. Trituradora mono eje con empujador hidráulico de la línea de producción, Solar 4.0, de la empresa IBER RECYCLING. Fuente: imagen obtenida de la empresa IBER RECYCLING. (www.iber-recycling.com)

■ **Turbina multisector.**

La turbina multisector o de doble estadio, Figura 29, tiene por objeto disgregar y dividir las fracciones procedentes de la trituradora. Este efecto se consigue por la fuerza centrífuga que actúa sobre las corazas del interior de la turbina. En consecuencia, se obtiene una mezcla de silicio, plástico EVA y metales (plata y cobre) que se separa en la siguiente operación.

Las dimensiones de esta son 500 x 1.200 x 500 mm (ancho, altura y longitud) y requiere una potencia de 6,2 kW.



Figura 29. Turbina multisector de la línea de producción, Solar 4.0, de la empresa IBER RECYCLING. Fuente: imagen obtenida de la empresa IBER RECYCLING. (www.iber-recycling.com)

■ **Sistema de cribado de tres estadios.**

El sistema de cribado de tres estadios, Figura 30, tiene por objeto separar el material disgregado de la operación anterior. Por cada una de las aberturas de esta máquina se obtendrán los distintos polvos de los diferentes materiales, silicio, plástico EVA y metales (plata y cobre).

Las dimensiones de esta son 5.750 mm de altura, 2.200 mm de diámetro, aunque a esta se le ha de sumar la estructura, entonces, tanto el ancho como la longitud son 2.500 mm. Requiere una potencia de 2,0 kW.



Figura 30. Sistema de cribado de tres estadios de la línea de producción, Solar 4.0, de la empresa IBER RECYCLING. Fuente: imagen obtenida de la empresa IBER RECYCLING. (www.iber-recycling.com)

■ Transportador de rodillos.

El transportador de rodillos tiene por objeto facilitar la carga y descarga de la máquina separadora de marcos, reduciendo el tiempo empleado en estas actividades.

Las dimensiones de este son 1.000 x 1.200 x 2.000 mm (ancho, altura y longitud) y no requiere energía eléctrica para su uso y funcionamiento.



Figura 31. Transportador de rodillos de la empresa Profishop JUGHEINRICH. Fuente: imagen obtenida de la empresa Profishop JUGHEINRICH. (www.jungheinrich.es)

La Tabla 2 muestra de forma resumida las características técnicas de cada de una de las máquinas que componen las línea de procesamiento. Mientras que las características generales se pueden visualizar en la Tabla 5.

Tabla 1: Características técnicas: dimensiones (ancho, altura y longitud, en mm), precio (€) y potencia (kW) de los elementos de la línea de procesamiento de paneles solares. Fuente: imagen obtenida de la empresa IBER RECYCLING (www.iber-recycling.com). Elaboración propia.

Elemento	Dimensiones			Potencia (kW)
	Anch. (mm)	Alt. (mm)	Long. (mm)	
Separador automático para marcos	1.800	2.000	2.500	7,5
Cortadora de línea completa con banco	1.700	1.200	5.000	1,5
Delaminadora de vidrio solar	2.200	2.600	5.000	22,0
Cinta transportadora para descarga del vidrio	500	1.800 (pte. 72%)	2.500	2,0
Cinta transportadora para la carga de los paneles delaminados en la trituradora	600	2.500 (pte. 78%)	3.200	0,75
Trituradora mono eje con empujador hidráulico	1.600	1.750	2.300	18,5
Turbina multisector	500	1.200	500	6,2
Sistema de cribado de tres estadios	2.500	5.750	2.500	2,0
Transportador de rodillos	1.000	1.200	2.000	0

5.2.2. Almacenaje

Como se mencionó anteriormente, una vez segregado el material de los paneles fotovoltaicos es necesario almacenar este en contenedores. Inicialmente, se emplean pequeños contenedores de poca capacidad, permitiendo así una fácil manipulación y transporte del mismo, dado que estos tendrán que ser transportados velozmente, cuando se hayan llenado, a los contenedores de gran capacidad. Todos estos se comprarán a la GRUPO TEGUI, especializado en el diseño y fabricación de contenedores (GRUPO TEGUI). A continuación se detallan, los dos tipos de contenedor que se van a emplear:

- **Contenedor de plástico BIG BOX.**

Contenedor apilable de pequeño tamaño y capacidad, Figura 32, [7], permitiendo así una fácil manipulación y transporte del mismo. Está fabricado en polietileno de alta densidad (HDPE). Además, se ha moldeado por inyección, por tanto, ofrece una alta resistencia frente a los rayos UV, ácidos y temperaturas extremas.

Su uso residirá en el almacenamiento temporal de los materiales segregados, previo a su traslado a los contenedores de gran capacidad.

Las dimensiones de este son 635 x 645 x 1.000 mm (ancho, altura y longitud), una capacidad de 0,25 m³ (250L) y un peso de 14,3 kg.

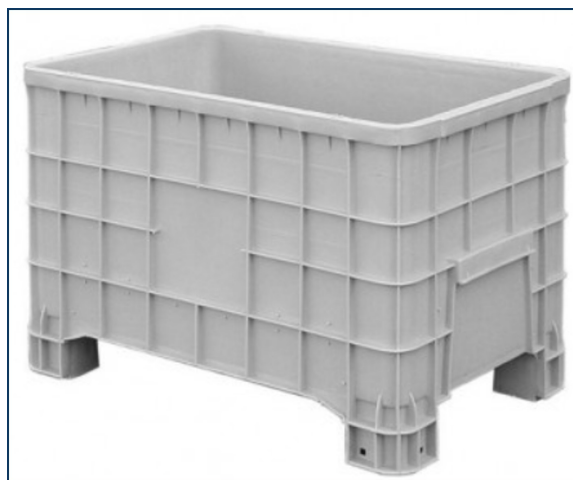


Figura 32. Contenedor de plástico, BIG BOX, de la empresa GRUPO TEGUI con capacidad máxima para 250 L. Fuente: imagen obtenida de la empresa GRUPO TEGUI (www.teguicontenedores.com).

- **Contenedor metálico.**

Contenedor metálico multilift con capacidad para 20 m³, Figura ??, [8], siendo su función el almacenamiento permanente de los materiales segregados hasta la venta de estos o la recogida por parte de un gestor de residuos autorizado.

Las dimensiones de este son 2.450 x 1.500 x 6.000 mm (ancho, altura y longitud), una capacidad de 0,25 m³ (250L) y un peso de 2220,0 kg.



Figura 33. Contenedor metálico de la empresa GRUPO TEGUI con capacidad máxima para 20 m³. Fuente: imagen obtenida de la empresa GRUPO TEGUI (www.teguicontenedores.com).

La Tabla 2 muestra las características técnicas, dimensiones, capacidad y peso, de los contenedores de almacenamiento temporal y permanente seleccionados para la planta objeto de estudio.

Tabla 2: Características técnicas: dimensiones (ancho, altura y longitud, en mm), capacidad (m³) y peso (kg) de los contenedores de almacenaje de los materiales segregados. Fuente: datos obtenidos de la empresa GRUPO TEGUI (www.teguicontenedores.com). Elaboración propia.

Elemento	Dimensiones			Capacidad (m ³)	Peso (kg)
	Anch. (mm)	Alt. (mm)	Long. (mm)		
Contenedor plástico	635	645	1.000	0,25	14,3
Contenedor metálico	2.450	1.500	6.000	20,0	2220,0

Se presenta gráficamente la maquinaria empleada y los contenedores, así como sus dimensiones en los *Planos 3 y 4*, respectivamente, situados en el *Anexo: Planos*.

5.2.3. Transporte

De acuerdo a la materia prima necesaria y los productos segregados obtenidos, es necesario un vehículo que pueda mover todos estos. Para ello se ha buscado una carretilla eléctrica o torillo mecánico que, además, de realizar la descarga de los paneles fotovoltaicos usados que llegan a la planta y su posterior colocación en la zona determinado para ello, se empleará para transportar los contenedores de almacenamiento temporal a los contenedores de gran capacidad. Otra función que se le dará a esta, es el movimiento de la materia prima a otra zona si es requerido. A continuación, en la Tabla 3, se muestran las características técnicas de la carretilla seleccionada, Carretilla Eléctrica Still RX 20, Figura 34, [3].

Tabla 3: Características técnicas de mayor relevancia de la carretilla eléctrica seleccionada, Carretilla Eléctrica Still RX 20, capacidad de carga (kg), velocidad (km/h) y consumo (kWh/h). Fuente: datos obtenidos de la empresa STILL (www.still.es). Elaboración propia.

Característica	Dato
Capacidad de carga	2.000 kg
Velocidad	20 km/h
Consumo	4,6 kWh/h



Figura 34. Carretilla eléctrica de la empresa STILL, modelo Still RX 20, con capacidad de carga máxima de 2.000 kg. Fuente: imagen obtenida de la empresa STILL (www.still.es).

5.3. Situación, Emplazamiento y Distribución de la Planta

La ubicación de la nave industrial que albergará la línea de procesamiento de los paneles fotovoltaicos usados se busca que se encuentre lo más cerca posible a los proveedores, esto es, a los parques fotovoltaicos. De acuerdo, al MITECO, en materia de Registro Administrativo de Instalaciones de Producción de Energía Eléctrica, o dicho de otra forma, en el listado en el que están incluidas todas las instalaciones fotovoltaicas ya sean para autoconsumo como para la generación de electricidad a gran escala y a REE, que representa las instalaciones recogidas en el listado anterior, se determina que las mejores zonas son la ciudad y alrededores de Cáceres y Zafra, Figura 35, [13].

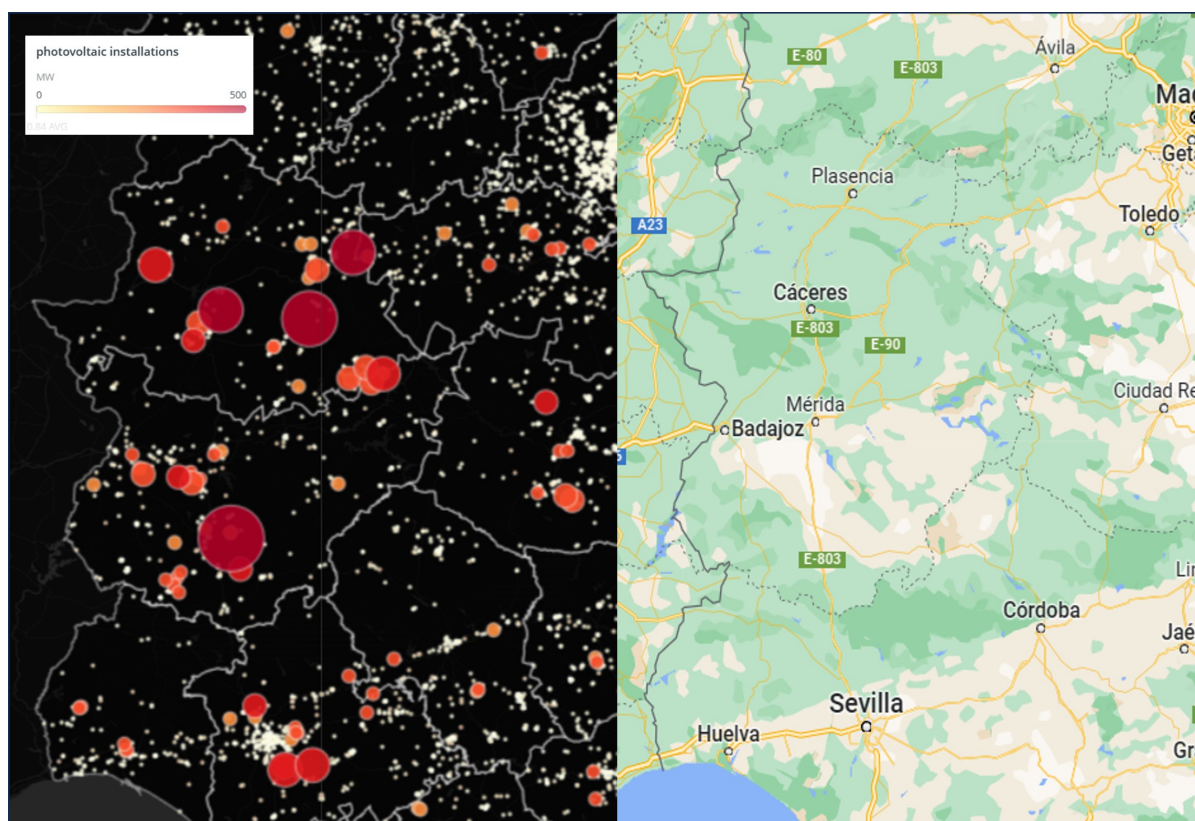


Figura 35. Mapa de las instalaciones fotovoltaicas instaladas en el territorio nacional (izquierda) y mapa del territorio español que coincide con la ubicación del mapa de las instalaciones (derecha). Fuente: imagen (izquierda) obtenida de Red Eléctrica de España (REE) (www.ree.es). Acceso agosto 2023. Diseño, elaboración propia.

Se observa la gran cantidad de parques solares fotovoltaicos que operan en la provincia de Cáceres, dadas las condiciones geoclimáticas que presenta esta. Extensos llanos y un elevada cifra de horas de luz solar, hacen de estas tierras un sitio idóneo para la implantación de estas megplantas.

La siguiente consideración realizada para la selección de la nave es el radio de acción hasta los proveedores, es decir, se ha trazado un radio de 150 km en cada una de las zonas seleccionadas y se ha visualizado cual alberga mayor número de parques solares, Figura 36.

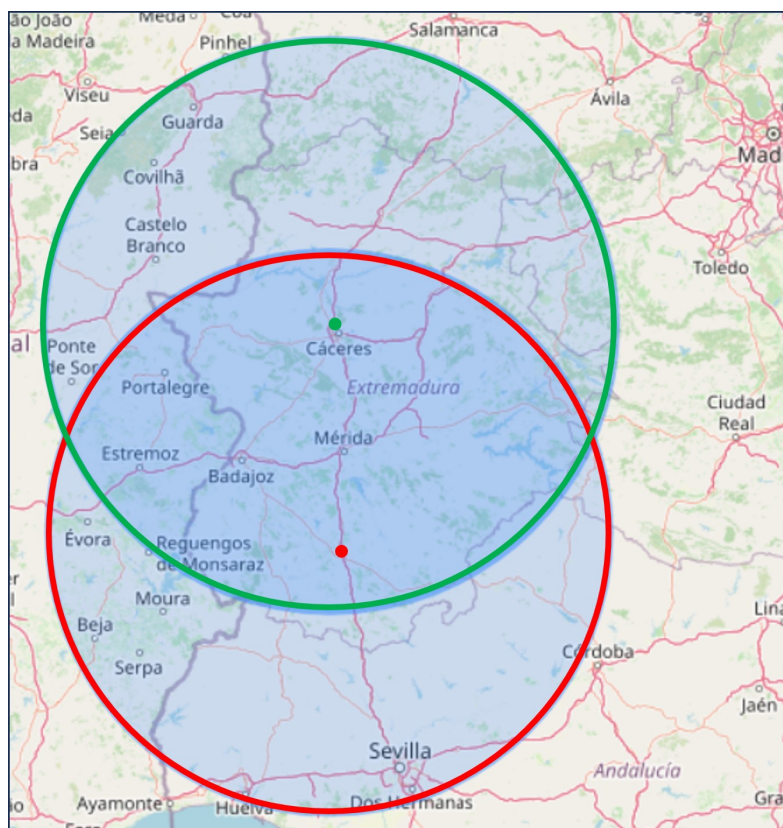


Figura 36. Radio de acción de las dos posibles zonas en donde puede estar ubicada la nave. (Verde) ubicación en la zona de Cáceres, (Rojo) ubicación en la zona de Zafra. Diseño, elaboración propia.

El círculo con un contorno de color rojo corresponde a la zona de Zafra, el cual no llega a abarcar las grandes plantas existentes en la zona noroeste de la provincia de Cáceres. Mientras que, el círculo con un contorno de color verde corresponde a la zona de Cáceres, a diferencia de la otra ubicación, esta sí que es capaz de albergar toda la Comunidad de Extremadura.

Otro aspecto a considerar es la existencia de naves industriales en las zonas seleccionadas con una superficie mayor a los 1.200 m². Es necesaria una gran superficie para el correcto posicionamiento de la línea de procesamiento, garantizar el almacenaje de los materiales segregados y la maniobrabilidad del transporte que retire el material reciclado. Para ello se ha acudido al portal inmobiliario, Idealista [15], con el fin de encontrar una nave alquilable con estas características.

Sólo se ha encontrado una con estas características en Cáceres ciudad, concretamente, en el polígono Las Capellanías. Posee una superficie total de 2.205 m², de los cuales 1.225 estarían destinados a la producción y 500 al almacenaje, y el resto pertenecen al doblado, en el cual se encuentran las oficinas, vestuarios, aseos, etc. Además, destaca la distancia a la autovía de La Plata siendo esta de 4,5 km.



Figura 38. Plano de emplazamiento, se puede observar con más detalle en el *Plano 2*, de emplazamiento. Diseño, elaboración propia.

La distribución de la nave distingue seis zonas de operación:

1. Zona de retirada del marco. En ella se realizan las dos primeras actividades, la retirada del cableado del P.F.U. y el marco de aluminio.
2. Zona de corte. En ella se produce el corte transversal del panel (división de la placa en dos mitades), operación 3.
3. Zona de delaminado. En ella se delamina el panel con el fin de retirar el vidrio de la placa, como se ha mencionado con anterioridad, es en esta zona donde se realiza la operación 4.
4. Zona de segregado. Esta zona comprende desde la salida del panel delaminado hasta que la segregación de cada material en su recipiente temporal. Son las operaciones completamente automatizadas que no requieren la continua supervisión de un operario o que necesiten a este para llevarse a cabo, como en el caso de las zonas previamente mencionadas.
5. Zona de almacenaje permanente. En ella se situará en material ya procesado, es decir, la materia prima secundaria obtenida.
6. Zona de acopio. En ella se sitúa la materia prima, esto es, los P.F.U.

Las tres primeras zonas mencionadas requieren de un operario para poder llevar a cabo la actividad correspondiente a dicho puesto.

Se representan las zonas de distribución de la planta objeto de estudio en el *Plano 4*.

5.4. Viabilidad Económica

Con anterioridad, se ha determinado que la vida útil de las instalaciones fotovoltaicas y, concretamente, la del panel solar está comprendida entre los 25 y 30 años. Esta suposición dado que todavía no se ha podido observar si esto es así o en realidad es un tiempo menor ha generado una indiferencia a nivel social que ha impide pensar que hacer con la gran cantidad de residuos que se van a generar y cuál va a ser su tratamiento.

En el presente apartado se buscan estudiar los costes de la inversión inicial, que incluyen el alquiler de la nave industrial, la maquinaria a emplear en el proceso de segregación de los materiales del panel fotovoltaico usado, el almacenaje de estos y su transporte, los costes derivados de este proceso, los costes fijos, es decir, aquellos derivados y necesarios para el funcionamiento de la actividad y, en último lugar, los costes variables. Además, se estudiarán los ingresos de la fábrica así como los posibles proveedores y clientes.

En primer lugar, se determina la inversión inicial necesaria para la constitución de la empresa, siendo esta la maquinaria que constituye la línea de procesamiento, los contenedores de almacenaje y el transporte de estos.

La Tabla 5 muestra las características generales, cantidad (Uds.) y precio (€) de todas las máquinas que componen la línea de procesamiento, los contenedores y las herramientas de transporte.

Tabla 5: Características generales: cantidad (Uds.) y precio (€) de los elementos de la línea de procesamiento de paneles solares y los contenedores de almacenaje. Fuente: datos obtenidos de la empresa IBER RECYCLING (www.iber-recycling.com) y de la empresa GRUPO TEGUI (www.teguicontenedores.com). Elaboración propia.

Elemento	Cantidad (Uds.)	Precio Ud. (€)	Precio Total (€)
Separador automático para marcos	1	23.200,0	23.200,0
Cortadora de línea completa con banco	1	12.500,0	12.500,0
Delaminadora de vidrio solar	1	63.000,0	63.000,0
Cinta transportadora para descarga del vidrio	1	4.312,0	4.312,0
Cinta transportadora para la carga de los paneles delaminados en el triturador	1	4.872,0	4.872,0
Trituradora mono eje con empujador hidráulico	1	42.350,0	42.350,0
Turbina multisector	1	30.800,0	30.800,0
Sistema de cribado de tres estadios	1	69.200,0	69.200,0
Transportador de rodillos	2	426,0	852,0
Contenedor plástico	6	99,35	596,10
Contenedor metálico	11	4.201,90	46.220,90
Carretilla eléctrica	1	20.000,0	20.000,0
Total (€)			317.903,0
TOTAL (+ 15%) (€)			365.588,45

Determinada la inversión inicial necesaria, se procede a determinar los ingresos para ello de acuerdo a los diversos fabricantes de paneles fotovoltaicos consultados, entre ellos, sin ánimo exclusivo ni excluyente, Eurener [10], Zytech Solar [4], Tamesol [29], Exiom Solution [22], el peso promedio de un panel de 60 células, cuya potencia nominal está comprendida entre los 375 y los 400 Watios, es de 20 kilogramos. A partir de esta consideración se ha realizado la Tabla 6, en la cual, se obtiene el ingreso por P.F.U. de 60 células.

Tabla 6: Cantidad (%), peso (kg), precio (€/kg) de cada elemento que compone el P.F.U. de 60 células y el precio (€/P.F.U.) de cada elemento por P.F.U. de 60 células.

Elemento	Cantidad (%)	Peso (kg)	Precio (€/kg)	Precio (€/P.F.U.)
Vidrio	75,0	15,0	4,08*	6,52
Aluminio	10,0	2,0	1,94	3,88
Plástico EVA	8,0	1,6	0,36	0,57
Silicio	5,0	1,0	1,92	1,92
Metales (Cobre + Plata)	2,0	0,4	22,91	9,16
TOTAL	100,0	20,0	-	22,05

* Aclaración: El precio de la venta del vidrio de los paneles fotovoltaicos está estipulado por m^2 y, al igual, que con el peso, la superficie promedio de este tipo de paneles es de $1,6 m^2$, [28].

De forma análoga, a los P.F.U. de 60 células se obtiene el peso promedio de los de 72 células, cuya potencia está comprendida entre los 450 y los 500 Watios, siendo este de 25 kilogramos. A partir de esta consideración se ha realizado la Tabla 7, en la cual, se obtiene el ingreso por P.F.U. de 72 células.

Tabla 7: Cantidad (%), peso (kg), precio (€/kg) de cada elemento que compone el P.F.U. de 72 células y el precio (€/P.F.U.) de cada elemento por P.F.U. de 72 células.

Elemento	Cantidad (%)	Peso (kg)	Precio (€/kg)	Precio (€/P.F.U.)
Vidrio	75,0	18,75	4,08**	9,38
Aluminio	10,0	2,5	1,94	4,85
Plástico EVA	8,0	2,0	0,36	0,72
Silicio	5,0	1,25	1,92	2,40
Metales (Cobre + Plata)	2,0	0,5	22,91	11,45
TOTAL	100,0	25,0	-	28,80

** Aclaración: El precio de la venta del vidrio de los paneles fotovoltaicos está estipulado por m^2 y, al igual, que con el peso, la superficie promedio de este tipo de paneles es de $2,3 m^2$.

Los valores de mercado del vidrio, aluminio, plástico EVA, silicio y los metales (cobre + plata), se han obtenido de [28], [5], [23], [30] y [17].

Determinados los ingresos, que se obtendrán tras la venta de las materias primas secundarias segregadas, se proceden a analizar los gastos fijos y variables existentes.

En primer lugar, de acuerdo con la Resolución de 9 de marzo de 2023, de la Dirección General de Trabajo, por la que se registra y publica la tabla salarial para el año 2023 del Convenio colectivo de recuperación y reciclado de residuos y materias primas secundarias, [19], se establecen los salarios del personal de la planta objeto de estudio, Tabla 8. Es necesario un encargado, cuya función no sólo será la supervisión de las actividades que se realizan en el proceso de segregación, sino que, además, será el responsable de la zona de delaminado del panel. Los tres peones se encargarán de separar el marco de aluminio, el corte de la placa, traslado y volcado de los recipientes temporales en los contenedores finales y la descarga y colocación de la materia prima (P.F.U.) cuando llega a la planta.

El oficial de segunda o administrativo, se encargará de los requerimientos de esta índole, y el gerente director será el responsable del funcionamiento de la planta.

Tabla 8: Salarios, mensuales y anuales (€), de todos los empleados que conforman el personal de la planta de reciclaje. Elaboración propia.

SALARIOS			
Concepto	Descripción	Coste Mensual (€)	Coste Anual (€)
Encargado	Personal de Producción	1.275,14	18.628,20
Peón 1	Personal de Producción	1.035,00	15.120,00
Peón 2	Personal de Producción	1.035,00	15.120,00
Peón 3	Personal de Producción	1.035,00	15.120,00
Oficial de 2nda	Personal de Administración	1.111,07	16.231,25
Director Gerente	Personal de Dirección	1.778,64	25.983,61
TOTAL SALARIOS		7.269,85	106.203,06

Definido el personal y sus respectivos salarios, se proceden a analizar los suministros necesarios básicos, Tabla 9.

Tabla 9: Importe, mensual y anual (€), de los suministros necesarios básicos, luz, agua e internet. Elaboración propia.

SUMINISTROS			
Concepto	Descripción	Coste Mensual (€)	Coste Anual (€)
Electricidad	Tarifa 3.1A	660,54	7.926,52
Agua	Suministro y Saneamiento	30,00	360,00
Internet	Fibra Smart 500 Mbps, llamadas ilimitadas	20,00	240,00
TOTAL SUMINISTROS		710,54	8.526,52

Para el cálculo de la factura eléctrica o factura de la luz se ha empleado el simulador de facturas de la luz, [2]. Para ello, previamente se ha determinado la tarifa necesaria, en este caso, la 3.1A para empresas cuya tensión oscila entre 1 kV y 36 kV (media tensión) y la potencia es inferior a los 450 kW, y el coste de cada uno de los periodos.

Los períodos horarios de los términos de potencia y energía varían dependiendo de los meses del año, estos son mostrados a continuación:

- P1 y P2 se aplica en los meses de Enero, Febrero, Julio y Diciembre.
- P2 y P3 se aplica en los meses de Marzo y Noviembre.
- P4 y P3 se aplica en los meses de Junio, Agosto y Septiembre.
- P4 y P5 se aplica en los meses de Abril, Mayo y Octubre.
- P6 se aplica siempre de lunes a viernes de 0h a 8h y fines de semana y festivos.

Se han calculado dos facturas de la luz independientes entre sí, cuyos costes por periodo eran diferentes y se ha seleccionado la más económica, obviamente, a igualdad de consumo. En primer lugar, se presentan las condiciones de la Tarifa Classic de Audax Renovables, Tabla 10, y su correspondiente factura, Figura 39.

Tabla 10: Condiciones, coste por periodo de la potencia (€/kW día) y del consumo (€/kWh), de la Tarifa Classic de Audax Renovables.

Audax Renovables: Tarifa Classic		
Potencia (€/kW día)	Periodo	Consumo(€/kWh)
0,0504	P1	0,2204
0,0409	P2	0,2031
0,0476	P3	0,1778
0,0462	P4	0,1636
0,0449	P5	0,1557
0,0312	P6	0,1564

Simulador Factura Luz		Tu tarifa - 3.0TD
www.simuladorfacturaluz.es		01/01/2023 - 31/12/2023 (365 días)
POTENCIA ... 13959.10 €		
Potencia facturada P1	P1: 150 kW x 365 días x 0.050400 €/kW día	2759.40 €
Potencia facturada P2	P2: 150 kW x 365 días x 0.040900 €/kW día	2239.31 €
Potencia facturada P3	P3: 150 kW x 365 días x 0.047600 €/kW día	2606.10 €
Potencia facturada P4	P4: 150 kW x 365 días x 0.046200 €/kW día	2529.45 €
Potencia facturada P5	P5: 150 kW x 365 días x 0.044900 €/kW día	2458.31 €
Potencia facturada P6	P6: 120 kW x 365 días x 0.031200 €/kW día	1366.53 €
Potencia facturada TOTAL	P1+P2+P3+P4+P5+P6: 365 días ...	13959.10 €
CONSUMO ... 151.89 €		
Consumo facturado P1	E1: 145 kWh x 0.220400 €/kWh	31.96 €
Consumo facturado P2	E2: 144 kWh x 0.203100 €/kWh	29.26 €
Consumo facturado P3	E3: 145 kWh x 0.177800 €/kWh	25.78 €
Consumo facturado P4	E4: 146 kWh x 0.163600 €/kWh	23.89 €
Consumo facturado P5	E5: 145 kWh x 0.155700 €/kWh	22.57 €
Consumo facturado P6	E6: 118 kWh x 0.156400 €/kWh	18.43 €
Consumo facturado TOTAL	E1+E2+E3+E4+E5+E6: 843 kWh x 0.180178 €/kWh ...	151.89 €
Total peaje	p: 843 kW x 0.042811 €/kWh ...	36.09 €
Total energía	e: 843 kW x 0.137367 €/kWh ...	115.80 €
COSTE TOPE DEL GAS ... 0.16 €		
Coste tope gas P1	TG1: 145 kWh x 0.000829 €/kWh	0.12 €
Coste tope gas P2	TG2: 144 kWh x 0.000344 €/kWh	0.05 €
Coste tope gas P3	TG3: 145 kWh x 0.000000 €/kWh	0.00 €
Coste tope gas P4	TG4: 146 kWh x 0.000000 €/kWh	0.00 €
Coste tope gas P5	TG5: 145 kWh x 0.000000 €/kWh	0.00 €
Coste tope gas P6	TG6: 118 kWh x -0.000085 €/kWh	-0.01 €
Coste tope gas TOTAL	TG1+TG2+TG3+TG4+TG5+TG6: 843 kWh x 0.000190 €/kWh ...	0.16 €
OTROS CONCEPTOS ... 80.32 €		
Alquiler equipos de medida	365 días x 0.026630 €	9.76 €
Impuesto eléctrico	0.5% de 14111.15 €	70.56 €
TOTAL		
BASE IMPONIBLE		14191.47 €
IVA	21% de 14191.47 €	2980.22 €
TOTAL FACTURA		17171.69 €

Figura 39. Factura de la luz simulada con las condiciones de la Tarifa Classic de Audax Renovables. Fuente: simulador factura de la luz (www.simuladorfacturaluz.es).

De igual forma, se ha realizado con las condiciones dadas, Tabla 11, por el Plan Fijo Supra de la compañía Naturgy, cuya factura se observa en la Figura 40.

Tabla 11: Condiciones, coste por periodo de la potencia (€/kW día) y del consumo (€/kWh), del Plan Fijo Supra de Naturgy.

Naturgy: Plan Fijo Supra		
Potencia (€/kW día)	Periodo	Consumo(€/kWh)
0,0404	P1	0,2259
0.0347	P2	0,2132
0,0131	P3	0,1907
0,0121	P4	0,1755
0,0096	P5	0,1661
0,0076	P6	0,1492


 Simulador Factura Luz <small>www.simuladorfacturaluz.es</small>		Tu tarifa - 3.0TD <small>01/01/2023 - 31/12/2023 (365 días)</small>
POTENCIA ... 6350.00 €		
Potencia facturada P1	P1: 150 kW x 365 días x 0.040400 €/kW día	2211.90 €
Potencia facturada P2	P2: 150 kW x 365 días x 0.034700 €/kW día	1899.86 €
Potencia facturada P3	P3: 150 kW x 365 días x 0.013100 €/kW día	717.26 €
Potencia facturada P4	P4: 150 kW x 365 días x 0.012100 €/kW día	662.51 €
Potencia facturada P5	P5: 150 kW x 365 días x 0.009600 €/kW día	525.60 €
Potencia facturada P6	P6: 120 kW x 365 días x 0.007600 €/kW día	332.87 €
Potencia facturada TOTAL	P1+P2+P3+P4+P5+P6: 365 días ...	6350.00 €
CONSUMO ... 158.37 €		
Consumo facturado P1	E1: 145 kWh x 0.225900 €/kWh	32.74 €
Consumo facturado P2	E2: 144 kWh x 0.213200 €/kWh	30.70 €
Consumo facturado P3	E3: 145 kWh x 0.190700 €/kWh	27.65 €
Consumo facturado P4	E4: 146 kWh x 0.175500 €/kWh	25.62 €
Consumo facturado P5	E5: 145 kWh x 0.166100 €/kWh	24.08 €
Consumo facturado P6	E6: 118 kWh x 0.149200 €/kWh	17.58 €
Consumo facturado TOTAL	E1+E2+E3+E4+E5+E6: 843 kWh x 0.187865 €/kWh ...	158.37 €
Total peaje	p: 843 kW x 0.042811 €/kWh ...	36.09 €
Total energía	e: 843 kW x 0.145053 €/kWh ...	122.28 €
COSTE TOPE DEL GAS ... 0.16 €		
Coste tope gas P1	TG1: 145 kWh x 0.000829 €/kWh	0.12 €
Coste tope gas P2	TG2: 144 kWh x 0.000344 €/kWh	0.05 €
Coste tope gas P3	TG3: 145 kWh x 0.000000 €/kWh	0.00 €
Coste tope gas P4	TG4: 146 kWh x 0.000000 €/kWh	0.00 €
Coste tope gas P5	TG5: 145 kWh x 0.000000 €/kWh	0.00 €
Coste tope gas P6	TG6: 118 kWh x -0.000085 €/kWh	-0.01 €
Coste tope gas TOTAL	TG1+TG2+TG3+TG4+TG5+TG6: 843 kWh x 0.000190 €/kWh ...	0.16 €
OTROS CONCEPTOS ... 42.31 €		
Alquiler equipos de medida	365 días x 0.026630 €	9.76 €
Impuesto eléctrico	0.5% de 6508.53 €	32.55 €
TOTAL		
BASE IMPONIBLE		6550.84 €
IVA	21% de 6550.84 €	1375.68 €
TOTAL FACTURA		7926.52 €

Figura 40. Factura de la luz simulada con las condiciones del Plan Fijo Supra de Naturgy. Fuente: simulador factura de la luz (www.simuladorfacturaluz.es).

Es obvio, que las condiciones de la compañía Naturgy han sido las seleccionadas, dado que el importe de su factura es menos de la mitad que el establecido por la otra compañía.

Análogo, al simulador de las facturas de las facturas eléctricas o de la luz, se ha empleado uno para los gastos derivados del empleo de agua, el cual ha arrojado un importe mensual de aproximadamente 30 euros mensuales.

Por último, la tarifa de internet seleccionada, que incluye fibra de 500 Mbps y llamadas ilimitadas, corresponde la compañía DIGI, [11].

Otro tipo de gasto fijo obligatorio es el seguro, tanto el de responsabilidad civil, como el de daños y el de accidentes, este último, con un coste aproximado de 60 euros por trabajador, estos se visualizan en la Tabla 12.

Tabla 12: Importe de los seguros de Responsabilidad Civil (S.R.C.), de daños y de accidentes. Elaboración propia.

SEGUROS			
Concepto	Descripción	Coste Mensual (€)	Coste Anual (€)
S.R.C.	Seguro de Responsabilidad Civil	125,00	1.500,00
Daños	Seguro de Daños	83,33	1.000,00
Accidente	Seguro de Accidente, 60€/trabajador	360,00	4.320,00
TOTAL SEGUROS		568,33	6.820,00

Gastos como el marketing, diseño y mantenimiento de la página web; seguridad privada, instalación de cámaras y vigilancia las 24 horas del día; asesoría, laboral, fiscal y contable; el mantenimiento, de toda la maquinaria, esto incluye la línea de procesamiento y la carretilla eléctrica; y la limpieza, tres horas diarias dos días a la semana, están incluidos como *OTROS* en la cuenta de resultados, y cuyos importes quedan reflejados en la Tabla 13.

Tabla 13: Importe, mensual y anual (€), de marketing, seguridad privada, asesoría, mantenimiento y limpieza. Elaboración propia.

OTROS			
Concepto	Descripción	Coste Mensual (€)	Coste Anual (€)
Marketing	Diseño y mantenimiento página web	75,00	900,00
Seguridad Privada	Cámaras de vigilancia 24 horas/día	250,00	3.000,00
Asesoría	Laboral, fiscal y contable	200,00	2.400,00
Mantenimiento	Mantenimiento maquinaria	1.000,00	12.000,00
Limpieza	3 horas/día , 2 días/semana	240,00	2.880,00
TOTAL OTROS		1.765,00	21.180,00

En último lugar, el gasto correspondiente a la cuota de autónomo, [6], se puede observar en la Tabla 14.

Tabla 14: Importe, mensual y anual (€), correspondiente a la cuota de autónomos. Elaboración propia.

CUOTA AUTÓNOMO			
Concepto	Descripción	Coste Mensual (€)	Coste Anual (€)
Cuota Autónomo	Cuota de autónomo (tramo: 1.701€ – 1.850€)	310,00	3.720,00

Establecidos los gastos fijos, se proceden a determinar los gastos variables, derivados del volumen de producción, o mejor dicho, de segregación de la planta diseñada. Estos estarán conformados por el precio de compra de cada panel y el importe de luz correspondiente por cada uno de ellos. Además, se distinguen para cada uno de los dos tipos de paneles, los de 400 W o 60 células y los de 500 W o de 72 células, Tablas 15 y 16, respectivamente.

Se ha establecido la compra del primer tipo de panel por un valor de 1,50 euros. Sin embargo, el segundo tipo, es un euro más caro, siendo su precio de compra de 3,50 euros.

Tabla 15: Costes variables (€) derivados del proceso de segregación del P.F.U. de 400 W. Elaboración propia.

CUOTA VARIABLES P.F.U. 400 W	
Concepto	Coste (€)
Electricidad	0,58
Compra	1,50
TOTAL C.V. P.F.U. 400W	2,08

Tabla 16: Costes variables (€) derivados del proceso de segregación del P.F.U. de 500 W. Elaboración propia.

CUOTA VARIABLES P.F.U. 500 W	
Concepto	Coste (€)
Electricidad	0,58
Compra	2,50
TOTAL C.V. P.F.U. 500W	3,08

El coste de la electricidad empleada (C.E.) por panel se obtiene de la ecuación 5.4, la cual es mostrada a continuación:

$$C.E. = P_L \left(\frac{kWh}{h} \right) \cdot T_P \left(\frac{h}{panel} \right) \cdot P_p \left(\frac{Euro}{kWh} \right)$$

Donde:

- P_L → es el consumo energético de la línea.
- T_P → es el tiempo estimado de procesado de un P.F.U.
- P_p → precio promedio de la potencia consumida, (media del precio de potencia consumida de los periodos: P1, P2, P3, P4 y P5).

Por tanto, el C.E. es:

$$C.E. = 120 \left(\frac{kWh}{h} \right) \cdot 0,025 \left(\frac{h}{panel} \right) \cdot 0,1943 \left(\frac{Euro}{kWh} \right) = 0,58 \left(\frac{Euro}{panel} \right)$$

El estudio financiero realizado es de 5 años, Tabla 17, se estudia el periodo inicial de implantación de la empresa que comprende desde el año 2024 al 2028, con el fin de estudiar la viabilidad y rentabilidad de la empresa en los próximos años.

Tabla 17: Estudio financiero a 5 años. Elaboración propia.

ESTUDIO FINANCIERO A 5 AÑOS					
	2024	2025	2026	2027	2028
Nº PANELES (Uds.) 400 W	11.520	13.824	16.589	19.907	23.888
INGRESO (€/panel) 400W	22,05	22,49	22,94	23,40	23,87
INGRESOS (€)	254.016,00	310.915,58	380.560,67	465.806,27	570.146,87
GASTOS VARIABLES (€)	-23.995,01	-28.794,01	-34.552,81	-41.463,37	-49.756,05
BENEFICIO BRUTO (€)	230.020,99	282.121,57	346.007,86	424.342,89	520.390,82
GASTOS FIJOS					
ALQUILER (€)	-52.920,00	-53.978,40	-55.057,97	-56.159,13	-57.282,31
SALARIOS (€)	-106.203,06	-106.203,06	-106.203,06	-106.203,06	-106.203,06
SUMINISTROS (€)	-8.526,52	-8.526,52	-8.526,52	-8.526,52	-8.526,52
SEGUROS (€)	-6.820,00	-6.820,00	-6.820,00	-6.820,00	-6.820,00
CUOTA AUTÓNOMO (€)	-3.720,00	-3.720,00	-3.720,00	-3.720,00	-3.720,00
OTROS (€)	-21.180,00	-21.180,00	-21.180,00	-21.180,00	-21.180,00
TOTAL GASTOS FIJOS (€)	-199.369,58	-200.427,98	-201.507,55	-202.608,71	-203.731,89
EBITDA (€)	30.651,41	81.693,59	144.500,32	221.734,18	316.658,93
AMORTIZACIÓN (€)	-36.555,85	-36.555,85	-36.555,85	-36.555,85	-36.555,85
BAIT (€)	-5.904,43	45.137,75	107.944,47	185.178,34	280.103,09
INTERESES (3,5%) (€)	-12.794,55	-11.962,90	-10.654,34	-9.329,08	-8.003,25
BAT (€)	-18.698,98	33.174,85	97.290,13	175.849,26	272.099,84
IMPUESTOS (25%) (€)	0,00	-8.293,71	-24.322,53	-43.962,31	-68.024,96
BENEFICIO NETO(€)	-18.698,98	24.881,14	72.967,60	131.886,94	204.074,88
MARGEN NETO (%)	-0,07	0,08	0,19	0,28	0,36
CASH FLOW (€)	17.856,87	61.436,98	109.523,44	168.442,79	240.630,73

A continuación, se proceden a comentar ciertas consideraciones realizadas para desarrollar el plan financiero.

- El número de paneles procesados el primer año corresponde al 15 % del máximo que pueden ser segregados por la línea de procesamiento. En los años sucesivos aumenta un 20 %, respectivamente.
- El ingreso por panel aumenta un 2,5 % cada año conforme al encarecimiento de las materias primas que se ha observado con anterioridad en el documento.
- El beneficio bruto es la diferencia entre los ingresos y los gastos variables.
- Al igual que el ingreso por panel, el alquiler también se ve aumentado en un 2,5 % cada año.
- El EBITDA o *Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization*, esto es, Beneficio Antes de Intereses, Impuestos, Depreciación y Amortización, es la diferencia entre el beneficio bruto y el total de los gastos fijos.
- Para la amortización de la maquinaria se ha establecido un periodo de 10 años, [1], anualmente durante 10 años se pagará el valor indicado en la Tabla 17.
- El BAIT o Beneficios Antes de Impuestos se obtiene de realizar la resta entre el EBITDA y la amortización.
- Se han determinado unos intereses del 3,5 % en consonancia con el interés del dinero actual.
- El beneficio neto se obtiene de haberle restado al EBITDA la amortización, los intereses y los impuestos. El primer año, no se aplican impuestos porque el beneficio neto es negativo. A partir, del año 2025 se aplicará un impuesto (Impuesto de Sociedades) del 25 %.

En último lugar, se analiza y determina si el proyecto es rentable y viable económicamente, calculándose los parámetros: Valor Actual Neto (VAN) y TIR (Tasa Interna de Retorno).

■ Cálculo del Valor Actual Neto (VAN)

El Valor Actual Neto (en adelante, VAN) tiene por objeto determinar o medir la viabilidad de un proyecto a partir del *Cash Flow* o Flujo de Caja que se espera obtener. Expresa la rentabilidad de un proyecto en términos absolutos o netos (unidades monetarias). La ecuación 1 determina la forma de cálculo de este:

$$VAN = -I_0 + \sum_{T=1}^n \frac{F_T}{1+k} \quad (1)$$

Donde:

- F_T → es el flujo de caja en cada periodo de tiempo T.
- I_0 → es la inversión inicial realizada.
- n → es en número de periodos de tiempo.
- k → es el tipo de interés actual, (aprox. $k = 3,5\%$).

Por tanto, el VAN del presente proyecto es:

$$VAN = -365558,45 + \frac{17.856,87}{1+0,035} + \frac{61.436,98}{(1+0,035)^2} + \frac{109.523,44}{(1+0,035)^3} + \frac{168.442,79}{(1+0,035)^4} + \frac{240.630,73}{(1+0,035)^5} \quad (2)$$

$$VAN = 330.996,18 \text{ Euros} \quad (3)$$

Se concluye del resultado obtenido, ecuación 3, que la inversión generará beneficios y, en consecuencia, el proyecto es rentable.

■ Cálculo del Tasa Interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno o Rentabilidad (en adelante, TIR) es el porcentaje de pérdida o beneficio que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto. Es, por tanto, el promedio geométrico de los futuros rendimientos que se esperan obtener de dicha inversión. La ecuación 4 muestra la forma de cálculo de este parámetro:

$$VAN = -I_0 + \sum_{T=1}^n \frac{F_T}{1+TIR} = 0 \quad (4)$$

Por tanto, la TIR del presente proyecto es:

$$-365558,45 + \frac{17.856,87}{1 + TIR} + \frac{61.436,98}{(1 + TIR)^2} + \frac{109.523,44}{(1 + TIR)^3} + \frac{168.442,79}{(1 + TIR)^4} + \frac{240.630,73}{(1 + TIR)^5} \quad (5)$$

$$TIR = 13,67\% \quad (6)$$

Se concluye del resultado obtenido, ecuación 6, no sólo es positivo, sino que además, es superior al tipo de interés aplicado (k) para el cálculo del van, y por ello, el proyecto es considerado viable económicamente.

6. Conclusión

Como se ha podido observar, el uso a gran escala de la energía solar fotovoltaica es relativamente reciente, siendo la preocupación por el reciclaje de este tipo de tecnología aún desconocido o inexistente. Es más, en los próximos años no sólo se van a seguir instalando más parques solares con el fin de cumplir los objetivos dictaminados por la Unión Europea y los planes nacionales, mayor generación de energía renovables, sino que se comenzarán a desmantelar las primeras plantas fotovoltaicas implantadas en el territorio español.

En consecuencia, de la necesidad determinada nace la oportunidad y, con ello, el objetivo del presente Trabajo de Fin de Grado. Este busca explorar la viabilidad de una planta de reciclaje que no sólo contribuya a la sostenibilidad medioambiental, sino que también sea capaz de arrojar un resultado positivo económico y cuya puesta en marcha sea pueda ser llevada a cabo en los próximos años.

La actividad realizada por la empresa supone el último eslabón para transformar la línea temporal fotovoltaica existente, fabricación, distribución, comercialización, instalación y desecho, en un ciclo, esto es, las mismas etapas anteriores pero en lugar de desecharse el panel fotovoltaico se descompone o segrega con el fin de reintroducir en los modelos productivos, la materia prima secundaria obtenida. De esta forma, se logra alcanzar la economía circular o modelo circular.

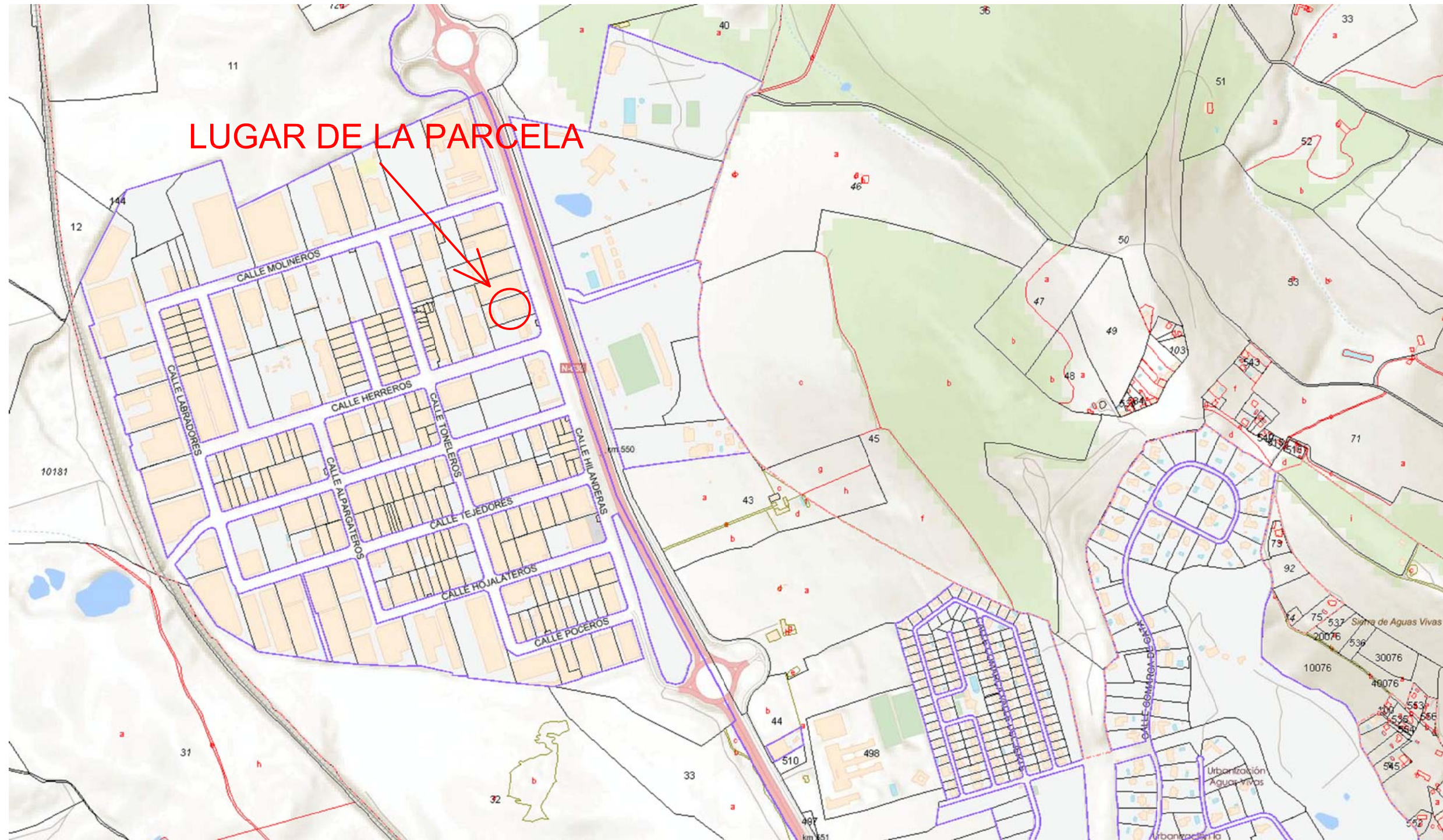
Con el fin de desarrollar un método mecánico y automatizado se ha seleccionado una línea de procesamiento que consigue segregar 40 paneles por hora, o lo que es lo mismo, 800 kilogramos de residuos en el mismo periodo de tiempo. Tras aplicar el proceso de segregación dichos residuos obtenidos, vidrio, aluminio, silicio, entre otros, pasan a ser materia prima secundaria altamente demandada dadas las características que poseen. Por tanto, el panel fotovoltaico puede ser reciclado hasta en un 95 %.

A partir del análisis estratégico realizado se ha observado que, a pesar de ser, el beneficio neto del primer año negativo, -18.698,98 euros, los valores arrojados en los años posteriores son positivos alcanzando su pico en 2027 con un valor de 204.074,88 euros. En el estudio efectuado, además, se observa que el último sólo se llega a reciclar el 32 % de la capacidad máxima de la línea, 23.888 P.F.U. La rentabilidad y viabilidad económica de la planta y proceso diseñados, es decir, el VAN (330.996,18 €) y la TIR (13,67 %), ambos parámetros positivos confirman la viabilidad de este. El beneficio medioambiental también resulta muy llamativo al conseguir reciclar 19,2 toneladas de residuos en 2024 y un total de 477,76 en 2028.

En resumen, el trabajo realizado ha permitido al estudiante plasmar los conocimientos recibidos a lo largo del último curso, concretamente, los adquiridos en las materias, de carácter específico, del itinerario de organización, logrando desarrollar una idea novedosa, actual y práctica que resulta muy atractiva por dos motivos: el primero, el desarrollo de un modelo productivo que garantiza la economía circular del panel fotovoltaico y, el segundo, la obtención de un beneficio económico a partir de un proceso sostenible medioambientalmente.

Como futura línea de investigación asociada a este trabajo se podría estudiar la implantación de un sistema de calidad implicando esto una mejora del proceso de segregación realizado. O se podría analizar la posibilidad de implantar otra línea de procesamiento de P.F.U.

Anexo: Planos



LUGAR DE LA PARCELA



ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

PROYECTO TÉCNICO DE INSTALACIONES PARA LA ACTIVIDAD DOCENTE EN INSTITUTO

PROMOTOR:
ESCUELA INGENIERÍAS INDUSTRIALES

LOCALIZACIÓN:
CALLE/ HILADERAS, 202 Políg. Las Capellanías. CACERES.-

PLANO Nº:
1 PLANO DE SITUACION

ALUMNO:
CÉSAR PINILLA TORRES

ESCALA:
1: 10.000

COTAS EN:
m

EL ALUMNO:

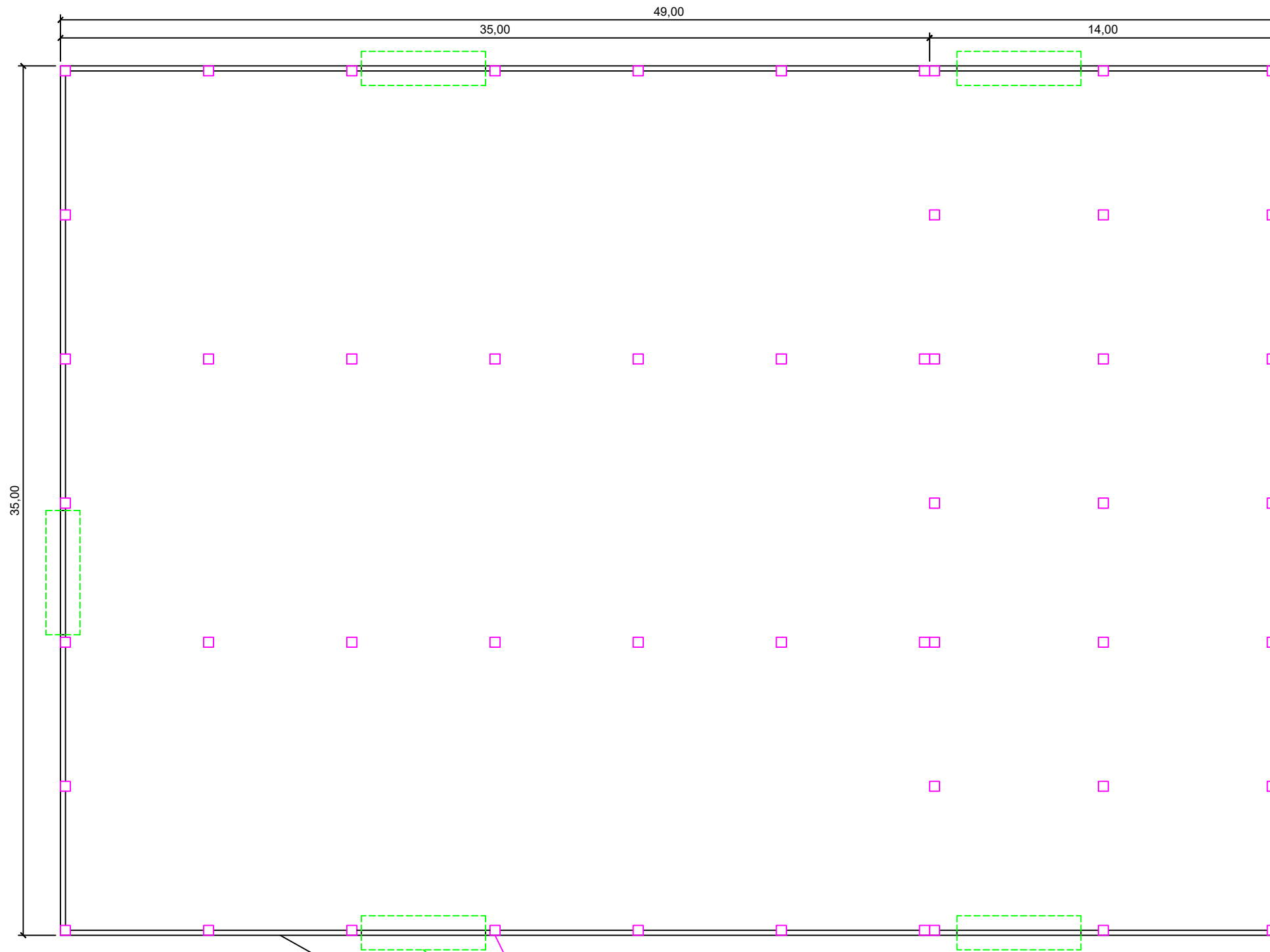
TITULACIÓN:
GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

FECHA:
MAYO/2023

Fdo.: CÉSAR PINILLA TORRES

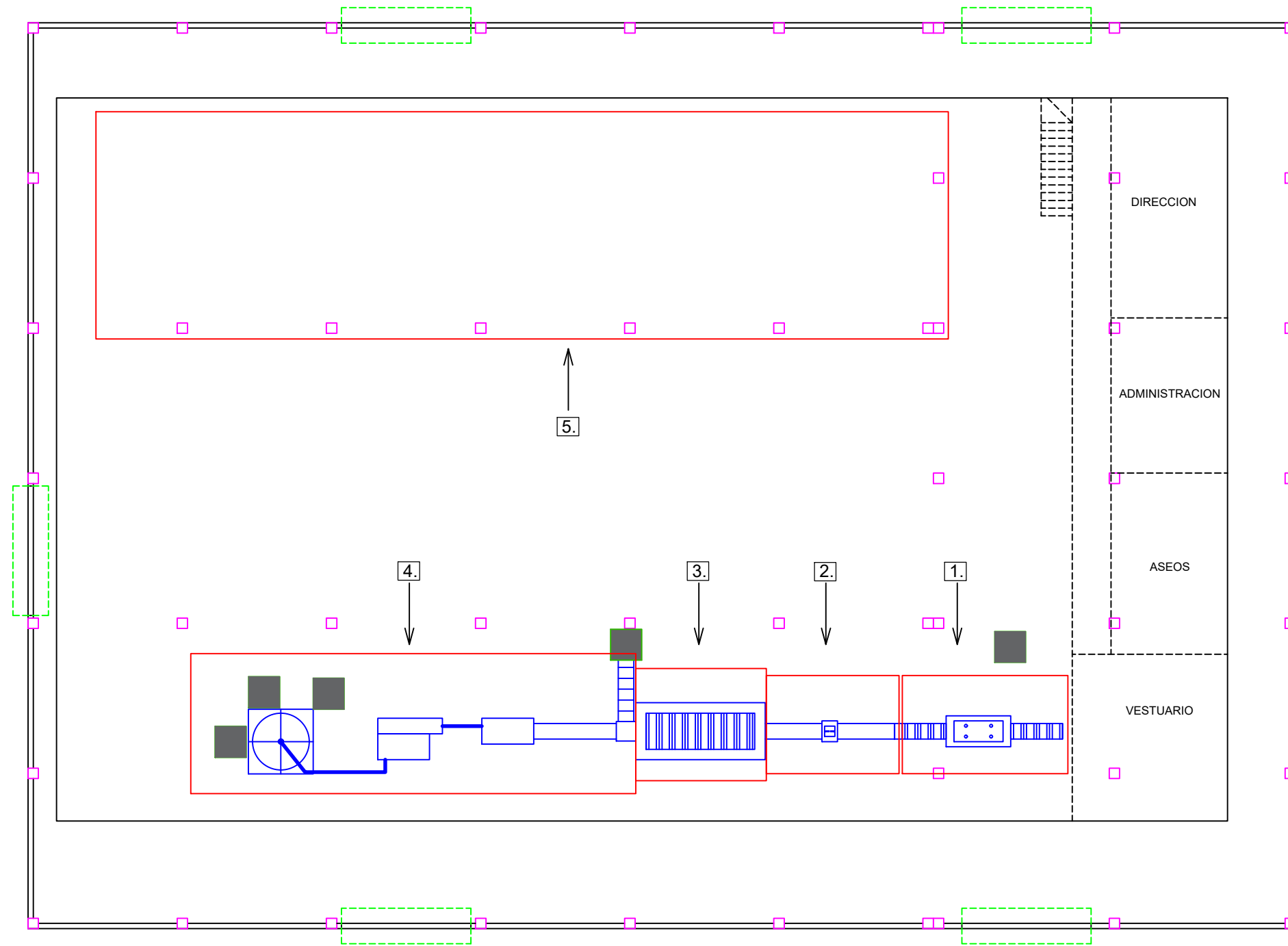


	UNIVERSIDAD DE MÁLAGA		
	PROYECTO TÉCNICO DE INSTALACIONES PARA LA ACTIVIDAD DOCENTE EN INSTITUTO		
PROMOTOR: ESCUELA INGENIERÍAS INDUSTRIALES		LOCALIZACIÓN: CALLE/ HILADERAS, 202 Políg. Las Capellanías. CACERES.-	
PLANO Nº: 2	PLANO DE EMPLAZAMIENTO		
ALUMNO: CÉSAR PINILLA TORRES		ESCALA: 1: 1.000	COTAS EN: m
TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES		FECHA: MAYO/2023	EL ALUMNO:  Fdo.: CÉSAR PINILLA TORRES



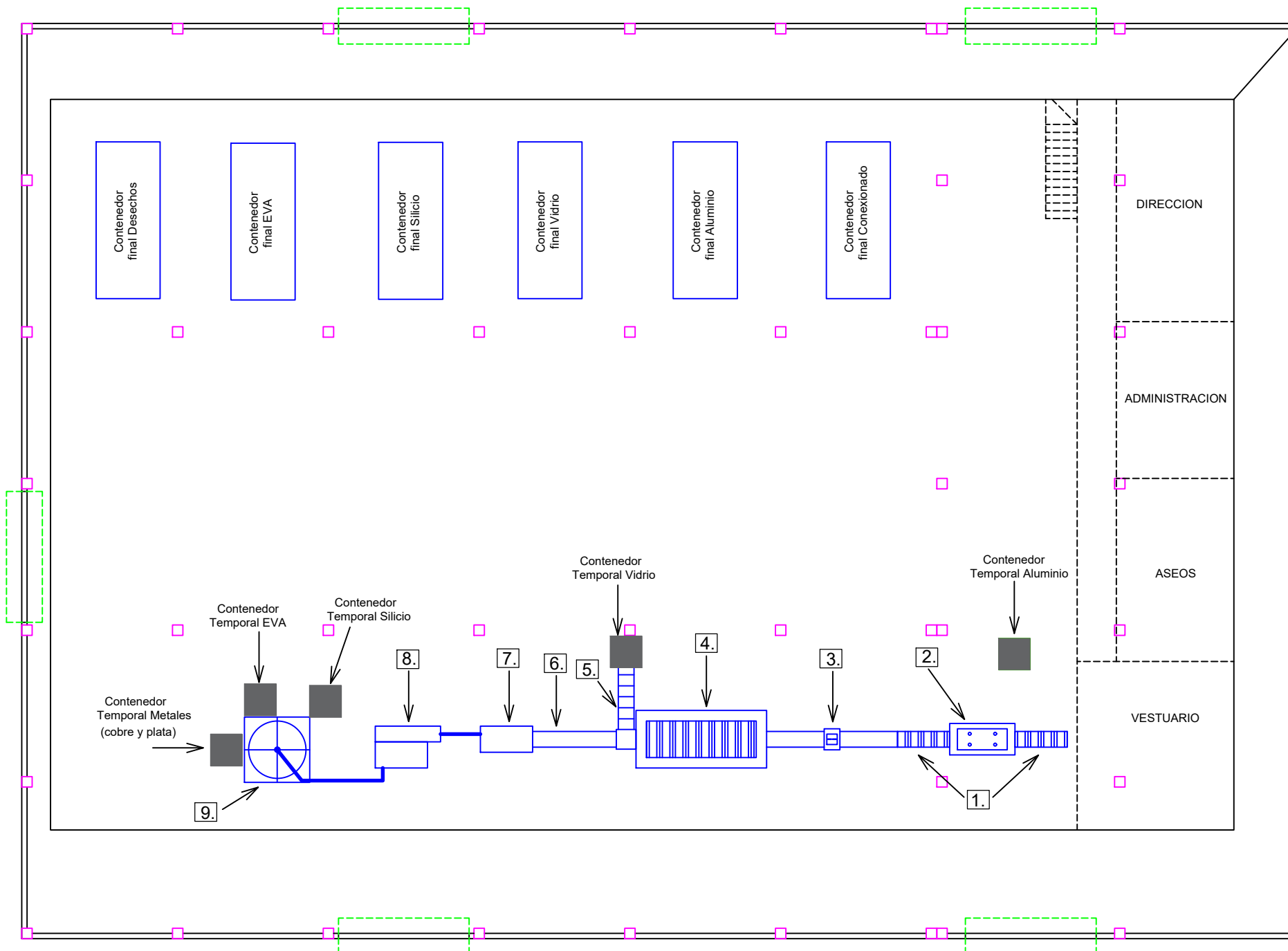
Pilares de hormigón armado
 Puerta basculante
 Muro de bloque de hormigón

	UNIVERSIDAD DE MÁLAGA		
	PROYECTO TÉCNICO DE INSTALACIONES PARA LA ACTIVIDAD DOCENTE EN INSTITUTO		
PROMOTOR: ESCUELA INGENIERÍAS INDUSTRIALES		LOCALIZACIÓN: CALLE/ HILADERAS, 202 Polig. Las Capellanías. CACERES.-	
PLANO Nº: 3	DIMENSIONES DE LA PLANTA		
ALUMNO: CÉSAR PINILLA TORRES		ESCALA: 1: 200	COTAS EN: m
TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES		FECHA: SMAYO/2023	EL ALUMNO:  Fdo.: CÉSAR PINILLA TORRES



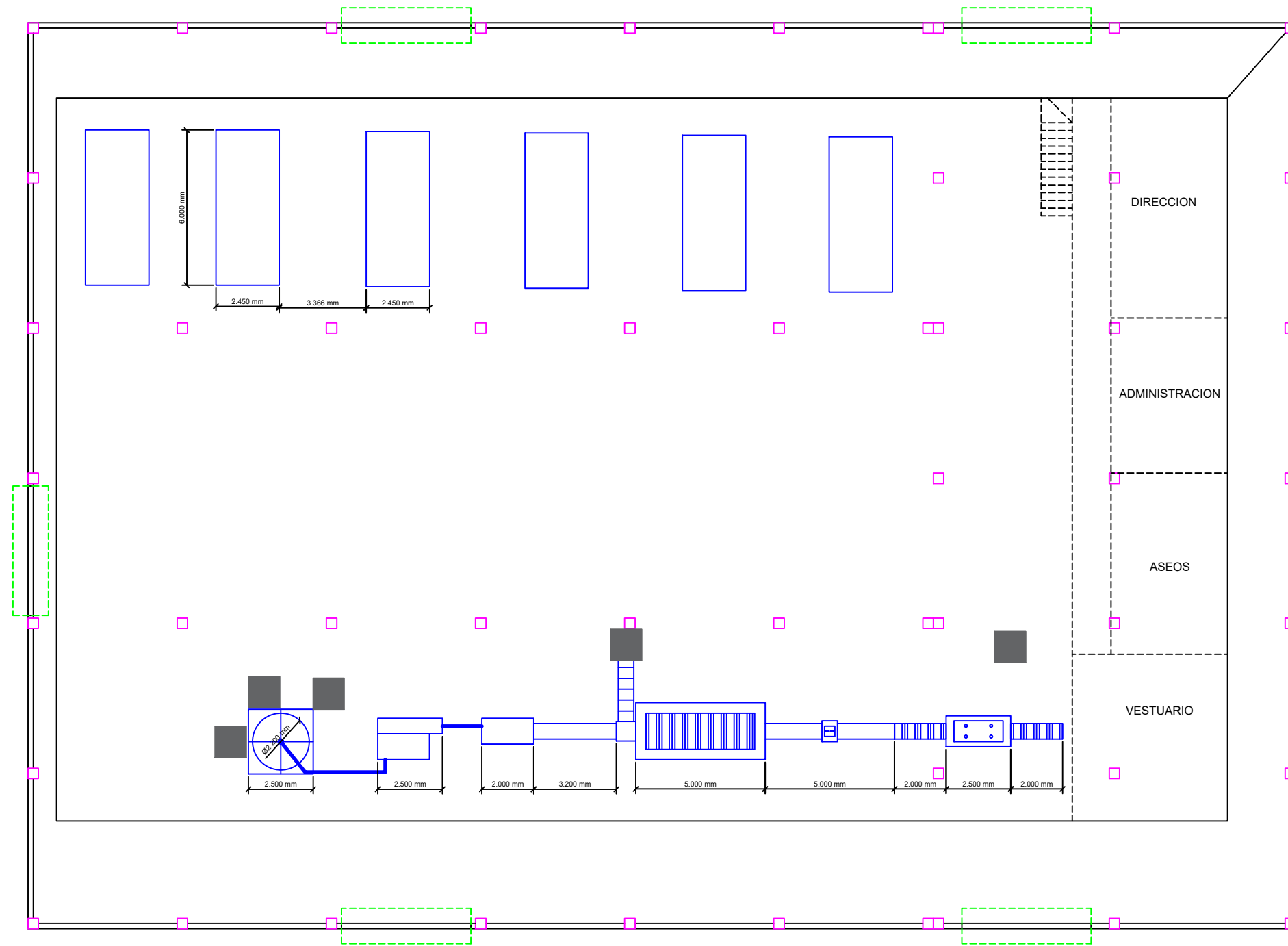
LEYENDA	
1.	Zona de retirada del marco
2.	Zona de Corte
3.	Zona de delaminado
4.	Zona de segregado
5.	Zona de almacenaje final

	UNIVERSIDAD DE MÁLAGA		
	PROYECTO TÉCNICO DE INSTALACIONES PARA LA ACTIVIDAD DOCENTE EN INSTITUTO		
PROMOTOR: ESCUELA INGENIERÍAS INDUSTRIALES		LOCALIZACIÓN: CALLE/ HILADERAS, 202 Polig. Las Capellanías. CACERES.-	
PLANO Nº: 4	DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA. ZONAS DE OPERACIÓN		
ALUMNO: CÉSAR PINILLA TORRES		ESCALA: 1: 200	COTAS EN:
TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES		FECHA: SEPT/2023	EL ALUMNO:  Fdo.: CÉSAR PINILLA TORRES



LEYENDA	
1.	Transportador de rodillos
2.	Separador automático de marcos
3.	Cortadora de línea completa con banco
4.	Delaminadora de vidrio solar
5.	Cinta transportadora para descarga del vidrio
6.	Cinta transportadora para la carga de los paneles delaminados de la trituradora
7.	Trituradora mono eje con empujador hidráulico
8.	Turbina multisector
9.	Sistema de cribado de tres estadios

	UNIVERSIDAD DE MÁLAGA		
	PROYECTO TÉCNICO DE INSTALACIONES PARA LA ACTIVIDAD DOCENTE EN INSTITUTO		
PROMOTOR: ESCUELA INGENIERÍAS INDUSTRIALES		LOCALIZACIÓN: CALLE/ HILADERAS, 202 Polig. Las Capellanías. CACERES.-	
PLANO N°: 5	DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA. MAQUINARIA Y ALMACENAJE		
ALUMNO: CÉSAR PINILLA TORRES	ESCALA: 1: 200	COTAS EN:	EL ALUMNO: 
TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES	FECHA: SEPT/2023	Fdo.: CÉSAR PINILLA TORRES	



	UNIVERSIDAD DE MÁLAGA		
	PROYECTO TÉCNICO DE INSTALACIONES PARA LA ACTIVIDAD DOCENTE EN INSTITUTO		
PROMOTOR: ESCUELA INGENIERÍAS INDUSTRIALES		LOCALIZACIÓN: CALLE/ HILADERAS, 202 Polig. Las Capellanías. CACERES.-	
PLANO N°: 6	DISTRIBUCION DE LA PLANTA. DIMENSIONES DE LA MAQUINARIA Y ALMACENAJE		
ALUMNO: CÉSAR PINILLA TORRES		ESCALA: 1: 200	COTAS EN: mm.
TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES		FECHA: SEPT/2023	
			EL ALUMNO:  Fdo.: CÉSAR PINILLA TORRES

Referencias

- [1] *Agencia Tributaria: Amortizaciones*. dirección: <https://sede.agenciatributaria.gob.es/Sede/impuesto-sobre-sociedades/que-base-imponible-se-determina-sociedades/amortizaciones.html?faqId=42c3904421205710VgnVCM100000dc381e0aRCRD>.
- [2] *Calculador Factura luz – Simulador Factura luz*. dirección: <https://www.simuladorfacturaluz.es/calculador-factura-luz/>.
- [3] *Carretilla eléctrica contrapesada RX 20 1,4-2,0 T | STILL España*. dirección: <https://www.still.es/carretillas/carretillas-nuevas/carretillas-contrapesadas-electricas/rx-20-14-20-t.html>.
- [4] *Catálogos Paneles Solares - Zytech Solar - Solar Panels*, oct. de 2018. dirección: <https://zytech.es/catalogos/>.
- [5] R. |. E. Chatarrero, *Cotización de metales en el mercado | El chatarrero*, ago. de 2023. dirección: <https://www.elchatarrero.com/cotizacion-de-metales/>.
- [6] *Colectivos*. dirección: <https://portal.seg-social.gob.es/wps/portal/importass/importass/Colectivos/Trabajo+Autonomo/guia#IDControlee569d66-d34e-4a6a-950a-17bd7761b575>.
- [7] *CONTENEDOR BIG BOX CTF | Contenedor de plástico rígido pequeño*. dirección: <http://teguicontenedores.com/es/contenedores-bigbox/bigbox-ctf-103.html>.
- [8] *CONTENEDOR METALICO GANCHO 20 m3 - CONTENEDOR MULTILIFT 20 m3*. dirección: <http://teguicontenedores.com/es/contenedores-gancho/contenedor-gancho-20m3-31.html>.
- [9] I. Corporativa, *¿Cómo funcionan las plantas fotovoltaicas?* Dirección: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-energia-fotovoltaica>.
- [10] *Descargas - eurener*, ago. de 2023. dirección: <https://eurenergroupp.com/es/download/>.
- [11] *DIGI, lo inteligente es ir por libre | Fibra y móvil*. dirección: <https://www.digimobil.es/>.
- [12] *Energía solar fotovoltaica 2019 - Energía solar fotovoltaica.org*, jun. de 2023. dirección: <https://energiasolarfotovoltaica.org/>.
- [13] *ESIOS Electricidad*. dirección: <https://www.esios.ree.es/es/mapas-de-interes/mapa-instalaciones-fotovoltaicas>.
- [14] IberRecycling, *Rompe motores, presas y cizallas hidráulicas Iber Recycling*, jul. de 2022. dirección: <https://www.iber-recycling.com/linea-reciclaje-paneles-fotovoltaicos>.
- [15] *Idealista — casas y pisos, alquiler y venta. Anuncios gratis*. dirección: <https://www.idealista.com/>.
- [16] Jefatura del Estado, “Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética.” *Boletín Oficial del Estado (BOE)*, vol. I. Disposiciones Generales, n.º 121, págs. 62 009-62 052, 2021, Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/l/2021/05/20/7>, Consultado: agosto 2023.
- [17] *Listado completo de materias primas*. dirección: <https://www.expansion.com/mercados/cotizaciones/materias.html>.

- [18] Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, “Real Decreto 110/2015, de 20 de febrero, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.,” *Boletín Oficial del Estado (BOE)*, vol. I. Disposiciones Generales, n.º 45, págs. 14 211-14 312, 2015, Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2015/02/20/110>, Consultado: agosto 2023.
- [19] Ministerio de Ciencia y Tecnología, “Resolución de 9 de marzo de 2023, de la Dirección General de Trabajo, por la que se registra y publica la tabla salarial para el año 2023 del Convenio colectivo de recuperación y reciclado de residuos y materias primas secundarias.,” *Boletín Oficial del Estado (BOE)*, vol. III. Otras Disposiciones, n.º 68, págs. 42 539-42 542, 2023, Disponible en: [https://www.boe.es/eli/es/res/2023/03/09/\(14\)](https://www.boe.es/eli/es/res/2023/03/09/(14)), consultado: agosto 2023.
- [20] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), “Marco estratégico de energía y clima: una oportunidad para la modernización de la economía española y creación de empleo,” Gobierno de España, Madrid, inf. téc., 2020, págs. 1-71.
- [21] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), “Proyecto Estratégico para la Recuperación y Transformación Económica en Economía Circular (PERTE en EC),” Gobierno de España, Madrid, inf. téc., 2022, págs. 1-59.
- [22] *Paneles – Exiom Solution S.A.* dirección: <https://www.exiomsolution.com/productos/>.
- [23] *Plásticos y caucho.* dirección: <https://www.plasticosycaucho.com/el-mercado-de-eva-en-espana-se-ralentiza-ante-las-subidas-de-precios-y-las-dificultades-de-suministro-miercoles-20-de-abril-de-2022>.
- [24] Puig, P. y Jofra, M., “Solar fotovoltaica. Colección Energías renovables para todos.,” *Energías renovables*, H. Comunicación, ed., 2009.
- [25] Sierra, M., C. y Ramírez-Pisco, R., “Disposición final e impacto ambiental de las celdas fotovoltaicas,” *Publicaciones en Ciencias y Tecnología*, n.º 14 (2), H. Comunicación, ed., págs. 74-90, 2020, Disponible en: <https://revistas.uclave.org/index.php/pcyt>, ISSN: 1856-8890.
- [26] E. Solar, “Estructuras para paneles solares. Tipos y características,” *Expertos en energía solar fotovoltaica y paneles solares | EFC SOLAR*, dic. de 2021. dirección: <https://www.efcsolar.com/energia-solar-fotovoltaica/estructuras-para-paneles-solares-tipos/>.
- [27] *Solar energy.* dirección: <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Solar-energy>.
- [28] T. Sun, “El precio del vidrio fotovoltaico eleva el coste del módulo solar,” *Techno Sun - Distribuidor mayorista*, nov. de 2020. dirección: <https://www.technosun.com/es/blog/precio-vidrio-fotovoltaico-eleva-coste-modulo-solar/>.
- [29] TAMESOL, *Centro de descargas | TAMESOL*, mayo de 2023. dirección: <https://tamesol.com/es/descargas/>.
- [30] M. Team, *Metalshub - Ferrosilicio y aleaciones de silicio | Datos y precios.* dirección: <https://www.metals-hub.com/es/products/silicon/>.
- [31] Unión Española Fotovoltaica (UNEF), “Análisis del estado del arte del reciclaje de paneles fotovoltaicos.,” 2020, Disponible en: <https://www.unef.es/es/recursos-informes>, Consultado: agosto 2023.