



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA

**DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA
INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE NUEVA
PLANTA DIMENSIONADA PARA
AUTOCONSUMO EN UNA GRANJA DE
CRIANZA AVÍCOLA SITUADA EN LA JANA,
CASTELLON DE LA PLANA**

AUTOR: MIUGEL SAFONT SAFONT

TUTOR: RAÚL GONZÁLEZ MEDINA

COTUTOR: ALBERTO HERNÁNDEZ FERRER

Curso Académico: 2021-22

AGRADECIMIENTOS

Quiero aprovechar la ocasión para manifestar mi agradecimiento de todo corazón a las personas sin las que nunca estaría hoy realizando este documento. A los amigos y amigas que me ayudaron con los exámenes, a aquellas personas que pese a mi manera de ser siempre estuvieron ahí cuando las busqué, a los profesores que hicieron más llevadero mi desencanto con estos estudios, en especial a Sergio, él no lo sabe, pero su simple comentario fue el que impidió que abandonara.

Gracias a Irene por hacer lo que nadie haría, solo para que yo pudiese conseguir lo que pensaba que no podía.

Y gracias a mis padres y mi hermano, en cien vidas no podré agradecer suficiente su papel durante estos años.

“somos tan fuertes como las manos que nos levantan, solo para que nosotros podamos levantar a otros”.

RESUMEN

El objetivo que se plantea para este trabajo de fin de grado es el estudio y desarrollo de una instalación fotovoltaica en una granja de crianza avícola de 50 años de antigüedad. La granja cuenta con una instalación fotovoltaica de once años de antigüedad, la cual es de 10 kW de potencia pico. Dicha instalación está situada sobre el edificio almacén de la granja, con cuarenta y ocho paneles, por lo que la nueva instalación se realizará sobre la cubierta del edificio de crianza. En el proyecto se asegurará la autosuficiencia energética de la granja respecto al consumo eléctrico, generando excedente para verter a red con retribución, en caso de darse dicha circunstancia.

Tras la propuesta principal, se analizará la posibilidad de cambiar los equipos de calefacción, que usan GLP como combustible, por calefactores eléctricos. El fin último es lograr que la granja sea plenamente autosustentable energéticamente.

Finalmente, este trabajo contara con una memoria técnica de la instalación fotovoltaica para autoconsumo con excedente vertido a red, así como un estudio de viabilidad económica del mismo.

Estas opciones son posibles gracias a la mejora de los rendimientos de la tecnología fotovoltaica y por tanto deben tenerse en cuenta, con el fin de contribuir a una transición ecológica y un desarrollo sostenible.

Palabras clave: fotovoltaica, autoconsumo, granja

RESUM

L'objectiu que es planteja per a aquest treball de fi de grau és l'estudi i desenvolupament d'una instal·lació fotovoltaica en una granja de cria avícola de 50 anys d'antiguitat. La granja compta amb una instal·lació fotovoltaica d'onze anys d'antiguitat, la qual és de deu kW de potència pic. Aquesta instal·lació està situada sobre l'edifici magatzem de la granja, amb quaranta-huit panells, per la qual cosa la nova instal·lació es realitzarà sobre la coberta de l'edifici de cria. En el projecte s'assegurarà l'autosuficiència energètica de la granja respecte al consum elèctric, generant excedent per a abocar a xarxa amb retribució, en cas de donar-se aquesta circumstància.

Després de la proposta principal, s'analitzarà la possibilitat de canviar els equips de calefacció, que usen GLP com a combustible, per calefactors elèctrics. La fi última és aconseguir que la granja siga plenament auto sustentable energèticament.

Finalment, aquest treball comptarà amb una memòria tècnica de la instal·lació fotovoltaica per a autoconsum amb excedent abocat a xarxa, així com un estudi de viabilitat econòmica d'aquest.

Aquestes opcions són possibles gràcies a la millora dels rendiments de la tecnologia fotovoltaica i per tant han de tindre's en compte, amb la finalitat de contribuir a una transició ecològica i un desenvolupament sostenible.

Paraules clau: fotovoltaica, autoconsum, granja

ABSTRACT

The objective of this final degree project is the study and development of a photovoltaic installation on a 50-year-old poultry farm. The farm has an eleven-year-old photovoltaic installation, which has a peak power of ten kW. This installation is located on the storage building of the farm, with forty-eight panels, so the new installation will be on the roof of the rearing building. The project will ensure the farm's energy self-sufficiency in terms of electricity consumption, generating surplus to be fed into the grid with remuneration, should this circumstance arise.

Following the main proposal, the possibility of changing the heating equipment, which uses LPG as fuel, for electric heaters will be analysed. The goal is to make the farm fully energy self-sustainable.

Finally, this work will include a technical report on the photovoltaic installation for self-consumption with a surplus fed into the grid, as well as an economic feasibility study.

These options are possible thanks to the improved performance of photovoltaic technology and should therefore be considered to contribute to an ecological transition and sustainable development.

Keywords: photovoltaic, self-consumption, poultry farm

ÍNDICE

MEMORIA

Objetivo.....	11
Alcance	11
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN, MARCO TEÓRICO Y LEGAL	12
1.1 situación de la instalación	13
1.2 La industria de engorde de gallinas	14
1.3 El recurso solar.....	15
1.4 La radiación solar en la tierra	15
1.5 Energía fotovoltaica.....	16
1.5.1 el efecto fotoeléctrico	16
1.5.2 Caracterización de la célula fotovoltaica	17
1.5.3 el módulo solar fotovoltaico	20
1.5.4 tipos de instalaciones fotovoltaicas.....	21
1.5.5 elementos de una instalación fotovoltaica conectada a red	21
1.6 Normativa vigente asociada a la energía solar fotovoltaica.....	22
CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE INSTALACIÓN CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE LA GRANJA	24
2.1 Consumo eléctrico histórico.....	25
2.2 Inventario de potencia	27
2.3 Consumo de propano histórico.....	28
2.4 propuestas de la instalación.....	29
2.4.1 Caracterización energética sin calefacción eléctrica.....	29
2.4.2 Caracterización energética con calefacción eléctrica.....	31
2.5 Resumen y alternativas	33
CAPÍTULO 3: INSTALACIÓN SIN CALEFACCIÓN ELÉCTRICA.....	35
3.1 Cálculo y dimensionado de la instalación.....	36
3.1.1 diseño del generador fotovoltaico (GFV).....	36
3.1.2 Inversor, compatibilidad	39
3.1.3 canalizaciones	43

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

3.1.5 Puesta a tierra.....	51
3.2 Memoria técnica de diseño	52
3.2.1 El generador fotovoltaico (GFV).....	52
3.2.2 Inversor	57
3.2.3 Cableado y conexiones	58
3.2.4 Protecciones y monitorización	61
3.2.5 Toma de tierra	63
3.3 Justificación económica	64
3.3.1 cálculo de la inversión	64
3.3.2 estimación de la facturación sin generación fotovoltaica	64
3.3.3 consumos y generación	66
3.3.4 viabilidad económica.....	68
3.4 Justificación ecológica	73
Capítulo 4: Conclusiones	75
4.1 Resumen del proyecto.....	76
4.2 Conclusiones	76
PRESUPUESTO	77
PLANOS	80
BIBLIOGRAFIA	82
ANEJOS.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: granja ROESAN C.B. (imagen tomada de google maps)	13
Figura 2: radiación en la tierra (fuente: Google imágenes).....	15
Figura 3: células fotovoltaicas (fuente: Google imágenes)	17
Figura 4: corrientes y función I-V característica de la célula fotovoltaica (fuente: Google imágenes). 18	
Figura 5: curva I-V y curva P-V características de una célula fotovoltaica (fuente: Google imágenes) . 18	
Figura 6: cambios en la curva I-V debido a la temperatura del módulo FV (fuente: Google imágenes)	19
Figura 7: cambios en la curva I-V debidos a la radiación incidente (fuente: Google imágenes).....	19
Figura 8: agrupación de una célula FV en un panel y en un sistema FV (fuente: Google imágenes) ...	20
Figura 9: esquema de clasificación de instalaciones FV según la normativa vigente (3).....	22
Figura 10: consumo eléctrico mensual en el año 2020 de la granja	26
Figura 11: consumo mensualizado de propano para el año 2020	29
Figura 12: reparto porcentual del consumo medio eléctrico sin equipos de calefacción	30
Figura 13: consumo energético tras añadir calefacción eléctrica	31
Figura 14: reparto porcentual del consumo medio eléctrico con equipos de calefacción	33
Figura 15: calculo grafico del acimut de la cubierta que soporta los módulos FV (fuente: Google Maps).....	38
Figura 16: calculo gráfico de perdidas por inclinación. fuente IDAE anejo II (5)	39
Figura 17: comparación tensiones máximas y mínimas del GFV y el inversor.....	42
Figura 18: esquema de la instalación sin escala. Disposición de las conducciones	48
Figura 19: paneles JAM72S10 410W de media celda (JAsolar, 2021).....	53
Figura 20: almeja de sujeción tipo A medidas en mm; (8).....	53
Figura 21: almeja de sujeción tipo B medidas en mm; (8).....	54
Figura 22: situación de los dispositivos de anclaje para el panel fotovoltaico (8)	55
Figura 23: detalle situación pinzas de anclaje para el panel fotovoltaico (8)).....	56
Figura 24: riel ranurado de aluminio para cubierta de perfil trapezoidal (fuente: Google imágenes) .	56
Figura 25: vista superior montaje de rieles (fuente: Google imágenes).....	57
Figura 26: inversor de corriente HUAWEI SUN2000-33KTL-A (10)	58
Figura 27: detalle de caja con terminales de interconexión entre paneles (JAsolar, 2021)	59
Figura 28: conectores MC4 (fuente: Google imágenes).....	59
Figura 29: tramos de conexión (fuente propia)	60
Figura 30: watimetro de monitorización de red eléctrica (fuente: Google imágenes).....	62
Figura 31: modo de conexión del gestor de autoconsumo e inyección cero (LACECAL, 2021)	62
Figura 32: modo de montaje de las pinzas de conexión de paneles a la red equipotencial. (8)	63
Figura 33: generación mensual de la instalación fotovoltaica (15).....	67
Figura 34: ingresos, costes y balance neto.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: datos de contrato del punto de suministro.....	25
Tabla 2: consumo energético mensualizado de la granja	25
Tabla 3: marcadores de consumo en el año 2020 a partir del consumo mensualizado.....	26
Tabla 4: inventario de potencia de equipos consumidores de la granja.....	27
Tabla 5: marcadores de consumo en el año 2020 a partir del inventario de potencia	27
Tabla 6: consumo de propano para calefacción mensualizado en el año 2020	28
Tabla 7: equipos consumidores agrupados por tipo de función principal sin calefacción eléctrica.....	29
Tabla 8: porcentajes de consumo por tipos de consumidores sin calefacción eléctrica	30
Tabla 9: consumo eléctrico mensualizado añadiendo calefacción eléctrica	31
Tabla 10: equipos consumidores agrupados por tipo de función principal con calefacción eléctrica .	32
Tabla 11: porcentajes de consumo por tipos de consumidores con calefacción eléctrica.....	32
Tabla 12: datos de catálogo del módulo fotovoltaico JAM 72S10 410W.....	36
Tabla 13: potencia instala y número de paneles antes de ajuste	37
Tabla 14: potencia instalada y número de paneles después del ajuste.....	37
Tabla 15: datos técnicos extraídos de la ficha del inversor HUAWEI SUN2000-33KTL-A	40
Tabla 16: resumen de temperaturas en el periodo de 1991-2021 para estación meteorológica de Vinaroz (fuente: AEMET)	40
Tabla 17: temperaturas máximas y mínimas del GFV en función de la temperatura.....	41
Tabla 18: tabla resumen de los cálculos de compatibilidad GFV-INV	43
Tabla 19: cable de exterior mínimo para rango normalizado (8).....	44
Tabla 20: intensidades admisibles (A) terreno a 20°C. Nº conductores con carga y naturaleza del aislamiento tipo D. (9).....	45
Tabla 21: factor de corrección para temperaturas del terreno distintas de 20°C. (F1) (9)	46
Tabla 22: factor de corrección por agrupación. (F2) (9).....	46
Tabla 23: resumen características eléctricas y sección conductor de conexión GFV-INV.	49
Tabla 24: resumen características eléctricas y sección conductor de conexión INV-cuadro de protecciones granja.....	51
Tabla 25: conjunto de protecciones incluidas en el inversor de corriente (JAsolar, 2021)	61
Tabla 26: valores nominales de protecciones en la caja de agrupación (fuente propia).....	61
Tabla 27: facturación mensual año 2020	65
Tabla 28: reparto de horas según periodos de facturación, porcentaje de horas para el día y la noche (fuente propia)	65
Tabla 29: separación de consumo por periodos de nueva tarifa.....	66
Tabla 30: consumo en los 3 periodos y facturación final después de aplicar termino fijo e impuestos	66
Tabla 31: balance de energía mensual medio.....	67
Tabla 32: resumen anual balance de energía medio	67
Tabla 33: generación anual actualizada a la pérdida de eficiencia para la vida útil de la instalación ..	68

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

Tabla 34: cálculo de LCOE para la vida útil de la instalación.....	70
Tabla 35: cálculo del valor actual neto.....	71
Tabla 36: balance neto de la instalación.	72
Tabla 37: marcadores ecológicos	74
Tabla 38: resumen del proyecto.....	76
Tabla 39: presupuesto por partidas de la instalación fotovoltaica.	79

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

MEMORIA

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

Objetivo

Este trabajo de fin de grado tiene por objeto la caracterización y diseño de una planta de generación eléctrica en una granja de crianza avícola para la autosuficiencia energética de la misma.

Por un lado, pretende ser una respuesta eficaz a la petición del cliente, propietario de la granja, de diseñar una instalación fotovoltaica de modo que se puedan reducir los costes asociados al consumo energético.

Por el otro, este documento debe manifestar las capacidades del alumno adquiridas durante toda su formación en el grado de ingeniería de la energía, tanto los conocimientos como las habilidades propias de estos estudios, que se necesitan para resolver problemas de manera eficaz y con resultados eficientes.

Alcance

El presente trabajo constara del dimensionado de una instalación fotovoltaica para satisfacer el consumo eléctrico de una granja de crianza avícola de 1400 m² de superficie de crianza, esto incluye; la caracterización del consumo eléctrico a partir de su consumo histórico, la elección de componentes de la instalación generadora, tales como paneles, inversores, cajas de conexiones, modo de conexión entre paneles y características y protecciones del circuito eléctrico. Además, se realizará una estimación de las emisiones de la contaminación evitada asociada al consumo de energía eléctrica.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN, MARCO TEÓRICO Y LEGAL

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

1.1 situación de la instalación

el emplazamiento de la instalación fotovoltaica será la granja de crianza avícola intensiva ROESAN C.B. la granja está ubicada en el interior de la provincia de Castellón, C. Valenciana, España.

Coordenadas (40°30'30.9"N 0°14'05.1"E), que si se introducen en Google maps muestran la imagen de la figura 1.



Figura 1: granja ROESAN C.B. [imagen tomada de google maps]

la granja ya cuenta con una instalación fotovoltaica situada en el almacén de 10kWp, por lo que la nueva instalación fotovoltaica se instalará en la cubierta del edificio de crianza, delimitado en la imagen por el área sombreada en rojo, la cual es de unos 750 m². la superficie tiene una orientación suroeste con una inclinación de 20°, aproximadamente.

La Granja ROESAN fue construida en la década de los años 70. En sus inicios la nave fue diseñada para el engorde de pollo Broiler desde el día 1 de vida, con ventilación natural no forzada con ventanas de guillotina accionadas manualmente lo que permitía una capacidad de 12.000 plazas. El sistema de calefacción original constaba de estufas de leña y de residuos, que mediante conducciones metálicas hacia circular el aire caliente a 30 cm del suelo con turbinas a motor eléctrico.

Se realizó una reforma en el año 2001, en la cual se cambió el sistema de ventilación, así como el de calefacción y el sistema de distribución de alimento, y se automatizó la mayor parte de los procesos para el cuidado de las aves, tales como el control de temperatura y humedad, y todos los sistemas de alimento y agua. Estos sistemas son los vigentes actualmente.

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

1.2 La industria de engorde de gallinas

El pollo ha sido históricamente una de las carnes más consumidas, siendo ya animal doméstico en lugares como china o Egipto durante el 1400 a.C.

Actualmente, la necesidad de satisfacer la demanda y las tecnologías de cría han convertido a esta ave en la de mayor población en el mundo, con más de 24 billones de pollos y gallinas. En 2018 era la tercera carne más demanda, en un 33%, y actualmente ha conseguido posicionarse como la más consumida, siendo su demanda de un 36% en 2020. [26]

Según el ministerio de agricultura, pesca y alimentación [9], España es el segundo productor de Europa, por detrás del reino unido. Y a su vez, la comunidad valencia es la segunda productora del país, con el 16,9% del total de la producción.

Las instalaciones típicas en esta industria deben asegurar unas condiciones específicas de comodidad y temperatura para el correcto desarrollo de las aves, por lo que la climatización es especialmente importante. Se pueden clasificar en dos grupos principales: de crianza intensiva y extensiva.

La crianza extensiva es la forma más tradicional, en la cual las gallinas salen al pastoreo, pudiendo convivir con otros animales, y rondan para proveerse alimento. Este tipo de crianza puede considerarse el más ecológico y de menor coste, con el inconveniente de que no puede abastecer a una gran población. lo más usual es que se use para el autoconsumo.

La crianza intensiva dispone un espacio cerrado donde se desarrollan las aves. Al estar confinadas se requieren sistemas más específicos y técnicos para asegurar aprovisionamiento de comida, agua, temperatura e higiene adecuadas para el animal. Por este motivo es una forma más cara de crianza y, en consecuencia, se usa para el abastecimiento al por mayor del mercado cárnico. Por supuesto, el hecho de necesitar más infraestructura ocasiona que existan una mayor contaminación asociada.

Tradicionalmente la crianza intensiva se realiza en grandes superficies, o galpones rectangulares. Las granjas de características similares a la instalación de estudio son algo más avanzadas ya que la regulación ambiental y la alimentación se realizan de forma automatizada. La alimentación de estas se proporciona a través de grandes líneas que recorren el galpón de forma longitudinal y mediante mecanismos, como pueda ser un tornillo sin fin, distribuyen el alimento en la cantidad justa para el engorde del animal. El sistema de agua se conforma de una serie de tuberías que reparten por gravedad el agua desde el depósito, estas líneas de agua disponen de múltiples bebederos tipo tetina.

Para garantizar una climatización adecuada en todo momento, se dispone de ventanas con sistema de cierre o abertura motorizado, un sistema de ventilación forzada, generadores de aire caliente, en este caso alimentados por propano, y un sistema de nebulización de agua para regular la humedad y temperatura.

Por último, cabe destacar las implicaciones medioambientales de estas instalaciones, las cuales, son en su mayor parte de carácter biológico, en cuanto a contaminación del suelo y el agua. Así mismo, también es notable la contaminación derivada de los consumos energéticos, que podemos considerar en su totalidad como contaminación a la atmosfera, ya que la energía consumida tiene emisiones de CO₂ asociadas en su producción, así como la combustión de propano para la calefacción.

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

1.3 El recurso solar

Desde que el ser humano empezó a explotar formas de energía para su desarrollo, la energía procedente del sol ha sido indispensable. Ejemplos tempranos de este aprovechamiento son las ventanas con vidrios, que ya los romanos usaban para calentar sus hogares de forma natural. Otro tipo de aprovechamiento son los molinos, ya que la radiación solar calienta la atmosfera, lo que ocasiona los movimientos de las células convectivas, es decir, crea corrientes de aire. Siendo métodos de aprovechamiento directos e indirectos respetivamente.

Esta energía que procede del sol es radiación electromagnética, generada por un proceso de fusión de hidrogeno, creando una esfera de gases a muy alta temperatura, desde cuya superficie se emite esta radiación.

El uso del sol para calentar fluidos, y el descubrimiento del efecto fotoeléctrico aplicado a materiales semiconductores, ha traído consigo formas innovadoras y limpias de aprovechar la energía solar, como la generación directa de electricidad.

1.4 La radiación solar en la tierra

La radiación electromagnética, con una franja de frecuencias desde el infrarrojo hasta el ultravioleta, procedente del sol viaja a través del vacío hasta llegar a la tierra, momento en el cual la atmosfera terrestre hace las veces de filtro, gracias al ozono atmosférico y el oxígeno mismo, que evitan el paso de la radiación sobre todo del espectro ultravioleta. A fin de cuantificar la cantidad de energía que aporta dicha radiación se define la constante solar como una densidad de flujo que mide la radiación solar media electromagnética (irradiancia solar) por unidad de área. Actualmente se mide por medio de satélites, siendo su valor según la NASA de 1.361 kW/m^2 .

Una vez filtrada, momento en el que el valor de la irradiancia es de unos 1000 kW/m^2 , se puede clasificar la radiación incidente sobre la superficie de la tierra siguiendo un criterio proveniencia, dependiendo de las reflexiones, refracciones y absorciones que sufra o no la onda de luz [14]. Así pues, definimos tres grupos que podemos observar en la figura 2 (directa, difusa, albedo) cuya suma es la que conocemos como radiación global, definida como incidente sobre una superficie horizontal a la superficie terrestre. Dicha radiación es convertida en electricidad por las células fotovoltaicas.

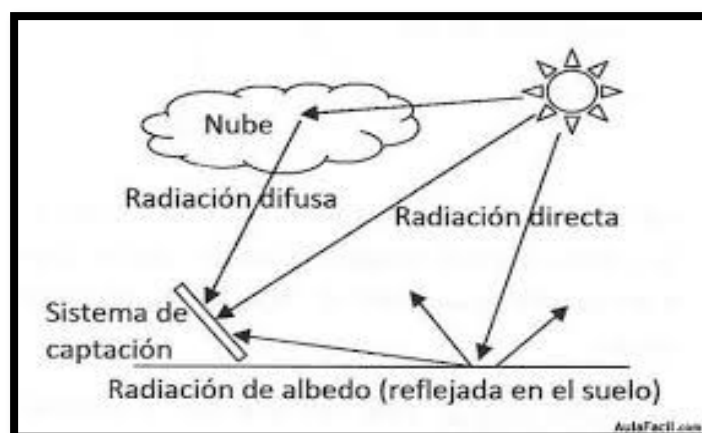


Figura 2: radiación en la tierra (fuente: Google imágenes)

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

- Radiación directa: es aquella que no ha sufrido ningún proceso de reflexión ni refracción, habiendo sido absorbida por los gases de la atmosfera. se da por ejemplo en los rayos que viajan de la atmosfera hasta el panel en un día despejado. Podemos saber fácilmente su trayectoria, ya que es la causante de la proyección de sombra.
- Radiación difusa: este tipo de radiación es el que ha sufrido algún proceso de reflexión y refracción, por ejemplo, al atravesar un cumulo de nubes, con lo que se dispersa, y finalmente los rayos dispersados de menor potencia inciden en la célula fotovoltaica. Esta es la causa del color del cielo en sus distintas fases.
- Radiación de albedo: esta es la radiación reflejada en la superficie de la tierra, dependiendo de la rugosidad de la superficie sobre la que incida su intensidad más o menos, normalmente se agrupa con la radiación difusa.

1.5 Energía fotovoltaica

1.5.1 el efecto fotoeléctrico

Cuando la luz brilla en un metal, los electrones pueden ser expulsados de la superficie del metal en un fenómeno conocido como el efecto fotoeléctrico. También, a este proceso suele llamársele fotoemisión, y a los electrones que son expulsados del metal, fotoelectrones. Si se combinan dos materiales superpuestos, formando una unión P-N, es decir uno de ellos cargado negativamente (exceso de electrones, tipo p) y el otro cargado positivamente (carencia de electrones, tipo n), al incidir la luz sobre estos, los electrones de valencia del material con carga negativa se desprenderán, moviéndose al material con huecos, obteniendo así una diferencia de potencial, esto se conoce como efecto fotovoltaico. Finalmente, si se conecta una carga obtendremos una corriente eléctrica. Esta corriente se mantendrá el tiempo que dure la incidencia de la radiación solar sobre el material, así mismo, los efectos se incrementan si se escogen materiales que faciliten el paso de electrones. [23]

Los materiales más comunes para este proceso son los semiconductores. Siendo actualmente los más comunes el silicio o el germanio. Además, se investigan otros materiales como el grafeno, y materiales inspirados en la perovskita [3], para mejorar los rendimientos y formas de uso de este tipo de generación. Estos materiales también pueden ser tratados para mejorar su comportamiento de cara al proceso deseado, conociéndose este proceso como dopaje. Finalmente, la unión p-n es la expresión mínima de una célula fotovoltaica, que posibilita la generación eléctrica a partir de radiación solar.

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

1.5.2 Caracterización de la célula fotovoltaica



Figura 3: células fotovoltaicas (fuente: Google imágenes)

Para poder definir con mayor facilidad el comportamiento de una célula fotovoltaica vamos a reducir dicho sistema a un circuito equivalente que presente un funcionamiento idéntico a la célula siendo iluminada y conectada a una carga cualquiera. Así pues, el movimiento de cargas negativas causado por la excitación de estas ante la irradiación será una corriente, que por su definición es equivalente a una fuente de energía, mientras que debe existir un elemento que se oponga a dicho efecto fotoeléctrico, ya que todo sistema en reposo que es alterado tiende a recuperar su estabilidad, definiremos este como un diodo cuya corriente es contraria a la de generación. [5]

Estas dos corrientes que hemos definido son respectivamente:

corriente de iluminación I_{ph} : esta únicamente depende la irradiación incidente y por tanto si tomamos un valor de esta constante, la corriente será igualmente constante.

corriente de oscuridad o de diodo I_D : causada por corrientes internas de difusión del propio material que aparecen por la existencia de la diferencia de potencial creada al conectar la carga. Por tanto, son una función de dicha diferencia de potencial.

Tomando el valor positivo en el circuito como el sentido de la corriente de iluminación, y sumando ambas corrientes obtenemos la expresión en función del voltaje de la corriente producida por la célula fotovoltaica, es decir, obtenemos la expresión característica de la célula, la cual podemos apreciar en la figura 4:

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

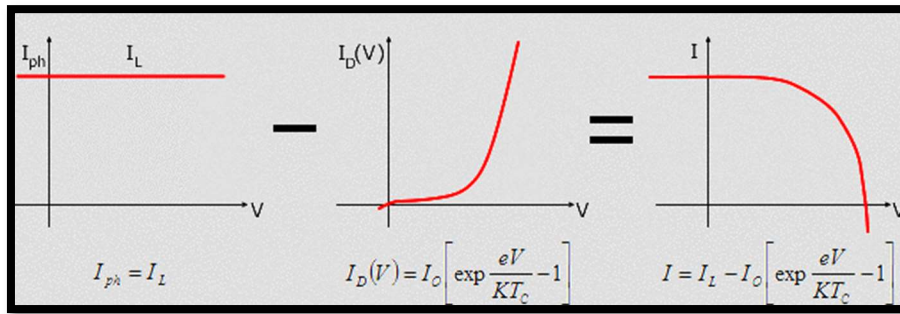


Figura 4: corrientes y función I-V característica de la célula fotovoltaica (fuente: Google imágenes)

La tercera grafica de la figura 4 representa la relación general I-V de una célula fotovoltaica. En esta grafica podemos observar que existiendo un voltaje muy próximo a cero en la célula la corriente es máxima, a dicha corriente se le denomina de cortocircuito, ya que la mínima tensión se da cuando el circuito esta cortocircuitado. Del mismo modo cuando la corriente es mínima la tensión alcanza un valor máximo, siendo esta la tensión de vacío, representando la tensión existente al incidir radiación en la placa cuando esta se encuentra desconectada.

A partir de esta grafica de célula ideal, si añadimos las pérdidas de la placa y los conductores la gráfica variará su forma de la siguiente manera (Patente nº 97-103, 2015):

Un aumento de la resistencia equivalente en serie ocasionará un descenso más rápido de la corriente, por el contrario, si aumenta la resistencia equivalente en paralelo del circuito la variación de tensión será más acentuada. La forma ideal sin perdidas de potencia ocasionaría que la gráfica fuese un rectángulo.

Por último, la potencia, expresada como el producto de la corriente por la tensión, tendrá su valor máximo en el punto donde la función empieza a descender, es decir donde se toma el valor máximo de tensión y corriente simultáneos.

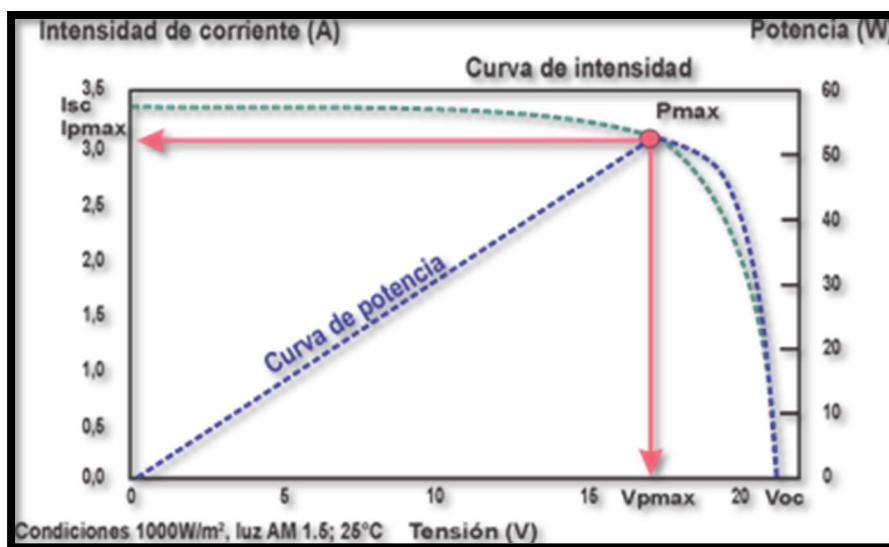


Figura 5: curva I-V y curva P-V características de una célula fotovoltaica (fuente: Google imágenes)

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

En la figura 5 podemos observar la curva real I-V junto a la curva P-V, para unas condiciones estándar de irradiancia y temperatura de la célula.

- Influencia de la temperatura (°C)

La temperatura del módulo también afecta de forma directa a la producción de energía, y por tanto al rendimiento del panel.

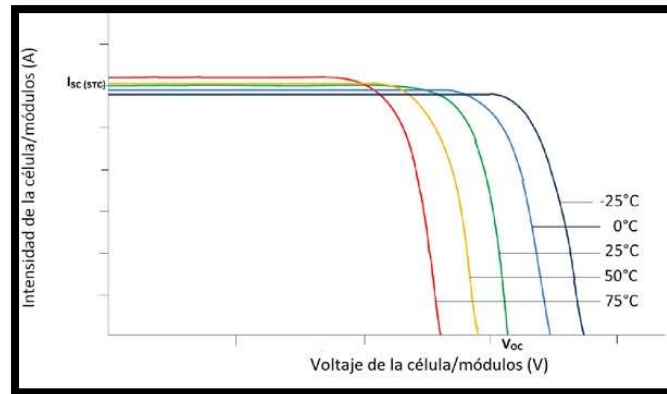


Figura 6: cambios en la curva I-V debido a la temperatura del módulo FV (fuente: Google imágenes)

Como se puede observar en la figura 6 a una mayor temperatura menor será la tensión de vacío, si por el contrario se enfría el módulo aumentará. Los cambios que se producen en la corriente no son tan acentuados como los que se producen en la tensión, aunque podemos decir que afectan de manera inversa, aumentando ligeramente con el aumento de la temperatura. El aumento de corriente no es suficiente para compensar la reducción en la tensión por lo que, a más temperatura, menor será la potencia máxima de los paneles.

- Influencia de la irradiancia (W/m²)

Lógicamente, la cantidad de energía proveniente del sol que llegue al panel afectará a la producción de este.

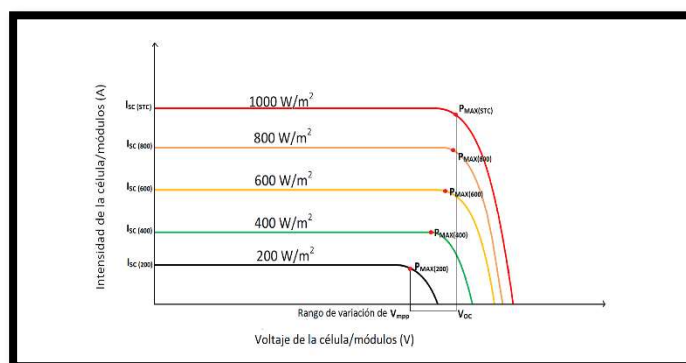


Figura 7: cambios en la curva I-V debidos a la radiación incidente (fuente: Google imágenes)

Podemos observar en la figura 7 cómo, la cantidad de potencia por unidad de superficie que llega a la célula es directamente proporcional a la corriente producida. En este caso, la tensión también aumenta

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

o disminuye según la irradiancia, por tanto, es evidente que a más potencia incidente mayor potencia eléctrica generada por las placas.

En conclusión, la manera de obtener la mayor potencia posible de las placas sería que estuvieran a la menor temperatura posible con la máxima potencia incidente. El inconveniente radica en el cuanto mayor sea la radiación más se calentará el módulo, de modo que, más radiación no tiene por qué traducirse en un mayor rendimiento para nuestra instalación, ya que, de calentarse mucho, el rendimiento de los paneles podría reducirse notablemente.

1.5.3 el módulo solar fotovoltaico

Las células fotovoltaicas por si solas, no son capaces de generar suficiente energía para satisfacer las necesidades energéticas de una instalación eléctrica, por lo que estas se deben agrupar formando lo que conocemos como módulos fotovoltaicos, que no son más que cadenas de células conectadas entre sí para aumentar la corriente y tensión total que se puede producir. Estos módulos a su vez se conectan entre ellos para conseguir campos fotovoltaicos capaces de producir energía suficiente para actividades domésticas o industriales [25]. Podemos observar dichas agrupaciones en la figura 8.

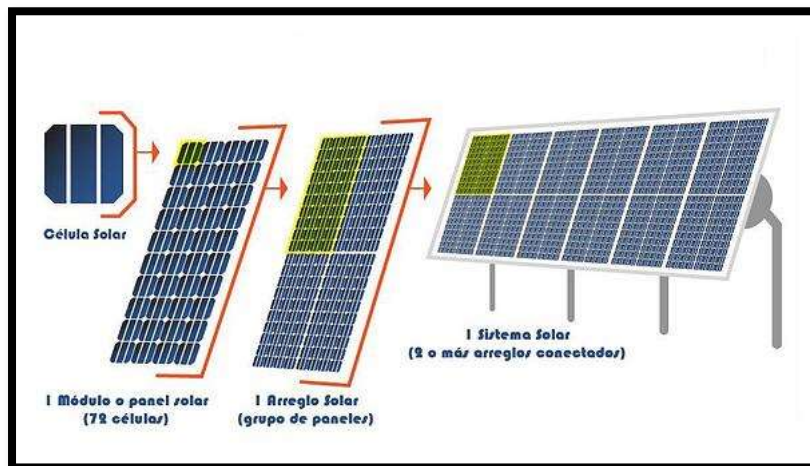


Figura 8: agrupación de una célula FV en un panel y en un sistema FV (fuente: Google imágenes)

Al realizar conexiones en serie aumentaremos la tensión de salida, mientras que si realizamos conexiones en paralelo aumentaremos la corriente. En definitiva, las células se conectan entre sí en serie por grupos, y dichos grupos o "strings" se conectan en paralelo para dar una corriente y tensión resultantes del módulo o panel fotovoltaico determinadas.

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

1.5.4 tipos de instalaciones fotovoltaicas

podemos clasificar estas por la función principal que vayan a desempeñar, así pues, se tiene:

centrales fotovoltaicas: son grandes extensiones de terreno donde se realiza una instalación fotovoltaica con el único fin de generar energía eléctrica, del mismo modo que una central energética convencional.

instalaciones de autoconsumo para industria: este tipo de generadores fotovoltaicos se dimensionan para cubrir la demanda energética de una industria, pero para prevenir que a causa de una hipotética demanda elevada no haya suficiente suministro en algún momento concreto estas permanecen conectadas a red, de modo que se asegure el suministro de energía y no se detenga la actividad industrial. Además, esta configuración permite verter el excedente de generación a la red eléctrica por lo que puede suponer una retribución por generación en épocas de más radiación.

instalaciones aisladas: al igual que las anteriores, están destinadas para autoconsumo, aunque en este caso suele ser para instalaciones de menor potencia, como viviendas construidas lejos de la red eléctrica. Destaca la necesidad de acumuladores para asegurar el suministro eléctrico nocturno. [25]

1.5.5 elementos de una instalación fotovoltaica conectada a red

Las instalaciones fotovoltaicas requieren de elementos que aseguren que la generación es compatible con las características eléctricas de la red, los más comunes son:

- panel fotovoltaico: componentes principales de la instalación ya que generan corriente eléctrica a partir de los rayos de sol incidentes en su superficie.
- Inversor: elemento que convierte la corriente continua generada por los paneles en corriente alterna, necesaria para poder alimentar los equipos consumidores.
- Caja de conexiones: lugar donde se disponen los elementos de seguridad eléctrica de la instalación, tanto para proteger la misma como para proteger a las personas.
- Cableado: necesario para transportar la corriente eléctrica a todos los elementos de la instalación.
- Toma de tierra: sistema indispensable para prevenir posibles derivaciones de los elementos eléctricos que pudiesen ocasionar perjuicio a los usuarios.

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

1.6 Normativa vigente asociada a la energía solar fotovoltaica

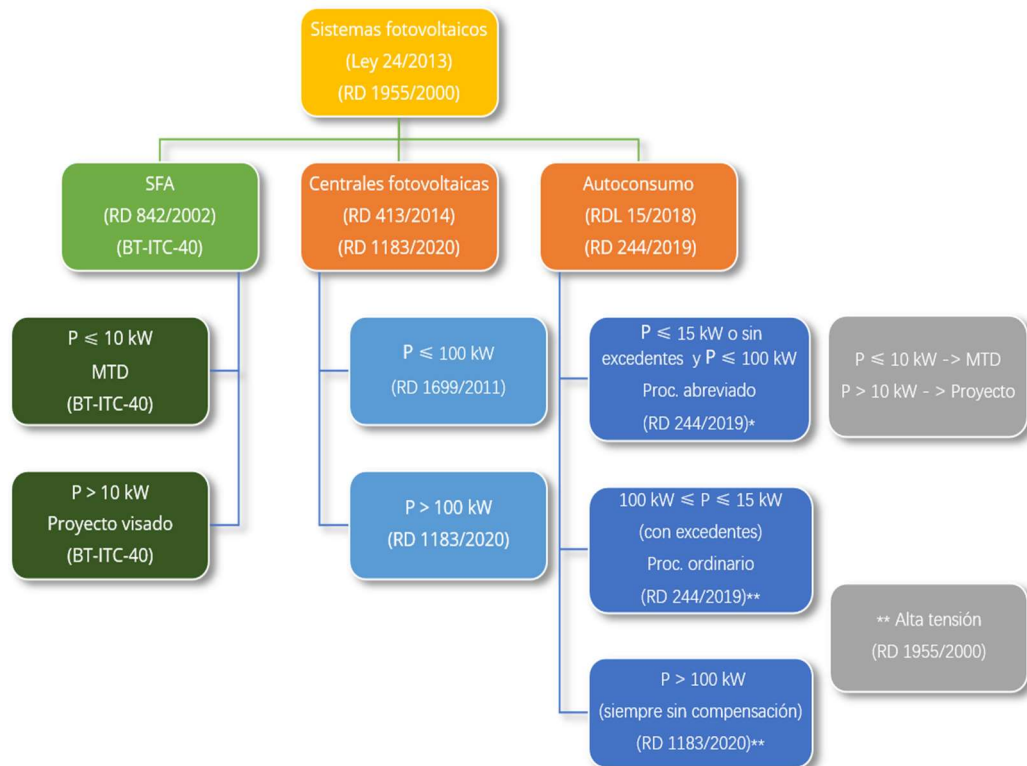


Figura 9: esquema de clasificación de instalaciones FV según la normativa vigente [6]

La legislación vigente que regula el sector eléctrico y la generación de energía eléctrica para el tipo de instalación objeto de este trabajo de fin de grado queda contemplada en el siguiente listado, siendo su clasificación una instalación de autoconsumo de potencia menor a 15 kW con excedentes. Se han utilizado extractos directos del BOE (Boletín Oficial del Estado):

- Ley 24/2013: esta ley es común a todos los sistemas de energía eléctrica, y tiene por objeto: “establecer la regulación del sector eléctrico con la finalidad de garantizar el suministro de energía eléctrica, y de adecuarlo a las necesidades de los consumidores en términos de seguridad, calidad, eficiencia, objetividad, transparencia y al mínimo coste”. (TITULO I; Disposiciones generales; Artículo 1. Objeto; párrafo 1).
- RD 842/2002, de 2 de agosto: por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión. Dicho Reglamento tiene por objeto: “establecer las condiciones técnicas y garantías que deben reunir las instalaciones eléctricas conectadas a una fuente de suministro en los límites de baja tensión, con la finalidad de:
 - a) Preservar la seguridad de las personas y los bienes.
 - b) Asegurar el normal funcionamiento de dichas instalaciones y prevenir las perturbaciones en otras instalaciones y servicios.
 - c) Contribuir a la fiabilidad técnica y a la eficiencia económica de las instalaciones.” (Artículo 1. Objeto)

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

este real decreto es común a todos los tipos de instalación fotovoltaica, y es donde se aprueba el REBT, de obligatorio cumplimiento.

A continuación, se exponen las normas de aplicación para los sistemas de autoconsumo y las características de clasificación entre sistemas:

- RDL 15/2018: en el cual se disponen las *“medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores.”* Este decreto fue especialmente famoso por derogar el llamado *“impuesto al sol”*.
- RD 244/2019: en este se regulan las disposiciones del RDL 15/2018, y tiene por objeto; *“establecer:*

1. Las condiciones administrativas, técnicas y económicas para las modalidades de autoconsumo de energía eléctrica definidas en el artículo 9 de la Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico.

2. La definición del concepto de instalaciones próximas a efectos de autoconsumo.

3. El desarrollo del autoconsumo individual y colectivo.

4. El mecanismo de compensación simplificada entre déficits de los autoconsumidores y excedentes de sus instalaciones de producción asociadas.

5. La organización, así como el procedimiento de inscripción y comunicación de datos al registro administrativo de autoconsumo de energía eléctrica”.

CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE INSTALACIÓN CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE LA GRANJA

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

2.1 Consumo eléctrico histórico

Para dimensionar correctamente la instalación de modo que se asegure el abastecimiento de energía suficiente para cualquier momento del año se realizara un análisis de los históricos de consumos. En este caso se ha tomado el año 2020 como referencia de consumo, se ha extraído a partir de las facturas eléctricas los consumos energéticos y los flujos de caja desprendidos de estos.

En la tabla 1 se muestran los datos del contrato para el punto de consumo, así como los consumos mensuales:

titular	ROESAN, C.B.
tarifa de acceso	2.1DHA
tensión (V)	3x133/230
potencia (kW)	13,94

Tabla 1: datos de contrato del punto de suministro

Para obtener el comportamiento normal de un año tipo se han mensualizado los consumos, que pueden verse en la tabla 2, haciendo uso de las facturas proporcionadas por el cliente, en este caso las facturas no han sufrido durante el año ninguna refacturación por lo que la mensualización ha sido trivial y es fiel a la realidad, exceptuando el mes de diciembre, factura de la cual no se disponía para el año 2020. Finalmente se ha realizado una ponderación de consumo de los 3 años anteriores y se ha usado ese dato ponderado como el consumo de 2020, asumiendo que no ha habido ningún tipo de consumo anormal en dicho año.

mes	consumo P1(kWh)	consumo P2(kWh)	total (kWh)
ene	410	545	955
feb	1736	1502	3238
mar	484	642	1126
abr	1878	1990	3868
may	634	669	1303
jun	1966	1893	3859
jul	1582	1823	3405
ags	3110	2937	6047
sep	1322	1426	2748
oct	909	933	1842
nov	1636	1775	3411
dic	1439	1717	3156

Tabla 2: consumo energético mensualizado de la granja

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

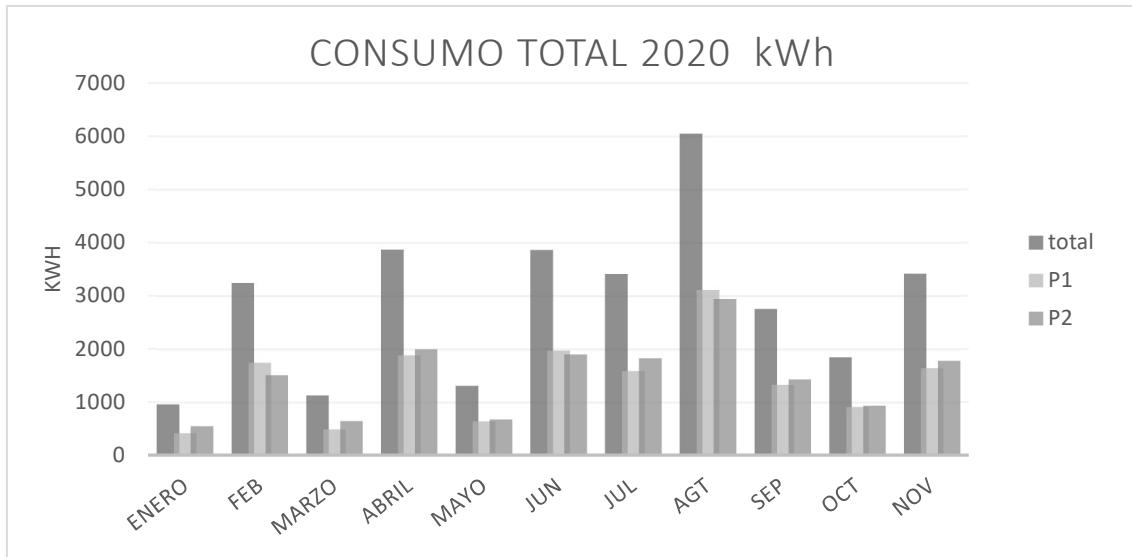


Figura 10: consumo eléctrico mensual en el año 2020 de la granja

En la figura 10 se puede observar la distribución del consumo de energía mes a mes. En primer lugar, se ve como el consumo es más o menos constante en ambos periodos, con lo que se puede deducir que los equipos consumidores de energía están en funcionamiento regularmente durante todo el día. En segundo lugar, es claro que en los meses de más calor el consumo es mayor, debido al uso más habitual de los ventiladores eléctricos para extraer aire caliente del entorno de crianza y refrescar este. Si algún mes tiene un consumo anormalmente bajo probablemente se deba a que este coincide con el periodo entre la salida de los pollos adultos y la entrada de los nuevos.

consumo anual	4596,92	€
	34958,00	kWh
consumo diario	12,59	€
	95,78	kWh

Tabla 3: marcadores de consumo en el año 2020 a partir del consumo mensualizado

En la tabla 3 se recogen dos marcadores energéticos que son útiles a la hora de comprender las dimensiones de la instalación, así como serán útiles para dimensionar la instalación fotovoltaica futura. El consumo anual es la suma de las mensualizaciones de la tabla 2, por lo que puede decirse que es el consumo anual estimado o mensualizado, del mismo modo el consumo diario es el cociente del consumo anual estimado entre 365 días, por lo que puede referirse a él como consumo medio diario. En general el primer marcador es fiel a la realidad, mientras el que el segundo suele no ser tan parecido, aunque como se ha comentado antes en la figura 10, la distribución entre periodos es constante, por lo que es de esperar que el consumo medio diario calculado sea más parecido a la realidad de lo habitual.

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

2.2 Inventario de potencia

equipo	Pn (HP)	nº	Pn (W)	P. inst (W)	horas/día	E (Wh)
ventilador extractor	0,75	8	559,275	4474,2	5,5	24608,10
ventilador extractor	0,50	3	372,85	1118,55	5,5	6152,03
motor ventanas	0,50	1	372,85	372,85	2	745,70
motor línea alimento	0,75	3	559,275	1677,825	8	13422,60
motor silo	1,50	1	1118,55	1118,55	8	8948,40
motor impulsión agua	2,00	2	1491,4	2982,8	8	23862,40
motor nebulizador	1,00	1	745,7	745,7	1	745,70
iluminación led	-	19	15	285	12	3420*
ilum. fluorescente	-	10	18	180	12	2160*
ordenador oficina	-	1	200	200	24	4800,00
bomba apoyo	0,50	1	372,85	372,85	2	745,70
compresor aire	0,50	1	372,85	372,85	2,5	932,13
elevador vehículos	0,50	1	372,85	372,85	2	745,70
iluminación exterior	-	2	300,00	600,00	7	4200,00
iluminación ext. led	-	2	15,00	30,00	7	210,00

Tabla 4: inventario de potencia de equipos consumidores de la granja

pot. Total inst.	14,904	kW
pot. prevista	11,923	kW
energía media diaria	90,12	kWh

Tabla 5: marcadores de consumo en el año 2020 a partir del inventario de potencia

En la tabla 4 se disponen los equipos consumidores de energía de la granja y la potencia instalada total. Esta potencia supera la contratada, pero lo más lógico es pensar que no se conectan todos los equipos al mismo tiempo, pues esta circunstancia es muy improbable que se dé, por lo que para obtener un indicador de la potencia que podría llegar a necesitar la instalación se ha multiplicado la potencia total instalada por un factor de simultaneidad de 0,8; el cual viene a indicar que como mucho se conectarán el 80% de los equipos consumidores a la vez, a no ser que se dé una circunstancia excepcional. El valor obtenido es la potencia prevista en la tabla 5.

Por los requerimientos específicos de la granja, la potencia contratada excede en 2 kW la prevista, ya que es indispensable que no se corte el suministro de energía por una sobre potencia incluso en situaciones excepcionales.

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

Seguidamente se multiplica esta potencia por el número de horas de uso diario de cada equipo, con lo cual obtenemos la energía media diaria consumida, el tercer marcador energético de la tabla 5. Comprobamos que la energía consumida diaria resultante (tabla 5) es casi idéntica a el valor obtenido a partir de las facturas (tabla 3).

Se aprecia una diferencia de alrededor de 5 kWh debido a que la iluminación (*) se usa mayoritariamente cuando no hay luz del sol, que es el mismo momento en el cual una instalación fotovoltaica no genera energía, por tanto, se excluirá del consumo que tiene que satisfacer la instalación. Además, existe un error considerado en las estimaciones del factor de simultaneidad y las horas de uso medio diario, las cuales también son aproximaciones a la realidad. Esta comparación es útil para comprobar que las estimaciones previamente hechas son coherentes con a la realidad.

2.3 Consumo de propano histórico

A continuación, se realizará el mismo análisis para el equipo de calefacción, alimentado por propano, en el mismo año 2020:

Mes	consumo (kg)	consumo (kWh)	total (€)
ene	1108	14826	1126,87
feb	938	12560	954,69
mar	1017	13614	884,26
abr	1031	13797	896,14
may	1065	14257	926,01
jun	567	7588	492,84
jul	346	4633	262,59
ags	346	4633	262,59
sep	346	4633	262,59
oct	346	4633	262,59
nov	620	8299	470,38
dic	1487	19906	1513,02

Tabla 6: consumo de propano para calefacción mensualizado en el año 2020

El equipo de calefacción funciona mediante un depósito de combustible conectado directamente a cuatro calentadores. Dicho depósito se reabastece con carácter no periódico, por lo que para obtener un desglose mensual del año modelo 2020 como es la tabla 6, a partir de las facturas de compra de propano, se ha realizado una estimación del consumo medio diario para cada periodo de tiempo entre recargas, y posteriormente se ha mensualizado, obteniendo un reparto mensual aproximado a lo largo del año.

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

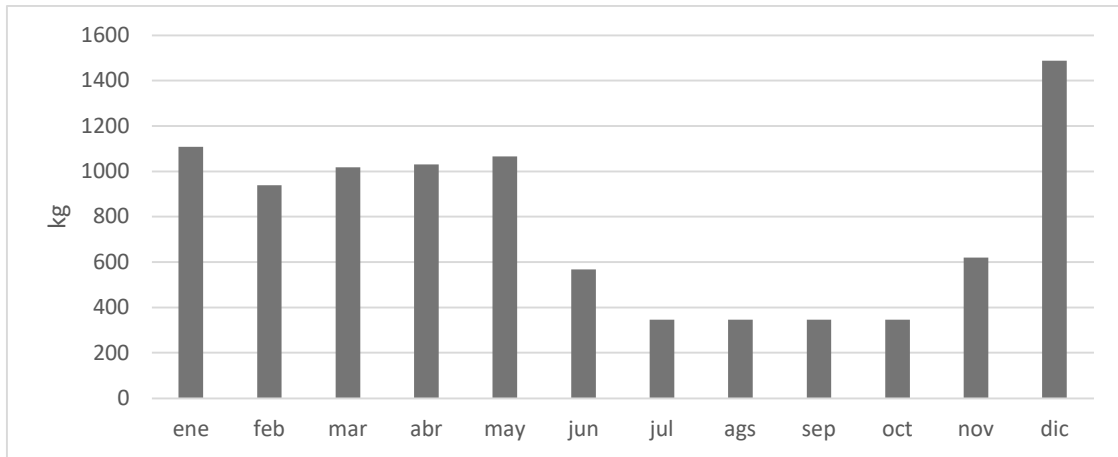


Figura 11: consumo mensualizado de propano para el año 2020

La figura 11 muestra como en los meses más fríos el consumo es más elevado mientras que en los meses de verano ha existido un periodo más amplio sin necesidad de reabastecimiento. Esto indica que, en verano no se requiere calentar el entorno de crianza, mientras que en periodo invernal es necesario calefactar el recinto y por tanto el consumo de combustible para dicho fin aumenta.

2.4 propuestas de la instalación

2.4.1 Caracterización energética sin calefacción eléctrica

A continuación, se realiza una agrupación de equipos consumidores, y el porcentaje de energía que consumen:

equipo	E (Wh)	tipo	%
ventilador extractor	24608,10	climatización	25,7%
ventilador extractor	6152,03	climatización	6,4%
motor ventanas	745,70	automatismo	0,8%
motor línea alimento	13422,60	automatismo	14,0%
motor silo	8948,40	automatismo	9,4%
motor impulsión agua	23862,40	automatismo	24,9%
motor nebulizador	745,70	climatización	0,8%
iluminación led	3420,00	iluminación	3,6%
iluminación fluorescente	2160,00	iluminación	2,3%
ordenador oficina	4800,00	control	5,0%
bomba apoyo	745,70	otro	0,8%
compresor aire	932,13	otro	1,0%
elevador vehículos	745,70	otro	0,8%
iluminación exterior	4200,00	iluminación	4,4%
iluminación exterior led	210,00	iluminación	0,2%

Tabla 7: equipos consumidores agrupados por tipo de función principal sin calefacción eléctrica

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

Climatización	33 %
Automatismos	49 %
Iluminación	10 %
Control	5 %
otros	3 %

Tabla 8: porcentajes de consumo por tipos de consumidores sin calefacción eléctrica

Aunque realizar este tipo de agrupación no es indispensable para dimensionar la instalación fotovoltaica, es muy recomendable para comprender el comportamiento energético de la granja. Además, para realizar mejoras de eficiencia energética estas agrupaciones por tipos de equipos consumidores de la tabla 7 y 8 indican fácilmente aquellas áreas donde pequeñas mejoras darán mejores resultados y ahorros, tanto energéticos como económicos.

consumo diario medio eléctrico estimado sin calefacción

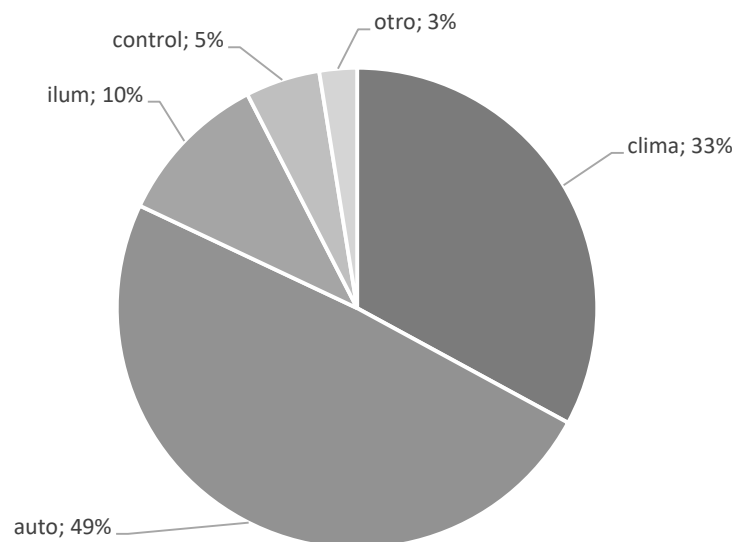


Figura 12: reparto porcentual del consumo medio eléctrico sin equipos de calefacción

Como suele ser habitual, hay tres grupos consumidores principales, que son los equipos de trabajo, en este caso el conjunto de automatismos, la climatización y la iluminación. La figura 12 muestra fácilmente este reparto, los automatismos deben su elevado consumo a que funcionan de manera muy habitual, y la climatización en parte a que estos equipos son de potencia considerable.

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

2.4.2 Caracterización energética con calefacción eléctrica

Ahora, se realiza el mismo análisis incluyendo el consumo en energía de la calefacción de gas.

mes	consumo P1(kWh)	consumo P2(kWh)	total (kWh)	consumo con calefacción
ene	410	545	955	15781
feb	1736	1502	3238	15798
mar	484	642	1126	14740
abr	1878	1990	3868	17665
may	634	669	1303	15560
jun	1966	1893	3859	11447
jul	1582	1823	3405	8038
ags	3110	2937	6047	10680
sep	1322	1426	2748	7381
oct	909	933	1842	6475
nov	1636	1775	3411	11710
dic	1439	1717	3156	23062

Tabla 9: consumo eléctrico mensualizado añadiendo calefacción eléctrica

Para añadir el consumo de calefacción al consumo mensualizado, como se muestra en la tabla 9, se ha usado la información en las propias facturas de compra de GLP, en las cuales se incluye la equivalencia en kWh de los kilogramos de GLP facturados. Por tanto, después de mensualizar el consumo de propano en cantidad de masa, se ha multiplicado cada mes por el factor de conversión proporcionado por la comercializadora, esta conversión también puede observarse en la tabla 6.

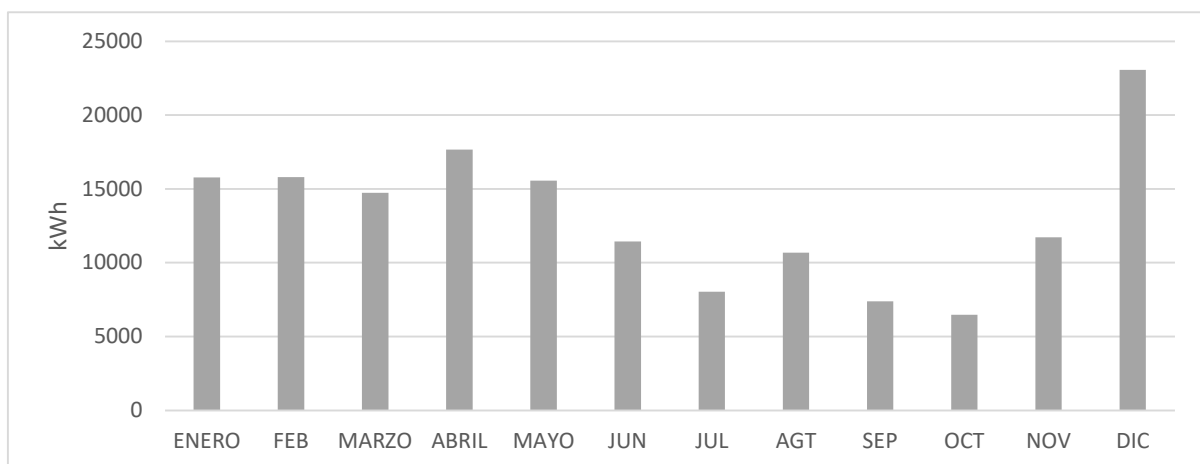


Figura 13: consumo energético tras añadir calefacción eléctrica

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

En la figura 13 podemos observar como la tendencia si la calefacción fuese eléctrica cambia completamente, ya que los meses de mayor consumo no serían los cálidos, sino al contrario, siendo los meses más fríos los de mayor consumo.

A continuación, en la tabla 10, agrupamos el inventario de potencia incluyendo generadores de aire que darían las mismas características que los de propano:

equipo	energía media (Wh)	tipo	%
ventilador extractor	24608,10	climatización	5,7%
ventilador extractor	6152,03	climatización	1,4%
motor ventanas	745,70	automatismo	0,2%
motor línea alimento	13422,60	automatismo	3,1%
motor silo	8948,40	automatismo	2,1%
motor impulsión agua	23862,40	automatismo	5,5%
motor nebulizador	745,70	climatización	0,2%
iluminación led	3420,00	iluminación	0,8%
iluminación fluorescente	2160,00	iluminación	0,5%
ordenador oficina	4800,00	control	1,1%
bomba apoyo	745,70	otro	0,2%
compresor aire	932,13	otro	0,2%
elevador vehículos	745,70	otro	0,2%
iluminación exterior	4200,00	iluminación	1,0%
iluminación exterior led	210,00	iluminación	0,0%
calefactor	338019,42	climatización	78%

Tabla 10: equipos consumidores agrupados por tipo de función principal con calefacción eléctrica

Climatización	85 %
Automatismos	11 %
Iluminación	2 %
Control	1 %
otros	1 %

Tabla 11: porcentajes de consumo por tipos de consumidores con calefacción eléctrica

Al igual que en el caso anterior, podemos aprovechar estos porcentajes para comprender fácilmente el comportamiento energético de la granja, y, además, para saber qué puntos de esta son mejores para actuar sobre ellos y mejorar la eficiencia. Se ve claramente en las tablas 10 y 11 como cambiar la calefacción por una que use electricidad como fuente de energía hace aumentar mucho el consumo, por tanto, habrá que sopesar ventajas e inconvenientes de realizar este tipo de cambio.

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

consumo diario medio eléctrico estimado con calefacción

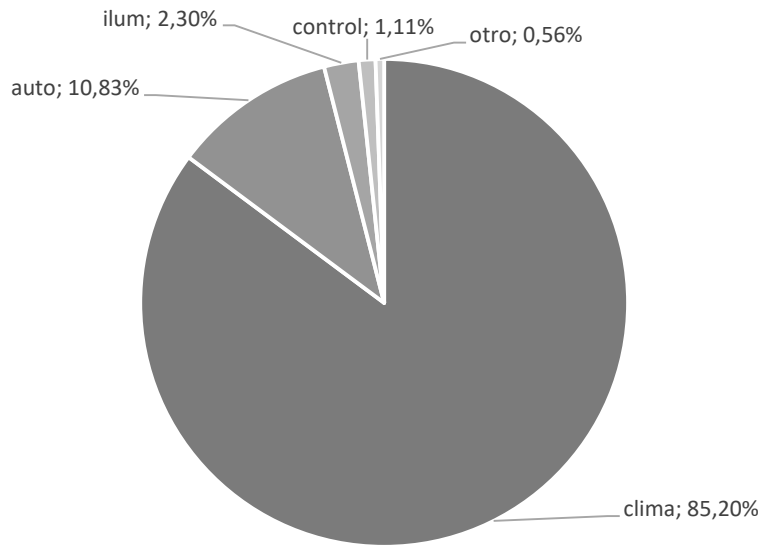


Figura 14: reparto porcentual del consumo medio eléctrico con equipos de calefacción

En la figura 14 puede entenderse que el resto de las áreas de la granja reducen su consumo, pero esto solo es respecto al consumo de climatización, siendo aun interesante realizar mejoras energéticas en los automatismos y la iluminación de la granja.

2.5 Resumen y alternativas

En términos generales, los datos de consumo eléctrico concuerdan con el desempeño de la granja, ya que este tipo de granjas requieren de mantenimiento continuo de la zona de crianza, teniendo que suministrar de manera habitual comida, agua y una climatización sin cambios al entorno de crianza, pues de ello depende el correcto desarrollo de los pollos.

En el análisis se plantean dos posibles situaciones, analizado la instalación real, o suponiendo que la calefacción de la zona de crianza fuera también eléctrica. Anteriormente se ha comentado como en la gráfica 1 se aprecia que el consumo es más o menos constante durante todos los días, aunque si se tuviera en cuenta la calefacción como eléctrica es de esperar que el consumo en cada periodo se diferenciara más, ya que, en promedio las noches son más frías que los días, por lo que las horas de uso se concentrarían más durante la noche.

Después de analizar los dos escenarios se considera como preferible a medio plazo mantener la instalación actual, dimensionando la instalación fotovoltaica para ello, por los siguientes motivos:

- el aumento de consumo nocturno, cuando la energía fotovoltaica no puede aportar la energía.
- La inversión que realizar es demasiado grande e implicaría una tasa de amortización inviable.

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

- el cliente desea tener lo antes posible su instalación, pero el cambio de calefacción es solo viable a largo plazo.
- Se necesitará realizar una obra para reforzar la cubierta en la zona donde se ubiquen los módulos, por lo que, a más módulos, mayor deberá ser la obra.

Como alternativa al cambio de calefacción se realizan propuestas al cliente que no forman parte del alcance del proyecto. Las cuales son:

- Cambiar progresivamente los calentadores, al tiempo que se añaden módulos. De esta forma se deja tiempo para amortizar los nuevos componentes de la instalación.
- realizar una instalación aislada con acumuladores para alimentar los generadores de aire caliente.

El aumento de paneles ocasionaría un excedente de producción retribuido que compensaría el consumo de red nocturno económicamente. Por otro lado, la instalación aislada simplificaría los flujos de caja, pero añadiría la complejidad de una nueva instalación con todos sus componentes.

Finalmente, cabe mencionar que, a causa del cambio tarifario realizado en junio de 2021, el consumo de energía se divide en tres periodos, siendo los dos más caros durante las horas de mayor producción fotovoltaica, por lo que el ahorro económico es notable. Este hecho hace de la instalación fotovoltaica una inversión muy interesante.

CAPÍTULO 3: INSTALACIÓN SIN CALEFACCIÓN ELÉCTRICA

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

3.1 Cálculo y dimensionado de la instalación

En este apartado se desglosarán todos los criterios técnicos y procedimientos de cálculo y decisión para asegurar que la instalación satisface los requerimientos energéticos, así como de seguridad y rendimiento, que se exigen tanto por el cliente como por la norma y reglamento estipulados.

3.1.1 diseño del generador fotovoltaico (GFV)

Al conjunto de paneles conectados entre sí de una manera concreta para su posterior conexión con el siguiente elemento de manera segura se le denominara generador fotovoltaico (GFV).

Para asegurar que se satisface la demanda de energía en cualquier día del año primeramente se dimensiona la cantidad de paneles necesaria. Para ello dispondremos de la ficha técnica del panel seleccionado, y calcularemos cuantos paneles hacen falta, según la energía que pueden producir en un día, para cumplir con la demanda.

Los Paneles FV seleccionados son los JAM72S10 410W, cuya ficha técnica se encuentra en el anexo. Estos módulos son interesantes, tanto por su alto porcentaje de rendimiento, como por la disposición de sus células, las cuales están divididas en dos partes. Con ello, asegura el fabricante, se consigue un menor calentamiento del panel, así como un menor porcentaje de perdidas por sombreado de este. Sus características principales son:

datos panel ficha técnica	
Pmax (W)	410
Voc (V)	50,12
Vmp (V)	41,76
Isc (A)	10,37
Imp (A)	9,82
eficiencia	20,4
coef. temp_Isc(%/°C)	0,051
coef. temp_Voc(%/°C)	-0,289
coef. tempmax(%/°C)	-0,35

Tabla 12: datos de catálogo del módulo fotovoltaico JAM 72S10 410W

Mediante la siguiente formula Calculamos la energía que produce un panel fotovoltaico al día, eligiendo el mes más desfavorable, diciembre y las horas de sol pico (HSP), que es el número de horas de radiación igual a 1000 w/m2 durante un día equivalente.

$$E_{panel} = I_{mp} \times V_{mp} \times HSP \times r_p \quad (1)$$

En la fórmula 1, el r_p es el rendimiento de trabajo del panel, que se estima en 0,95 asegurado por el fabricante, con una garantía de 25 años. El HSP se ha calculado para el mes de diciembre, por ser este el mes más desfavorable en cuanto a radiación solar y tiene un valor de 3,08 h/día [10].

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

Como resultado obtenemos una energía producida diariamente por un panel de **1229,003 wh/día** en el mes de diciembre.

Finalmente, para obtener el número de paneles dividimos la energía media diaria que demanda la instalación, calculada en la caracterización energética, entre la energía media diaria que genera cada panel (2), obteniendo:

$$N^{\circ}_{\text{paneles}} = \frac{E_{\text{demandada}}}{E_{\text{pane}}}$$
 (2)

Pinst(W)	32.342,23
Nº	77,93
area inst (m²)	156,4

Tabla 13: potencia instala y número de paneles antes de ajuste

Dado que como mínimo deberemos instalar 78 paneles (redondeando el valor de la tabla 13) para asegurar el suministro eléctrico, finalmente se instalarán 80 paneles. así mismo, se asegura un suministro incluso en condiciones más desfavorables que la considerada. Como se verá más adelante, la instalación de 80 paneles resultará beneficiosa para la conexión con el inversor, ya que se escogerá una configuración de 8 strings con 10 paneles por string, siendo esta la de mayor rendimiento.

Pinst(W)	33200
Nº	80
area inst(m²)	160,55

Tabla 14: potencia instalada y número de paneles después del ajuste

Los paneles se instalan directamente sobre la cubierta de la granja, haciendo uso de unos railes de sujeción, por lo que no tendrán una inclinación adicional a parte de la de la cubierta a dos aguas. Se elige esta configuración por su facilidad de montaje, a petición del cliente.

La inclinación de la cubierta es de aproximadamente 20 grados. Para comprobar que esta inclinación entra dentro de los estándares técnicos mínimos consultamos el *“Pliego de condiciones técnicas de instalaciones conectadas a red”* elaborado por el Departamento de Energía Solar del IDAE y CENSOLAR [6]. En él se definen las pérdidas máximas que pueden tener los módulos por inclinación y sobras, como no hay cuerpos que proyecten sombra sobre la cubierta de la granja hay que comprobar si la pendiente de la cubierta es suficiente o si por el contrario hay que modificar la inclinación de los módulos por medio de la estructura de soporte.

Para realizar la comprobación necesitamos previamente 2 ángulos, el acimut (Angulo de orientación de los paneles respecto del sur, +90º hacia el oeste y -90º hacia el este) así como la latitud del emplazamiento, el cual se encuentra en el apartado 1.1 de este documento, lo podemos redondear a 41º, ya que la figura que usaremos esta medida para dicha latitud.

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

Calculamos el acimut de la cubierta gráficamente, a partir de la vista satélite de "Google maps":

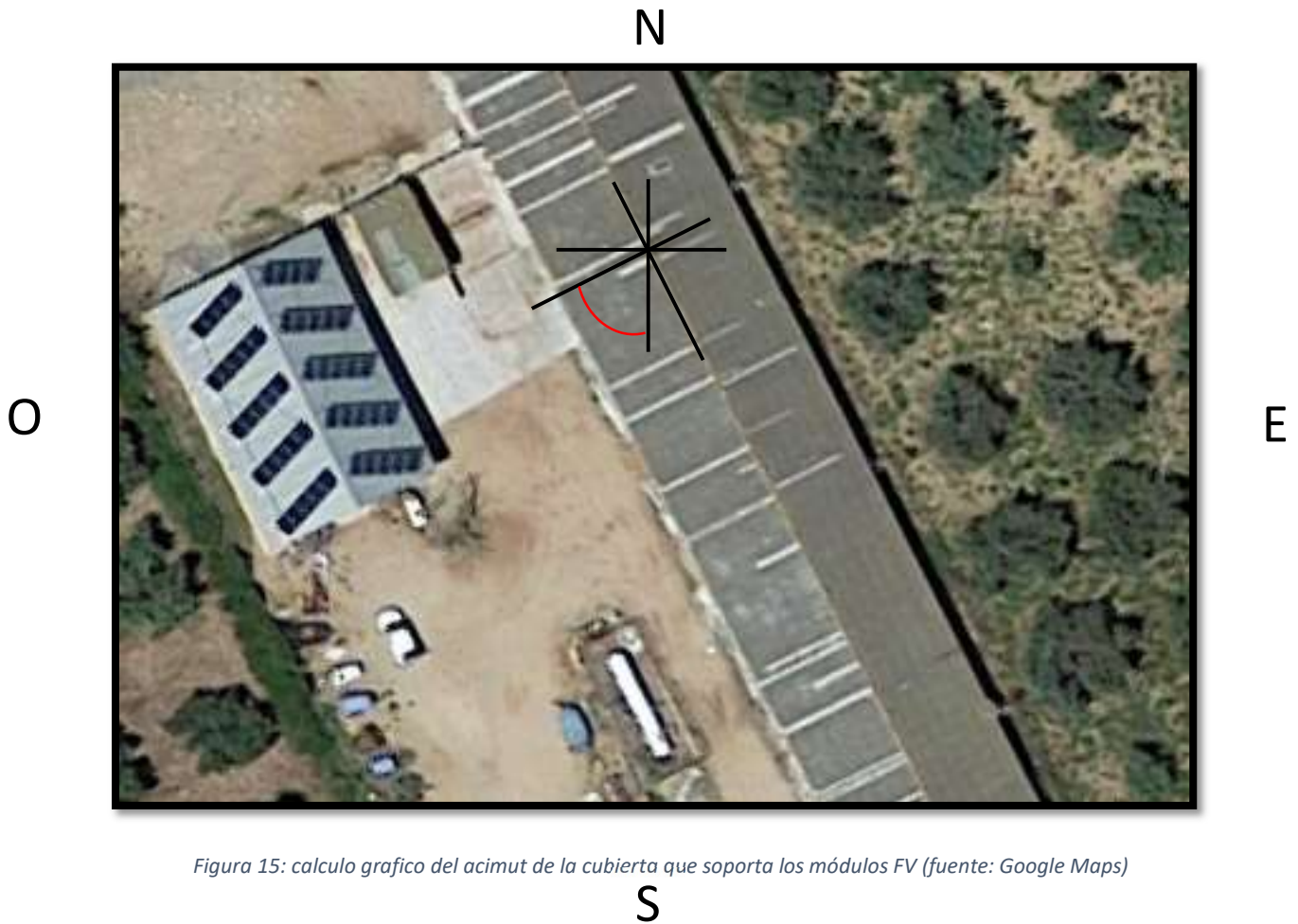


Figura 15: calculo grafico del acimut de la cubierta que soporta los módulos FV (fuente: Google Maps)

En la figura 15 se observa en rojo el acimut (α) que tiene un valor de $+64^\circ$.

A continuación usamos la figura 16 para obtener el rango de angulos de inclinacion los cuales aseguran que las perdidas no seran mayores al 10%, como esta estipulado en el PCT-C-REV del IDAE, la linea que marca el acimut corta al area de aprovechamiento del 90%-95% aproximadamente entre los angulos

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

30° y 10° de inclinación (β). Por lo que teniendo la cubierta una inclinación de 20 grados, nos situamos dentro del rango para que las pérdidas no sean mayores al 10% por inclinación.

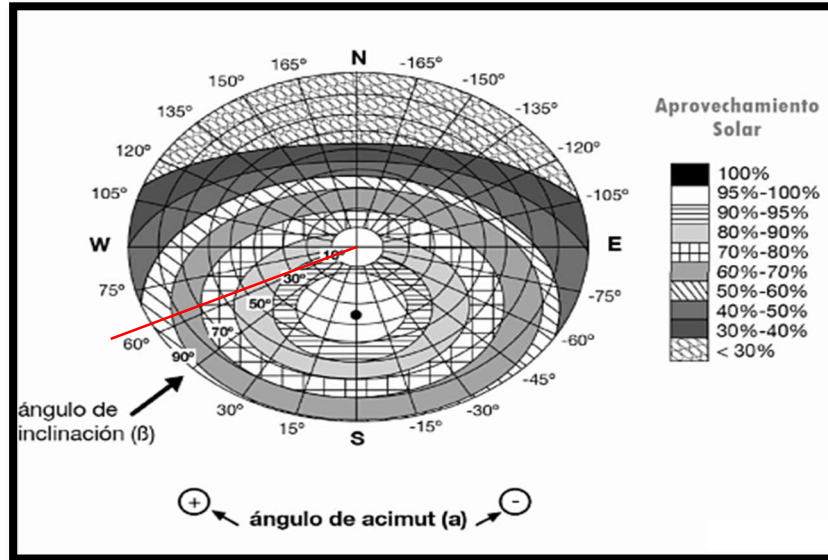


Figura 16: cálculo gráfico de pérdidas por inclinación. fuente IDAE anejo II [12]

3.1.2 Inversor, compatibilidad

Se ha elegido el inversor SUN2000-33KTL-A de la marca Huawei, debido a las buenas referencias encontradas durante la consulta de fabricantes, ya que la empresa cuenta con una amplia experiencia en este tipo de dispositivos, además, el modelo mencionado posee unas características idóneas para la instalación. En su ficha técnica (tabla 15) podemos encontrar la siguiente información:

especificaciones técnicas	
máxima eficiencia (%)	98,6
entrada	
V máxima de entrada (V)	100
I entrada máxima por MPPT (A)	22
I de cortocircuito máxima(A)	30
V de arranque (V)	250
V de funcionamiento por MPPT (V)	200/1000
V nominal de entrada (V)	620
Nº MPPTs	4
entradas por MPPT	2
salida	
Potencia activa (W)	30000
Max. Potencia aparente de CA (VA)	33000

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

Max. Potencia activa de CA (W)	30000
V nominal de salida (V)	230/400
Frecuencia nominal de red CA (hz)	50/60
I nominal de salida (A)	43,3
Max. I de salida (A)	48

Tabla 15: datos técnicos extraídos de la ficha del inversor HUAWEI SUN2000-33KTL-A

Con esta información se comprueba la compatibilidad del inversor. Primero se debe comprobar que en ningún caso la tensión de un *string* sale del rango de la tensión de funcionamiento del inversor:

Y la tensión máxima que podría generar un panel es la de vacío:

$$V_{oc-módulo} = 50,12 \text{ V}$$

Por lo que un string tendrá una tensión total de:

$$V_{max-string} = 10 \times V_{oc-módulo} = 501,2 \text{ V}$$

Por supuesto esta tensión es en condiciones estándar, es decir:

- 1 kW/m²
- 25º de temperatura
- Masa de aire 1,5

Ahora vamos a comprobar que en situaciones extremas de frío y calor tampoco se supera el rango de funcionamiento del inversor.

El fabricante de los paneles proporciona coeficientes de temperatura con los que se pueden calcular tensiones e intensidades a distintas temperaturas.

En la tabla 16 se muestran los valores de temperatura desde 1991 hasta 2021, por lo que se tomaran el valor más alto y bajo para realizar este cálculo. Estos datos han sido tomados en la estación meteorológica más próxima a la ubicación de la granja, y los datos han sido facilitados por AEMET (<https://datosclima.es/Aemethistorico/Tempstad.php>).

CARACTERISTICA / VALOR	(Temperatura °C)
Temperatura Máxima	38.9
Temperatura Mínima	-4.4

Tabla 16: resumen de temperaturas en el periodo de 1991-2021 para estación meteorológica de Vinaroz [1]

Usamos la fórmula 3 para obtener el valor máximo y mínimo de la tensión de vacío que puede generar un módulo.

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

$$V_{oc}(^{\circ}C) = V_{oc,N} - \mu \times \Delta T \quad (3)$$

Los términos que intervienen la fórmula 3 son:

- $V_{oc}(^{\circ}C)$: tensión de vacío para una temperatura concreta.
- $V_{oc,N}$: tensión de vacío en condiciones estándar.
- μ : coeficiente de temperatura para tensión de vacío proporcionado por el fabricante. Aportado en porcentaje de tensión de vacío.
- ΔT : diferencia de temperatura entre la temperatura estándar y la temperatura para la que se quiera calcular la tensión de vacío.

Quedando la expresión:

$$\mu = \frac{-0,289}{100} \times 50,12 = -0,14485 \text{ (V/}^{\circ}\text{C)}$$

$$V_{oc}(-4,4)_{\max} = 50,12 - (-0,14485) \times (25 - (-4,4)) = 54,37 \text{ V}$$

$$V_{oc}(38,9)_{\min} = 50,12 - (-0,14485) \times (25 - 38,9) = 48,1 \text{ V}$$

Se observa que el valor mínimo obtenido con la tensión de vacío es superior al valor de tensión de potencia pico (V_{mp}):

$$48,1 \text{ V} > 41,76 \text{ V}$$

Se volverá a hacer uso de la fórmula 3 para calcular $V_{mp}(^{\circ}C)$:

$$\mu = \frac{-0,289}{100} \times 41,76 = -0,12069 \text{ (V/}^{\circ}\text{C)}$$

$$V_{mp}(38,9)_{\min} = 41,76 - (-0,12069) \times (25 - 38,9) = 40,86 \text{ V}$$

Finalmente se obtienen los siguientes resultados recogidos en la tabla 14:

Tensiones	módulo	String
$V_{oc}(-4,4 \text{ }^{\circ}\text{C})_{\max} \text{ (V)}$	54,37	543,7
$V_{mp}(38,9 \text{ }^{\circ}\text{C})_{\min} \text{ (V)}$	40,86	408,6
$V_{oc}(-15 \text{ }^{\circ}\text{C})_{\max} \text{ (V)}$	56,22	562,2
$V_{mp}(70 \text{ }^{\circ}\text{C})_{\min} \text{ (V)}$	37,27	372,7

Tabla 17: temperaturas máximas y mínimas del GFV en función de la temperatura

$$372,7 \text{ V} > 200 \text{ V} ; 562,2 \text{ V} < 1000 \text{ V}$$

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

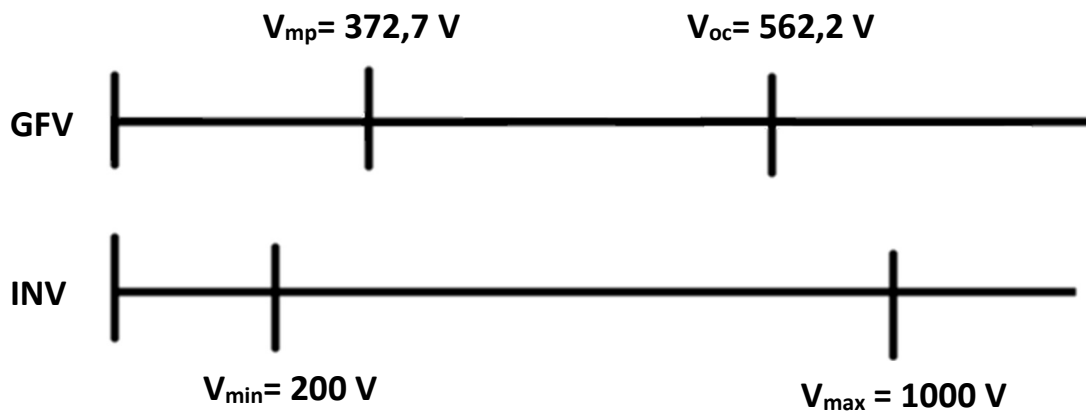


Figura 17: comparación tensiones máximas y mínimas del GFV y el inversor

En la tabla 17 se incluyen las tensiones máxima y mínima para unas temperaturas extremas, con el fin de comprobar que en ningún caso la tensión saldrá del rango de funcionamiento del inversor. La figura 117 muestra esquemáticamente la situación calculada.

A continuación, se comprueba la compatibilidad de corrientes. Sustituimos en la fórmula 3 las variables referentes a tensión por variables de corriente, obteniendo la fórmula 4:

$$I_{sc}(^{\circ}\text{C}) = I_{sc} - \mu \times \Delta T \quad (4)$$

términos que intervienen la fórmula 4:

- $I_{sc}(^{\circ}\text{C})$: corriente de cortocircuito para una temperatura concreta.
- I_{sc} : corriente de cortocircuito en condiciones estándar.
- μ : coeficiente de temperatura para corriente de cortocircuito proporcionado por el fabricante. Aportado en porcentaje de corriente de cortocircuito.
- ΔT : diferencia de temperatura entre la temperatura estándar y la temperatura para la que se quiera calcular la corriente de cortocircuito.

Quedando la expresión:

$$\mu = \frac{0.051}{100} \times 10,37 = 0,0052887 \text{ (A/}^{\circ}\text{C)}$$

$$I_{sc} (38,9)_{max} = 10,37 - 0,0052887 \times (25 - 38,9) = 10,44 \text{ A}$$

$$I_{sc} (-4,4)_{min} = 10,37 - 0,0052887 \times (25 - (-4,4)) = 10,24 \text{ A}$$

En el caso de la corriente no se dispone de un rango de funcionamiento, por lo que solamente necesitamos el valor máximo de corriente que puede alcanzar un panel.

En el string se alcanzará este mismo valor por estar los paneles conectados en serie. Por otro lado, en la ficha técnica del inversor se dice que el inversor dispone dos entradas por MPPT, por lo que al conectar dos strings estos estarán conectados en paralelo entre ellos, sumándose las corrientes.

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

Finalmente se concluye que no se superara el límite máximo de corriente de entrada al inversor, así como tampoco el rango de tensiones, por lo que **los módulos escogidos, y su modo de conexión son compatibles con el inversor seleccionado.**

Se resumen los valores comprobados en la tabla 18:

Variabes	módulo	Entrada inv.	Entrada máx/min inv.
$I_{sc} (38,9)_{max} (A)$	10,44	20,88	22
$I_{sc} (70)_{max} (A)$	10,61	21,22	22
$V_{oc} (-4,4 \text{ }^{\circ}C)_{max} (V)$	54,37	543,7	1000
$V_{mp} (38,9 \text{ }^{\circ}C)_{min} (V)$	40,86	408,6	200
$V_{oc} (-15 \text{ }^{\circ}C)_{max} (V)$	56,22	562,2	1000
$V_{mp} (70 \text{ }^{\circ}C)_{min} (V)$	37,27	372,7	200

Tabla 18: tabla resumen de los cálculos de compatibilidad GFV-INV

3.1.3 canalizaciones

En el siguiente apartado se calcularán como deben ser los conductores que conecten los elementos de la instalación. Esta tiene dos partes diferenciadas, el lado de corriente continua (CC) y el lado de corriente alterna (CA).

En cada una de estas partes se aplicarán los dos criterios normalizados para el cálculo de canalizaciones eléctricas, el criterio térmico y el criterio de caída de tensión. Calculados ambos para las situaciones más desfavorables, se tomará el valor de sección normalizada que sea más restrictivo, es decir, la mayor sección normalizada, entendiéndose que con dicha sección se cumplirán las condiciones para que la línea no sufra calentamientos ni caídas de tensión elevadas.

Según el reglamento electrotécnico para Baja tensión, en la ITC-BT-40 en el apartado 5, Cables de Conexión dice:

“Los cables de conexión deberán estar dimensionados para una intensidad no inferior al 125% de la máxima intensidad del generador y la caída de tensión entre el generador y el punto de interconexión a la Red de Distribución Pública o a la instalación interior, no será superior al 1,5%, para la intensidad nominal.” [20]

Coincidiendo con el PCT del IDAE para instalaciones generadoras conectadas a red, en el apartado 5.5.2, el cual expone que:

“Los conductores serán de cobre y tendrán la sección adecuada para evitar caídas de tensión y calentamientos. Concretamente, para cualquier condición de trabajo, los conductores deberán tener la sección suficiente para que la caída de tensión sea inferior del 1,5 %.” [12]

Siguiendo tanto el REBT como las recomendaciones del PCT del IDAE, se establecen las condiciones a cumplir en ambos criterios anteriormente mencionados para la elección de la sección del cableado de la instalación fotovoltaica.

Lado de CC

En este lado se encuentran los siguientes tramos:

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

1. Conexiones entre paneles de un mismo *string*.
2. Canalización de cada *string* con el inversor.

El fabricante de los módulos facilita en su web una guía de instalación donde se detalla que cada módulo dispone de una caja de conexiones con dos conexiones que salen de esta, uno positivo y uno negativo. Estos ya poseen al final de cada cable un conector para una fácil conexión en serie entre paneles de un mismo string. Por lo que el primer tramo no requiere dimensionamiento.

Para conectar los strings en paralelo se seguirá, a priori, la recomendación del fabricante de usar cable de 4 mm² de sección, certificado para conducir corriente continua en sistemas fotovoltaicos, como se muestra en la tabla 19.

Testing Standard	Wire size	Temperature Rating
EN 50618:2014	4 mm ²	-40C to +90C

Tabla 19: cable de exterior mínimo para rango normalizado [17]

Criterio térmico

Para satisfacer este criterio se requiere conocer donde ira montada la canalización, así como la corriente máxima que soportara.

Las conducciones de CC tendrán dos tipos de instalación; de tipo C en el exterior anclados a la cubierta y pared, y tipo D enterrados para pasar del edificio del GFV al edificio donde se sitúa el inversor. Por último, el tramo de la conexión de los strings con el inversor tendrá el final del tramo en recinto cubierto. ya que este se encontrará en un recinto cerrado y cubierto.

Para el cálculo de sección se tomará el montaje más desfavorable, siendo este el tipo de instalación D. Además, se conoce la corriente máxima de un string, recogida en la tabla 15, de 10,61 A.

Por norma se considera que la corriente máxima por string (I_z) será de un 125%.

$$I_z \geq 1,25 * I_{sc \max} = 1,25 * 10,61 = \mathbf{13,27 \text{ A}}$$

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

Método de instalación	Sección mm ²	Número de conductores cargados y tipo de aislamiento			
		PVC2	PVC3	XLPE2	XLPE3
D	Cobre				
	1,5	22	18	26	22
	2,5	29	24	34	29
	4	38	31	44	37
	6	47	39	56	46
	10	63	52	73	61
	16	81	67	95	79
	25	104	86	121	101
	35	125	103	146	122
	50	148	122	173	144
	70	183	151	213	178
	95	216	179	252	211
	120	246	203	287	240
	150	278	230	324	271
	185	312	258	363	304
240	361	297	419	351	
300	408	336	474	396	
D	Aluminio				
	2,5	22	18,5	26	22
	4	29	24	34	29
	6	36	30	42	36
	10	48	40	56	47
	16	62	52	73	61
	25	80	66	93	78
	35	96	80	112	94
	50	113	94	132	112
	70	140	117	163	138
	95	166	138	193	164
	120	189	157	220	186
	150	213	178	249	210
	185	240	200	279	236
	240	277	230	322	272
300	313	260	364	308	

Tabla 20: intensidades admisibles (A) terreno a 20°C. Nº conductores con carga y naturaleza del aislamiento tipo D. [22]

Con esta información, se consulta la tabla 20 que se proporciona en el REBT (ITC 019). En la misma, se puede observar el tipo de instalación (tipo D), se observa también que se trata de 2 conductores (positivo y negativo) con aislante de PVC (2xPVC). Finalmente, se tomará la sección de 4 mm² recomendada por el fabricante, por lo que el valor mínimo para conductor de cobre es de 38 A y el de aluminio es de 29 A.

A continuación, aplicamos unos factores de corrección según la norma:

$$I_z = I_{max} * F_1 * F_2 \quad (5)$$

I_z : corriente máxima que debe soportar el cable.

I_{max} : corriente máxima obtenida en la tabla 16.

F_1 : factor corrector por temperatura del terreno distinta de 20°C. ($T_{terr} = 45^\circ C$)

F_2 : factor corrector por proximidad de cables conductores en el montaje.

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

Temperatura del terreno °C	Aislamiento	
	PVC	XLPE y EPR
10	1,10	1,07
15	1,05	1,04
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,80
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65
65	-	0,60
70	-	0,53
75	-	0,46
80	-	0,38

Tabla 21: factor de corrección para temperaturas del terreno distintas de 20°C. (F1) [22]

Se opta por una temperatura media del terreno de 45°C hasta una profundidad de 20 cm. Este dato se ha calculado a partir de la información proporcionada en el documento “*Guía técnica de condiciones climáticas exteriores de proyecto*”, para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía [13].

Tomamos de la tabla 22 el factor de corrección por agrupación de cables multiconductores, dado que se disponen de 8 strings, cada uno con conductor positivo y negativo, habrá 8 circuitos agrupados.

Factor de corrección								
Separación entre los cables o temas	Número de cables o temas de la zanja							
	2	3	4	5	6	8	10	12
D=0 (en contacto)	0,80	0,70	0,64	0,60	0,56	0,53	0,50	0,47
d= 0,07 m	0,85	0,75	0,68	0,64	0,6	0,56	0,53	0,50
d= 0,10 m	0,85	0,76	0,69	0,65	0,62	0,58	0,55	0,53
d= 0,15 m	0,87	0,77	0,72	0,68	0,66	0,62	0,59	0,57
d= 0,20 m	0,88	0,79	0,74	0,70	0,68	0,64	0,62	0,60
d= 0,25 m	0,89	0,80	0,76	0,72	0,70	0,66	0,64	0,62

Tabla 22: factor de corrección por agrupación. (F2) [22]

Según estas tablas concretamos los valores para los factores de corrección en:

$$F_1 = 0,71; F_2 = 0,53$$

Aplicando los factores:

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

$$I_z = 38 * 0,71 * 0,53 = 14,29 \text{ A} > I_z = 13,27 \text{ A}$$

Por tanto, según el criterio térmico el tramo de conducción que conecta los strings hasta el inversor, fijado a la superficie exterior, con aislante de PVC, que conduce corriente continua y cuyo material es el cobre, debe tener una sección mínima de 2,5 mm².

Por otro lado, si el material usado es aluminio:

$$I_z = 28 * 0,71 * 0,53 = 10,91 \text{ A} < I_z = 13,27 \text{ A}$$

Una sección de 4 mm² es insuficiente si se utiliza aluminio, por lo que se deberá usar como mínimo una sección de 6 mm². De modo que:

$$I_z = 36 * 0,71 * 0,53 = 13,55 \text{ A} > I_z = 13,27 \text{ A}$$

Se concluye que, según el criterio térmico, el conductor debe ser de cobre de 4mm²; o en su defecto, de aluminio de 6 mm².

Criterio por caída de tensión

Para este tramo (string-inversor) se considera una caída de tensión máxima del 1,5%.

$$\Delta V = 0,015 * V_{oc-max-string} = 0,015 * 562,2 = 8,433 \text{ V}$$

Para este criterio se hace uso de la siguiente fórmula 6:

$$S = \frac{2 * L * I}{\Delta V * \sigma} \quad (6)$$

S: sección del conductor. (mm²)

L: longitud del tramo. (m)

I: corriente que pasa por el tramo. (A)

ΔV: caída de tensión. (V)

σ: conductividad del conductor. (m/ Ω*mm²)

la longitud del tramo varía dependiendo de la situación del string, por lo que esta sección se dimensionara para el string más alejado del inversor, de modo que se asegure que el resto estén por debajo del valor calculado.

si los paneles se sitúan sobre la cubierta longitudinalmente con la misma, se tiene una cuadrícula de 5 filas por dieciséis columnas; obteniendo una superficie del GFV de 32x5 m. Por otro lado, la distancia perpendicular entre el edificio que alberga el GFV y el que alberga el inversor es de aproximadamente 25m. Asumiendo que no existe espacio de separación entre paneles, pero si es necesario que el cable no tenga ningún esfuerzo por tensión mecánica, se puede asumir que el panel más alejado del inversor, y por tanto el más desfavorable, se encuentra a 32 m longitudinales al edificio de crianza, mas 25

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

metros perpendiculares al mismo, y se añaden 3 m para asegurar que el cable no soporta esfuerzos mecánicos, se requerirá 60 metros de cable para el string más desfavorable.

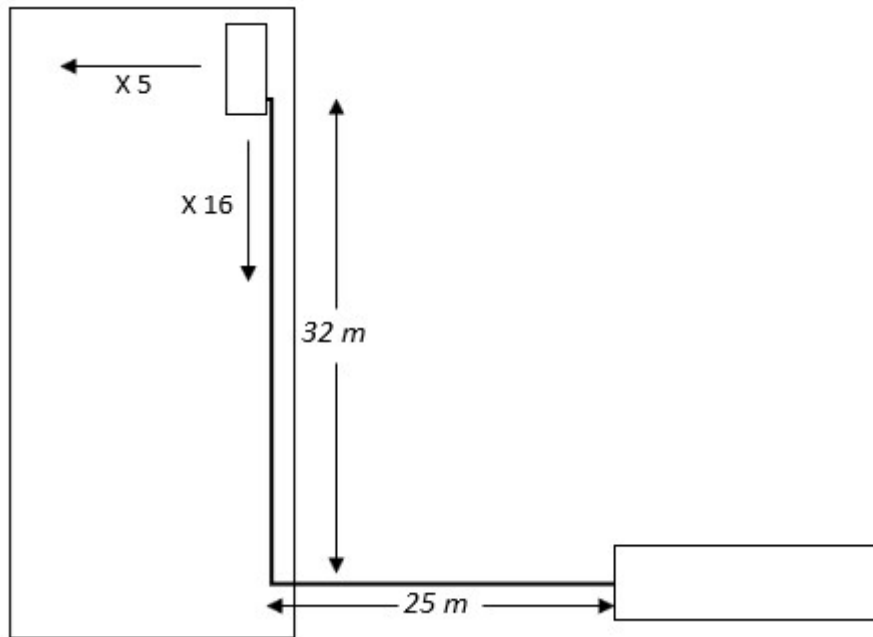


Figura 18: esquema de la instalación sin escala. Disposición de las conducciones

la conductividad del cobre, así como la del aluminio, es dependiente de la temperatura, por lo que se tomara el valor a la temperatura más desfavorable, la cual se ha considerado anteriormente como 70°C, en el cálculo de compatibilidad módulo-inversor. Además, esta es la temperatura admisible máxima por el aislante de PVC. Por tanto, la conductividad del conductor de cobre será de 48 (m/Ω*mm²), y la del aluminio de 30 (m/Ω*mm²).

Se sustituyen estos datos en la fórmula 6, despejando la caída de tensión y tomando el valor de la sección obtenido por criterio térmico, si se supera el límite de caída de tensión establecido se volverá a realizar el cálculo con la sección normalizada inmediatamente superior, hasta que se cumpla el criterio de caída de tensión.

Para el cobre:

$$\Delta V = \frac{2*60*10,61}{4*48} = 6,63 \text{ V} < 8,433 \text{ V}$$

Para el aluminio:

$$\Delta V = \frac{2*60*10,61}{6*30} = 7,07 \text{ V} < 8,433 \text{ V}$$

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

Se concluye que, tomando las secciones calculadas por el criterio térmico se cumple el criterio por caída de tensión. En la tabla 23 se resumen las características de la conducción exterior 2xPVC.

longitud (m)	corriente (A)	CdTmax(%)	material	resistividad	CdT(%)	Sección(mm ²)
60	10,61	1,50%	cobre	48	1,18%	4
			aluminio	30	1,26%	6

Tabla 23: resumen características eléctricas y sección conductor de conexión GFV-INV.

Finalmente, se debe elegir que material es más conveniente para este tramo. Se elegirá el cobre siguiendo las recomendaciones que se indican en el PCT del IDAE, así como las recomendaciones del fabricante.

Lado de CA

A continuación, se realizan cálculos análogos para ambos criterios, teniendo en cuenta que las canalizaciones conducirán corriente alterna. En este caso la línea trifásica se dirige al cuadro de protecciones de la instalación, pasando por una caja de conexiones donde se disponen las protecciones pertinentes, así como el sistema de control de energía generada, entrante a la instalación y saliente de esta.

En este lado se encuentran los siguientes tramos:

1. Tramo salida de INV – caja de agrupación
2. Caja de agrupación – cuadro de protecciones

Criterio térmico

Siguiendo con el requisito de que el cable debe soportar el 125% de la corriente máxima que circulará por él, la cual es la corriente de salida del inversor. La corriente máxima de salida es de 48 A:

$$I_z \geq 1,25 * I_{SC \max} = 1,25 * 48 = \mathbf{60 \text{ A}}$$

Se obtienen de la tabla 16 los valores de corriente para ambos materiales que son 67 A con una sección de 16 mm² para el Cu y una corriente de 66 A con una sección de 25 mm² para el Al. Teniendo en cuenta que la línea se dispone enterrada y aislada con PVC.

Seguidamente, se hace uso de la fórmula 5 para obtener el valor corregido de corriente máxima por el conductor.

Se obtienen los factores de corrección de las tablas 17 y 18 siendo de 0,71 para la corrección de temperatura y de 1 para la corrección por agrupación, ya que solo se dispone una línea.

Sustituyendo en la fórmula 5:

$$I_z = 67 * 0,71 * 1 = \mathbf{47,57 \text{ A} < I_z = 60 \text{ A}}$$

Por lo que para el cobre se debe tomar la siguiente sección, de 25mm², con una corriente de 86 A:

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

$$I_z = 86 * 0,71 * 1 = 61,06 \text{ A} > I_z = 60 \text{ A}$$

Para el aluminio debería usarse una sección de 50 mm como mínimo, por lo que debido a que la rigidez sería problemática a la hora del montaje se descarta la posibilidad de usar dicho material.

$$I_z = 86 * 0,71 * 1 = 61 \text{ A} > 60 \text{ A}$$

La corriente que soporte el cable por norma deberá ser como mínimo de 86 A con sección 25 mm² para el cobre, según la tabla 16. El aluminio necesitaría una sección mínima normalizada de 50 mm², por lo que la rigidez del cable podría ser demasiada, de modo que se elige el material de cobre.

Criterio por caída de tensión

Para este criterio se usará la fórmula 6 pero modificada para corriente alterna. Con esa consideración se obtiene la siguiente expresión:

$$S = \frac{\sqrt{3} * L * I * \cos\varphi}{\Delta V * \sigma} \quad (7)$$

S: sección del conductor. (mm²)

L: longitud del tramo. (m)

I: corriente que pasa por el tramo. (48 A; según ficha técnica del INV)

cosφ: factor de potencia (0,8; según ficha técnica del INV)

ΔV: caída de tensión. (V)

σ: conductividad del conductor. (48 m/ Ω*mm² a 70°C)

se debe tener en cuenta que según normativa la caída de tensión entre el inversor y el contador no debe ser superior al 1,5%; por lo que para el primer tramo se determina una caída de tensión máxima del 0,3%, ya que este tramo será el más corto de los dos, por lo que será más fácil que se cumpla dicha exigencia. Por consiguiente, la caída de tensión máxima para el segundo tramo será del 1,2%.

1. CdT para el tramo salida de INV – caja de agrupación:

$$\Delta V = 0,003 * V_{\text{salida INV}} = 0,003 * 400 = 1,2 \text{ V}$$

Este tramo es muy corto, dado que se puede instalar la caja de agrupación en la misma sala en la que se instalara el inversor, por lo que para el cálculo se tomará una longitud de 5 metros, entendiendo que dicha longitud asegura que no existan esfuerzos mecánicos en el cable y que haya flexibilidad para la instalación de la caja de conexiones en cualquier disposición en la sala del inversor.

Se tomará la sección calculada por criterio térmico, aplicando la fórmula 7:

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} * 5 * 48 * 0,8}{25 * 48} = 0.28 V$$

La sección calculada por criterio térmico permite que se cumpla sobradamente la exigencia de caída de tensión. Se calcula que el cable de este tramo puede llegar a ser de 21 metros como máximo para el cumplimiento de este criterio.

2. CdT para el tramo Caja de agrupación – contador

$$\Delta V = 0,012 * V_{\text{salida INV}} = 0,012 * 400 = 4,8 V$$

Este tramo es el que se dirige al cuadro de protecciones de la instalación, el cual se encuentra en el mismo edificio que el GFV, por lo que su longitud se considera como mínimo de la misma longitud que el tramo enterrado del lado de CC, es decir, 25 m. después se suma el tramo que pasa por el edificio hasta el cuadro de protecciones, considerando un total de 40 m, aplicando los valores en la fórmula 7:

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} * 40 * 48 * 0,8}{25 * 48} = 2.21 V$$

Se comprueba que la sección elegida cumple con el criterio de caída de tensión, pudiendo ser el tramo si se requiriese, de hasta 80 m.

Tramos	longitud (m)	corriente (A)	CdTmax (%)	material	σ	CdT (%)	Sección (mm ²)
1	5	48	0,3%	cobre	48	0,07 %	25
2	40	48	1,20%	cobre	48	0,55%	25

Tabla 24: resumen características eléctricas y sección conductor de conexión INV-cuadro de protecciones granja.

3.1.5 Puesta a tierra

Todas las partes metálicas estarán conectadas entre sí formando una red equipotencial la cual se conectará con una toma de tierra. Esta toma de tierra tiene que dimensionarse de tal forma que se asegure la protección efectiva de las masas.

Según la guía de aplicación del REBT- BT-26, se situará el valor máximo de la resistencia en 30 Ω , por lo que para una puesta a tierra a tierra formada por picas enterradas se usará la fórmula 8.

$$R = K \times \frac{\delta}{N^{\circ} \times L} \quad (8)$$

R: valor de la resistencia de puesta a tierra (30 Ω)

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

K: coeficiente D/L (relación entre la distancia entre picas y su longitud) (1,15)

δ : resistividad del terreno (200 Ω m)

Nº: número de picas

L: longitud de las picas (2 m)

Sustituyendo en la fórmula 8 los valores, se obtiene la cantidad de picas que deberán instalarse:

$$30 = 1,15 \times \frac{200}{N^{\circ} \times 2}$$

Se instalar un total de 4 picas en paralelo, formando un cuadrado y con una separación mínima entre ellas de 2,3 m.

3.2 Memoria técnica de diseño

A continuación, se describe la instalación en su conjunto después de dimensionar todos sus componentes.

3.2.1 El generador fotovoltaico (GFV)

Los paneles que se emplearan son los JAM72S10 410W [17], estos paneles presentan un rendimiento y una potencia asegurados por el fabricante muy notable. Además, hacen uso de una tecnología de montaje de sus células, estando estas divididas en dos partes. Este modo de empleo consigue, según el fabricante una reducción sustancial del porcentaje de perdidas por sombreado de los paneles, así como una reducción en el calentamiento del panel, lo que repercute en una mejor eficiencia a lo largo de su vida útil.

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana



Figura 19: paneles JAM72S10 410W de media celda [17]

Los paneles fotovoltaicos se dispondrán sobre la cubierta. Para ello se instalarán rieles de aluminio, los cuales podrán integrarse en la cubierta ya que esta deberá renovarse para soportar el peso adicional de los paneles, o en su defecto, se atornillarán dichos rieles posteriormente a la cubierta. Los paneles se fijarán a los rieles mediante almejas, las cuales van atornilladas al riel y sujetan los paneles por presión, se usarán dos tipos de almeja; A para los paneles de los extremos y B para anclajes de paneles contiguos. Podemos observar las dimensiones de las pinzas, así como su modo de instalación mediante tornillo y tuerca en las figuras 20 y 21.

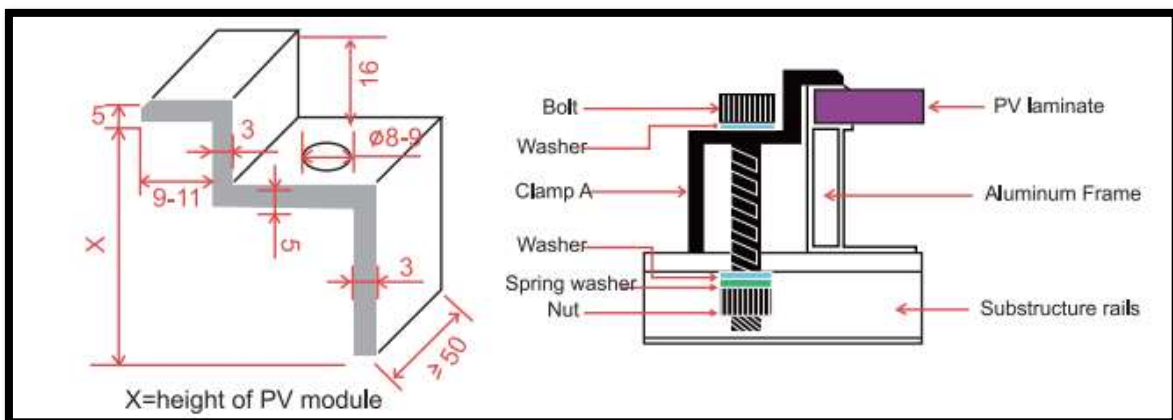


Figura 20: almeja de sujeción tipo A medidas en mm; [17]

Para la pinza tipo B se recomienda una separación entre paneles de 18 hasta 24 mm.

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana



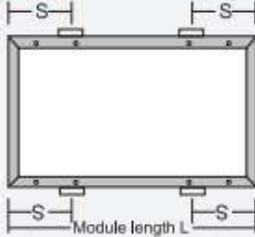
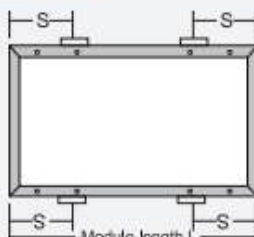

	Low/normal level of load condition (applies to most of the environmental conditions)	High level of load condition (applies to harsher environmental conditions such as storm, heavy snow, etc)
Mounting system	<ul style="list-style-type: none"> • Mounting holes  <p>Use four mounting holes</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mounting holes  <p>Use eight mounting holes</p>
Clamping system Attachment to the long frame	<p>Permissible Clamp Range $3 \cdot 10 < S < \frac{1}{3} L$</p>  <p>Module length L</p>	<p>Permissible Clamp Range $(\frac{1}{3} L - 50) < S < (\frac{1}{3} L + 50)$</p>  <p>Module length L</p>
Clamping system Attachment to the short frame	<p>Permissible Clamp Range $S < 11 \times W$</p> <p>Module width W</p>  <p>Remark: The maximum static load (front and back) should be no more than 1800Pa for 72-cell and 2000Pa for 60-cell framed modules.</p>	
NEXTracker SPT	<p>Uplift load ≤ 2400Pa Downforce load ≤ 2400Pa For 72-cell Framed Modules</p>	

Figura 22: situación de los dispositivos de anclaje para el panel fotovoltaico [17]

En la figura 22 se observa dónde debe ir situado, según el fabricante, el elemento de sujeción respecto del panel fotovoltaico. En este caso los paneles se pretenden instalar de forma paralela longitudinalmente a la cubierta, de modo que para asegurar una sujeción firme las almejas se situaran en el lado largo del panel, que es la forma de montaje dispuesta en la columna 1; fila 2 de la figura 22, que observamos ampliada en la figura 23.

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

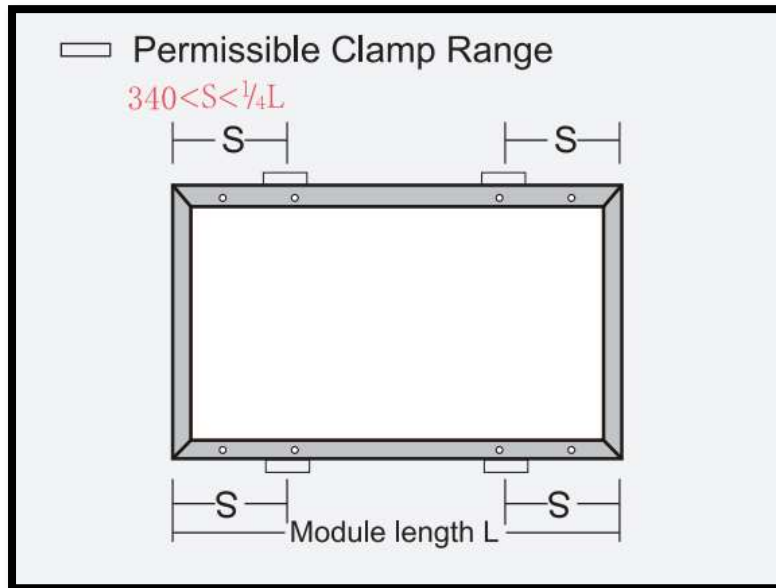


Figura 23: detalle situación pinzas de anclaje para el panel fotovoltaico [17]

Los rieles serán ranurados De aluminio Para techo de metal Con Sistema de Montaje solar de perfil trapezoidal (figura 24).

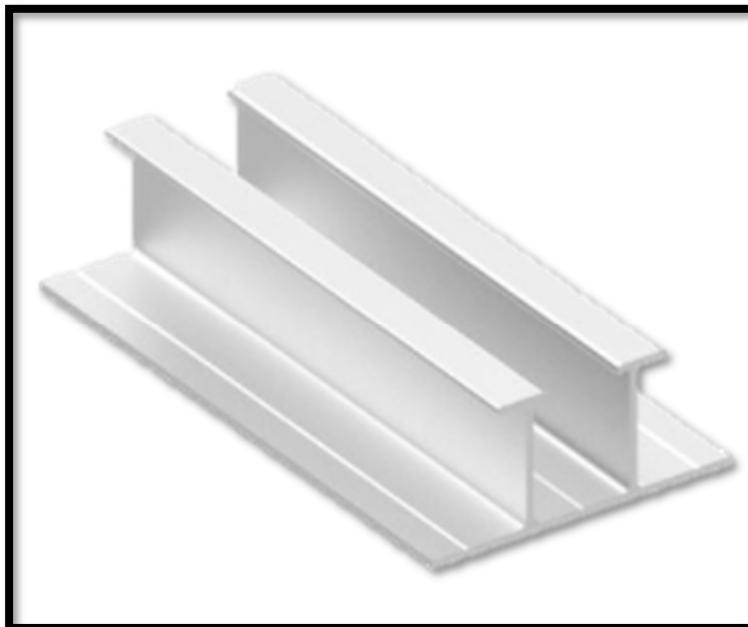


Figura 24: riel ranurado de aluminio para cubierta de perfil trapezoidal (fuente: Google imágenes)

Los rieles escogidos no son continuos, sino que se trata de unidades individuales de corta longitud, siendo la instalación de estos la que vemos en la figura 25 de forma esquemática.

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

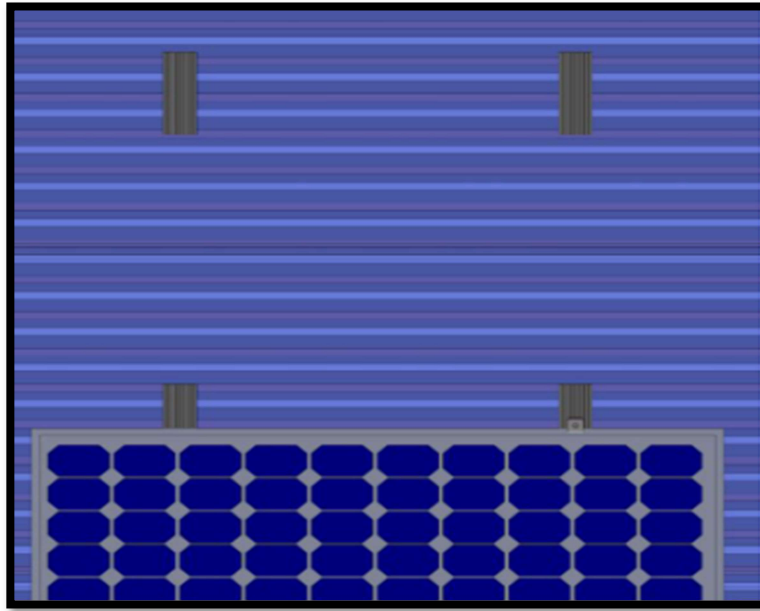


Figura 25: vista superior montaje de rieles (fuente: Google imágenes)

teniendo una cuadrícula de 5x16 paneles se requerirán un total de 12 rieles por cada columna de 5 paneles. Finalmente se requerirán en total 192 rieles, cada uno de estos atornillándose a la cubierta con 4 tuercas autopercutoras, quedando un total de 768 tuercas.

A su vez se requerirán 4 abrazaderas tipo A y 8 tipo B por columna, quedando un total de 64 abrazaderas tipo A (figura 20) y 128 abrazaderas tipo B (figura 21).

En conjunto el generador fotovoltaico será una cuadrícula de 5 filas por 16 columnas, disponiendo un total de 80 paneles, los cuales se agruparán en 8 strings de 10 paneles cada uno. Con una potencia en su totalidad de 33,2 kWp.

Finalmente, cada dos columnas formaran un string, iniciándose en el panel más cercano al borde de la cubierta, subiendo hacia el eje longitudinal donde se unirá con el string que queda a su izquierda, y continuando por la siguiente columna hasta nuevamente el panel más cercano al borde, situándose el final del string. De este modo los strings quedan perfectamente ordenados espacialmente, lo que facilita el mantenimiento si se detecta algún problema en una string determinado.

3.2.2 Inversor

Con el fin de consumir la energía generada, se selecciona un inversor de corriente CC/CA de la marca HUAWEI; modelo SUN2000-33KTL-A (figura 26). se escoge este por las buenas referencias hacia la marca, así como su idoneidad, ya que dispone de exactamente el número de entradas de string necesarias para la instalación fotovoltaica.

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

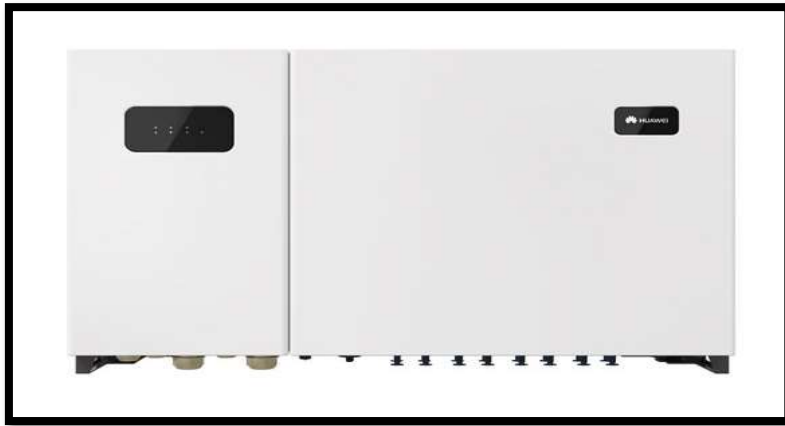


Figura 26: inversor de corriente HUAWEI SUN2000-33KTL-A [11]

Cuenta con 4 MPPT (seguidores de punto de máxima potencia) de 2 entradas cada uno, lo que significa que puede albergar hasta un total de 8 strings, como se ha comentado. Este componente es el encargado de generar energía en todo momento a la máxima eficiencia posible.

Este inversor cuenta, además, con protecciones para ambos lados de corriente incluidos en el mismo, por lo que simplifica la instalación en su conjunto. Ofrece la posibilidad de monitorizar el comportamiento de la instalación desde el móvil gracias al receptor bluetooth que incluye.

En la tabla 15 pueden comprobarse sus datos nominales y técnicos. A su salida se da la potencia aparente de 33 kVA y una potencia activa de 30 kW.

El inversor fotovoltaico se dispone en el interior del edificio almacén de la granja, el cual se instalará convencionalmente atornillado a la pared. Junto al inversor se incluyen conectores para el lado de corriente continua, así como los componentes necesarios para su instalación. Cuenta con un display sencillo que informa del funcionamiento elemental respecto a la conexión de los paneles fotovoltaicos, la conexión a red, la conectividad y si existe algún error o problema en la máquina.

3.2.3 Cableado y conexiones

En este apartado se describen la situación y características de las canalizaciones eléctricas de la instalación, encargadas de transportar de manera segura y eficiente la energía producida hasta la instalación consumidora, o en su defecto el vertido a red de esta. Para calcular las dimensiones de todas las canalizaciones se ha seguido el REBT (reglamento eléctrico de baja tensión) así como la legislación pertinente y se han tenido en cuenta las recomendaciones del IDAE en instalaciones fotovoltaicas. Siendo el criterio térmico y el de caída de tensión las normas a las que debe atenderse para cumplir los reglamentos.

Se ha separado la instalación en lado de corriente continua y lado de corriente alterna. Debido a las necesidades específicas de cada una de estas.

Tramos de corriente continua

Conexión entre paneles

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

La conexión entre paneles, así como los conectores MC4 necesarios, vienen incluidos en la misma caja de protección individual de cada panel de donde se disponen dos terminales, el positivo y el negativo (figura 27). Así mismo la disposición de los paneles se realiza de forma que no sea necesario añadir cableado ni conectores adicionales.

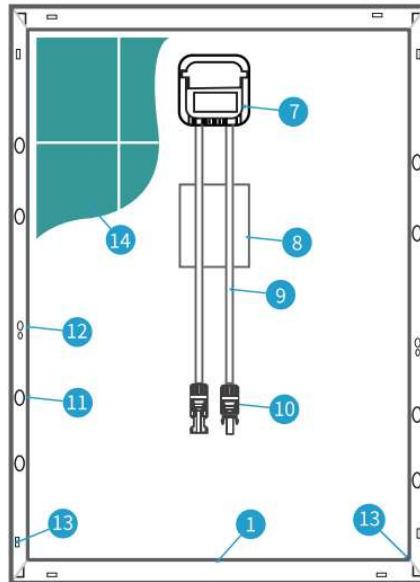


Figura 27: detalle de caja con terminales de interconexión entre paneles [17]

Conexión GFV-INV

Para el tramo de corriente continua, que conecta el conjunto del generador fotovoltaico al inversor, se cuenta con cable de cobre de 4 mm² de sección, aislado con PVC, preparado además para disponerse a la intemperie. El string más alejado requerirá 60 m de cable hasta el inversor, asumiendo que cada inicio de string se encuentra más cerca del inversor se estiman unos 830 m de conductor, para que todos los strings lleguen a conectarse al inversor y ningún conductor soporte esfuerzos mecánicos. Finalmente, para este tramo si será necesario el uso de conectores MC4 (figura 28) para unir los strings con los conductores de la canalización.



Figura 28: conectores MC4 (fuente: Google imágenes)

Este tramo ira anclado a la cubierta de la granja hasta llegar a una zanja, por donde se hará llegar al edificio donde se dispone el inversor.

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

Tramos de corriente alterna

Existen dos tramos en este lado de la instalación, los cuales son iguales en características, por lo que en su conjunto se usará cable tetrapolar de 25 mm² de sección, del cual se requerirán 45 m. los primeros 5 metros se mantendrán dentro de la sala del inversor, conectando el inversor a una caja de agrupación que contendrá protecciones para la línea. Debido a que es posible que la caja de agrupación este instalada inmediatamente al lado del inversor es probable que se requieran menos de 5 metros en última instancia, aun así, se cumplen los criterios mencionados anteriormente.

El resto de tramo se dispone enterrado hasta la sala donde se encuentran las protecciones de la instalación y la acometida de la red eléctrica. Aquí se realizará la conexión de la instalación generadora con las cargas de la granja.

En la figura 29 se dispone un esquema ilustrativo de los tramos de la instalación:

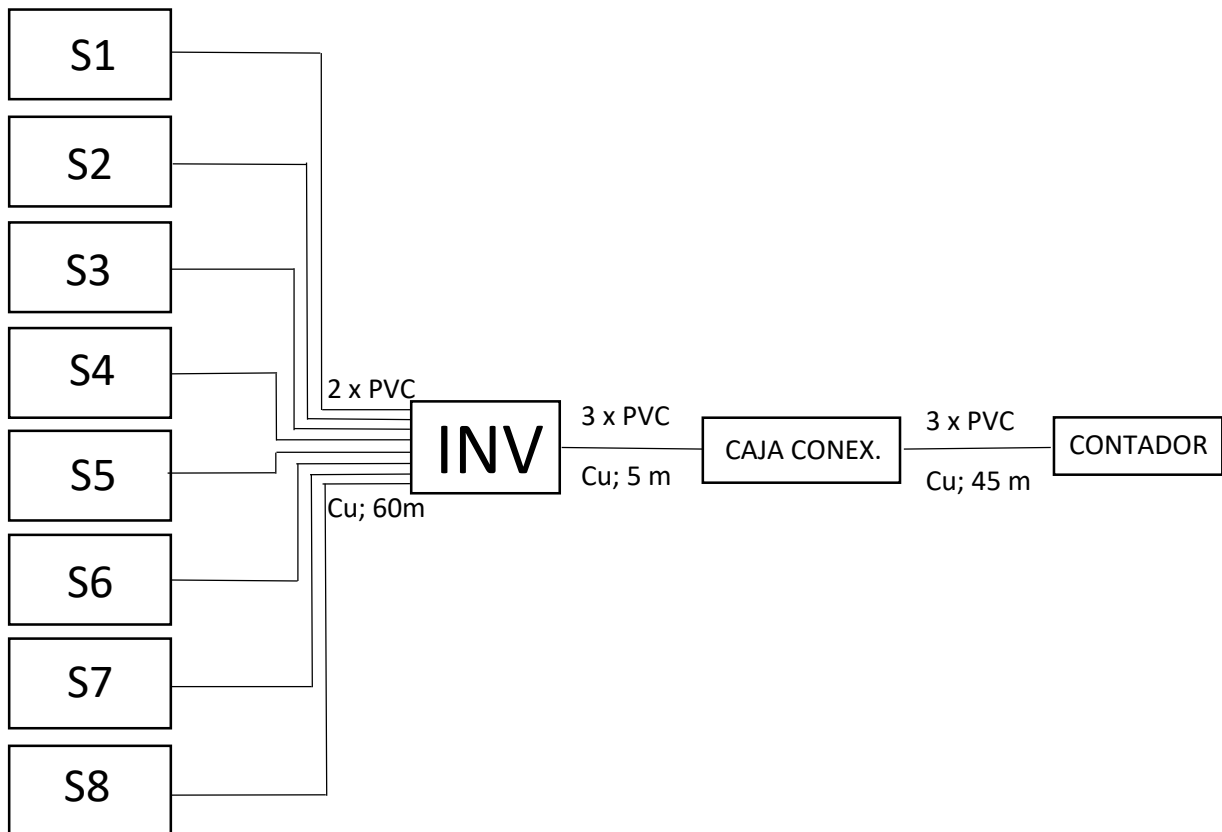


Figura 29: tramos de conexión (fuente propia)

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

3.2.4 Protecciones y monitorización

A continuación, se definen las protecciones eléctricas. Debe garantizarse que tanto los componentes de la instalación como los usuarios que transiten cerca de la misma estarán protegidos. En el REBT, así como en la norma UNE EN 62109 - 1/-2 se disponen las protecciones necesarias para cumplir la legislación vigente. Estas protecciones vienen incluidas en el equipo inversor, así como incluyendo otras en la caja de agrupación.

De la ficha técnica del inversor se extrae la información en la tabla 25:

Protecciones incluidas en el inversor	
Dispositivo de desconexión del lado de entrada	Sí
Protección anti-isla	Sí
Protección contra sobretensiones de CA	Sí
Protección contra polaridad inversa CC	Sí
Monitorización a nivel de string	Sí
Descargador de sobretensiones de CC	Tipo II
Descargador de sobretensiones de CA	Tipo II
Detección de resistencia de aislamiento CC	Sí
Monitorización de corriente residual	Sí

Tabla 25: conjunto de protecciones incluidas en el inversor de corriente [17]

Adicionalmente se instala una caja de agrupación donde se instalan protecciones para el lado de corriente alterna, recogidas en la tabla 26:

Protecciones caja de agrupación	
Interruptor de mando y protección de línea	125 A y 800V
Protector contra sobretensiones	Tipo II y 800 V
Fusibles tripolares	80 A y 800V

Tabla 26: valores nominales de protecciones en la caja de agrupación (fuente propia)

Para monitorizar la generación de corriente y que el inversor controle directamente cuando es necesario inyectar energía en la red y cuando consumir energía adicional de esta se intercala en la red de la vivienda un vatímetro. Se elige el LACECAL ITR 2.0 [18] por ser el recomendado para el modelo de inversor. Es un dispositivo calibrado que mide con precisión la energía que transita por la instalación eléctrica.

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

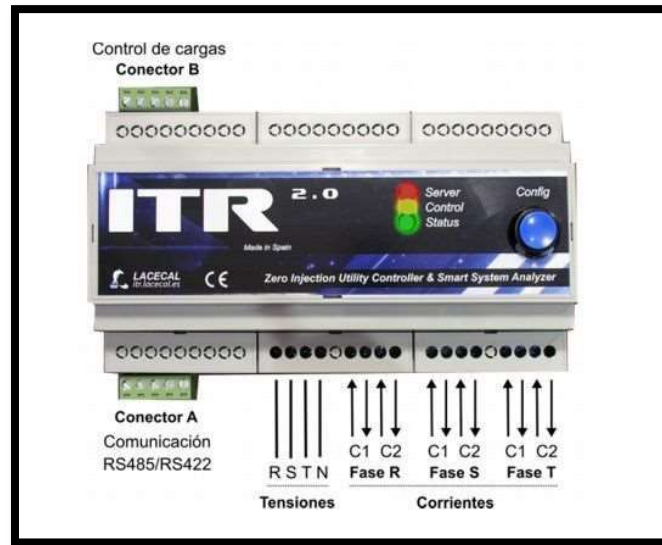


Figura 30: watímetro de monitorización de red eléctrica (fuente: Google imágenes)

Es el modelo de 5A trifásico, que cuenta con un servidor web para la monitorización de la energía eléctrica.

Según el documento técnico de instalación existen varios modos de monitorización, para este caso se realizará la instalación de la figura 31.

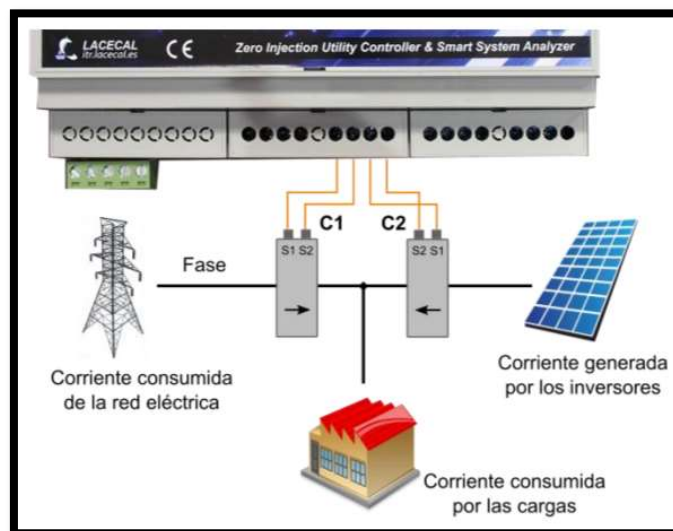


Figura 31: modo de conexión del gestor de autoconsumo e inyección cero [18]

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

3.2.5 Toma de tierra

De acuerdo con el fabricante, los paneles solares se conectarán a la red equipotencial mediante pinzas específicas atornilladas a cada panel, en el agujero destinado para dicho fin en el marco de este. En la figura 32, facilitada por el fabricante, se puede observar el modo de montaje, así mismo, el agujero queda marcado con el símbolo de la toma de tierra para su fácil reconocimiento.

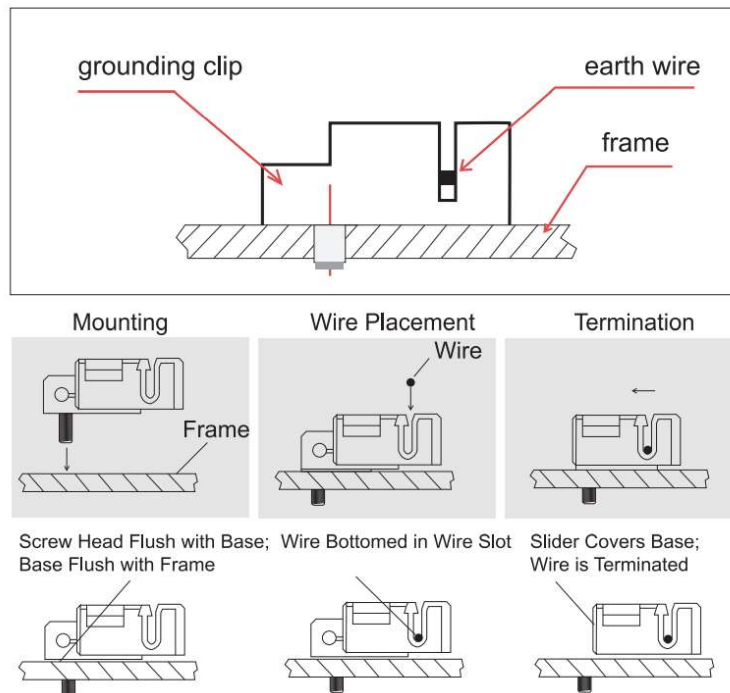


Figura 32: modo de montaje de las pinzas de conexión de paneles a la red equipotencial. [17]

La pinza se atornilla al marco, a continuación, se introduce el cable en el espacio destinado para ello y se desliza la pinza para asegurar el cable. De este modo el módulo queda conectado a la red equipotencial. Así como las piezas que lo sujetan a la cubierta.

Posteriormente, el conductor se lleva hasta el inversor donde se introduce en la conexión destinada para ello.

Finalmente, del inversor saldrá el cable de toma de tierra que ira conectada a la toma de tierra pertinente.

Esta toma de tierra no debe ser la misma que la toma de la empresa distribuidora, tal y como se indica en la normativa vigente.

La toma de tierra se compondrá de 4 picas de 2 m de longitud en configuración de cuadrado, con una distancia mínima entre ellas de 2,3 m. estos componentes se conectarán en paralelo entre sí.

Finalmente, el cable normalizado es de cobre de 35 mm² de sección.

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

3.3 Justificación económica

A continuación, se definirá el coste de inversión y la generación de energía de la instalación durante su vida útil. Con esta información se procederá al cálculo de marcadores económicos para definir y justificar la viabilidad económica del proyecto.

3.3.1 cálculo de la inversión

Los costes de la inversión corresponden a la realización y puesta en marcha de la instalación fotovoltaica para autoconsumo.

La información de precios se ha obtenido por medio de un generador de precios disponible en internet, [8]. Este software ha sido diseñado para arquitectura, ingeniería y construcción.

Los términos del presupuesto son los que siguen:

- Instalación y conexión del sistema generador. Estos son, la instalación de los paneles, su conexión en strings, y la conexión de estos al inversor.
- Instalación y puesta en marcha del inversor. Donde se incluye el tendido de cableado hasta el punto de frontera, así como la puesta a tierra.
- Costes por obra civil, donde se incluye la mano de obra, la maquinaria que se requiera, los sistemas de seguridad durante la instalación, y las zanjas para la canalización de cableado y la puesta a tierra.
- los costes de operación y mantenimiento anuales, que se estiman en 300€/año, y según el fabricante los paneles tienen una vida útil de 25 años.
- Se añade un porcentaje del 5% para contingencias imprevistas.

El contante resultante del presupuesto asciende a los 26.348,19 €. El detalle del presupuesto de la instalación se encuentra más adelante en el apartado destinado para ello.

Finalmente, en las ayudas económicas disponibles en el IVACE se encuentra una ayuda de hasta 750 €/kW instalado para este tipo de instalación. Por ello, para la potencia instalada se podría obtener una ayuda económica de hasta 24.750 €, que se percibe después de realizar la instalación y demostrar su normal funcionamiento durante un año. En consecuencia, la ayuda podría percibirse después del periodo de amortización.

3.3.2 estimación de la facturación sin generación fotovoltaica

Como se ha mostrado en el estudio energético sin calefacción eléctrica, el consumo anual medio de la granja es de 34958 kWh, facturando 4596,92 € en 2020. Aunque, debido al cambio tarifario que se hizo efectivo el 1 de junio 2021, anunciado hace dos años por la [7], la facturación de la granja ha cambiado.

Debido a que la actividad de la granja tiene carácter cíclico, es difícil realizar cambios horarios o de hábitos de consumo de tal modo que el cambio tarifario tenga poco impacto en la facturación. Por ejemplo, siendo el mes más desfavorable agosto, por la necesidad de usar los ventiladores para evacuar el calor del interior, es evidente que durante las horas de más calor no se puede prescindir de

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

estos equipos de climatización, y dichas horas coinciden con los periodos de pico y llano, por lo que esa energía se factura a precio máximo. En cambio, por la noche se hace un consumo mínimo de electricidad, cuando el precio está en periodo valle.

mes	P1(kWh)	P2(kWh)	total (kWh)	Total (€)
ene	410	545	955	183,47
feb	1736	1502	3238	475,82
mar	484	642	1126	199,02
abr	1878	1990	3868	513,49
may	634	669	1303	223,45
jun	1966	1893	3859	542,01
jul	1582	1823	3405	479,15
ags	3110	2937	6047	828,07
sep	1322	1426	2748	425,18
oct	909	933	1842	297,44
nov	1636	1775	3411	493,58
dic	1439	1717	3156	449,72

Tabla 27: facturación mensual año 2020

En la tabla 27 se muestra la facturación mensual del año modelo 2020, esta es una tabla similar a la 2 añadiendo el dato económico. La modificación más destacable en la actualidad es el hecho de que no existen 2 sino 3 periodos.

Para realizar una estimación del incremento de facturación primero se realizará la separación del año tipo en 3 periodos. Como se observa en la tabla 27 el consumo se reparte de manera más o menos homogénea entre los 2 periodos, es decir, el consumo diario es constante mes a mes. por otro lado, hay que tener en cuenta que durante la noche el consumo decrece y este hecho si será representativo para el paso a 3 periodos. En conclusión, se estima que el consumo será mayor en los periodos diurnos y menor en el nocturno, así mismo los 2 periodos diurnos tendrán una distribución más o menos igual en consumo.

Para estimar el consumo en cada periodo se asigna un porcentaje de consumo a cada periodo según los criterios anteriormente mencionados y para un día de consumo medio del mes más desfavorable (agosto; tabla 27) obteniendo la siguiente tabla de porcentajes:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
NOCHE							DIA										NOCHE						

Tabla 28: reparto de horas según periodos de facturación, porcentaje de horas para el día y la noche (fuente propia)

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

En la tabla 28 se observa para un día de verano las horas de día y de noche, y a su vez se obtiene para este reparto la tabla 29:

	horas		consumo		diario kWh	mensual kWh
DIA	71%	80%	P1	40%	78,026	2418,8
			P2	40%	78,026	2418,8
NOCHE	29%	20%	P3	20%	39,013	1209,4
					total	6047

Tabla 29: separación de consumo por periodos de nueva tarifa.

Aplicando dichos porcentajes y los precios medios para cada periodo se obtiene la tabla 30, donde se muestran los consumos mensualizados por periodo y su precio en la factura, sin contar con los términos fijos:

mes	P1 (kWh)	P2 (kWh)	P3 (kWh)	Total (€)
ene	382,0	382,0	191,0	386,0
feb	1295,2	1295,2	647,6	1167,2
mar	450,4	450,4	225,2	441,8
abr	1547,2	1547,2	773,6	1363,2
may	521,2	521,2	260,6	506,3
jun	1543,6	1543,6	771,8	1372,9
jul	1362,0	1362,0	681,0	1209,4
ags	2418,8	2418,8	1209,4	2121,2
sep	1099,2	1099,2	549,6	1008,9
oct	736,8	736,8	368,4	690,5
nov	1364,4	1364,4	682,2	1216,1
dic	1262,4	1262,4	631,2	1124,3

Tabla 30: consumo en los 3 periodos y facturación final después de aplicar termino fijo e impuestos

Los precios medios para cada periodo son de 0,24 €/kWh; 0,15 €/kWh; 0,11 €/kWh [24] respectivamente. En la tabla 30 ya se ha aplicado el termino de potencia, así como los cargos para el margen de la comercializadora y los impuestos. Dado que durante la realización del presente documento existe una tendencia ascendente del precio de la luz, el estado ha realizado una serie de ajustes temporales, que, como tal, no se tendrán en cuenta, debido a que eventualmente los cargos volverán a su normalidad.

Si se compara la tabla 27 y 30, la facturación aumenta de manera muy notable, en más del 50% de la facturación del año anterior en la mayoría de los meses.

3.3.3 consumos y generación

A continuación, con la distribución estimada de consumo en la tabla 28, se estudiará la producción de la instalación fotovoltaica. Con la herramienta europea PVGIS [19] se obtiene la figura 33 de generación eléctrica.

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

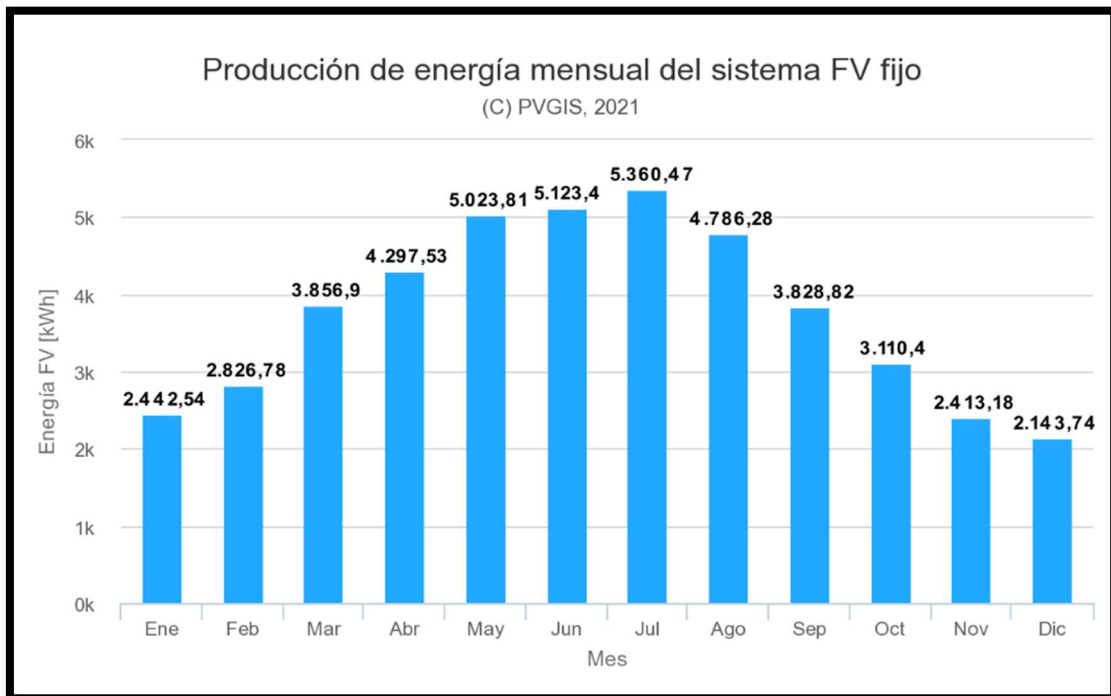


Figura 33: generación mensual de la instalación fotovoltaica [19]

mes	Generación FV (kWh)	Consumo (kWh)	Balance (kWh)
ene	2442,54	955	1487,54
feb	2826,78	3238	-411,22
mar	3856,9	1126	2730,9
abr	4297,53	3868	429,53
may	5023,81	1303	3720,81
jun	5123,4	3859	1264,4
jul	5360,47	3405	1955,47
ags	4786,	6047	-1261
sep	3828,82	2748	1080,82
oct	3110,4	1842	1268,4
nov	2413,18	3411	-997,82
dic	2143,74	3156	-1012,26

Tabla 31: balance de energía mensual medio

exceso	13937,87	kWh
déficit	-3682,3	kWh
balance anual	10255,57	kWh

Tabla 32: resumen anual balance de energía medio

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

Se puede observar que para el año modelo hay 4 meses durante los cuales el balance de generación es negativo, lo cual significa que dicha energía sería consumida de la red eléctrica se puede asociar al consumo nocturno, sobre todo por iluminación. Durante los otros 8 meses se produciría un exceso de energía que sería vertido a red para percibir una retribución por generación. Este comportamiento se da para el año modelo.

Esta retribución se percibirá en la misma factura mensual de la distribuidora, a modo de descuento, como se establece en la legislación de modalidad de autoconsumo con retribución simplificada.

El precio de retribución será acordado entre el cliente y la distribuidora, teniendo que ser este menor o igual al precio en zona valle. Este precio se considera de 0,04 €/kWh, como precio habitual en estos casos.

A continuación, se calcula la producción de energía estimada durante toda la vida útil de los paneles (tabla 33), para ello se asumirá que todos los años la producción es la misma menos el porcentaje de pérdida de eficiencia que el fabricante marca en la ficha técnica del panel fotovoltaico, la cual es del 0,6% anual.

Generación vida útil			
año	kWh	año	kWh
1	45213,57	14	41811,12
2	44942,29	15	41560,25
3	44672,63	16	41310,89
4	44404,6	17	41063,03
5	44138,17	18	40816,65
6	43873,34	19	40571,75
7	43610,1	20	40328,32
8	43348,44	21	40086,35
9	43088,35	22	39845,83
10	42829,82	23	39606,75
11	42572,84	24	39369,11
12	42317,41	25	39132,9
13	42063,5	total	1052578

Tabla 33: generación anual actualizada a la pérdida de eficiencia para la vida útil de la instalación

3.3.4 viabilidad económica

A continuación, se estudiarán marcadores económicos para comprobar de manera rigurosa la viabilidad del proyecto desde el punto de vista económico.

Los marcadores para emplear serán:

- rentabilidad del proyecto
- VAN

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

- TIR
- Retorno de la inversión

Rentabilidad del proyecto

Par estimar la rentabilidad se usará el LCOE, que es un método para comparar distintas tecnologías de generación. ha sido utilizado por analistas para evaluar las opciones tecnológicas competitivas en el mercado eléctrico. EL LCOE entrega los pagos necesarios según una producción de energía que permiten recuperar la inversión. El monto entregado representa en euros el costo del MWh de construir y operar una planta de generación en un tiempo determinado.

Se hace uso de la fórmula para calcularlo:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad (9)$$

I_t : coste de inversión en el año 0.

M_t : costes de operación y mantenimiento anuales.

F_t : coste de combustible anual.

r : tasa de descuento (4%)

E_t : energía generada anual (kWh)

n : vida útil de la instalación

habiendo determinado anteriormente todas estas variables, se procede al cálculo del LCOE mostrado en la tabla 34:

año	Generación (kWh)	Costes anuales (€)	costes actualizados (€)	energía anual actualizada (kWh)
0	0	26348,196	26348,20	0,00
1	45213,57	300	288,46	43474,59
2	44942,29	300	277,37	41551,67
3	44672,63	300	266,70	39713,81
4	44404,6	300	256,44	37957,24
5	44138,17	300	246,58	36278,36
6	43873,34	300	237,09	34673,74
7	43610,1	300	227,98	33140,09
8	43348,44	300	219,21	31674,28
9	43088,35	300	210,78	30273,30
10	42829,82	300	202,67	28934,29
11	42572,84	300	194,87	27654,51
12	42317,41	300	187,38	26431,33
13	42063,5	300	180,17	25262,25

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

14	41811,12	300	173,24	24144,88
15	41560,25	300	166,58	23076,93
16	41310,89	300	160,17	22056,22
17	41063,03	300	154,01	21080,66
18	40816,65	300	148,09	20148,25
19	40571,75	300	142,39	19257,07
20	40328,32	300	136,92	18405,32
21	40086,35	300	131,65	17591,24
22	39845,83	300	126,59	16813,16
23	39606,75	300	121,72	16069,50
24	39369,11	300	117,04	15358,74
25	39132,9	300	112,54	14679,41
total (€)			31034,82	665700,83
LCOE (€/kWh)			0,046620	

Tabla 34: cálculo de LCOE para la vida útil de la instalación

Se obtiene un valor de 46,62 €/MWh que entra dentro de los valores estándar para el año modelo.

VAN

El VAN, o valor actual neto, es un criterio de inversión que consiste en actualizar los flujos de caja futuros (cobros y pagos). Es decir, traer al presente los flujos de caja esperados, descontándolos a un tipo de interés determinado. Así, el VAN expresará una medida de rentabilidad de un proyecto en términos absolutos.

Para calcularlo se hace uso de la fórmula 10:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+r)^t} \quad (10)$$

I_t : coste de inversión en el año 0.

F_t : flujos de caja para el año dado.

r: tasa de descuento (4%)

n: vida útil de la instalación

los flujos de caja se calculan como la diferencia entre los gastos anuales, los cuales se limitan a OyM (tabla 34; columna 3) restados a los ingresos. Al ser una instalación de autoconsumo y no una instalación de vertido a red se estimarán los ingresos como la energía no facturada anualmente más las retribuciones percibidas por excedentes calculadas en la tabla 35.

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

año	Generación (kWh)	ingresos (€)	gastos (€)	flujos de caja actualizados (€)
0	0	0	26348,20	-26348,20
1	45213,57	12421,05	288,46	11665,95
2	44942,29	11943,32	277,37	10785,83
3	44672,63	11483,96	266,70	9972,11
4	44404,60	11042,27	256,44	9219,77
5	44138,17	10617,57	246,58	8524,20
6	43873,34	10209,20	237,09	7881,10
7	43610,10	9816,54	227,98	7286,52
8	43348,44	9438,98	219,21	6736,80
9	43088,35	9075,94	210,78	6228,55
10	42829,82	8726,87	202,67	5758,64
11	42572,84	8391,22	194,87	5324,19
12	42317,41	8068,48	187,38	4922,51
13	42063,50	7758,15	180,17	4551,14
14	41811,12	7459,76	173,24	4207,78
15	41560,25	7172,85	166,58	3890,33
16	41310,89	6896,97	160,17	3596,83
17	41063,03	6631,70	154,01	3325,47
18	40816,65	6376,64	148,09	3074,59
19	40571,75	6131,38	142,39	2842,63
20	40328,32	5895,56	136,92	2628,17
21	40086,35	5668,81	131,65	2429,89
22	39845,83	5450,78	126,59	2246,57
23	39606,75	5241,13	121,72	2077,08
24	39369,11	5039,55	117,04	1920,38
25	39132,90	4845,72	112,54	1775,50
total	1052578,01	201804,39	31034,82	80176,13

Tabla 35: cálculo del valor actual neto

El VAN calculado indica un valor positivo de 80.176,13 €, que refleja un beneficio respecto a la inversión actual muy elevado, al final de la vida útil de la instalación.

TIR

La TIR se calcula a partir del VAN. Concretamente la TIR es la tasa de descuento en la fórmula del VAN que anteriormente hemos expresado. Para su cálculo, llevamos el VAN a cero.

Cuanto más alta sea la TIR de una inversión en un proyecto, más deseable será la inversión. Lo más razonable es comparar la TIR con un coste de oportunidad (r). Cada inversor se marcará su coste de oportunidad. Cuando la TIR sea superior a este coste de oportunidad marcado por el inversor, la inversión tendrá sentido económico. En este caso r es la tasa de descuento del 4% anteriormente establecida.

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

Para resolver la incógnita $r=k$ en la fórmula 10 cuando esta adquiere un valor cero se usa la herramienta *solver* que puede encontrarse en el programa de cálculo Excel, de Microsoft. Se obtiene un valor del 19%.

Este valor es indicativo de que la instalación es muy rentable según los términos establecidos anteriormente.

Retorno de la inversión

Como ultimo indicador económico del proyecto hay que determinar cuál será el retorno de la inversión, es decir, a partir de qué año se recupera la inversión inicial y por tanto se amortiza la inversión.

Tomando los valores de generación y gastos en la tabla 35 se construye la tabla 36:

año	Generación (kWh)	ingresos (€)	gastos (€)	balance neto
0	0,00	0,00	-26348,20	-26348,20
1	45213,57	12421,05	-288,46	-14215,60
2	44942,29	11943,32	-277,37	-2549,65
3	44672,63	11483,96	-266,70	8667,61
4	44404,60	11042,27	-256,44	19453,44
5	44138,17	10617,57	-246,58	29824,43
6	43873,34	10209,20	-237,09	39796,54
7	43610,10	9816,54	-227,98	49385,10
8	43348,44	9438,98	-219,21	58604,87
9	43088,35	9075,94	-210,78	67470,04
10	42829,82	8726,87	-202,67	75994,23
11	42572,84	8391,22	-194,87	84190,58
12	42317,41	8068,48	-187,38	92071,68
13	42063,50	7758,15	-180,17	99649,66
14	41811,12	7459,76	-173,24	106936,18
15	41560,25	7172,85	-166,58	113942,45
16	41310,89	6896,97	-160,17	120679,24
17	41063,03	6631,70	-154,01	127156,93
18	40816,65	6376,64	-148,09	133385,48
19	40571,75	6131,38	-142,39	139374,47
20	40328,32	5895,56	-136,92	145133,11
21	40086,35	5668,81	-131,65	150670,27
22	39845,83	5450,78	-126,59	155994,46
23	39606,75	5241,13	-121,72	161113,87
24	39369,11	5039,55	-117,04	166036,38
25	39132,90	4845,72	-112,54	170769,57

Tabla 36: balance neto de la instalación.

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

En la figura 34 se puede observar los flujos de caja a lo largo de la vida útil:

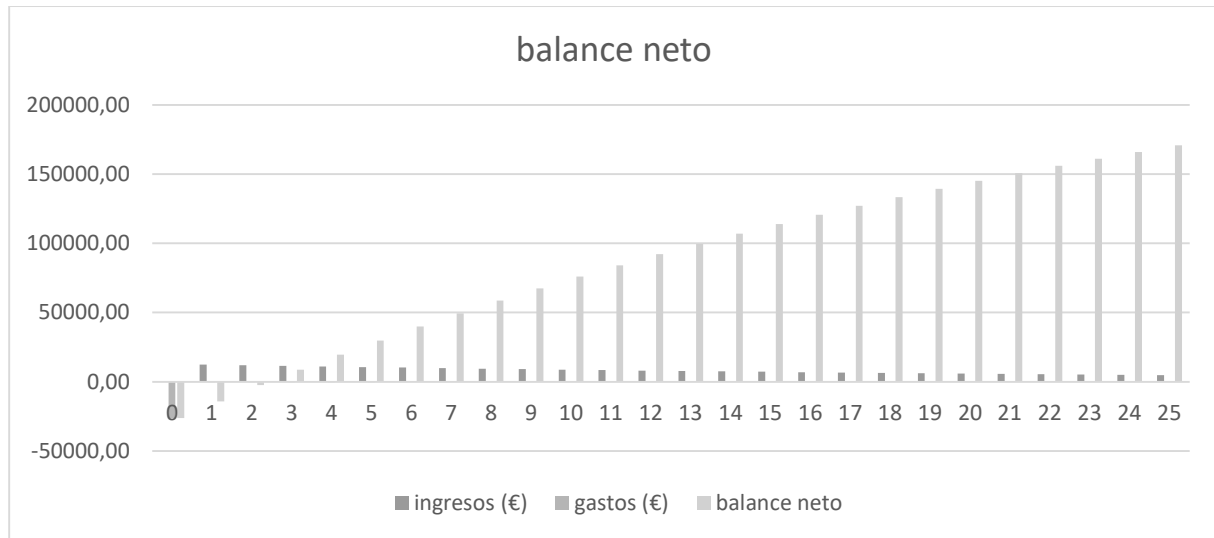


Figura 34: ingresos, costes y balance neto

El retorno de la inversión se produce entre el año 2 y tres, percibiéndose beneficio a partir de este último. El motivo de este retorno tan reducido es debido a que se han tenido en cuenta en los ingresos la cantidad de dinero que no se facturará por realizar el autoconsumo, además se tiene en cuenta la retribución por el excedente.

3.4 Justificación ecológica

Para finalizar la memoria cabe mencionar cual será el impacto ecológico de la instalación, ya que cada vez más, la transición ecológica se ha convertido en un factor determinante en todos los proyectos que se quieran desempeñar. Este hecho ocasiona que existan ayudas a fondo perdido que provienen directamente de la unión europea. A este efecto se puede consultar la página web del IVACE, donde al buscar ayudas al autoconsumo de energía renovable se encuentra que para una instalación como la del presente documento se otorgan 750 €/kW, lo cual es una cantidad más que notable.

Desde el punto de vista legislativo se están realizando diferentes acciones que apuntan a este tipo de pensamiento, empezando por la creación del ministerio de transición ecológica y reto demográfico, o como es la ley 7/2021 del 20 de mayo de cambio climático y transición energética.

Como se ha mencionado anteriormente una granja de crianza de pollos tiene múltiples factores que se deben considerar para realizar una transición ecológica correcta, que se salen del mero consumo de energía, pero no se hablará de ellos en este documento.

Los marcadores ecológicos que pueden considerarse, de momento, para justificar la eficacia ecológica del proyecto quedan expuestos en la tabla 37, siendo el factor de paso actualizado de 0,357 kCO₂/kWh, valor obtenido en el documento gubernamental "FACTORES DE EMISIÓN DE CO₂ Y COEFICIENTES DE

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

PASO A ENERGÍA PRIMARIA DE DIFERENTES FUENTES DE ENERGÍA FINAL CONSUMIDAS EN EL SECTOR DE EDIFICIOS EN ESPAÑA” incluido en el RITE, de 2016.

producción anual (MWh)	45,213
t CO2 evitadas	16,141
árboles equivalentes	734

Tabla 37: marcadores ecológicos

Siendo actualmente la cantidad de CO₂ un indicador muy usado, y su equivalente en arboles una buena forma de mostrar de manera más sencilla el impacto de la instalación, se presentan dichos datos en la tabla 37.

Capítulo 4: Conclusiones

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

4.1 Resumen del proyecto

A continuación, se muestra un resumen de los factores más importantes del proyecto en la tabla 38:

Potencia instalada	33 kWp
Generación anual	45,213 MWh
Emisiones evitadas	16,141 tCO ₂
Inversión	26.348,20 €
VAN	80.176,13€
TIR	19%
Retorno de la inversión	2,17 años
Vida útil	25 años

Tabla 38: resumen del proyecto

El proyecto es susceptible de percibir subvenciones gubernamentales, tales como la ayuda a la generación y autoconsumo de energías renovables del IVACE, con el fin de contribuir a alcanzar la cuota de consumo final bruto de energía procedente de fuentes renovables establecidos en el artículo 3 de la Directiva (UE) 2018/2001, de 11 de diciembre.

4.2 Conclusiones

Finalmente, de este proyecto se desprenden las siguientes conclusiones:

- La instalación proyectada es viable tanto técnica como económicamente, haciendo uso de tecnologías presentes hoy en día.
- El potencial de estas tecnologías en los sectores rurales es elevado ya que comparten la necesidad de extensiones de terreno considerables, siendo idónea la combinación de ambas.
- El cambio tarifario realizado en España apremia al cambio paulatino, aunque acelerado, hacia este tipo de consumo energético descentralizado, quedando demostrado en el aumento del término de la factura y el ahorro asociado al autoconsumo de la energía.
- Considerando la extensión completa de la cubierta de la granja se podrían llegar a instalar de manera estimada hasta 246kWp. Pudiendo llegar a satisfacer parte del consumo energético de la población más cercana, la Jana. Contribuyendo a un hipotético modelo de generación eléctrica descentralizada, en armonía con las nuevas tecnologías renovables y modelos de desarrollo sostenible.
- El impacto ecológico de este tipo de granjas, aunque no forme parte del alcance de este proyecto, se incluye en el marco del desarrollo sostenible, y como tal puede ser objeto de estudio para desarrollar modelos de ganadería totalmente sostenibles en consonancia con el estilo de vida actual.

PRESUPUESTO

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

partida	Grupo	N.º orden	Nombre	descripción	Precio €/u	Unidades (u)	Precio (€)
1	instalación de CC	1.1	Panel FV	marca JASOLAR; modelo JAM72S10 410W; (palets de 27 u) (dimensiones: 2015 x 996 x 40 mm)	176	81	14256
		1.2	Riel sujeción	riel de corta longitud para asegurar la sujeción del panel FV a la cubierta.	7	192	1344
		1.3	grapa A	grapa que sujeta un panel sin panel contiguo.	7	64	448
		1.4	grapa B	grapa que sujeta paneles contiguos	7	128	896
		1.5	pinza toma de tierra	pinza atornillada al marco de un panel encargada de conectarlo a la red equipotencial.	7	80	560
		1.6	conector MC4	conectores específicos para conectar los strings a la línea que conecta con el inversor	4	16	64
		1.7	conductor CC	2xPVC Cu (rojo positivo; negro negativo); u= 1 m CABLE SOLAR H1Z2Z2-K 4MM2	1,3	830	1079
		total					
2	instalación de CA	2.1	conductor CA	3xPVC Cu; u= 1 m	3	50	150
		2.2	inversor	dispositivo encargado de transformar la corriente continua generada en corriente alterna, (dimensiones: 930 x 550 x 283 mm)	2594	1	2594
		2.3	interruptor de mando	Interruptor en carga, tetrapolar (4P), intensidad nominal 125 A, tensión de aislamiento (Ui) 500 V	177,13	1	177,13
		2.4	protector contra sobre tensiones	dispositivo de protección	331,99	1	331,99
		2.5	fusibles tripolares	dispositivo de protección	50	1	50
		2.6	vatímetro	dispositivo de protección y control para la gestión del punto frontera de la instalación	939	1	939
		total					

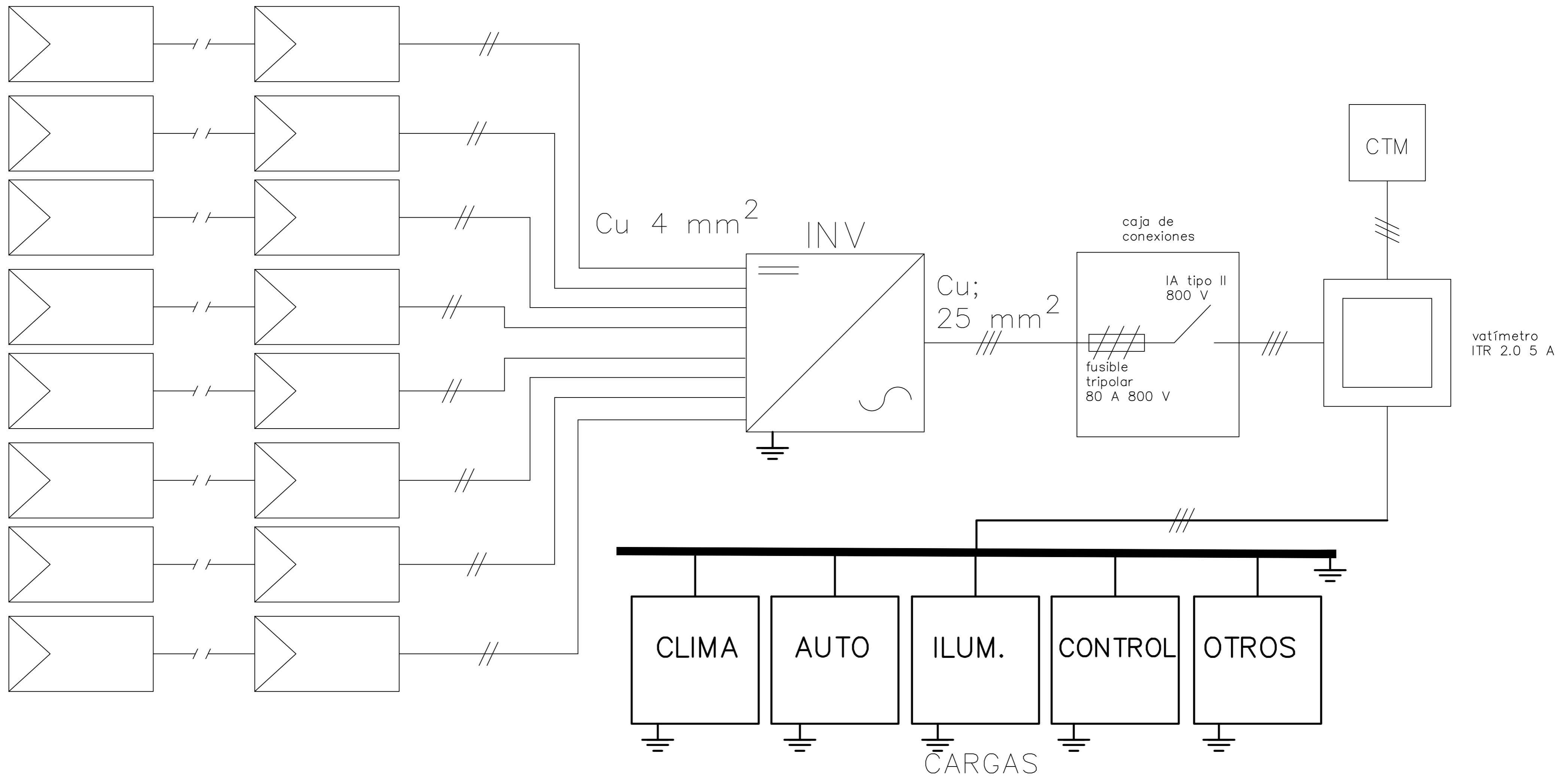
Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

partida	Grupo	N.º orden	Nombre	descripción	Precio €/u	Unidades (u)	Precio (€)
3	instalación de toma de tierra	3.1	conductor de tierra	conductor rojo y amarillo normalizado para toma de tierra; u= 1 m	3	80	240
		3.2	picas de tierra	pica de 2 m de longitud de Cu.	18	4	72
		total					
4	obra civil	4.1	oficial de 1ª	mano de obra, electricista, u= horas trabajo	19,96	40	798,4
		4.2	ayudante	mano de obra, electricista, u= horas trabajo	18	40	720
		4.3	ingeniería	comprenden maquinaria necesaria, EPI's, refuerzo de cubierta y zanja de toma de tierra	200	1	200
		4.4	gastos administrativos		174	1	174
		total					
total							25093,52
5	contingencias			gastos ligados a contingencias imprevistas	-	-	1254,676
total							26348,196

Tabla 39: presupuesto por partidas de la instalación fotovoltaica.

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

PLANOS



TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA



Miguel Safont Safont
Autor proyecto

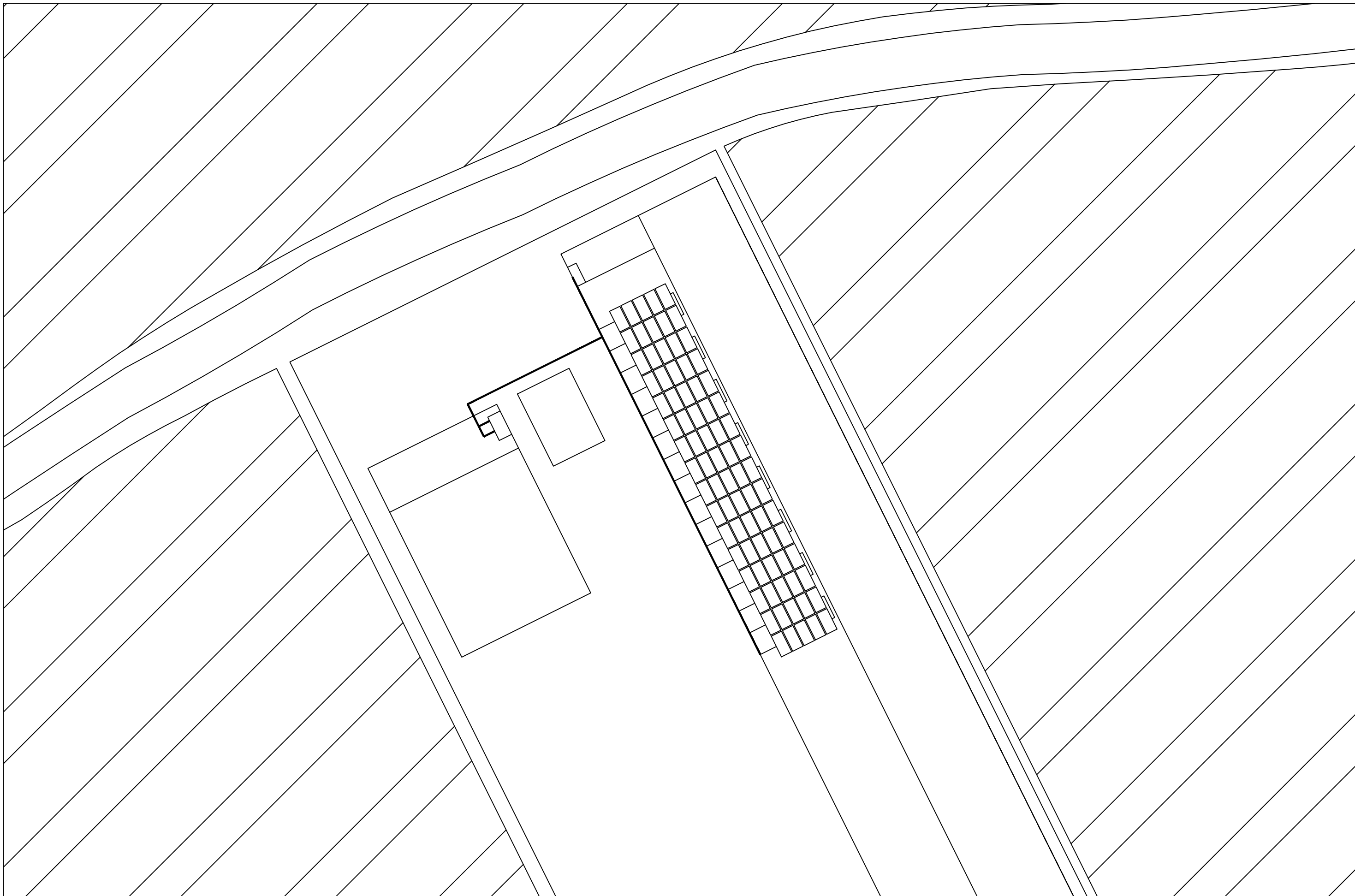
Proyecto: **DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE NUEVA PLANTA DIMENSIONADA PARA AUTOCONSUMO**

Fecha: febrero 2022

Escala: S/E

Nº Plano:

Esquema unifilar de la instalación eléctrica.



TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA DE
LA ENERGÍA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

Proyecto: *Diseño y desarrollo de una instalación
fotovoltaica de nueva planta dimensionada para
autoconsumo*

Plano: *Distribución en planta del generador fotovoltaico*

Autor:
Miguel Safont Safont

Fecha:
febrero 2022

Escala:
1:300

Nº Plano:

1

BIBLIOGRAFIA

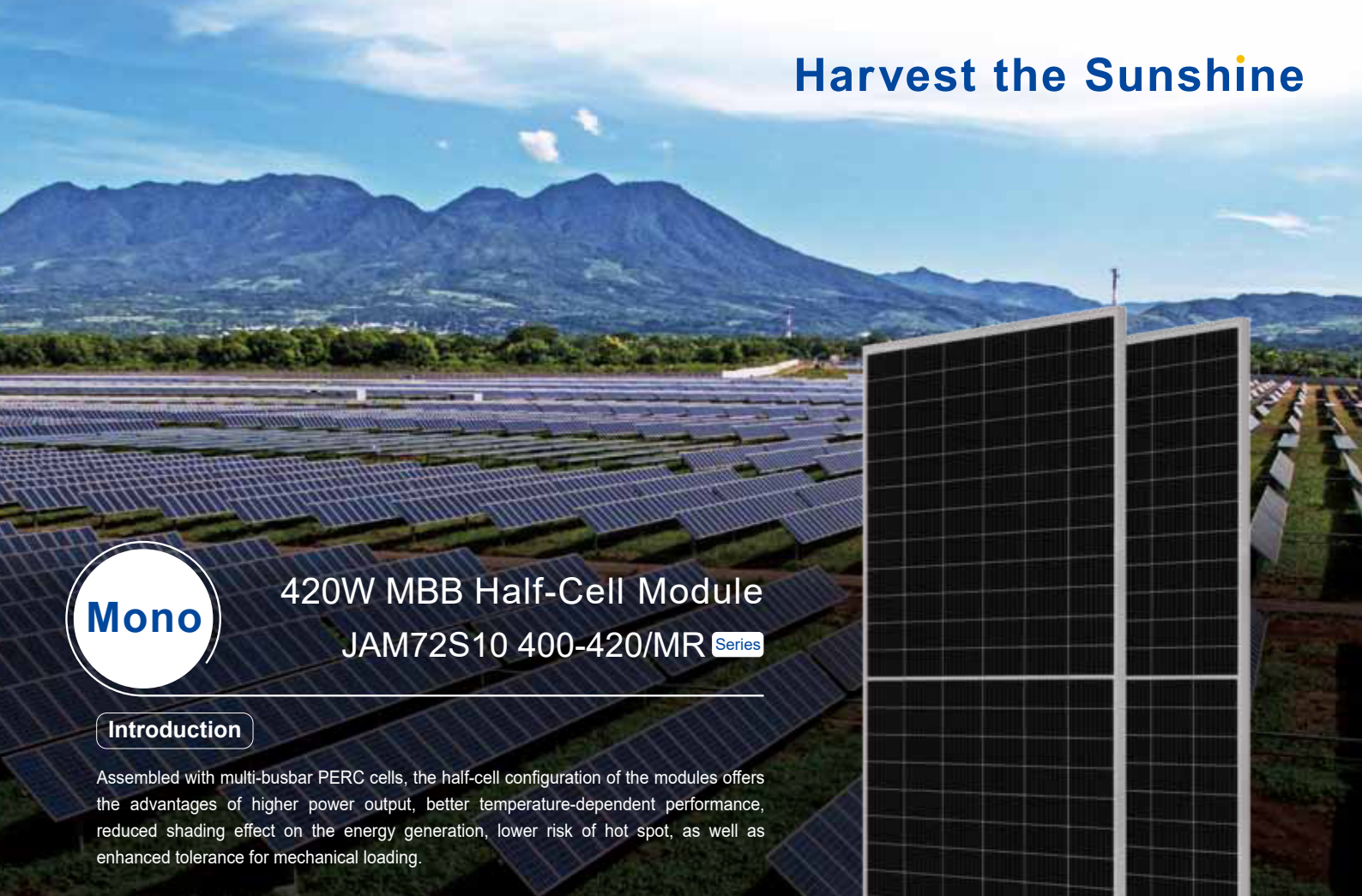
1. AEMET. (13 de octubre de 2021). *Agencia Estatal de Meteorología*. Obtenido de <http://www.aemet.es/es/portada>
2. al., J. Z. (2015). *Patente nº 97-103*.
3. Atersa shop. (s.f.). *atersa shop*. Recuperado el Septiembre de 2021, de <https://atersa.shop/como-funciona-una-celula-fotovoltaica/>
4. BOE. (17 de octubre de 2021). *Boletín Oficial del Estado (boe)*. Obtenido de <https://www.boe.es>
5. Britannica. (s.f.). Recuperado el Septiembre de 2021, de <https://www.britannica.com/science/photovoltaic-effect>
6. CENSOLAR. (2 de septiembre de 2021). *CENSOLAR*. Obtenido de www.censolar.org
7. CNMC. (27 de diciembre de 2021). *Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia*. Obtenido de <https://www.cnmc.es>
8. CYPE ingenieros S.A. (20 de 11 de 2021). *Generador de Precios España*. Obtenido de <http://www.generadordeprecios.info/>
9. Gobierno de España. (10 de noviembre de 2021). *Ministerio de Transición ecológica y el reto demográfico*. Obtenido de <https://energia.gob.es/electricidad/autoconsumo-electrico/Paginas/preguntas-frecuentes-autoconsumo.aspx>
10. HM - Sistemas. (1 de octubre de 2021). *hm sistemas - energía solar - calculadora de emisiones*. Obtenido de http://www.hmsistemas.es/shop/catalog/calculadora_hsp.php
11. HUAWEI. (6 de noviembre de 2021). *HUAWEI*. Obtenido de <https://solar.huawei.com/es/>
12. IDAE. (30 de octubre de 2021). *Guía técnica de condiciones climáticas exteriores de proyecto*. Obtenido de https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_12_Guia_tecnica_condiciones_climaticas_exteriores_de_proyecto_e4e5b769.pdf
13. IDAE. (22 de septiembre de 2021). *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red*. Obtenido de www.idae.es
14. IDEAM. (s.f.). *IDEAM*. Recuperado el Agosto de 2021, de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/la-radiacion-solar-y-su-paso-por-la-atmosfera>
15. International Energy Agency. (2 de septiembre de 2021). *International Energy Agency*. Obtenido de <https://www.iea.org>
16. IVACE. (12 de enero de 2021). *Generalitat Valenciana, institut valencià de competitivitat empresarial*. Obtenido de

Diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica de nueva planta dimensionada para autoconsumo en una granja de crianza avícola situada en la Jana, Castellón de la plana

https://www.ivace.es/index.php?option=com_content&view=category&id=404&Itemid=100454&lang=es

17. JAsolar. (10 de agosto de 2021). *JAsolar*. Obtenido de <https://www.jasolar.com/html/spanish/>
18. LACECAL. (1 de diciembre de 2021). *LACECAL*. Obtenido de <http://www.lacecal.es/nweb/index.php>
19. PVGIS. (2 de septiembre de 2021). *Comisión Europea PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM*. Obtenido de https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/#PVP
20. REBT. (15 de octubre de 2021). *ITC-BT-40*. Obtenido de http://www.uco.es/electrotecnia-etsiam/reglamentos/REBT/ITC_BT_40.pdf
21. REE. (8 de noviembre de 2021). *Red Eléctrica de España*. Obtenido de <https://www.ree.es/es>
22. Roger Folch, J., Riera Guasp, M., & Roldán Porta, C. (2021). *Tecnología Eléctrica*. Valencia: SINTESIS.
23. Rrodriguez Meza, M., & Cervantes-Cota, J. (s.f.). *Depto. De Física, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares*. Recuperado el Septiembre de 2021, de http://www.fisica.ru/2017/dfmg/teacher/archivos/efecto_fotoelectrico.pdf
24. Selectra. (27 de diciembre de 2021). *Tarifasgasluz by Selectra*. Obtenido de <https://tarifasgasluz.com/faq/clasificacion-tarifas-acceso-electricidad>
25. UPV, A. A. (2018). *Energía Fotovoltaica y Electrónica de Potencia*. Valencia.
26. Veterinaria Digital. (1 de agosto de 2021). *Veterinaria digital*. Obtenido de <https://www.veterinariadigital.com>

ANEJOS



Mono

420W MBB Half-Cell Module JAM72S10 400-420/MR Series

Introduction

Assembled with multi-busbar PERC cells, the half-cell configuration of the modules offers the advantages of higher power output, better temperature-dependent performance, reduced shading effect on the energy generation, lower risk of hot spot, as well as enhanced tolerance for mechanical loading.



Higher output power



Lower LCOE



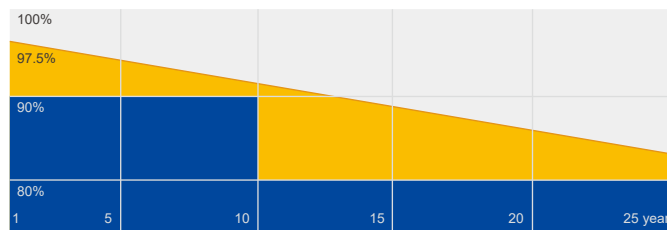
Less shading and lower resistive loss



Better mechanical loading tolerance

Superior Warranty

- 12-year product warranty
- 25-year linear power output warranty



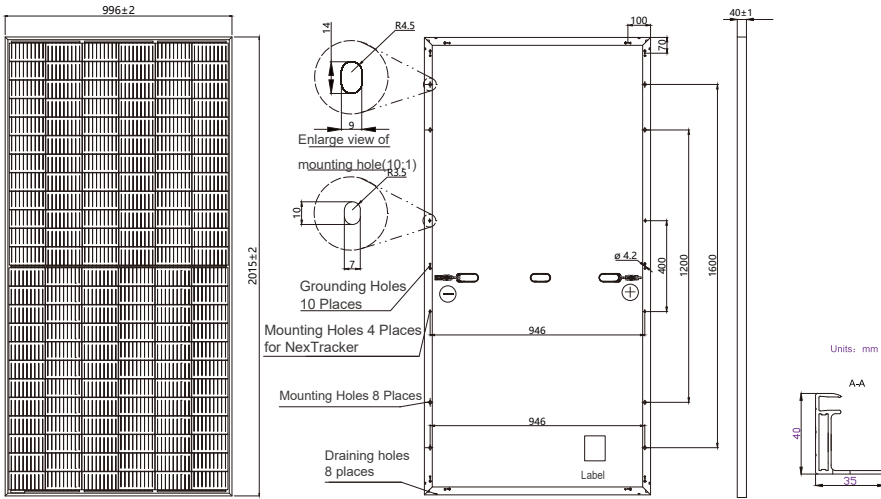
■ JA Linear Power Warranty ■ Industry Warranty

Comprehensive Certificates

- IEC 61215, IEC 61730
- ISO 9001: 2015 Quality management systems
- ISO 14001: 2015 Environmental management systems
- OHSAS 18001: 2007 Occupational health and safety management systems
- IEC TS 62941: 2016 Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Guidelines for increased confidence in PV module design qualification and type approval



MECHANICAL DIAGRAMS



Remark: customized frame color and cable length available upon request

SPECIFICATIONS

Cell	Mono
Weight	22.7kg±3%
Dimensions	2015±2mm×996±2mm×40±1mm
Cable Cross Section Size	4mm ²
No. of cells	144 (6×24)
Junction Box	IP68, 3 diodes
Connector	QC 4.10(1000V) QC 4.10-35(1500V)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 300mm(+)/400mm(-); Landscape: 1200mm(+)/1200mm(-)
Packaging Configuration	27 Per Pallet

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

TYPE	JAM72S10 -400/MR	JAM72S10 -405/MR	JAM72S10 -410/MR	JAM72S10 -415/MR	JAM72S10 -420/MR
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	400	405	410	415	420
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	49.58	49.86	50.12	50.41	50.70
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	41.33	41.60	41.88	42.18	42.47
Short Circuit Current(Isc) [A]	10.33	10.39	10.45	10.51	10.56
Maximum Power Current(Imp) [A]	9.68	9.74	9.79	9.84	9.89
Module Efficiency [%]	19.9	20.2	20.4	20.7	20.9
Power Tolerance	0~+5W				
Temperature Coefficient of Isc(α _{Isc})	+0.044%/°C				
Temperature Coefficient of Voc(β _{Voc})	-0.272%/°C				
Temperature Coefficient of Pmax(γ _{Pmp})	-0.350%/°C				
STC	Irradiance 1000W/m ² , cell temperature 25°C, AM1.5G				

Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer. They only serve for comparison among different module types.
*For NexTracker installations static loading performance: front load measures 2400Pa, while back load measures 2400Pa.

ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT

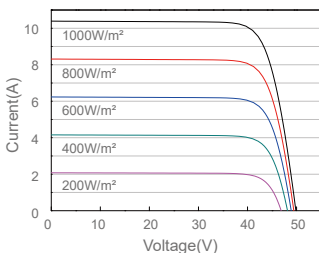
TYPE	JAM72S10 -400/MR	JAM72S10 -405/MR	JAM72S10 -410/MR	JAM72S10 -415/MR	JAM72S10 -420/MR
Rated Max Power(Pmax) [W]	302	306	310	314	318
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	46.41	46.66	46.91	47.16	47.38
Max Power Voltage(Vmp) [V]	38.65	38.90	39.16	39.41	39.60
Short Circuit Current(Isc) [A]	8.25	8.31	8.36	8.41	8.46
Max Power Current(Imp) [A]	7.81	7.87	7.92	7.97	8.03
NOCT	Irradiance 800W/m ² , ambient temperature 20°C, wind speed 1m/s, AM1.5G				

OPERATING CONDITIONS

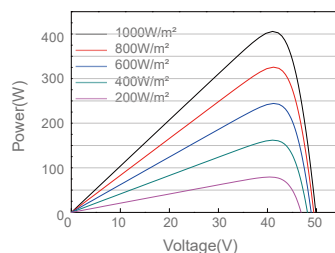
Maximum System Voltage	1000V/1500V DC(IEC)
Operating Temperature	-40°C~+85°C
Maximum Series Fuse	20A
Maximum Static Load,Front*	5400Pa
Maximum Static Load,Back*	2400Pa
NOCT	45±2°C
Application Class	Class A

CHARACTERISTICS

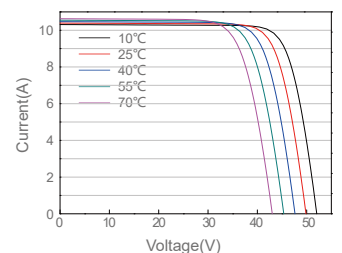
Current-Voltage Curve JAM72S10-405/MR



Power-Voltage Curve JAM72S10-405/MR



Current-Voltage Curve JAM72S10-405/MR



SUN2000-33KTL-A Smart String Inverter



Inteligente

Monitorización a nivel de string



Eficiente

Eficiencia máxima del 98,6 %



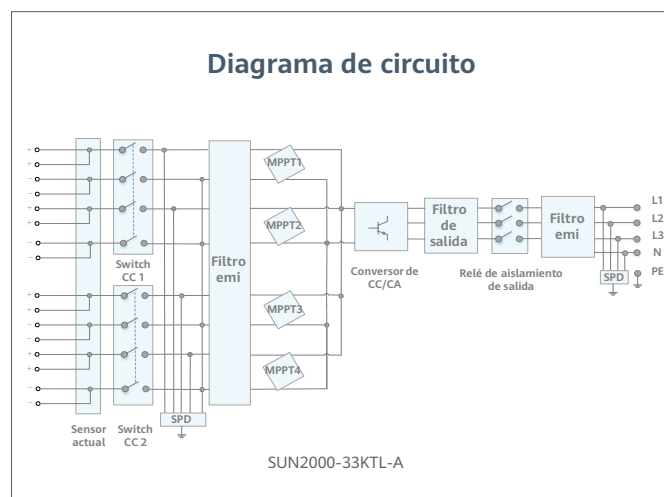
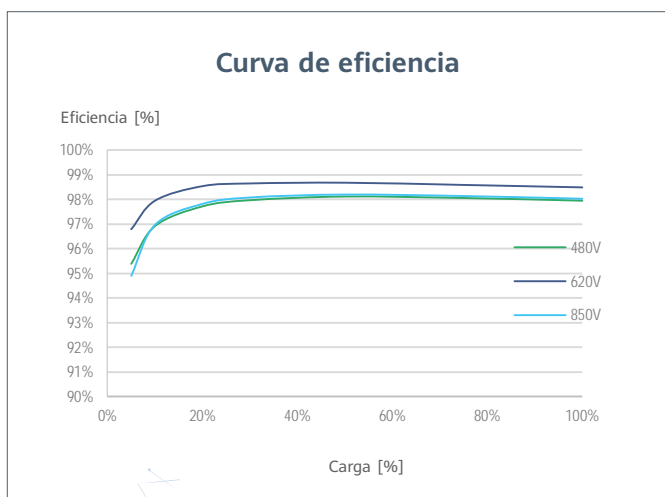
Seguro

Diseño sin fusibles



Confiable

Descargadores de sobretensión tipo II de CC y CA



Especificaciones técnicas	SUN2000-33KTL-A
Eficiencia	
Máxima eficiencia	98.6%
Eficiencia europea ponderada	98.4%
Entrada	
Tensión máxima de entrada ¹	1,100 V
Corriente de entrada máxima por MPPT	22 A
Corriente de cortocircuito máxima	30 A
Tensión de arranque	250 V
Tensión de funcionamiento MPPT ²	200 V ~ 1,000 V
Tensión nominal de entrada	620 V
Cantidad de MPPTs	4
Cantidad máxima de entradas por MPPT	2
Salida	
Potencia activa	30,000 W
Max. Potencia aparente de CA	33,000 VA
Max. Potencia activa de CA	30,000 W
Tensión nominal de salida	230 V / 400 V, 3W + N + PE;
Frecuencia nominal de red de CA	50 Hz / 60 Hz
Intensidad nominal de salida	43.3 A
Max. intensidad de salida	48 A
Factor de potencia ajustable	0,8 capacitivo ... 0,8 inductivo
Distorsión armónica total máxima	< 3%
Protecciones	
Dispositivo de desconexión del lado de entrada	Sí
Protección anti-isla	Sí
Protección contra sobreintensidad de CA	Sí
Protección contra polaridad inversa CC	Sí
Monitorización a nivel de string	Sí
Descargador de sobretensiones de CC	Type II
Descargador de sobretensiones de CA	Type II
Detección de resistencia de aislamiento CC	Sí
Monitorización de corriente residual	Sí
Comunicación	
Display	Indicadores LED, Bluetooth + APP
RS485	Sí
USB	Sí
Monitorización de BUS (MBUS)	Sí (transformador de aislamiento requerido)
Datos generales	
Dimensiones (W x H x D)	930 x 550 x 283 mm
Peso (incluida ménsula de montaje)	62 kg
Rango de temperatura de operación	-25 °C ~ 60 °C
Enfriamiento	Convección natural
Max. Altitud de operación	4,000 m
Humedad de operación relativa	0 ~ 100%
Conector CC	Amphenol Helios H4
Conector CA	Terminal PG impermeable + conector OT
Grado de protección	IP65
Topología	Sin transformador
Consumo de energía durante la noche	< 2.5 W
Cumplimiento de estándares (más opciones disponibles previa solicitud)	
Seguridad	EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, IEC 62116
Estándares de conexión a red eléctrica	IEC 61727, VDE-AR-N-4105, VDE 0126-1-1, BDEW, G59/3, UTE C 15-712-1, CEI 0-16, CEI 0-21, RD 661, RD 1699, P.O. 12.3, RD 413, C10/11, EN 50438-Turkey, ABNT

¹ El voltaje de entrada máximo es el límite superior del voltaje de CC. Cualquier voltaje DC de entrada más alto probablemente dañaría el inversor.

² Cualquier voltaje de entrada de CC más allá del rango de voltaje de funcionamiento puede provocar un funcionamiento incorrecto del inversor.