



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA AISLADA PARA UNA GRANJA

Trabajo Final de Grado

Alumno: **Matellán Ríos, Javier**

Tutor: **Saiz Jiménez, Juan Ángel**

Dpto.: Departamento de Ingeniería Eléctrica

Titulación: Grado en Ingeniería Mecánica

SEPTIEMBRE DE 2018

UNIVERSIDAD POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

ÍNDICE

1.-MEMORIA.....	3
1.1.-RESUMEN Y OBJETIVO DEL PROYECTO	4
1.2.-JUSTIFICACIONES	5
1.2.1.-Justificación académica.....	5
1.2.2.-Justificaciones técnicas y económicas	5
1.3.-DESCRIPCIÓN GENERAL	6
1.3.1.-Titular y destinatario.....	6
1.3.2.-Situación y emplazamiento.....	6
1.3.4.-Maquinaria e instalaciones.	7
1.4.-POTENCIAS Y CONSUMOS.....	12
1.5.-ESTUDIO DEL CLIMA.....	16
1.6.-DESCRIPCIÓN DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA AISLADA	18
1.6.1.-Módulo fotovoltaico	18
1.6.2.-Regulador de carga	19
1.6.3.-Inversor	19
1.6.4.-Baterías	19
1.7.-CÁLCULO DE EQUIPOS FOTOVOLTAICOS	20
1.7.1.-Placas	20
1.7.2.-Reguladores	26
1.7.3.-Inversores.....	28
1.7.4.-Baterías	31
1.7.5.-Cableado	34
1.8.-PROTECCIÓN DE LA INSTALACIÓN	40
1.8.1.-Fusibles	40
1.8.2.-Toma a tierra.....	41
1.9.-DISPOSICIÓN Y COLOCACIÓN DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	42
1.9.1.-Sombra entre filas de paneles	44
1.9.2.-Superficie del tejado necesaria.....	45
2.-PRESUPUESTO	47
2.1.-COSTES POR COMPONENTE.....	48
2.1.1.-Módulos fotovoltaicos	48
2.1.2.-Regulador	48
2.1.3.-Inversores.....	48
2.1.4.-Baterías	48
2.1.5.-Cableado y protecciones.....	49



2.1.6.-Soportes y estructuras	50
2.1.7.-Caseta prefabricada	51
2.1.8.-Mano de obra.....	51
2.1.9.-Diseño	51
2.2.-COSTE INICIAL DE LA INSTALACIÓN	51
2.3.-COSTE WPICO Y KWH.....	53
3.-PLANOS	55



1.-MEMORIA

INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA AISLADA PARA UNA GRANJA

Alumno: **Matellán Ríos, Javier**

Tutor: **Saiz Jiménez, Juan Ángel**

Dpto.: Departamento de Ingeniería Eléctrica

Titulación: Grado en Ingeniería Mecánica

1.1.-RESUMEN Y OBJETIVO DEL PROYECTO

El objetivo del proyecto es realizar el cálculo de una instalación fotovoltaica aislada para el abastecimiento de energía de un galpón o nave avícola. Es decir, dotarla de energía eléctrica sin la necesidad de estar conectada a la red. La nave está situada en la localidad de Tarazona de la Mancha (Albacete).

Dicha granja está destinada al engorde de las aves hasta que son llevadas al matadero. Esta actividad se realiza durante todo el año, excepto dos o tres semanas consecutivas anualmente en las que la granja se vacía por completo y se realizan tareas de limpieza, desinfección y revisión a fondo de la maquinaria. Esta instalación alberga 15.000 aves por año.

El galpón consta de una nave principal y una oficina para llevar el control de la nave principal. La nave principal tiene unas dimensiones de 147x14m y la oficina de 3x10m, sumando en total 150x14m, por lo que su superficie es de 2100 m².

Una nave principal como nave de cría, de planta rectangular, con una altura aproximada en pilares de 2,40 metros, llegando en su punto álgido a 4 metros. Dichas alturas son iguales en la oficina.

El consumo eléctrico de la nave está destinado a luminarias, pequeños motores para el arrastre de comida, bombas de agua para el sistema de bebederos, aparatos para regular la temperatura y humedad del ambiente como calefactores, extractores murales o nebulizadores y un ordenador para el control de todas las anteriores. Resultando en total una potencia de 16,8 kW.



Figura 1. Interior de la nave principal.

Para ello se ha realizado un trabajo de campo, donde se han listado todos los receptores instalados, sus potencias y las horas aproximadas de uso. De manera que se ha llevado a cabo una estimación lo más cercana a la realidad de los consumos de estos receptores. Además, se dispone de las facturas eléctricas de todo el año 2015, lo que proporciona datos orientativos para una mejor aproximación al caso real.

También se realizará el estudio económico de la inversión necesaria, así como los costes del W pico y la energía.

Se han realizado los planos de la granja y los esquemas de instalación necesarios para la ejecución del proyecto.

Así mismo, se han elaborado los cálculos en un documento Excel encontrado en el anexo de "Cálculos" de los elementos fotovoltaicos (placas, reguladores, inversores, baterías, cableado...) de manera que asegurarán el correcto funcionamiento de la instalación. En ese documento también se encuentra el cálculo del presupuesto que conllevan tanto los elementos de la instalación como la instalación en sí misma, así como el precio por W pico y por kWh.

1.2.-JUSTIFICACIONES

1.2.1.-Justificación académica

Este Trabajo Final de Grado conlleva la finalización del Grado en Ingeniería Mecánica de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño.

Mi interés por este campo surge por la asignatura de Energía Solar Fotovoltaica, la cual sirve como inspiración y base para que siguiera inquiriendo más sobre este tema. Todo este interés finalmente desembocó en este proyecto, el cual propuse aunque no fuera de mi especialidad, debido a que me parece uno de los temas más interesantes que he abordado durante el grado.

1.2.2-Justificaciones técnicas y económicas

Cabe destacar que todos los equipos y precios forman parte del momento en el que se realiza el trabajo, si en un futuro se tuvieran que instalar unos equipos diferentes, se encontrarían unos equivalentes que sustituyeran a los anteriores. Indicando en todo caso en este documento cuáles se han sustituido y por cuáles.

Mediante la consulta a los diferentes fabricantes y empresas suministradoras del equipo necesario para este proyecto y gracias a su colaboración, se ha podido conocer cuáles son los precios reales de mercado de sus componentes.

Los equipos han sido escogidos básicamente por su relación calidad precio, respetando obviamente que se ajusten a las cifras necesarias que se han calculado para la instalación.

El estudio de la instalación se ha llevado a cabo teniendo en cuenta los máximos parámetros reales disponibles (consumos, número de receptores, ubicación...), con lo que el proyecto adquiere mayor veracidad.

1.3.-DESCRIPCIÓN GENERAL

1.3.1.-Titular y destinatario

El titular de la instalación es **Avimosa S.A. (Empresa)** con dirección fiscal en la localidad de **Tarazona de la Mancha (Albacete), Paraje (Viñas de Poca Sangre/PG36/Finca 88) Bajo.**

1.3.2.-Situación y emplazamiento

El terreno se encuentra situado en la población de Tarazona de la Mancha (Albacete) y tiene una superficie total de aproximadamente 35.600 m² de extensión. Está situado en una zona agrícola, en la carretera que une los pueblos de Tarazona de la Mancha y Quintanar del Rey (CM-220).

El terreno en cuestión es el delimitado por la línea blanca de la figura 1. Se aprecia que la orientación de la nave es prácticamente de norte a sur, detalle interesante que se comentará más adelante.

Vista aérea del terreno:



Figura 2. Situación general y orientación de la granja (toma extraída de Google Maps).

1.3.4.-Maquinaria e instalaciones.

Entre las instalaciones se encuentra una oficina, para realizar tareas administrativas y de gestión de la explotación.

También en dicha oficina tiene lugar un pequeño cuarto de aseo para los trabajadores de la granja.

Todos los aparatos de consumo de la instalación trabajan en **monofásica**.

Para la instalación de los dispositivos fotovoltaicos (reguladores, inversores y baterías) se construirá una **caseta prefabricada** adecuadamente ventilada a pocos metros de la pared que da al oeste de la granja. Esta caseta se situará lo más cercana posible al eje central del galpón con la intención de que sea equidistante a ambos extremos.

1.3.4.1.-Iluminación

Para un buen desarrollo del animal, es muy importante el factor lumínico, ya que su adecuado control, puede estimular y regular al pollo a comer y beber.

- En el interior se utilizará un tipo de lámparas fluorescentes de 18W de potencia que estarán trabajando las 24 horas del día. Este tipo de lámparas se utilizan tanto en la oficina como en el interior de la nave. La nave principal consta de 86 de las mismas mientras que la oficina dispone de cuatro lámparas, dejando un total de 90.

También se instalarían cuatro de este tipo de lámparas más en la caseta prefabricada con el fin de poder revisar el estado de los elementos fotovoltaicos también en horario nocturno. Estas luces también se incluirán en la previsión de cargas, aunque actualmente no estén instaladas

- En el exterior de la granja, sobre la puerta principal, se hallan dos lámparas de 11W.



Figura 3. Luz exterior.

1.3.4.2.- Ingesta sólida

El circuito de la comida se encarga de mantener los comederos siempre con comida, y consta del silo, tolva, motor de las tolvas, motores de las líneas de comederos, y las tuberías con un tornillo sin fin para el transporte del alimento y accesorios necesarios para hacer llegar la comida hasta los comederos. Podemos diferenciar dos tramos del circuito, el tramo donde la comida va del Silo a la Tolva, y el tramo donde la comida va de la tolva a través de las tuberías hasta los comederos. El circuito de alimentación se puede dividir en: Silo-Tolva y Tolva-Comedero.

- El sistema compuesto por Silo-Tolva es el tramo de circuito donde la comida va desde el silo que se encuentra en el exterior de la nave principal hasta la tolva que se encuentra en el interior. Requiere un motor de una potencia de 736W.
- Mientras que el sistema Tolva-Comedero es el tramo del circuito donde la comida va desde la tolva hasta el comedero donde las aves se alimentan. Consta de cuatro motores de 368W.



Figura 4. Motor de los comederos.

1.3.4.3.-Circuito de agua

Se pueden diferenciar entre dos circuitos de agua dentro de la nave: el circuito de bebederos y el del agua para el cuarto de aseo.

- La misión principal del **circuito de bebederos** es la de mantener siempre con agua los depósitos, está formado por una bomba de agua, depósitos, sensores de nivel y las correspondientes tuberías y accesorios hasta llegar a los bebederos. La bomba de agua se sitúa en el pozo y elevan el agua hasta los depósitos, mediante unos sensores de nivel que se encuentran tanto en el pozo como en los depósitos, de forma que cuando el nivel de agua baje por debajo del sensor, la bomba se pondrá en marcha hasta llenar el depósito.



Figura 5. Bomba de agua para los bebederos.

- El circuito del **cuarto de aseo** requiere también de otra bomba que abastece a los elementos allí localizados (váter, lavamanos...)



Figura 6. Bomba del cuarto de aseo.

Ambas bombas de 1100W de potencia.

1.3.4.4.-Ventilación y calefacción

- El circuito de ventilación está compuesto por cuatro extractores murales que procederán a la renovación del aire. Cada uno de estos elementos tiene una potencia de 450W.



Figura 7. Extractor mural.

- La granja también dispone de múltiples ventanas, algunas de las cuales cuentan con un sistema de elevadores automatizados que las abren y cierran si la temperatura no es la adecuada. Cada motor abre varias de las mismas, se requieren ocho motores de 300W:



Figura 8. Motor de las ventanas

- Los nebulizadores son un elemento crucial para controlar la temperatura y humedad en días de los meses más calurosos. A través de un proceso de atomización del agua, el aire consigue un efecto de enfriamiento en el ambiente. Hay cuatro de ellos repartidos por la granja y tienen una potencia de 800W cada uno:



Figura 9. Nebulizador

- Por otra parte, en meses de invierno, el animal (estresado por el frío) crece menos y tiene mayor susceptibilidad a las enfermedades. Por lo tanto, hay instalados seis calefactores a través de los cuáles la temperatura de la granja se ve controlada en meses de invierno. Los calefactores consumen 500W cada uno y tienen el siguiente aspecto:



Figura 10. Calefactor

1.3.4.5.-Control

- Gran parte de los aparatos mencionados anteriormente son controlados automáticamente por un ordenador que permite gestionar la ventilación, calefacción, iluminación y colabora en un control total en la granja, el cual tiene una potencia de 320W:



Figura 11. Ordenador

1.4.-POTENCIAS Y CONSUMOS

La previsión de cargas será la suma de las potencias de cada una de las distintas instalaciones existentes para el funcionamiento de la granja. La potencia prevista en las instalaciones de iluminación, ventilación, instalación hidráulica, el sistema de comida y circuito de control y automatización, lo podemos ver en el resumen de las potencias que se expone a continuación en la que se incluyen todas las máquinas mencionadas anteriormente:

TIPO	UNIDADES	POTENCIA UNITARIA (W)	POTENCIA TOTAL (W)
Ordenador	1	320	320
Motores Ventanas	4	600	2400
Extractores murales	4	450	1800

Motores comederos	4	368	1472
Motor silo	1	736	736
Fluorescentes	90	18	1620
Fluorescentes caseta	4	18	72
Luces exteriores	2	11	22
Bombas de agua	2	1100	2200
Nebulizadores	4	800	3200
Calefactores	6	500	3000
TOTAL			16842

Tabla 1. Potencias de los aparatos eléctricos.

Los kW totales de la instalación resultan alrededor de 16.8. Según los recibos, la potencia contratada era de 16.83 kW, lo que concuerda aproximadamente con nuestros cálculos, aunque algunos de los elementos no estén funcionando simultáneamente.

Las facturas del año 2015 de consumo eléctrico mes a mes junto con las horas estimadas de consumo de cada equipo para cada mes del año han sido proporcionadas por el titular de la granja, no obstante, solo servirán como orientación para nuestros cálculos. Los consumos y cálculos de Horas/día y kWh/mes han sido calculados en un documento Excel que se encuentra en el anexo “Cálculos” de este proyecto:

Horas/día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
<i>Ordenador</i>	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
<i>Motores Ventanas</i>	0	0	0	3	7	7	8	9	15	0	0	0
<i>Extractores murales</i>	1	2	8	9	14	15	17	19	23	3	3	0
<i>Motores comederos</i>	8	8	8	8	8	8	8	8	8	2	8	8
<i>Motor silo</i>	2	2	3	3	3	3	3	4	5	0,25	4	2
<i>Fluorescentes</i>	24	24	24	24	24	24	24	24	24	7	24	24
<i>Fluorescentes caseta</i>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
<i>Luces exteriores</i>	3	1	1	1	1	1	1	1	1	0,25	3	3
<i>Bombas de agua</i>	1	1	1	1	2	2	2	2	2	0,5	2	1
<i>Nebulizadores</i>	0	0	3	5	7	7	8	9	13	0	4	0
<i>Calefactores</i>	14	12	9	6	4	0	0	0	0	0,5	11	13

Tabla 2. Horas/día de cada aparato eléctrico

<i>kWh/mes(Aproximado)</i>	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
<i>Ordenador</i>	238,08	215,04	238,08	230,4	238,08	230,4	238,08	238,08	230,4	238,08	230,4	238,08
<i>Motores Ventanas</i>	0	0	0	216	520,8	504	595,2	669,6	1080	0	0	0
<i>Extractores murales</i>	55,8	100,8	446,4	486	781,2	810	948,6	1060,2	1242	167,4	162	0
<i>Motores comederos</i>	365,056	329,728	365,056	353,28	365,056	353,28	365,056	365,056	353,28	91,264	353,28	365,056
<i>Motor silo</i>	45,632	41,216	68,448	66,24	68,448	66,24	68,448	91,264	110,4	5,704	88,32	45,632
<i>Fluorescentes</i>	1205,28	1088,64	1205,28	1166,4	1205,28	1166,4	1205,28	1205,28	1166,4	351,54	1166,4	1205,28
<i>Fluorescentes caseta</i>	0,2232	0,2016	0,2232	0,216	0,2232	0,216	0,2232	0,2232	0,216	0,2232	0,216	0,2232
<i>Luces exteriores</i>	2,046	0,616	0,682	0,66	0,682	0,66	0,682	0,682	0,66	0,1705	1,98	2,046
<i>Bombas de agua</i>	68,2	61,6	68,2	66	136,4	132	136,4	136,4	132	34,1	132	68,2
<i>Nebulizadores</i>	0	0	297,6	480	694,4	672	793,6	892,8	1248	0	384	0
<i>Calefactores</i>	1302	1008	837	540	372	0	0	0	0	46,5	990	1209
TOTAL	3282,32	2845,84	3526,97	3605,2	4382,57	3935,19	4351,57	4659,58	5563,14	934,98	3508,6	3133,52

Tabla 3. kWh/mes de cada aparato eléctrico

La tabla anterior ha sido calculada multiplicando las horas/día por los W de cada elemento y por los días de cada mes. La suma da lugar al total consumido cada mes de forma estimada.

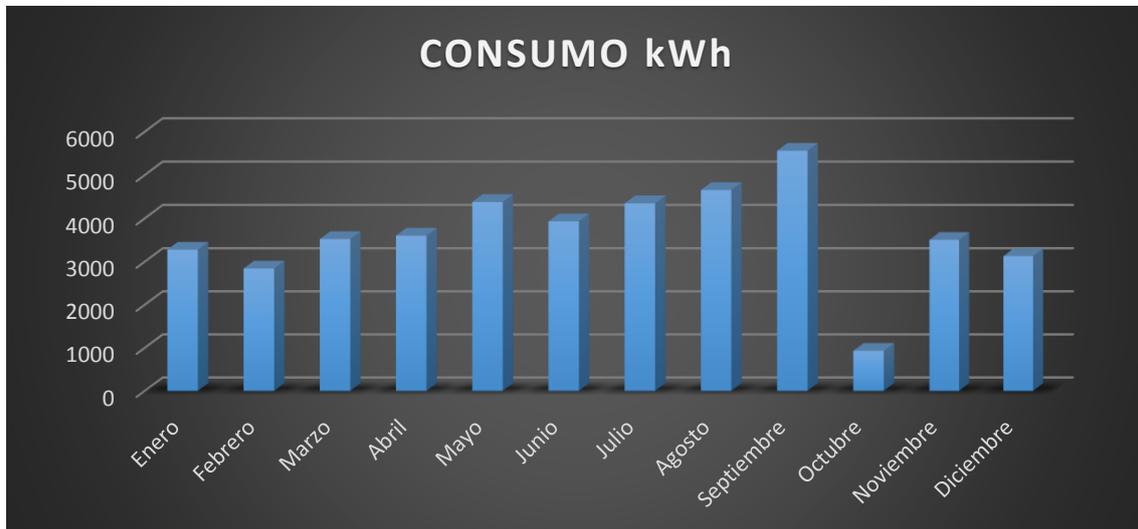


Figura 12. Consumo mensual en kWh.

En este apartado del proyecto se han tenido algunas consideraciones que deberían explicarse:

- El bajo consumo del mes de octubre se debe a que suele vaciarse completamente una vez al año la granja por motivos de limpieza, desinfección y revisión de maquinaria e instalaciones a fondo. El propietario afirma que, aun teniendo mucha menos actividad en la granja, dichas prácticas le hacen ahorrar mucho dinero al año (menos muertes de ejemplares, menos averías inesperadas...).
- Los consumos de cada mes han sido calculados de una forma lógica en relación al clima de la región, es decir, por ejemplo: enero tiene más horas de calefactor que abril y junio más horas al día de nebulizador y extractores murales que diciembre.
- Ya que en las facturas el mes con más consumo era septiembre se ha decidido que en los consumos aproximados también lo fuera.
- Todos los consumos aproximados son ligeramente mayores que los reales, para ponernos en el caso más desfavorable.

Dado que la potencia de la instalación es tan elevada la tensión de trabajo será de **48V**.

1.5.-ESTUDIO DEL CLIMA

La orientación del galpón es un factor importante. El galpón se encuentra localizado en la dirección norte-sur, esto es debido a que el eje longitudinal del galpón tiene que seguir la dirección del viento predominante.

La siguiente información sobre el clima de la provincia de Albacete ha sido obtenido mediante la fuente externa: Agencia Estatal de Meteorología.

“De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, el clima de Albacete es un clima semiárido de tipo BSk. Sin embargo, podríamos considerarlo también como un clima mediterráneo seco por su mínimo marcado de precipitaciones en verano, y con ciertos rasgos continentales debido a la altitud y a la relativa lejanía al mar, lo cual reduce una mayor amplitud térmica anual. La pluviometría es escasa y la temperatura presenta grandes variaciones, tanto entre estaciones como a lo largo del día. Los datos de la siguiente tabla son medias del periodo comprendido entre 1981 y 2010:

Parámetros climáticos promedio de observatorio de la Base Aérea de Albacete (702 msnm) (periodo de referencia: 1981-2010, extremas: 1939-2016)													
Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temp. máx. abs. (°C)	21.8	25.4	30.0	32.5	36.7	39.6	42.6	42.0	39.0	33.4	29.0	21.0	42.6
Temp. máx. media (°C)	10.5	12.5	16.3	18.4	22.8	29.1	33.2	32.3	27.0	20.6	14.5	10.9	20.7
Temp. media (°C)	5.2	6.8	9.8	11.9	16.1	21.4	25.0	24.6	20.3	14.8	9.2	6.0	14.3
Temp. mín. media (°C)	-0.2	1.0	3.3	5.4	9.2	13.8	16.9	16.8	13.5	8.9	4.0	1.2	7.8
Temp. mín. abs. (°C)	-24.0	-22.5	-10.4	-5.4	-1.0	3.0	7.5	5.0	1.0	-6.3	-8.4	-18.8	-24.0
Precipitación total (mm)	20.6	24.9	26.7	40.4	43.4	34.6	9.3	10.6	33.7	41.8	34.4	31.2	352.6
Días de precipitaciones (≥ 1 mm)	4.1	4.6	4.7	5.9	6.0	3.4	1.0	1.5	3.7	5.3	5.1	5.2	50.4
Días de nevadas (≥)	0.9	1.4	0.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.6	4.3
Horas de sol	153	165	217	241	271	318	358	325	253	201	152	134	2788
Humedad relativa (%)	77	71	63	60	55	49	44	49	59	70	76	80	63

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología

“

Tabla 4. Parámetros climáticos de la provincia de Albacete.

Se tendrán en cuenta los datos de la tabla anterior para cálculos posteriores en el apartado de “Baterías” por ejemplo para la elección de días de autonomía.

No obstante, los datos de radiación solar (con los que se trabajará) se obtendrán a partir de la base de datos del PVGIS para el pueblo de Tarazona de la Mancha. Dichos datos son los siguientes:

Lugar: 39°15'54" Norte, 1°54'46" Oeste, Elevación: 716 m.s.n.m,

Base de datos de radiación solar empleada: PVGIS-CMSAF

El ángulo de inclinación óptimo es: 35 grados

Mes	H_{opt}	$H(30)$	$H(60+15)$
Ene	3680	3530	4080
Feb	4820	4670	5090
Mar	5870	5790	5670
Abr	5970	6010	5930
Mayo	6360	6500	6720
Jun	6950	7160	7560
Jul	7470	7680	8040
Ago	7050	7140	7150
Sep	6240	6200	5860
Oct	5360	5230	5480
Nov	4050	3890	4420
Dic	3470	3310	3910
Año	5610	5600	5825

Tabla 5. Datos de radiación del PVGIS para Tarazona de la Mancha

Donde los valores de radiación están en las unidades de $Wh/m^2/día$, cuya conversión para trabajar con ellos se explicará más adelante.

Nótese que se ha añadido la combinación de las inclinaciones de 60º y 15º de las cuales se hablará más tarde en el apartado “Placas”.

1.6.-DESCRPCIÓN DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA AISLADA

Un sistema fotovoltaico o autónomo, se trata de un sistema que se autoabastece, ya que aprovecha la irradiación solar para generar la energía eléctrica que necesita. Sus principales componentes son los módulos fotovoltaicos, reguladores, inversores y baterías. La disposición de estos componentes se muestra en la figura X y se hará una breve explicación de su funcionamiento posteriormente.

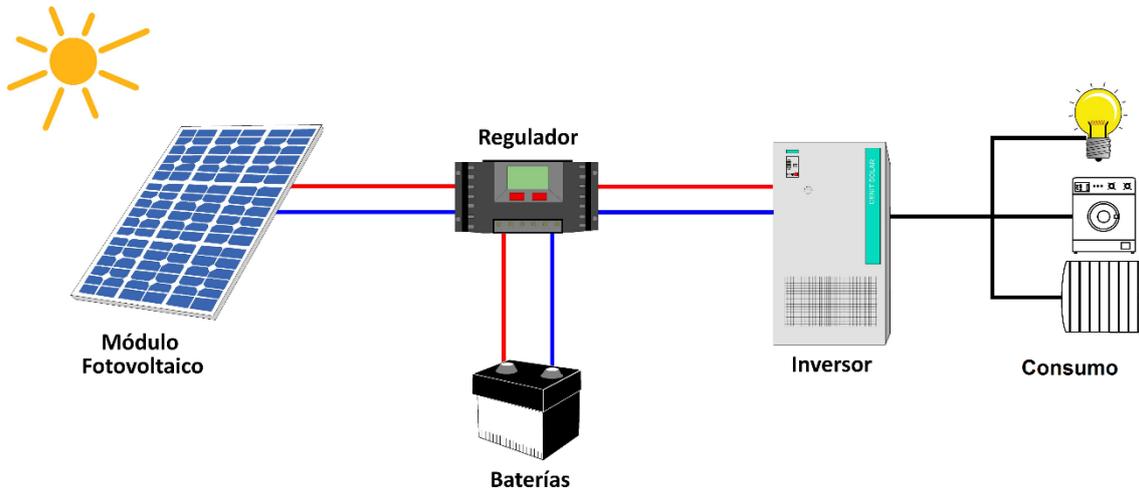


Figura 13. Esquema instalación fotovoltaica aislada.

1.6.1.-Módulo fotovoltaico

Su principal función es proporcionar energía a la instalación a partir de la irradiación solar, haciendo uso del efecto fotoeléctrico.

Los paneles están formados por células fotovoltaicas conectadas entre sí y éstas pueden ser de tres tipos diferentes: **monocristalinas** (estructura cristalina totalmente ordenada), **policristalinas** (estructura ordenada por regiones separadas) y **amorfás** (estructura altamente desordenada). En cuanto a la eficiencia de cada tipo de célula han sido ordenadas en orden decreciente.

El símbolo de un panel solar se puede encontrar representado como en la figura 14.

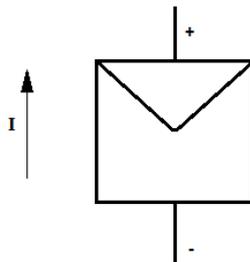


Figura 14. Símbolo utilizado para una placa fotovoltaica.

1.6.2.-Regulador de carga

El regulador es el encargado de controlar los procesos de carga y descarga de las baterías. Esto es posible gracias a dos tareas principales:

- Evita sobrecargas: Una vez la batería se encuentra al 100% de su capacidad hace que no se continúe cargando. Esto evita la generación de gases y la disminución en su interior.
- Evita sobredescargas: Las baterías pierden vida útil cuando las sometemos de una forma continuada a profundidades de descarga muy elevadas, por tanto, el regulador se encarga de que las baterías no se descarguen más de lo recomendado y así alargar su vida útil.

Su elección vendrá dada por la corriente que podrá soportar el circuito de control de potencia y la tensión de trabajo de la instalación.

1.6.3.-Inversor

Su principal función es alterar la tensión y características de la intensidad que reciben, convirtiéndola en la adecuada para su uso. En instalaciones solares fotovoltaicas se usan para convertir la tensión proveniente del banco de baterías o de los módulos solares (corriente continua) a energía aceptada por los equipos consumidores finales (corriente alterna de 230 V).

El valor que define cuál es el inversor a instalar es su potencia máxima de salida. El concepto de esta potencia máxima de salida es idéntico a la potencia contratada que tendríamos en una instalación conectada a la red eléctrica, lo que significa que vendrá delimitada por la potencia total que se vaya a usar simultáneamente.

1.6.4.-Baterías

Se encargan de almacenar la energía eléctrica para garantizar suministro en el periodo nocturno (donde la generación de energía con los paneles es casi nula) y durante varios días consecutivos en los que la radiación solar sea excesivamente baja debido a diferentes fenómenos meteorológicos (lluvias, días nublados...)

La capacidad de una batería es la cantidad de electricidad que puede suministrar y se mide en Ah (amperios por hora). La capacidad está influenciada por la temperatura (aumenta si ésta aumenta y disminuye si ocurre lo contrario).

Otro factor que influye en su capacidad es el tiempo de descarga. Al aumentar la corriente de descarga la capacidad disminuye, es decir, si el tiempo es corto la capacidad es menor que si se descarga en un intervalo mayor.

Para que la vida útil de las baterías no se vea excesivamente mermada se deberá tener en cuenta el concepto de profundidad de descarga. Esto es el porcentaje de la capacidad total que es utilizada durante un ciclo de carga o descarga. Para aplicaciones fotovoltaicas se emplean baterías de descarga profunda (70% - 80%) ya que en algunas instalaciones deben soportar el consumo durante varios días.

1.7.-CÁLCULO DE EQUIPOS FOTOVOLTAICOS

1.7.1.-Placas

Lo primero de lo que se debe ser consciente para elegir las placas es que en el mercado hay tres tipos de placas solares: Los paneles de 12V, los de 24V (ambos diseñados para instalaciones aisladas) y los paneles de 24V de red. Cada una de ellas tiene sus particularidades que afectan a los demás componentes. En este caso se han seleccionado paneles de 24 V diseñados para instalaciones aisladas.

Para el lugar de emplazamiento de los paneles se ha estudiado la viabilidad de algunas de las opciones posibles, eligiendo la que más ventajas demuestre:

➤ **Placas sobre suelo**

La granja cuenta con un camino alrededor de toda ella para el transporte de animales, materiales... Por lo que se debería dejar obligatoriamente el espacio necesario para que quepa el vehículo que se encargue de ello. Esto supone que si los módulos tuvieran que ir sobre el suelo ese espacio tan cercano a la granja no estaría disponible, cosa que supone los siguientes contras:

1. Las zonas del terreno disponible (más alejadas de la granja) son utilizadas por el propietario como zona de cultivo, con lo cual sería más conveniente buscar la posibilidad de instalarlos sobre un área que este inutilizada.
2. Al no tratarse de un área tan cercana a la granja, el hecho de cablear la instalación sería demasiado costoso. Ya sea por los metros excesivos de cableado y el coste de realizar zanjas necesarias para el enterramiento de los cables hasta el interior de la granja.

Para esta solución se estudió la posibilidad de emplear estructuras móviles que combinaran doble inclinación de 15º en verano y 60º en invierno, por ello se incluyen estos datos de radiación en la tabla 5.

➤ **Placas sobre una marquesina**

Esta opción se emplea mayoritariamente en aparcamientos como el de la figura 15, pero también se podría adaptar como posible opción para nuestro caso.



Figura 15. Ejemplo de instalación en marquesinas.

La zona más óptima para colocar la marquesina sería enfrente de la cara norte de la granja por cuestiones de espacio. El contra de esta opción es que la estructura sería mucho más grande y costosa que las que se utilizarían si los paneles fueran sobre el tejado (caso posterior).

➤ **Placas sobre tejado**

Si la granja estuviera orientada en la dirección opuesta (de este a oeste), uno de los tejados estaría perpendicular al sur geográfico, aspecto muy interesante a la hora de instalar las placas sobre el tejado de manera coplanar (figura 16).



Figura 16. Placas coplanares en el tejado.

Pero en el caso de nuestra granja, por las razones de orientación anteriormente expuestas, la instalación se hará mediante estructuras con inclinación hacia el sur sobre las dos vertientes del tejado. Debería ser parecida a la que aparece en la figura 17.



Figura 17: Placas hacia el sur en el tejado.

La disposición de las placas sobre el tejado nos daría algunas ventajas:

1. La distancia entre las placas y los aparatos de consumo es mucho menor que en el caso anterior de instalación sobre el suelo, por lo que se ahorraría costes en cableado.
2. Esta disposición de placas haría que éstas produjeran sombra sobre el tejado de la granja, lo que supondría una disminución de temperatura en su interior y, por consiguiente, un ahorro energético en los meses más cálidos.

Esta será la opción elegida y será explicada en el apartado de “*Disposición de las placas*”.

Como se puede observar en la siguiente imagen (figura 18) el tejado de nuestra granja es muy parecido al de la figura 18.



Figura 18. Tejado de nuestra granja.

El ángulo de inclinación de las placas vendrá dado por la angulación de los soportes o estructuras que las sujetan. Como la angulación estándar (más cercana a la inclinación óptima de 35°) de los soportes es 30°, se realizarán los cálculos con los valores de radiación correspondientes a 30°.

La siguiente tabla extraída del documento Excel nos relaciona la radiación a 30° en kWh/m²/mes y el consumo en Ah/mes. Como se puede observar **diciembre** es el mes más desfavorable con un coeficiente de 636,2.

Mes	30°	Consumo Ah/Mes	Coeficiente
Ene	109,4	68.377,0	624,8
Feb	130,8	59.284,2	453,4
Mar	179,5	73.473,9	409,3
Abr	180,3	75.103,8	416,5
May	201,5	91.298,9	453,1
Jun	214,8	81.978,8	381,7
Jul	238,1	90.653,0	380,8
Ago	221,3	97.070,0	438,6
Sep	186,0	115.898,8	623,1
Oct	162,1	19.474,1	120,1
Nov	116,7	73.091,3	626,3
Dic	102,6	65.277,0	636,2

Tabla 6. Coeficientes

Para llevar a cabo los cálculos de la tabla anterior, en primer lugar, se han convertido los $Wh/m^2/día$ de la *tabla 5* en $kWh/m^2/mes$ a través de la siguiente ecuación:

$$Radiación (kWh/m^2/mes) = \frac{Radiación (Wh/m^2/día) \cdot N^{\circ} de días del mes}{1000}$$

Por ejemplo, pongamos por caso el mes de enero:

$$109,4 (kWh/m^2/mes) = \frac{3530 (Wh/m^2/día) \cdot 31 días}{1000}$$

En segundo lugar, se han obtenido los consumos en Ah/mes desde kWh/mes (procedentes de la *tabla 3*) de la manera siguiente:

$$Consumo (Ah/mes) = \frac{Consumo (kWh/mes) \cdot 1000}{Voltaje de trabajo (V)}$$

Por ejemplo, para el mes de enero:

$$68377 (Ah/mes) = \frac{3282,094 (kWh/mes) \cdot 1000}{48}$$

Una vez se tienen estos dos parámetros obtener el coeficiente es tan sencillo como dividir el consumo en Ah/mes por la radiación en $kWh/m^2/mes$ de cada mes. Por ejemplo, en enero:

$$624,8 = \frac{68377 (Ah/mes)}{109,4 (kWh/m^2/mes)}$$

El mes más desfavorable es el que mayor coeficiente resulte, que como se puede observar en la *tabla 6* es **diciembre**. Por lo tanto, una vez se ha hallado el mes más desfavorable, todos los cálculos de dimensionamiento se harán a partir de él. Con esto conseguimos suplir las necesidades del peor caso mediante el sobredimensionamiento de los demás meses.

Se ha elegido el modelo de placa mediante la comparación de distintos fabricantes en aspectos como la potencia pico, la intensidad máxima pico, voltaje máximo, tensión de trabajo y relación calidad precio. Resultando como elección final la **CSUN320-72P** cuyas características

técnicas más detalladas se incluyen en su ficha técnica en un anexo a este proyecto. Para el cálculo del número de placas los valores más importantes son la tensión de trabajo de la placa (**24V**) y la intensidad máxima pico del panel (**8,84 A**)

Una vez contamos con todos estos datos, se puede calcular el número de placas a instalar.

El primer factor es cuántas placas se deben colocar en serie para conseguir la tensión de trabajo:

$$\text{Número de paneles en serie} = \frac{\text{Tensión de Trabajo (V)}}{\text{Tensión nominal de la placa (V)}} = \frac{48}{24} = 2$$

El número de líneas en paralelo se calcula mediante el coeficiente del mes más desfavorable y añadiéndole un sobredimensionamiento del 20% para poder suplir cualquier tipo de pérdidas energéticas.

$$\text{líneas en paralelo} = \frac{\text{Coeficiente más desfavorable} \cdot \text{Sobredimensionamiento}}{\text{Intensidad pico}}$$

$$\frac{636,2 \cdot 1,2}{8,84} = 86,4 \approx \mathbf{87 \text{ líneas en paralelo}}$$

Como por cada línea en paralelo se tendrán dos placas en serie, el resultado final de paneles será el producto de ambas:

$$\text{Número de placas} = 87 \cdot 2$$

174 paneles fotovoltaicos en total

Modelo	Corriente Pmax (Imp) A	Nº placas en serie	Líneas en paralelo	Líneas exactas	Nº Placas
CSUN320-72P	8,84	2	86,35	87	174

Tabla 7. Resumen configuración a 48 V

Debido a que una de las finalidades de este proyecto es abaratar costes, se replantea la situación eligiendo un regulador maximizador. Una de las características de estos reguladores

es que admiten tensiones de entrada más elevadas. En nuestro caso, se ha elegido un regulador que admite 550 Vcc como se indica en el apartado de “Reguladores”.

Esto se traduce en que en el tramo Placas-Regulador se tendrá una tensión de trabajo de 550 V. En el apartado de “Reguladores” se explica el porqué de esta decisión.

La nueva tensión de trabajo nos lleva a reorganizar los paneles en serie y en paralelo de la manera siguiente:

$$\text{Número de paneles en serie} = \frac{\text{Tensión de Trabajo (V)}}{\text{Tensión nominal de la placa (V)}} = \frac{550}{24} = 22,91 \approx \mathbf{23}$$

Para mantener lo máximo posible el número de placas que proporcionan la potencia necesaria a la instalación, se han organizado en las siguientes líneas en paralelo:

$$\text{líneas en paralelo} = \frac{174 \text{ placas}}{23 \text{ placas en serie}} = 7,6 = \mathbf{8}$$

Con esta nueva configuración el número total de placas es:

$$\text{Número total de placas} = 23 \cdot 8 = \mathbf{184}$$

Modelo	Corriente Pmax (Imp) A	Nº entero de placas en serie	Lineas en paralelo	Nº Placas
CSUN320-72P	8,84	23	8	184

Tabla 8. Resumen configuración a 550 V

1.7.2.-Reguladores

Una vez tenemos clara la placa que se va a instalar se calculan los reguladores necesarios a partir de su intensidad máxima tal y como se realiza en el Excel. La siguiente fórmula expresa cómo se realiza el cálculo de la máxima intensidad que deben soportar los reguladores a partir de las líneas en paralelo de placas por la intensidad pico de cada placa.

$$I_{pico} = \text{líneas de placas en paralelo} \times \text{Intensidad pico de cada placa (A)}$$

$$I_{pico} = 8 \cdot 8,84 = \mathbf{70,72 A}$$

Se llevará a cabo la instalación del **Xantrex XW MPPT 80 A 600 Vcc.**

Se ha elegido este regulador, en primer lugar, porque se considera que su amperaje de 80 A es el adecuado para soportar los 70,72 A pico.

Como se ha mencionado en el apartado “Placas” el regulador seleccionado es **maximizador** aunque se haya elegido a conciencia una placa para instalaciones aisladas (72 células, 37 V máx.) y los reguladores maximizadores no sean estrictamente necesarios con estas placas, éstos suelen soportar unas intensidades y unos voltajes de entrada mayores a los PWM. Con lo cual, su característica más interesante es que admite de 195 a 550 Vcc de entrada, por lo que el voltaje de trabajo de las placas al regulador será de 550 V. Esta decisión de subir el voltaje se ve motivada por la necesidad de **abaratarse costes de cableado y reducir el número de reguladores.**

La explicación a nivel técnico es que si se hubiera mantenido el voltaje a 48 V, habrían más líneas en paralelo de placas (mayor intensidad pico y por tanto, mayor número de reguladores) y para conseguir una caída de tensión menor se necesitaría mayor sección de cable.

Para hallar las líneas en paralelo que quedarán a cargo de cada regulador se hace el siguiente cálculo:

$$N^{\circ} \text{ de líneas por regulador} = \frac{\text{Amperaje del regulador (A)}}{\text{Intensidad máxima de la placa (A)}}$$

$$N^{\circ} \text{ de líneas por regulador} = \frac{80 \text{ A}}{8,84 \text{ A}}$$

$$N^{\circ} \text{ máximo de líneas por regulador} = 9,05 \cong 9$$

Ya que hay 8 líneas en paralelo de placas, el número de reguladores total es el siguiente:

$$N^{\circ} \text{ reguladores} = \frac{8 \text{ líneas de placas en paralelo}}{9 \text{ líneas por regulador}}$$

$$N^{\circ} \text{ reguladores} = 0,89 \cong 1$$

El resultado del número total de reguladores no ha sido exacto, por lo que conllevará un pequeño sobredimensionamiento por si se quisiera aumentar la instalación en un futuro.

Modelo	Amperaje (A)	Ipico (A)	Líneas/Reg.	Líneas/Reg. (entero)	Nº Reguladores	Nº entero Reguladores
Xantrex XW MPPT 80 A 600	80	70,72	9,05	9	0,89	1

Tabla 9. Resumen número de reguladores.

1.7.3.-Inversores

Para la elección del inversor nos centraremos en cuál era la potencia contratada del dueño de la finca en el año 2015, con la finalidad de que se note lo menos posible el cambio a instalación fotovoltaica. Como se aprecia en las facturas la potencia contratada era de 16,83 kW por lo que se intentará que el inversor o inversores (si se sectoriza la instalación) proporcionen una potencia parecida.

Como se ha explicado anteriormente en este tramo de la instalación se utilizará un voltaje de 48V. Luego ese deberá ser el voltaje de entrada del inversor.

Otra consideración es que se utilizará un inversor de onda pura. El inversor de onda pura genera una onda de corriente de gran calidad y precisa, la cual puede hacer funcionar todo tipo de aparatos eléctricos, incluyendo a los más exigentes y de electrónica sensible como son las bombas de agua y maquinaria con motor.

Teniendo en cuenta los precios y las propiedades técnicas de los inversores, se ha decidido que el modelo a elegir sea el **Victron Phoenix Inverter C 48/5000** ya que es un inversor con grandes cualidades técnicas.

Este inversor tiene una potencia de 4000 W, por lo que se emplearán cuatro para conseguir 16000 W de potencia simultánea.

Modelo	Potencia (W)	Unidades enteras
Victron Phoenix Inverter C 48/5000	4000	4

Tabla 10. Resumen número de inversores.

Como se tienen cuatro inversores, se deberá organizar qué aparatos de consumo van conectados a qué inversor. Para llevar esto a cabo, se ha decidido que **cada uno de ellos se ocupe de la máxima variedad de aparatos posible** (todos los inversores tienen una parte del número total de luminarias, radiadores, nebulizadores...), esto es para que la granja siga pudiendo ser lo más funcional posible si alguno de los inversores falla. A continuación, se muestra la sectorización:

INVERSOR 1		
Aparato	Unidades	Wattios
Ordenador	1	320
Motores Ventanas	1	600
Extractores murales	1	450
Motores comederos	1	368
Motor silo	1	736
Fluorescentes	23	414
Luces exteriores		
Bombas de agua		
Nebulizadores	1	800
Calefactores	1	500
TOTAL		4188

Tabla 11. Sectorización inversor 1.

INVERSOR 2		
Aparato	Unidades	Wattios
Ordenador		
Motores Ventanas	1	600
Extractores murales	1	450
Motores comederos	1	368
Motor silo		
Fluorescentes	23	414
Luces exteriores		
Bombas de agua	1	1100
Nebulizadores	1	800
Calefactores	1	500
TOTAL		4232

Tabla 12. Sectorización inversor 2.

INVERSOR 3		
Aparato	Unidades	Wattios
Ordenador		
Motores Ventanas	1	600

Extractores murales	1	450
Motores comederos	1	368
Motor silo		
Fluorescentes	24	432
Luces exteriores	1	11
Bombas de agua	1	1100
Nebulizadores	1	800
Calefactores	1	500
TOTAL		4261

Tabla 13. Sectorización inversor 3.

INVERSOR 4		
Aparato	Unidades	Wattios
Ordenador		
Motores Ventanas	1	600
Extractores murales	1	450
Motores comederos	1	368
Motor silo		
Fluorescentes	24	432
Luces exteriores	1	11
Bombas de agua		
Nebulizadores	1	800
Calefactores	3	1500
TOTAL		4233

Tabla 14. Sectorización inversor 4.

Nótese que los cuatro inversores se ocupan de más potencia que la que técnicamente están dispuestos a proveer (4000 W). Esto es viable ya que **nunca estarán en funcionamiento todos y cada uno de los aparatos simultáneamente**. Por ejemplo, los calefactores y los extractores murales no estarán funcionando simultáneamente ya que se utilizan para tareas opuestas.

Para que la sectorización de la instalación sea más sencilla de administrar y controlar se dispondrán cuatro cuadros eléctricos (uno para cada inversor) en el interior de la granja. Estos cuadros se instalarán en la pared de la granja más cercana a la caseta, en la cual se alojarán los inversores:

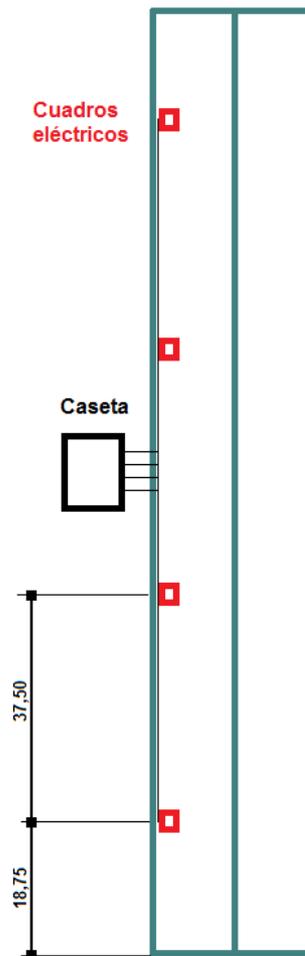


Figura 19. Croquis disposición de cuadros eléctricos.

Para la conexión de los cuadros con los aparatos de consumo se aprovechará el cableado de la instalación anterior, cuando la granja estaba conectada a red eléctrica.

1.7.4.-Baterías

En el mercado existen varios tipos de tecnología de los acumuladores. Se recomienda instalar baterías estacionarias en instalaciones en viviendas o fincas de uso diario como es nuestro caso, donde se tengan previstos ya de inicio los consumos que se van a tener. Estas baterías, si bien su precio es más elevado, se compensa la inversión con los años de vida que ofrecen. Entonces elegiremos baterías estacionarias que sean de 2V dispuestas en serie y paralelo para conseguir el voltaje de la instalación y la capacidad deseada.

Se ha descartado la utilización de baterías monoblock porque a medio plazo, cuando algunas de ellas empiezan a deteriorarse, se producen circulaciones de corriente de unas a otras, propiciando más pérdidas.

Para el cálculo del número de baterías lo primero que se tiene que tener en cuenta es cuál es el mes más desfavorable. Para ello nos ayudaremos de las siguientes tablas en las que se aprecia el consumo en *Ah/día* de cada mes.

Mes	Consumo Ah/Mes	Consumo Ah/día
Ene	68.377,0	2.205,7
Feb	59.284,2	2.117,3
Mar	73.473,9	2.370,1
Abr	75.103,8	2.503,5
May	91.298,9	2.945,1
Jun	81.978,8	2.732,6
Jul	90.653,0	2.924,3
Ago	97.070,0	3.131,3
Sep	115.898,8	3.863,3
Oct	19.474,1	628,2
Nov	73.091,3	2.436,4
Dic	65.277,0	2.105,7

Tabla 15. Consumos en Ah/mes y Ah/día

Ya que el mes más desfavorable para el cálculo de placas fue diciembre, y septiembre es el mes con mayor consumo, ambos aparecen en rojo. Para ver cuál de ellos es el más restrictivo tenemos que tener en cuenta los días de autonomía y la profundidad de descarga. Para diciembre se han elegido 7 días de autonomía y para septiembre 4 (números de días acordes con el cuadro del apartado "Clima") dando los siguientes resultados:

Mes	Diciembre	Septiembre
Días de autonomía	7	4
Horas de autonomía	168	96
Ah de batería	21.057,1	22.076,0

Tabla 16. Comparación entre los meses más críticos

Septiembre ha resultado ser el mes más restrictivo, con lo cual, será el mes utilizado para nuestros cálculos.

Se ha decidido que la profundidad de descarga sea del 70% para prevenir todo lo posible que las baterías experimenten descargas tan elevadas que puedan acortar su vida útil. Los Ah de batería de la tabla anterior han sido calculados mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Energía necesaria de la batería [Ah]} = \frac{\text{Días de autonomía} \cdot \text{Consumo [Ah/día]}}{\text{Profundidad de descarga}}$$

Para el mes de septiembre:

$$\text{Energía necesaria de la batería [Ah]} = \frac{4 \cdot 3863,3}{0,7} = \mathbf{22076 \text{ Ah}}$$

Se seleccionarán baterías de entre 4000Ah a 4600Ah con la finalidad de que el número total de las mismas no sea excesivamente alto.

La batería que se ha elegido para este propósito es la **Sunlight RES OPzS 4620**.

Esta batería recibe su nombre por su descarga en 120 horas, lo que quiere decir que en este caso se debería calcular los Ah que daría si se descargase en cuatro días (96 horas). Esto se hace mediante una interpolación entre las capacidades nominales a C48 y C120 que nos proporciona el fabricante:

Capacidad C120 → 4620 Ah

***Capacidad C96* → 4480 Ah**

Capacidad C48 → 4199 Ah

Para saber cuántas líneas de baterías harán falta para suplir las necesidades energéticas de los cuatro días se hace el siguiente cálculo:

$$\text{Líneas de baterías en paralelo} = \frac{\text{Capacidad necesaria [Ah]}}{\text{Capacidad de la batería [Ah]}}$$

$$\text{Líneas de baterías en paralelo} = \frac{22076}{4480} = 4,93 \cong 5$$

Al escoger baterías de 2 V, los vasos en serie para llegar a la tensión de la instalación de 48 V son los siguientes:

$$\text{Número de vasos} = \frac{\text{Voltaje instalación [V]}}{\text{Voltaje del vaso [V]}}$$

$$\text{Número de vasos} = \frac{48}{2} = 24$$

Finalmente, ya se podría calcular el número total de baterías multiplicando las líneas en paralelo por el número de vasos necesarios:

$$\text{Número de baterías} = \text{Líneas en paralelo} \cdot \text{Número de vasos}$$

$$\text{Número de baterías} = 5 \cdot 24 = 120$$

Modelo	Capacidad C120 (Ah)	Capacidad C96 (Ah)	Voltaje (V)	Líneas	Líneas exactas	Nº Baterías
Sunlight 4620	4620	4480	2	4,928	5	120

Tabla 17. Resumen cálculo de baterías.

1.7.5.-Cableado

Elegir una sección de cable adecuada para conectar cada uno de los componentes es importante, ya que una mala elección supondría una caída de tensión demasiado elevada, lo que se traduce en un aumento de la corriente y, por consiguiente, de la temperatura.

Hay que diferenciar entre la tensión que alimenta al circuito de corriente continua (panel, regulador, batería) y el de corriente alterna (consumo).

Cada una de estas conexiones requerirán una sección diferente, la cual se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$S = \frac{2 \times L \times I}{k \times U}$$

Donde:

L: longitud de la conducción

I: intensidad máxima

K: conductividad del material (m/ Ωmm^2) [Cobre = 56 m/ Ωmm^2]

U: caída de tensión

La caída de tensión (U) se calcula para un porcentaje de la tensión nominal, que variará en función de los equipos que interconecta cumpliendo con la legislación vigente:

- Caídas de tensión entre generador y regulador/inversor: 3%
- Caídas de tensión entre regulador y batería: 1%
- Caídas de tensión entre inversor y batería: 1%
- Caídas de tensión entre regulador e inversor: 1%
- Caídas de tensión entre inversor/regulador y equipos de consumo: 3%

Aunque estos porcentajes son los máximos permitidos se aplicarán los porcentajes recomendados por el IDAE desde el punto de vista de la seguridad:

- Paneles – Regulador: 1%
- Regulador – Baterías: 0,5%
- Baterías – Inversor: 1%

Los cables del exterior (que conectan los paneles entre sí y los que van de los paneles a la caseta) deberán estar protegidos contra la intemperie.

1.7.5.1.-En corriente continua

Para la corriente que va de los captadores a la caseta prefabricada donde estarán los reguladores, baterías e inversores, hay que tener en cuenta la corriente máxima que puede generar el campo fotovoltaico.

$$\text{Intensidad máxima} = \text{Intensidad máxima de los paneles} \cdot \text{número de ramas}$$

$$\text{Intensidad máxima} = 8,84 \cdot 8 = \mathbf{70,72 \text{ A}}$$

La caseta se encontraría a pocos metros del lateral oeste de la granja, lo que nos lleva a elegir un máximo de 25 metros de cableado **entre las placas y el regulador** ya que el cable tendría que bajar el tejado, del tejado al suelo por la pared y recorrer la distancia hasta la caseta. La tensión de trabajo en este tramo es de 550 V y su caída de tensión máxima es del 1%. Sustituimos todos estos datos en la fórmula del cálculo de sección expuesta anteriormente:

$$S = \frac{2 \times 25 \times 70,72}{56 \times 5,5} = 11,48 \rightarrow \mathbf{16 \text{ mm}^2}$$

La sección se ha seleccionado de entre los valores comerciales del cable de cobre, seleccionando el inmediatamente superior al calculado.

	mm ²
Cobre	1,5
	2,5
	4
	6
	10
	16
	25
	35
	50
	70
	95
	120
	150
185	
240	
300	

Tabla 18. Secciones comerciales de cable de cobre.

Respecto al método de instalación del cable entre las placas y el regulador, se debe diferenciar entre dos tramos:

- Un tramo de la instalación del cable entra dentro de *Cables multiconductores al aire libre*. Este tramo de cable sería el que baja del tejado de la granja hasta el suelo pasando por la pared lateral.
- *El segundo tramo sería Cable multiconductor en conducto enterrado*. Este tramo iría bajo tierra desde el final del tramo anterior hasta el interior de la caseta.

Cada tramo soporta una corriente máxima debido a su método de instalación, por lo que para comprobar la corriente máxima admisible del cable según este aspecto se emplean las tablas siguientes extraídas de la norma UNE 20460-5-523:

Tabla 52-B1
Métodos de instalación de referencia

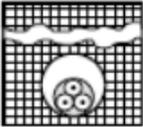
Instalación de referencia		Tabla y columna							
		Intensidad admisible para los circuitos simples					Factor de temperatura ambiente	Factor de reducción de agrupamiento	
		Aislamiento PVC		Aislamiento XLPE o EPR		Aislamiento mineral			
		Número de conductores					1, 2 y 3	8	9
2	3	2	3	1, 2 y 3					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	Cable multiconductor en conductos enterrados	D	52-C1 Col. 7	52-C3 Col. 7	52-C2 Col. 7	52-C4 Col. 7	-	52-D2	52-E3
	Cable multiconductor al aire libre Distancia al muro no inferior a 0.3 veces el diámetro del cable	E	Cobre 52-C9 Aluminio 52-C10	Cobre 52-C11 Aluminio 52-C12	Cubierta 70 °C 52-C7 Cubierta 105 °C 52-C8		52-D1	52-E1	

Tabla 19. Métodos de instalación de referencia.

Ambos tipos de instalación serán de polietileno reticulado (XLPE) para que sea capaz de soportar mayores temperaturas en verano. Por tanto, la corriente admisible en ambos tipos es la siguiente:

Tabla 52 - C2
Intensidades admisibles, en amperios, para los métodos de la tabla 52 - B1
Cables aislados con XLPE/EPR, dos conductores cargados, cobre o aluminio
Temperatura del conductor: 90 °C
Temperatura ambiente 30 °C en el aire, 20 °C en el terreno

Secciones nominales de los conductores mm ²	Método de instalación de la tabla 52 - B1					
	A1	A2	B1	B2	C	D
						
1	2	3	4	5	6	7
Cobre						
1,5	19	18,5	23	22	24	26
2,5	26	25	31	30	33	34
4	35	33	42	40	45	44
6	45	42	54	51	58	56
10	61	57	75	69	80	73
16	81	76	100	91	107	95
25	106	99	133	119	138	121
35	131	121	164	146	171	146
50	158	145	198	175	209	173
70	200	183	253	221	269	213
95	241	220	306	265	328	252
120	278	253	354	305	382	287
150	318	290	-	-	441	324
185	362	329	-	-	506	363
240	424	386	-	-	599	419
300	486	442	-	-	693	474

Tabla 20. Valor de corriente admisible para conductos enterrados.

$$95 A > 70, 72 A$$

Tabla 52 – C11
Intensidades admisibles, en amperios, para los métodos de instalación E, F y G de la tabla 52 – B1
Aislamiento XLPE/EPR, conductores de cobre
Temperatura del conductor: 90 °C
Temperatura ambiente de referencia: 30 °C

↓

Sección nominal de los conductores mm ²	Métodos de instalación de la tabla 52 – B1						
	Cables multiconductores		Cables unipolares				
	Dos conductores cargados	Tres conductores cargados	Dos conductores cargados en contacto	Tres conductores cargados en triángulo	Tres conductores cargados en plano		
					En contacto	Separados	
				Horizontales		Verticales	
	Método E	Método E	Método F	Método F	Método F	Método G	Método G
1	2	3	4	5	6	7	8
1,5	26	23	-	-	-	-	-
2,5	36	32	-	-	-	-	-
4	49	42	-	-	-	-	-
6	63	54	-	-	-	-	-
10	86	75	-	-	-	-	-
16	115	100	-	-	-	-	-
25	149	127	161	135	141	182	161
35	185	158	200	169	176	226	201
50	225	192	242	207	216	275	246
70	289	246	310	268	279	353	318
95	352	298	377	328	342	430	389
120	410	346	437	383	400	500	454

⇨

Tabla 21. Valor de corriente admisible para conductos al aire libre.

$$115 A > 70, 72 A$$

Como se ha podido observar en ambos casos la intensidad admisible es mayor a la intensidad máxima que soportará el cable, por lo tanto, la sección de **16 mm²** es válida.

Para el **conexionado de los paneles entre sí** se ha elegido una sección de **6 mm²**.

Las **baterías** se deberán conectar entre ellas lo más juntas posibles y utilizar cable eléctrico de **50 mm²**. Aunque pueda parecer exagerado, es necesario y vital para que las baterías puedan proporcionar la energía que se les pida en cualquier momento.

La distancia **entre las baterías y los inversores** no será mayor a cuatro metros con cables de **35 mm²** de sección debido a las altas corrientes que se generan hacia el inversor.

1.7.5.2.-En corriente alterna

La instalación consta de cuatro inversores de 4000 W como se ha indicado en el apartado “inversores” dentro de “Cálculo de equipos”. La tensión de salida es 230 V, por tanto, la intensidad máxima se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$Intensidad = \frac{Potencia}{Voltaje \cdot \cos(\alpha)}$$

$$Intensidad = \frac{4500}{230 \cdot 0,95} = 20,6 A$$

Por lo tanto, para calcular de nuevo la sección se sigue un procedimiento idéntico al anterior admitiendo también una caída de tensión máxima del 1% de 230 voltios:

$$S = \frac{2 \times L \times I}{k \times U}$$

Como se ha visto en la *figura 20* dentro del apartado de “Inversores”, ya que los cuatro cuadros están instalados a diferentes distancias de la caseta (dos a 25 metros y dos a 60 metros aproximadamente), se calcularán dos secciones de cable.

Para ambos tipos el procedimiento de instalación será el mismo: *cable multiconductor en conductos enterrados* en el tramo de la caseta a la granja y una vez en la granja los cables seguirán su curso hasta los cuadros en forma de *cable multiconductor en rodapiés ranurados*.

- **CUADROS EXTREMOS:**

$$S = \frac{2 \times 60 \times 20,6}{56 \times 2,3} = 19,19 \text{ mm}^2 \rightarrow \mathbf{25 \text{ mm}^2}$$

La intensidad máxima que soporta el cable se verá en las tablas pertinentes para cada tipo de instalación tal y como se ha visto en la parte de corriente continua. Este cable soportaría **90 A** según su procedimiento de instalación.

$$\mathbf{90 A > 20,60 A}$$

- **CUADROS PRÓXIMOS:**

$$S = \frac{2 \times 25 \times 20,6}{56 \times 2,3} = 8 \text{ mm}^2 \rightarrow \mathbf{10 \text{ mm}^2}$$

Como en el caso anterior, según las tablas de la normativa vigente, el cable podrá soportar hasta **52 A**.

$$\mathbf{52 \text{ A} > 20,6 \text{ A}}$$

En ambos casos la intensidad máxima es bastante mayor a la que se va a generar, luego se admiten las secciones de cable seleccionadas.

1.8.-PROTECCIÓN DE LA INSTALACIÓN

Tomando como referencia el pliego de condiciones técnicas de instalaciones aisladas de la red, editado por el IDEA, el instituto de energía solar de la UPM y el CIEMAT, se indica que:

- Todas las instalaciones de tensiones nominales superiores o iguales a 48 V contarán con una toma de tierra a la que mínimamente estará conectado la estructura de soporte del panel y sus marcos metálicos.
- El sistema de protecciones asegurará la protección de las personas frente a contactos indirectos
- La instalación estará protegida frente a cortocircuitos, sobrecargas y sobretensiones.

1.8.1.-Fusibles

Se trata de dispositivos que se convierten en un circuito abierto cuando la intensidad que lo atraviesa supera cierto nivel.

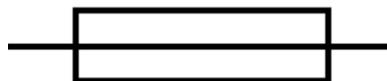


Figura 21. Símbolo fusible.

Se colocará el fusible en la línea que unen paneles fotovoltaicos con el regulador.

Para calcular la intensidad nominal de los fusibles se empleará la siguiente expresión:

$$I_b \leq I_n \leq 0,9 \cdot I_{rmax}$$

Donde:

I_b : intensidad de corriente de la línea

I_n : intensidad nominal del fusible

I_{rmax} : intensidad máxima del conductor

Como se ha visto en el cálculo de sección para **corriente continua**, las máximas corrientes admisibles (I_{rmax}) son de 95 A y 115 A. Seleccionamos para los cálculos el valor más restrictivo que en este caso es 95 A como I_{rmax} :

$$70,72 \leq I_n \leq 0,9 \cdot 95$$

$$70,72 \leq I_n \leq 85,5$$

Por lo que el fusible a instalar sería el **NH00 de 80 A**, el cual puede trabajar a un máximo de 690 V de tensión nominal (en este tramo la tensión nominal es de 550 V).

1.8.2.-Toma a tierra

La puesta o conexión a tierra es la unión eléctrica directa, sin fusibles ni protección alguna, de una parte del circuito eléctrico o de una parte conductora no perteneciente al mismo mediante una toma de tierra con un electrodo o grupos de electrodos enterrados en el suelo (carcasas, masas metálicas o partes exteriores) según **ITC-BT-18**.

Los conductores de cobre utilizados como electrodos serán de construcción y resistencia eléctrica según la clase 2 de la norma **UNE 21.022**.

El tipo y la profundidad de enterramiento de las tomas de tierra deben ser tales que la posible pérdida de humedad del suelo, la presencia del hielo u otros efectos climáticos, no aumenten la resistencia de la toma de tierra por encima del valor previsto. La profundidad nunca será inferior a 0,50 m.

Habrán dos instalaciones de toma de tierra. Una para los marcos metálicos de los paneles solares y otra para proteger al propietario de posibles derivaciones en los inversores.

Se recomienda que el conductor esté enterrado al menos 0,8 m, por lo que se realizarán dos zanjas de aproximadamente un metro.

Los marcos metálicos de los módulos irán conectados al embarrado de puesta a tierra, dentro de una arqueta destinada para ello donde se encontrará una pica de 2 metros. Deberán ser conexiones inoxidable preparadas para la intemperie cuya sección del conductor es de 16 mm².

Para el conexionado a tierra de los aparatos de consumo se aprovechará lo máximo posible la instalación anterior. El conductor para llevar los aparatos de consumo a tierra será de sección 35 mm². A la brida de empalme se conectará el electrodo formado por otra pica verticalmente hincada en el terreno de 2 metros de longitud.

1.9.-DISPOSICIÓN Y COLOCACIÓN DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Las placas serán instaladas sobre el tejado, tanto en la cara este como en la oeste, de manera que los paneles queden inclinados respecto al tejado y miren hacia el sur. Esto tiene las ventajas expuestas anteriormente.

La granja cuenta con una ligera desviación con respecto al acimut de aproximadamente 13°, no obstante, las placas se colocarán de manera paralela al tejado de la granja, es decir, admitiendo los 13° y no instalándolas de manera perfecta hacia el sur geográfico.

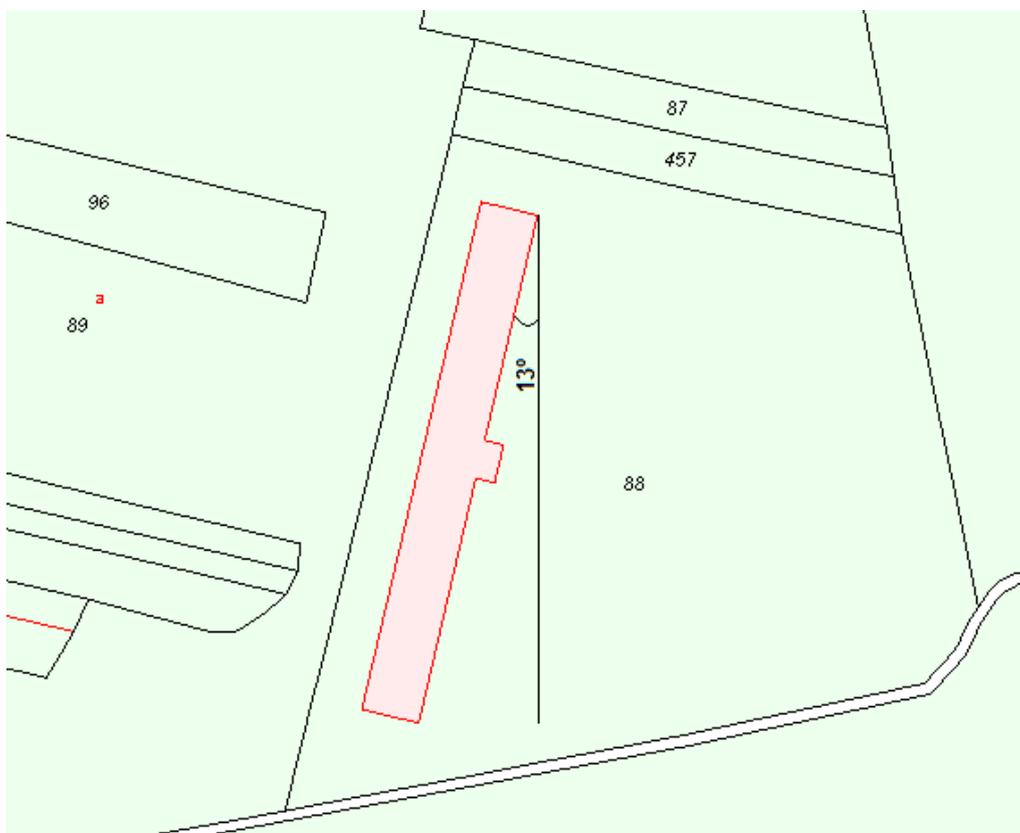


Figura 22. Acimut de las placas.

Esto se realiza con el fin de mejorar la integración arquitectónica de la instalación. Por tanto, supone unas pequeñas pérdidas que se calcularán con el Excel adjunto “Pérdidas por inclinación y orientación” proporcionado por *Aularenova* y descargado desde <http://www.aularenova.es/spip.php?article58>.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2		Angulo de acimut			Angulo de inclinación			Latitud	
3		α	13		β	30		γ	39
4									
5									
6									
7									
8									
9		Pérdidas por orientación e inclinación							
10									
11									
12									
13									
14									
15		Pérdidas:				0,6035			
16									
17									
18									
19		Pérdidas límite según CTE							
20									
21			General		10%	CUMPLE			
22			Superposición		20%	CUMPLE			
23			Integración arquitectónica		40%	CUMPLE			
24									

Figura 23. Captura del Excel de pérdidas.

Se puede observar cómo las pérdidas totales son aproximadamente del **0,6%** y no superan en ningún caso las pérdidas límite según el Código Técnico de la Edificación.

Entonces, se estudiará cuánta superficie máxima se utilizará teniendo en cuenta la separación entre placas para evitar las sombras entre filas de módulos y las dimensiones de cada uno de ellos.

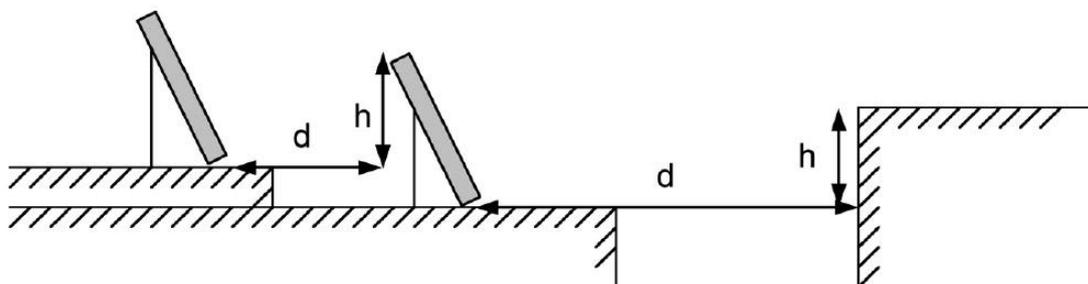


Figura 24. Distancia entre paneles y posibles obstáculos

Para la distancia entre filas de módulos se utilizará la siguiente fórmula:

$$d = h \cdot k [m]$$

Siendo k un coeficiente adimensional dado por la latitud de la zona en cuestión.

Latitud (º)	29	37	39	41	43	45
k	1,6	2,246	2,475	2,747	3,078	3,487

Tabla 22. Valores de k según la latitud

Las coordenadas exactas del emplazamiento de la instalación serían **39°18'02.1"N (latitud)**, **1°55'03.0"W (longitud)**. Por lo que se podría emplear el valor k de **2,475**.

1.9.1.-Sombra entre filas de paneles

Los paneles fotovoltaicos se instalarán de forma vertical. Estarán dispuestos en **filas de ocho (cuatro paneles por cada vertiente del tejado)** y el valor de longitud a tener en cuenta para el cálculo será la altura (1956 mm).

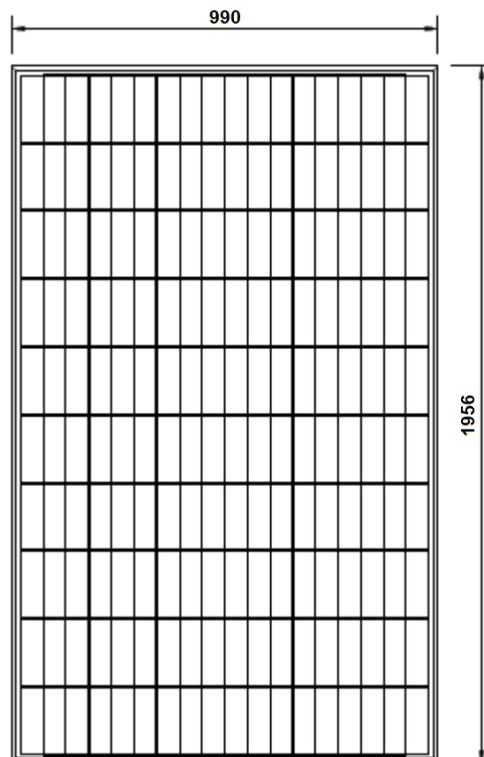


Figura 25. Dimensiones alto y ancho del panel fotovoltaico

Es sencillo inferir que el panel proyectará una sombra más larga cuanto más cercana sea su inclinación a 90º, en este caso, su altura máxima se calculará en el ángulo de 30º.

$$h = 1,956 \cdot \text{sen} (30^\circ) = 0,978 \text{ m}$$

y aplicando la misma fórmula que en el apartado anterior la separación del pasillo sería:

$$d = 0,978 \cdot 2,475 = 2,421 \text{ m}$$

No obstante, también se debe tener en cuenta cuánto ocupa cada fila de placas en su proyección horizontal. A dicha distancia se la va a denominar m :

$$m = 1,956 \cdot \text{cos} (30^\circ) = 1,694 \text{ m}$$

Finalmente, la distancia entre filas vendrá dada por la suma entre el pasillo y la proyección horizontal de cada fila:

$$\textbf{Distancia entre filas} = 2,421 + 1,694 = \textbf{4,11 m}$$

1.9.2.-Superficie del tejado necesaria

Para demostrar si la longitud del tejado (150 m) es suficiente para albergar las 184 placas dejando la separación entre filas se haría el siguiente cálculo:

$$\text{Número de filas} = \frac{184 \text{ placas}}{8 \text{ placas por fila}} = 23$$

$$\text{Longitud total} = 23 \text{ filas} \cdot 4,11\text{m (Distancia entre filas)} = 94,5 \text{ m}$$

$$\textbf{150 m} > \textbf{94,5 m}$$

Y por lo que respecta a la anchura del tejado, este tejado mide aproximadamente 15 metros de ancho y cada fila mediría aproximadamente ocho metros (ya que incluye las ocho placas de forma vertical), por lo que cabrían perfectamente.

A continuación, se exponen unos simples croquis de cómo quedaría la disposición de placas:

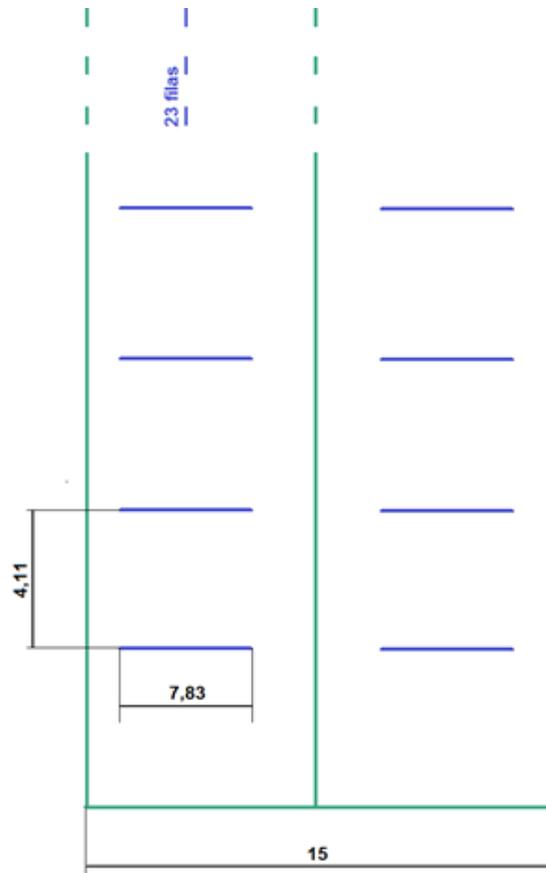


Figura 26. Croquis planta (cotas en metros)

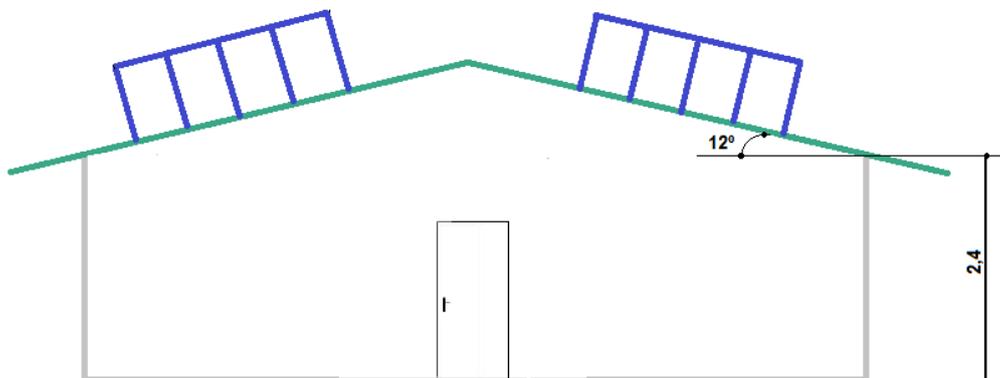


Figura 27. Croquis alzado (cotas en metros)



2.-PRESUPUESTO

INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA AISLADA PARA UNA GRANJA

Alumno: **Matellán Ríos, Javier**

Tutor: **Saiz Jiménez, Juan Ángel**

Dpto.: Departamento de Ingeniería Eléctrica

Titulación: Grado en Ingeniería Mecánica

2.1.-COSTES POR COMPONENTE

2.1.1.-Módulos fotovoltaicos

Las placas a instalar son el modelo **CSUN320-72P** distribuidas por la tienda AutoSolar a un precio de **0,36€/Wpico**. Actualmente los precios de los módulos rondan los 0,35€/Wpico, por lo que se considera un buen precio.

La potencia instalada en placas es de 58880 Wpico ya que son 184 placas de 320 W.

Por tanto:

$$\text{precio} = 58880 \text{ Wpico} \cdot \frac{0,36\text{€}}{\text{Wpico}} = \mathbf{21196,8 \text{ €}}$$

2.1.2.-Regulador

El modelo de regulador elegido es el **Xantrex XW MPPT 80 A 600Vcc** de la marca Schneider y con todas las características y ventajas anteriormente citadas. Se ha conseguido por un precio de **620 €** por la tienda Merkasol.

Bastaría con un solo regulador para suplir las necesidades de la instalación tal y como se ha justificado en el apartado de "Cálculos".

2.1.3.-Inversores

Se ha elegido para este propósito cuatro inversores del modelo **Victron Phoenix Inverter C 48/5000**, por la tienda Sun Fields Europe a un precio de **1.690,68€** la unidad. También cabe destacar la buena atención y trato que he recibido por parte del equipo técnico de SFE, el cual me ha enviado una lista con todos los precios a profesionales de los diferentes inversores, baterías, reguladores y paneles.

La inversión total en inversores sería entonces:

$$\text{precio} = 4 \text{ inversores} \cdot \frac{1690,68\text{€}}{\text{inversor}} = \mathbf{6762,72 \text{ €}}$$

2.1.4.-Baterías

Las baterías serían la **Sunlight RES OPzS 4620**. Las proporcionaría la tienda TECHNO SUN a un precio de **625 €** la unidad. Las necesidades de la instalación requerirían un total de 120 baterías.

Entonces:

$$\text{precio} = 120 \text{ baterías} \cdot \frac{625\text{€}}{\text{batería}} = \mathbf{75000 \text{ €}}$$

2.1.5-Cableado y protecciones

2.1.5.1.-Entre placas

El cableado mínimo para unir todas las placas sería el producto de las 23 placas en serie, las 8 líneas en paralelo y los 0,990 m que mide la anchura de cada placa (ya que están dispuestas en vertical). Esto daría como resultado unos 180 m.

No obstante, este sería el resultado si la disposición fuera en una sola fila, como en nuestro caso las placas se colocan en 23 filas de 8, hay que tener en cuenta los metros de cableado entre filas (contando con la distancia mínima entre filas por aspectos de sombreado). Esto nos daría como resultado 100 metros más de cable necesario para la conexión entre filas. La suma total es, por consiguiente, 280 metros de cable rojo (positivo) y cable negro (negativo) a un precio de 2 €/m cada uno:

$$\text{precio} = 280 \text{ metros} \cdot 4 \frac{\text{euros}}{\text{metro}} = \mathbf{1120 \text{ euros}}$$

El conjunto de los conectores MC4 hembras y machos de las conexiones se estiman en **150 €**.

2.1.5.2.-Entre placas y regulador

Se necesitarán 25 m de cable para cubrir la distancia entre la caja de conexión de las placas y regulador, a 5€ el metro lineal ya que será multiconductor de dos cables de cobre:

$$\text{precio} = 25 \text{ metros} \cdot 5 \frac{\text{euros}}{\text{metro}} = \mathbf{125 \text{ euros}}$$

2.1.5.3.-Entre baterías, reguladores e inversores

Para estos tramos la sección seleccionada es de 35 mm² para un total de 10 metros a un precio de 3€/m:

$$\text{precio} = 10 \text{ metros} \cdot 3 \frac{\text{euros}}{\text{metro}} = \mathbf{30 \text{ euros}}$$

2.1.5.4.-Entre baterías

Los puentes entre baterías en serie serán de 50 mm² y aproximadamente 30 cm de largo cada uno. El coste unitario de estos puentes es de 4,5€. Para la conexión en paralelo se mantendrá la misma sección, dando como precio final **500€**.

2.1.5.5.-Entre inversores y aparatos de consumo

Las conexiones entre los cuatro inversores y los cuatro cuadros de distribución de corriente alterna (uno por inversor) serán dos cables de 10 mm² para los dos cuadros más alejados y otros dos de 25 mm² para los dos más alejados. 25 metros y 65 metros respectivamente. En el diámetro de 10 mm² se ha conseguido un precio de 2,50 € por metro lineal y el cable de 25 mm² a un precio de 5€. Ambos serán multiconductores de dos cables.

$$\text{precio cable 10 mm}^2 = 2 \text{ cables} \cdot 25 \text{ metros} \cdot 2,50 \frac{\text{euros}}{\text{metro}} = \mathbf{125 \text{ euros}}$$

$$\text{precio cable 25 mm}^2 = 2 \text{ cables} \cdot 65 \text{ metros} \cdot 5 \frac{\text{euros}}{\text{metro}} = \mathbf{650 \text{ euros}}$$

2.1.5.6.-Toma a tierra

La pica de conexión a tierra de 2 metros más los componentes para su instalación ronda los 35€. Como contaremos con dos de ellas:

$$\text{precio} = 2 \text{ picas} \cdot 35 \text{ euros/pica} = \mathbf{70 \text{ euros}}$$

Para la conexión de todos los marcos metálicos de las placas a tierra, se utilizará un cable que las recorra. Este cable medirá 100 metros y sería de 16 mm² como se ha mencionado anteriormente. El precio lineal es de 1,50 €:

$$\text{precio} = 100 \text{ metros} \cdot 1,50 \frac{\text{euros}}{\text{metro}} = \mathbf{150 \text{ euros}}$$

Por otra parte, para llevar a tierra los aparatos de consumo se deberán conectar a tierra los cuatro cuadros. Esto será con la sección de 25 mm², 100 metros de cable que recorra la granja hasta la arqueta a 2,50 €/metro.

$$\text{precio} = 120 \text{ metros} \cdot 2,50 \frac{\text{euros}}{\text{metro}} = \mathbf{300 \text{ euros}}$$

2.1.5.7.-Fusibles

Se colocará un fusible NH00 de 80 A entre las ocho líneas en paralelo y el regulador. Su precio es de 5€.

2.1.6.-Soportes y estructuras

Los soportes para los paneles fotovoltaicos serían de la marca **Würth** y distribuidos por la tienda Merkasol. El modelo en concreto consta de espacio para cuatro paneles de forma vertical, luego se necesitarán 46 estructuras de este tipo. El precio total de dichas estructuras es de **10.000 €**

También se necesitarán estructuras específicas para las baterías, reguladores e inversores, ya que se debe evitar que entren en contacto directo con el suelo para asegurar que queden protegidos contra la humedad y la corrosión como se indica en el plano nº7. Se calcula que dichos soportes para las 120 baterías, los cuatro inversores y el regulador costarán **6.500€**.

Sumando ambas un total de **16.500€**.

2.1.7.-Caseta prefabricada

Se necesitaría un recinto para el almacenaje de los distintos equipos fotovoltaicos. Será de unos 25 m². Puede parecer demasiado grande a priori, pero solamente las baterías ya ocupan alrededor de 17 m² y se necesita más espacio para el regulador y los cuatro inversores.

El precio de una caseta de estas características puede ser de unos 3000€. De la preparación del terreno y el procedimiento de montaje de la misma, se encargaría una empresa externa, por lo que no se incluye en el coste total de la instalación que abarca este proyecto.

2.1.8.-Mano de obra

Para esta instalación se utilizarán cuatro operarios que trabajarán cinco días en total cobrando por día 150€ cada uno, lo que daría un total de **3000€** en mano de obra.

Es un precio razonable si contamos con que los instaladores hacen uso de sus propios equipos de trabajo y además, se harían cargo del desplazamiento hasta la granja.

2.1.9.-Diseño

El diseño de esta instalación se valora en 40 horas a 125 €/hora por lo que el precio por el diseño de esta instalación es de **5000€**.

2.2.-COSTE INICIAL DE LA INSTALACIÓN

Los precios de los elementos de la instalación es la suma del precio de cada elemento expuesto anteriormente:

Placas	21.196,80 €
Reguladores	620,00 €
Inversores	6.762,72 €
Baterías	75.000,00 €
Cableado y protecciones	3.233,00 €
Soportes y estructuras	16.500,00 €

Mano de obra	3.000,00 €
Diseño	5.000,00 €
Total	131.312,52 €
IVA	21%
Total + IVA	157.208,15 €

Tabla 23. Resumen coste inicial de la instalación.

Para el cálculo más IVA nótese que se ha procedido a añadir el 21% a las placas, reguladores, baterías, inversores, cableado... Es decir, equipos físicos que requerirán de este impuesto. Después se ha sumado a esa cantidad los 8.000€ de mano de obra + diseño. Esto es que he aplicado el +21% en todos los campos menos en coste de mano de obra y diseño, ya que no tendría sentido.



Figura 28. Diagrama de sectores del coste inicial.

Como puede apreciarse en el diagrama de sectores, el mayor coste en este tipo de instalaciones son las baterías, llegando a alcanzar más de la mitad del coste total de la instalación.

2.3.-COSTE WPICO Y KWH

El Wpico es la relación entre la potencia instalada y el precio total de la instalación:

$$\text{Coste Wpico} = \frac{131312,52}{58880} = 2,23\text{€/Wpico}$$

Es un coste bastante llamativo y económico, puesto que hace relativamente poco (año 2010) este tipo de instalaciones solían costar 7€/Wpico. La disminución del precio ha sido significativa y más teniendo en cuenta que las baterías no han disminuido de precio en la misma proporción que lo han hecho los paneles.

Para el cálculo de la energía nos ponemos en el escenario de 25 años vista. Las baterías, inversores y reguladores suelen tener una garantía de vida de 15 años, luego pasado ese tiempo deberán ser sustituidos y supondrán un coste adicional.

Coste a 25 años	
Reguladores	620,00 €
Baterías	75.000,00 €
Inversores	6.762,72 €
Mano de obra	10.000,00 €
Inversión inicial	131.312,52 €
TOTAL	223.695,24 €

Tabla 24. Resumen coste a 25 años.

Para el coste a 25 años se han recambiado los reguladores, baterías e inversores.

Para el precio de la mano de obra se han tenido en cuenta las revisiones y reparaciones durante los 25 años, así como la instalación de los nuevos reguladores, inversores y baterías.

Para el cálculo del kWh en los 25 años se deberá tener en cuenta las horas solares pico de la provincia de Albacete en un año y el deterioro que tendrán las placas en esos 25 años.

Se cuenta con que la zona en cuestión de la provincia de Albacete tiene aproximadamente 1500 horas solares pico al año.

La eficiencia de las placas solares en 25 años se estima que se habrá reducido un 10%.

Luego los kWh generados por la instalación se calcularán de la manera siguiente:

$$kWh \text{ generados} = 58,880 \text{ kWpico} \cdot 0,9 \cdot 1500 \frac{HSP}{\text{año}} \cdot 25 \text{ años} = \mathbf{1987200 kWh}$$

El coste por cada kWh generado sería:

$$\text{Coste del kWh generado} = \frac{223695,24 \text{ €}}{1987200 \text{ kWh}} = 0,1126 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = \mathbf{11,26 \text{ cents/kWh}}$$

Ahora bien, no toda la energía que producimos es consumida, puesto que se tienen 11 meses en los que se están produciendo excedentes respecto a las necesidades. Para garantizar el consumo del mes más desfavorable debe hacerse así, quedando los demás meses sobredimensionados.

Entonces para calcular la energía y el precio de la energía consumida se deberá tener en cuenta los valores del apartado "Consumos", sumando todos los consumos de cada mes resultando el consumo anual y multiplicándolo por 25.

$$kWh \text{ consumidos} = \sum \text{Consumos mensuales} \cdot 25 \text{ años} = \mathbf{1093177 kWh}$$

Y como en el caso anterior:

$$\text{Coste del kWh consumido} = \frac{223695,24 \text{ €}}{1093177 \text{ kWh}} = 0,2046 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = \mathbf{20,46 \text{ cents/kWh}}$$

La diferencia es bastante importante y nos indica cómo estamos infrutilizando las posibilidades de la instalación en una proporción que va desde la energía realmente consumida a la que realmente podríamos producir. Dicho de otra manera, la instalación solo aprovecha:

$$\text{Aprovechamiento de la instalación} = \frac{1093177 \text{ kWh}}{1987200 \text{ kWh}} = 0,55 = \mathbf{55 \%}$$

Que corresponde aproximadamente a la mitad de la energía que puede producir. Este dato nos puede ayudar a entender uno de los factores que influye en por qué el coste de las instalaciones aisladas es todavía elevado. El otro, evidentemente, es la necesidad de utilizar acumuladores o baterías para los momentos en que no tenemos producción de los paneles o lo producido es inferior al consumo.



3.-PLANOS

INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA AISLADA PARA UNA GRANJA

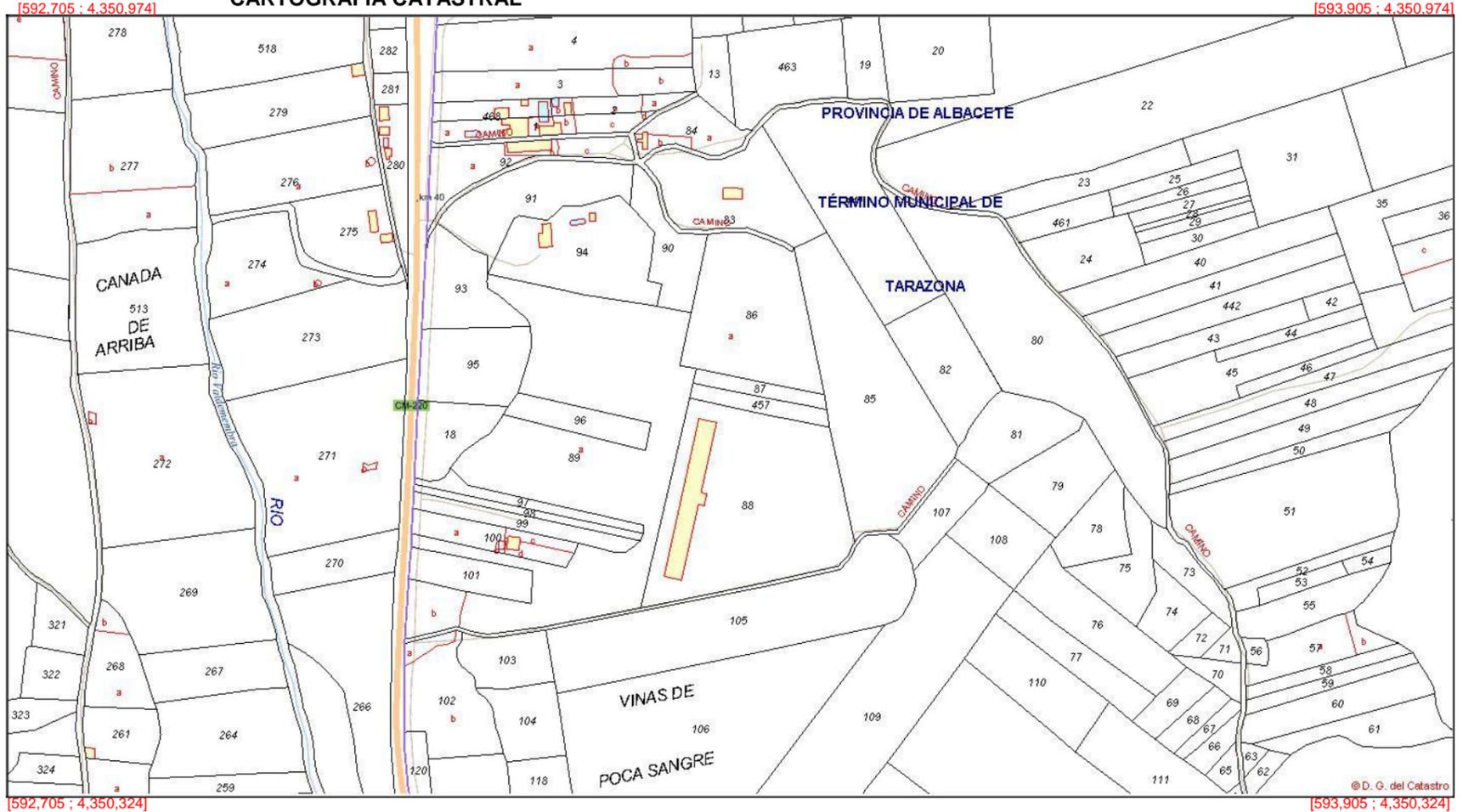
Alumno: **Matellán Ríos, Javier**

Tutor: **Saiz Jiménez, Juan Ángel**

Dpto.: Departamento de Ingeniería Eléctrica

Titulación: Grado en Ingeniería Mecánica

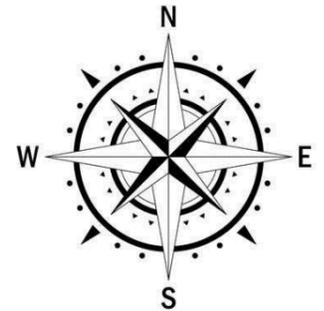
CARTOGRAFÍA CATASTRAL



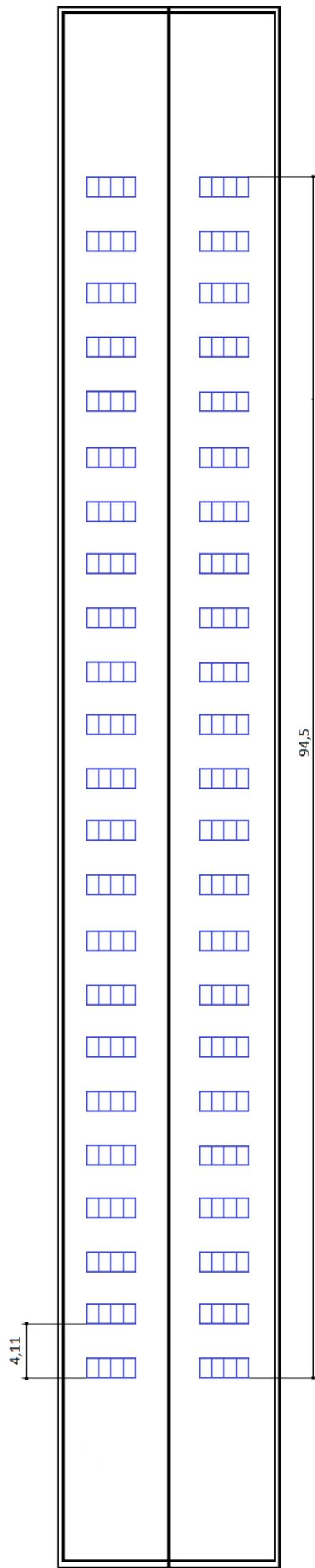
Coordenadas del centro: X = 593.305 Y = 4.350.649

Este documento no es una certificación catastral

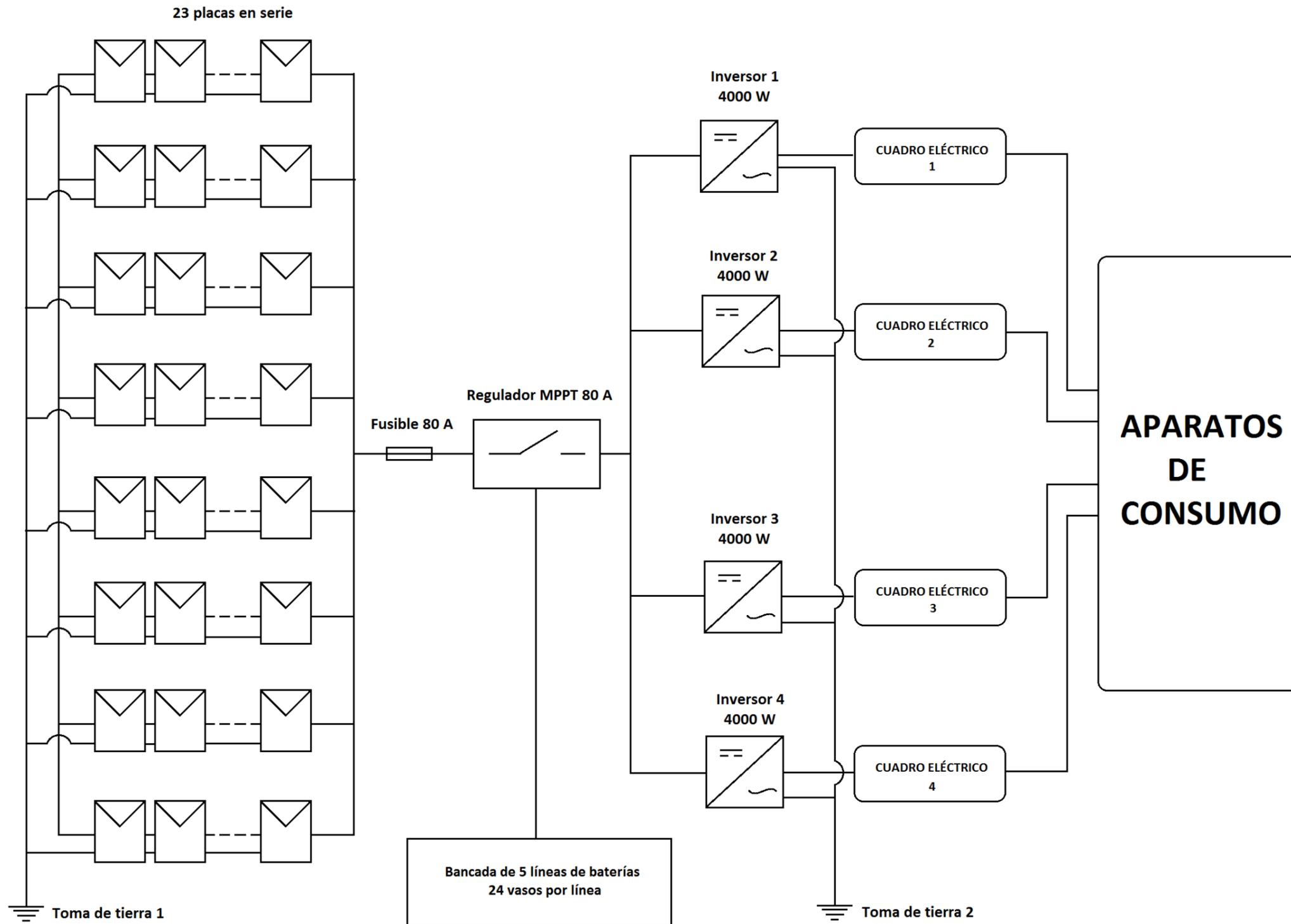
© Dirección General del Catastro 16/07/18



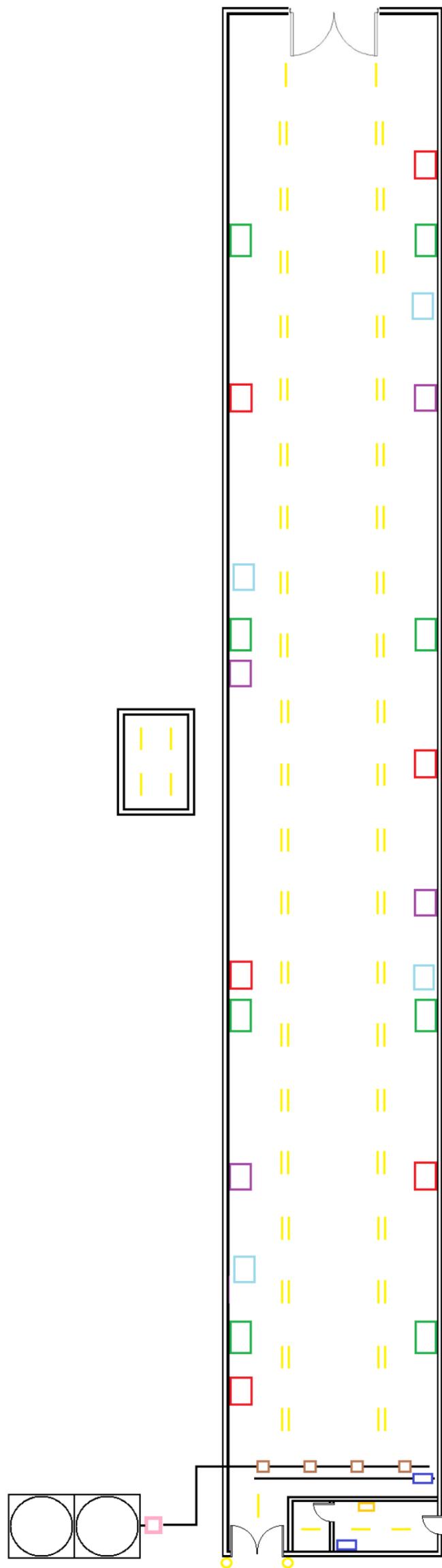
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño		Instalación solar fotovoltaica aislada para una granja
Javier Matellán Ríos		
ESCALA	PLANO	PLANO Nº
EMPLAZAMIENTO		1



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño		Instalación fotovoltaica aislada para una granja
Javier Matellán Ríos		
ESCALA	PLANO	PLANO Nº
1 / 500	DISPOSICIÓN DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	2



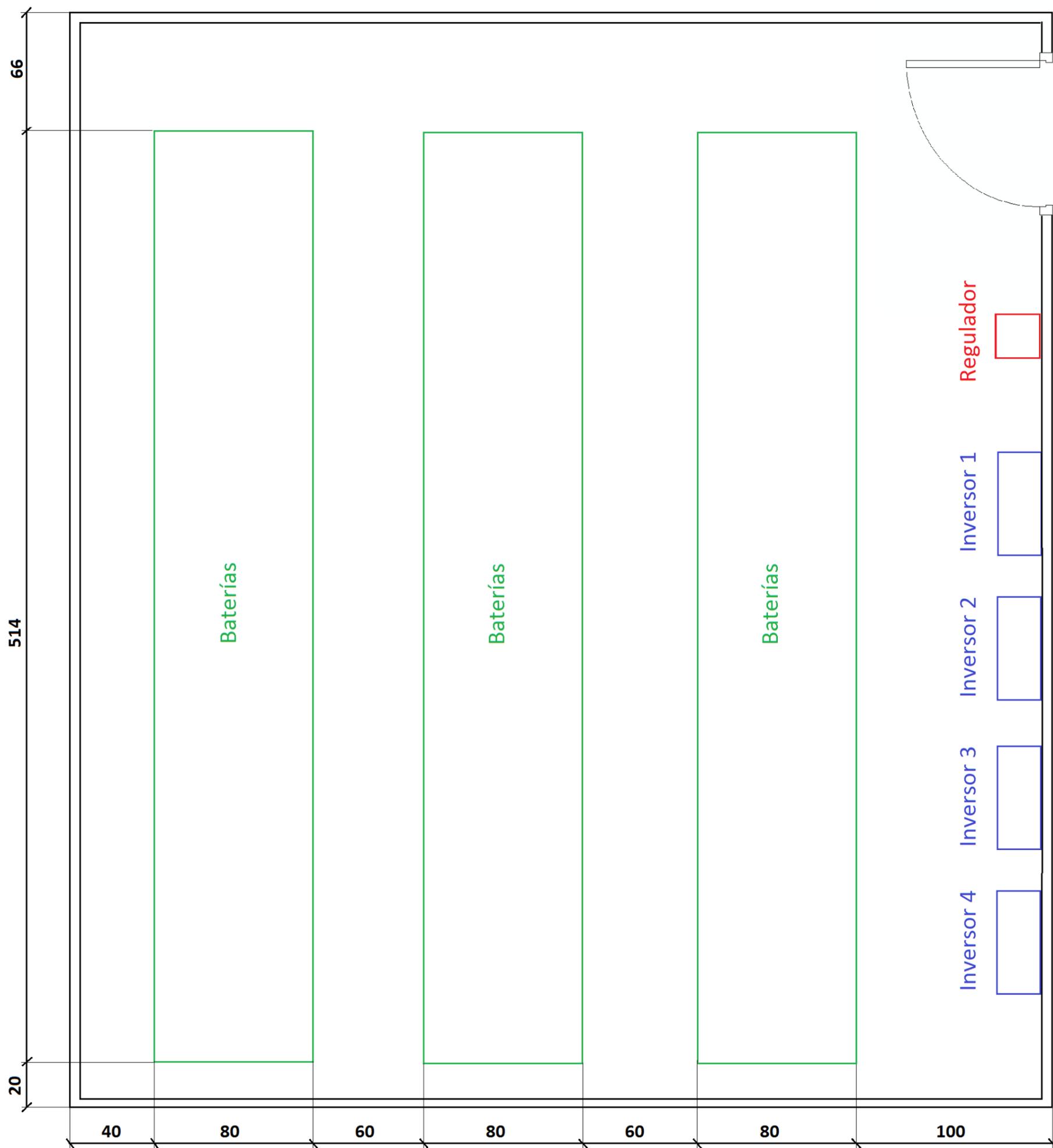
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño		Instalación solar fotovoltaica aislada para una granja
Javier Matellán Ríos		
ESCALA	PLANO	PLANO Nº
	ESQUEMA UNIFILAR	3



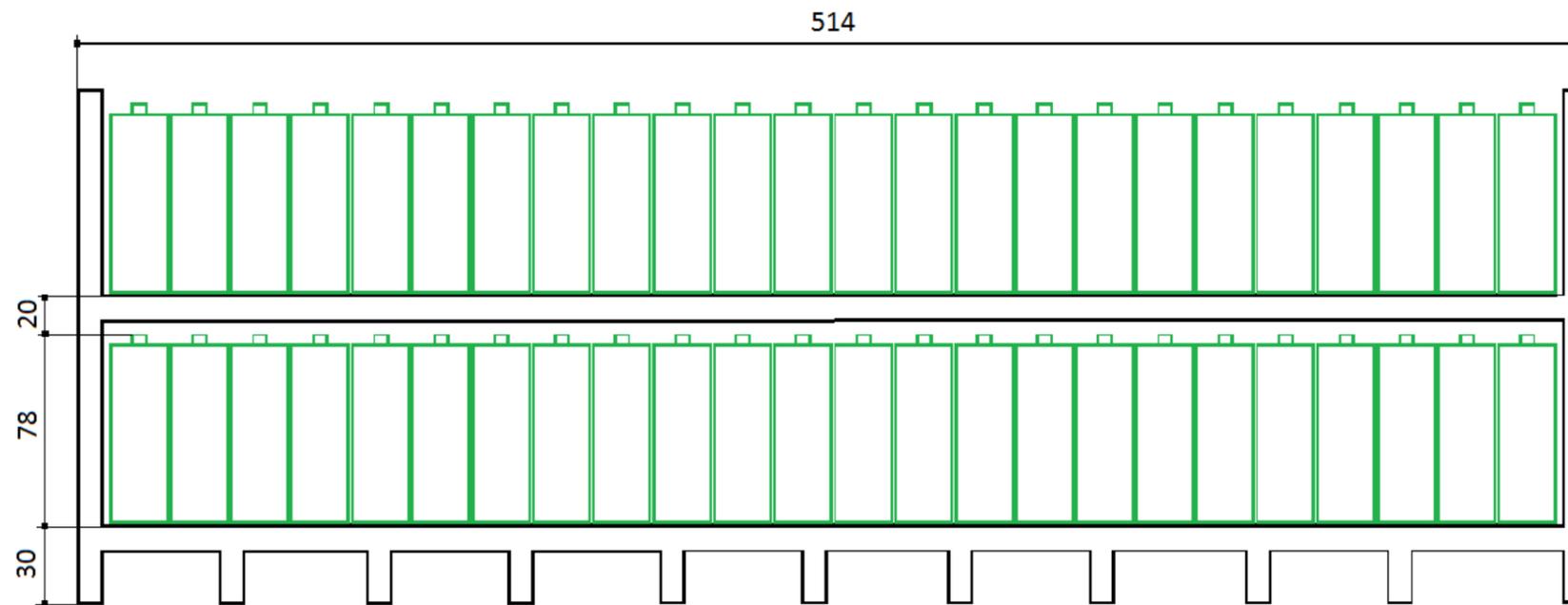
LEYENDA

- Ordenador
- Motores ventanas
- Extractores murales
- Motores comederos
- Motor silo
- | Fluorescentes
- | Fluorescentes caseta
- Luces exteriores
- Bombas de agua
- Nebulizadores
- Calefactores

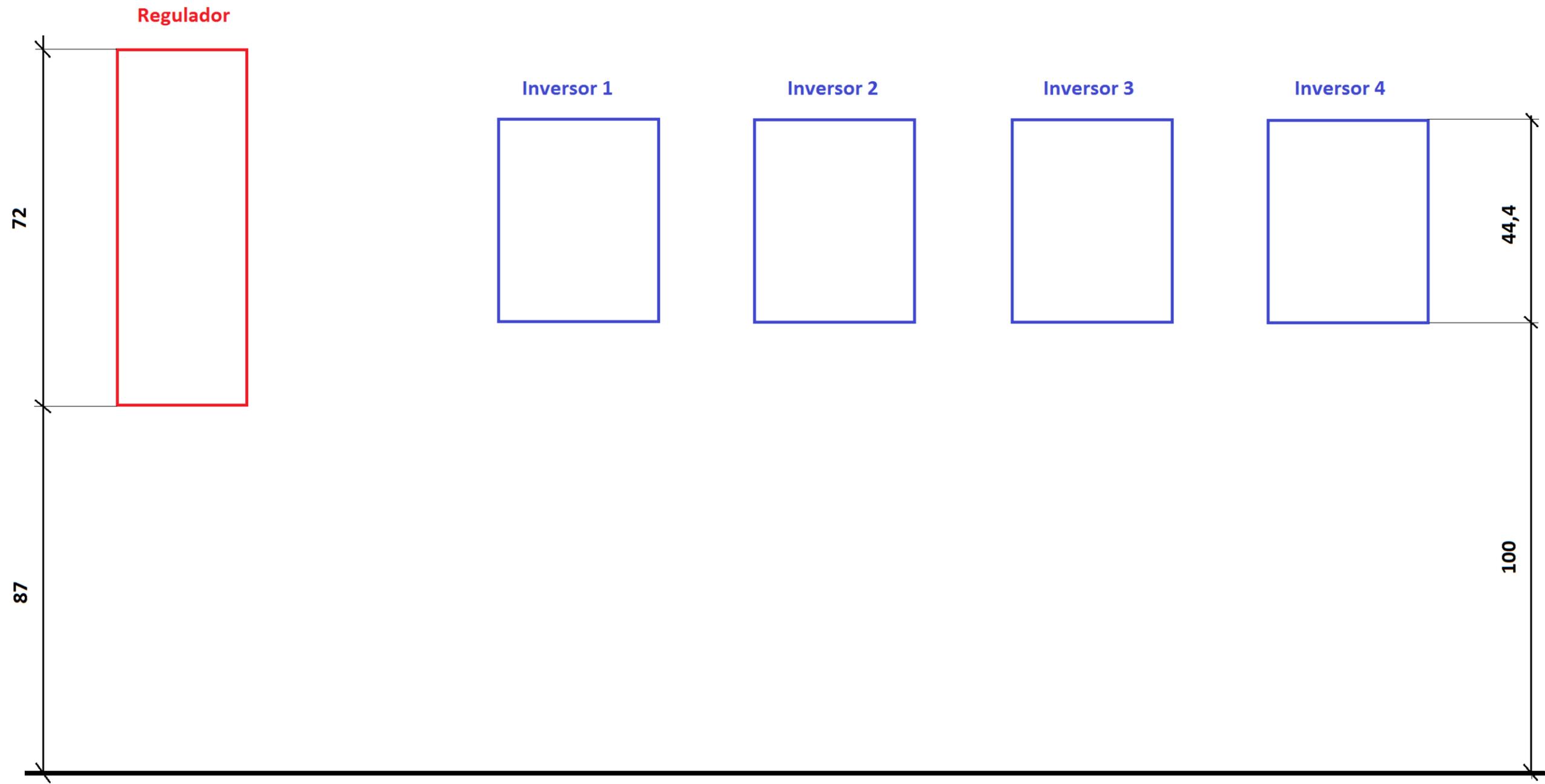
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño		Instalación solar fotovoltaica aislada para una granja	
Javier Matellán Ríos			
ESCALA	PLANO	PLANO Nº	
1 / 500	DISPOSICIÓN DE MÁQUINAS EN PLANTA		4



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño		Instalación solar fotovoltaica aislada para una granja	
Javier Matellán Ríos			
ESCALA	PLANO	PLANO Nº	
1 / 20	CASETA EN PLANTA	5	

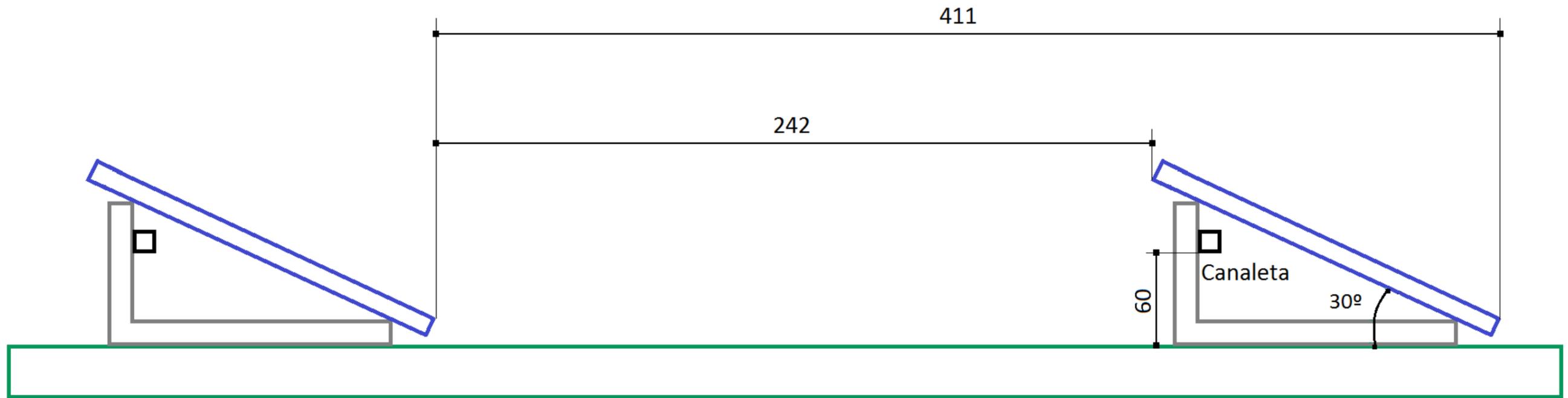


Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño		Instalación solar fotovoltaica aislada para una granja
Javier Matellán Ríos		
ESCALA	PLANO	PLANO Nº
1 / 20	BANCADA DOBLE DE BATERÍAS	6

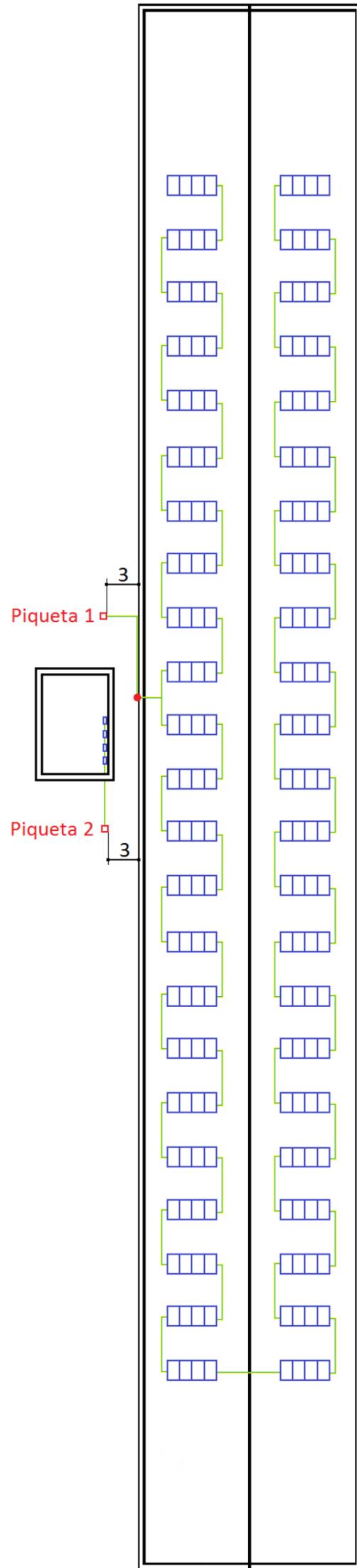


SUELO

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño		Instalación solar fotovoltaica aislada para una granja	
Javier Matellán Ríos			
ESCALA	PLANO	PLANO Nº	
1 / 10	PARED DE LA CASETA (ELEVACIÓN DE LOS EQUIPOS)	7	

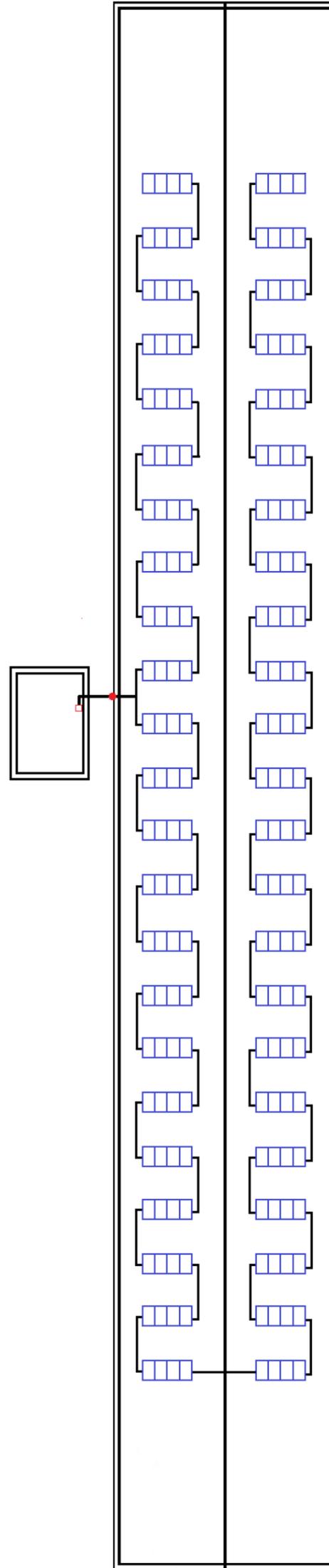


Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño		Instalación solar fotovoltaica aislada para una granja
Javier Matellán Ríos		
ESCALA	PLANO	PLANO Nº
1/20	INCLINACIÓN DE LAS PLACAS SOBRE EL TEJADO	8



• Punto de bajada hasta el suelo

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño		Instalación fotovoltaica aislada para una granja	
Javier Matellán Ríos			
ESCALA	PLANO	PLANO Nº	
1 / 500	PUESTA A TIERRA DE PLACAS E INVERSORES		9



• Punto de bajada hasta el suelo

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño		Instalación fotovoltaica aislada para una granja
Javier Matellán Ríos		
ESCALA	PLANO	PLANO Nº
1 / 500	CONEXIONADO ENTRE PLACAS	10