

Bárbara Almazor Mantero

**Control de un sistema de producción de energía
eléctrica aislado mediante microcontrolador**

Trabajo Fin de Grado
dirigido por José Luis Ramírez Falo
dirigido por Luis Guasch Pesquer

Grado de Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Tarragona
2023

Índex

1.	Introducción.....	4
2.	Descripción de la nave	5
2.1	Descripción general	5
2.1.1	Titular y destinatario	5
2.1.2	Situación y emplazamiento	5
2.1.3	Maquinaria e instalaciones.....	5
2.1.4	Iluminación	6
2.1.5	Circuito de agua	6
2.1.6	Circuito de alimento	6
2.1.7	Ventilación y calefacción.....	6
2.1.8	Control.....	7
2.2	Potencias y consumos.....	8
3.	Diseño de la instalación fotovoltaica	16
3.1	Estructura de la instalación	16
3.2	Condiciones para la instalación de los módulos	17
3.3	Radiación solar disponible	19
3.4	Cálculo de los paneles solares necesarios	21
3.4.1	Cálculo de la cantidad de paneles en serie	23
3.4.2	Regulador de carga.....	23
3.4.3	Inversores.....	25
3.4.4	Baterías	27
3.4.5	Cableado.....	28
3.5	Protección de la instalación	34
3.6	Fusibles.....	35
3.7	Puesta a tierra	36
3.7.1	Características del suelo	36
3.8	Disposición y colocación de los módulos.....	38
3.9	Presupuesto de la instalación fotovoltaica.....	39
3.9.1	Módulos fotovoltaicos.....	39
3.9.2	Regulador	39
3.9.3	Inversores.....	39
3.9.4	Baterías	39
3.9.5	Cableado y protecciones.....	39
3.9.6	Resumen de presupuesto	41
4.	Automatización del sistema de climatización.....	42
4.1	Objetivo de la automatización	42
4.2	Placa de desarrollo D1 Mini ESP32	43

4.2.1 Características	43
4.3 Sensor de temperatura DS18B20	44
4.4 Entorno de desarrollo	45
4.5 Funcionamiento del algoritmo de climatización.....	46
4.6 Juego de pruebas.....	48
4.7 Presupuesto.....	48
5. Conclusiones	49
6. Anexos.....	50
6.1 Plano de distribución de los módulos fotovoltaicos	50
6.2 Plano del anclaje de los módulos al tejado.....	51
6.3 Código	52
7. Referencias	57

1. Introducción

El punto de partida inicial es que la única fuente de generación para el consumo eléctrico, en esta granja porcina de reproductoras, es la generación eléctrica desde grupos electrógenos.

Entendemos como grupo electrógeno un conjunto de motor (diésel en este caso) y alternador, configurado de forma que nos permite obtener corriente eléctrica. Se utilizan principalmente para suministrar energía en el supuesto de que se den cortes de corriente si la instalación está conectada a la red. Por otro lado, son aplicables también en lugares aislados en los que no existe red eléctrica. El caso de esta granja es el segundo descrito, es decir, utiliza grupos electrógenos como fuente única de energía.

La instalación diseñada en el proyecto tiene como objetivo optimizar los recursos energéticos disponibles, eliminando así el consumo de combustibles fósiles totalmente, ya que son muy nocivos para el medio ambiente. Esto se conseguirá apostando por un modelo de eficiencia energética y aprovechamiento de la radiación solar disponible en la localización.

Además, como otra forma de mejorar el ahorro energético, el proyecto incluirá también una optimización del sistema de climatización, compuesto por ventiladores y extractores, mediante la instalación de un par de sensores de temperatura y un microcontrolador.

2. Descripción de la nave

2.1 Descripción general

2.1.1 Titular y destinatario

El titular de la instalación sobre la que trabajamos es Explotaciones Hnos. Almazor S.C., cuya dirección fiscal es C/ Mayor, nº 17 de Hoz de Barbastro (Huesca).

2.1.2 Situación y emplazamiento

El terreno se sitúa en la población de Hoz de Barbastro (Huesca) y cuenta con 3,6 ha de superficie. Se encuentra situado en zona agrícola, Polígono 3 Parcelas 76 y 180.

El terreno en cuestión está delimitado por las líneas rojas, siendo las dos parcelas que se ven en la imagen las que corresponden a la propiedad [1].



Ilustración 1 Vista aérea de las parcelas.

La nave que se estudia en el proyecto es la rodeada en amarillo. Está destinada a la cría de cerdas para poder ser inseminadas posteriormente.

Como puede observarse su orientación es prácticamente de este a oeste, es decir, como la trayectoria del sol. Es un detalle interesante a tener en cuenta para el estudio de la instalación de placas que se encuentra más adelante.

2.1.3 Maquinaria e instalaciones

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

Con el fin de mantener los dispositivos necesarios para el funcionamiento de la instalación fotovoltaica (baterías, reguladores e inversores), se construirá una caseta prefabricada a pocos metros de la nave.

Además de la nave, la instalación cuenta con una oficina para llevar a cabo las tareas administrativas y de gestión de la explotación. Esta tiene un pequeño cuarto de aseo para uso de los trabajadores.

2.1.4 Iluminación

Que la iluminación sea la adecuado es fundamental para que las cerdas puedan desarrollarse correctamente. El control adecuado de esta puede estimular al pollo a comer y beber.

La nave dispone de 42 lámparas fluorescentes, la oficina de 4 y además se instalarán 4 más en la caseta prefabricada. Estas últimas las incluiremos en la previsión de cargas, aunque no estén instaladas actualmente. Cada uno de los fluorescentes es de 18 W de potencia.

Tenemos también dos lámparas de 11 W sobre la puerta de entrada principal, en el exterior de la nave.

2.1.5 Circuito de agua

Diferenciamos dos circuitos de agua distintos: uno para el cuarto de aseo de la oficina y otro para los bebederos.

→ Circuito para bebederos

El objetivo del circuito de bebederos es mantener los depósitos con agua siempre para la correcta hidratación del animal. Está formado por bombas de agua, depósitos, sensores de nivel (tanto máximo como mínimo), las tuberías correspondientes y todo el kit de accesorios hasta llegar a los bebederos.

Las bombas de agua están situadas en el pozo y elevan el agua para que pueda llegar a los depósitos. Su funcionamiento es posible gracias a los sensores de nivel situados tanto en los depósitos como en el pozo, de manera que, al bajar el nivel de agua por debajo del sensor, pone en marcha la bomba hasta que el depósito esté lleno. Se utilizan 4 de estas, de 1,1 kW de potencia cada una.

→ Circuito para el cuarto de aseo

Para que el agua llegue al váter y lavabo del cuarto de aseo, se tiene otra bomba de las mismas características que la anterior.

2.1.6 Circuito de alimento

El circuito de alimentación es el responsable de que los cerdos tengan alimento a su disposición siempre que la necesiten. Está compuesto por silo, tolva, motores de la tolva, motores de las líneas de comederos y tuberías con un tornillo sinfín para transportar la comida hasta los comederos. Los motores que hay en este son 7 motores trifásicos que consumen 750 W.

2.1.7 Ventilación y calefacción

Para controlar que la nave esté a la temperatura adecuada, esta cuenta con varios componentes.

Por un lado, 25 ventanas motorizadas. Los motores que permiten abrirlas y cerrarlas son dos de 0,18 kW cada uno. Se tienen además dos baterías de 12 V en caso de que haya algún fallo eléctrico. Además, tiene también 16 extractores murales para ayudar a la correcta circulación del aire, que consumen 450 W cada uno.

Para controlar la humedad y la temperatura en los meses más calurosos, es imprescindible contar con nebulizadores cuya función es regular ambas. El proceso consiste en enfriar el ambiente mediante una atomización de agua. Hay cuatro repartidos a lo largo de la nave y consumen una potencia de 800 W cada uno.

No es necesaria calefacción en la nave ya los animales que hay en su interior son adultos y está muy bien aislada, nunca baja de los 19 °C.

2.1.8 Control

Para poder gestionar el funcionamiento de todos los aparatos mencionados hasta ahora, se tiene un ordenador que permite activar, desactivar y comprobar el estado de cada elemento. Tiene una potencia de 320 W.

2.2 Potencias y consumos

Si sumamos todas las potencias de los elementos que componen la instalación obtendremos como resultado la previsión de cargas.

Como hemos ido describiendo en el apartado anterior, la potencia prevista para la nave está compuesta por la instalación de luminaria, hidráulica, alimentación, ventilación y control. En el siguiente cuadrante encontramos un resumen de los valores:

Elemento de la instalación	Cantidad	Potencia unitaria [W]
Fluorescentes nave	42	18
Fluorescentes oficina	4	18
Fluorescentes caseta	4	18
Luces exteriores	2	11
Bombas de agua	4	1375
Motores comederos	7	785
Motores ventanas	2	180
Extractores murales	16	450
Nebulizadores	4	800
Ordenador	7	320

Tabla 1 Potencia unitaria de los elementos de la instalación.

Elemento de la instalación	Potencia instalada [W]	k_s (simultaneidad)	Potencia de cálculo [W]
Fluorescentes nave	756	1,00	756
Fluorescentes oficina	72	1,00	72
Fluorescentes caseta	72	1,00	72
Luces exteriores	22	1,00	22
Bombas de agua	5500	*0,00	0
Motores comederos	5500	0,28	1575
Motores ventanas	360	0,50	180
Extractores murales	7200	0,25	1800
Nebulizadores	3600	0,25	900
Ordenador	320	1,00	320
TOTAL:	23152		5697

* El coeficiente de simultaneidad se considera 0 en este caso debido a que las bombas de agua y los comederos están programados de manera que nunca coinciden, así que no es necesario contar con la potencia de ambos para el cálculo

Tabla 2 Potencias instalada y de cálculo de los elementos de la instalación.

Se puede ver que, en algunos casos como los motores de los comederos, por ejemplo, el coeficiente de simultaneidad es menor que 1. Esto nos indica que algunos de los elementos de la instalación están programados de manera que no se solape su uso entre ellos, y así la potencia de cálculo no tenga que ser tan elevada como la instalada.

Hablando con los propietarios de la granja, hemos podido construir una tabla con las horas al día que se usa cada equipo aproximadamente. De esta manera obtendremos los consumos en kWh de cada mes.

horas/día (aprox.)

ELEMENTO DE LA INSTALACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Fluorescentes nave	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6
Fluorescentes oficina	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Fluorescentes caseta	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Luces exteriores	13	13	12	12	11	10	10	10	11	12	12	13
Bombas de agua	1	1	1,25	1,5	2,5	1,75	1,75	2	1,75	1,25	1	1
Motores comederos	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Motores ventanas	0	0	0,1	0,1	0,1	0	0	0	0	0,1	0,1	0
Extractores murales	0	0	0	0	0	7	8	8	0	0	0	0
Nebulizadores	0	0	0,75	1,25	1,5	1,5	2	2	2	1,25	1	0
Ordenador	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24

kW-h/mes (aprox.)

ELEMENTO DE LA INSTALACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Fluorescentes nave	164,05	127,01	117,18	90,72	70,31	45,36	23,44	46,87	68,04	93,74	113,4	140,62
Fluorescentes oficina	3,35	3,02	3,24	3,24	3,35	3,24	3,35	3,35	3,24	3,35	3,24	3,35
Fluorescentes caseta	1,12	1	1,12	1,08	1,12	1,08	1,12	1,12	1,08	1,12	1,08	1,12
Luces exteriores	8,87	8	8,19	7,92	7,5	6,6	6,82	6,82	7,26	8,18	7,92	8,87
Bombas de agua	682	616	852,5	990	1193,5	1320	1364	1364	1155	852,5	660	682
Motores comederos	81,38	73,5	81,38	78,75	81,38	78,75	81,38	81,38	78,75	81,38	78,75	81,38
Motores ventanas	0	10,08	11,16	21,6	22,32	0	0	0	0	22,32	10,8	0
Extractores murales	0	0	0	0	0	1080	1785,6	1785,6	0	0	0	0
Nebulizadores	0	0	334,8	540	781,2	756	892,8	1004,4	864	558	432	0
Ordenador	238,08	215,04	238,08	230,4	238,08	230,4	238,08	238,08	230,4	238,08	230,4	238,08

Ilustración 2 Horas de uso diarias y consumo mensual.

La tabla superior se ha obtenido multiplicando la potencia de cada elemento en W por las horas de uso al día y por el número de días que tiene cada mes. La suma de todas estas potencias nos da una estimación del consumo mensual. Realizamos un gráfico a partir de los valores resultantes para visualizarlo de una forma más esquemática.

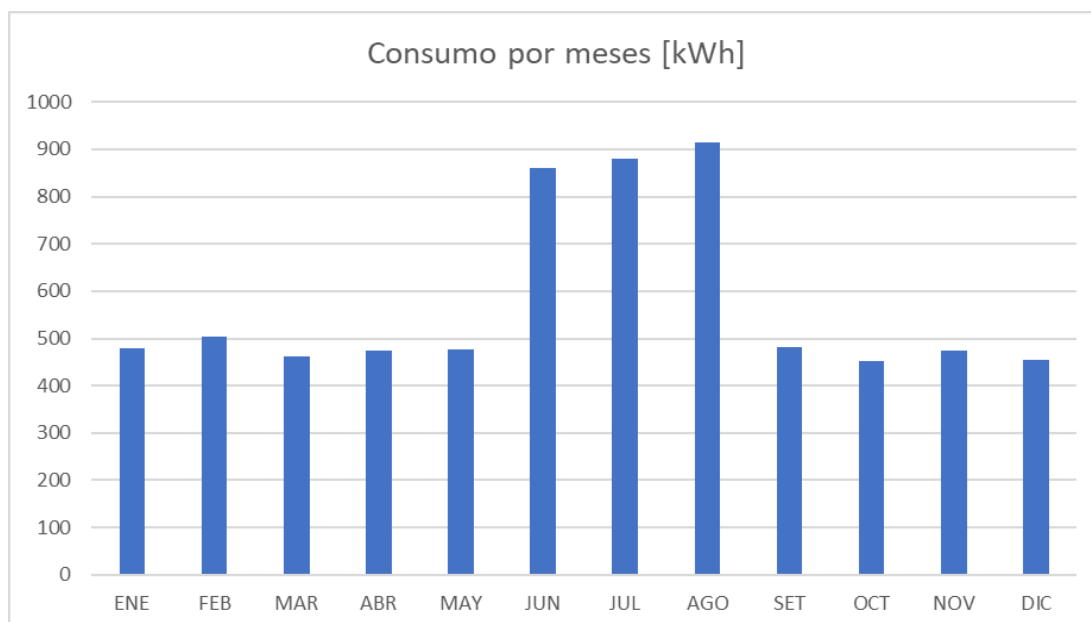


Ilustración 3 Gráfico de consumo mensual.

Después de observar en el gráfico la variación del consumo energético a lo largo de un año, representamos también la potencia consumida en un día tipo de cada uno de los meses por horas.



Ilustración 4 Gráfico de potencia consumida un día tipo de enero por horas.

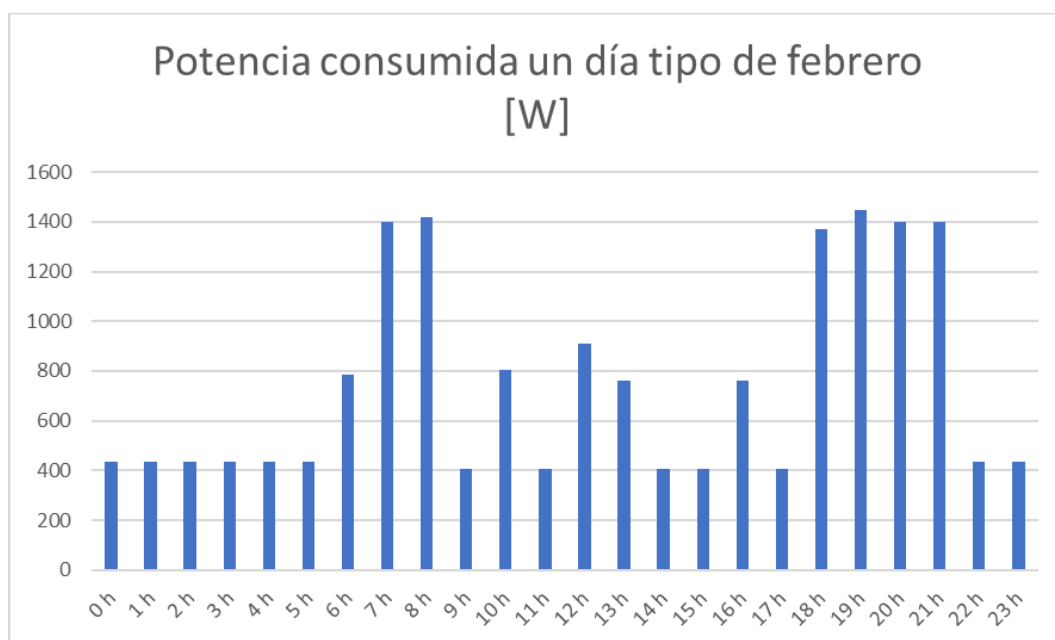


Ilustración 5 Gráfico de potencia consumida un día tipo de febrero por horas.



Ilustración 6 Gráfico de potencia consumida un día tipo de marzo por horas.

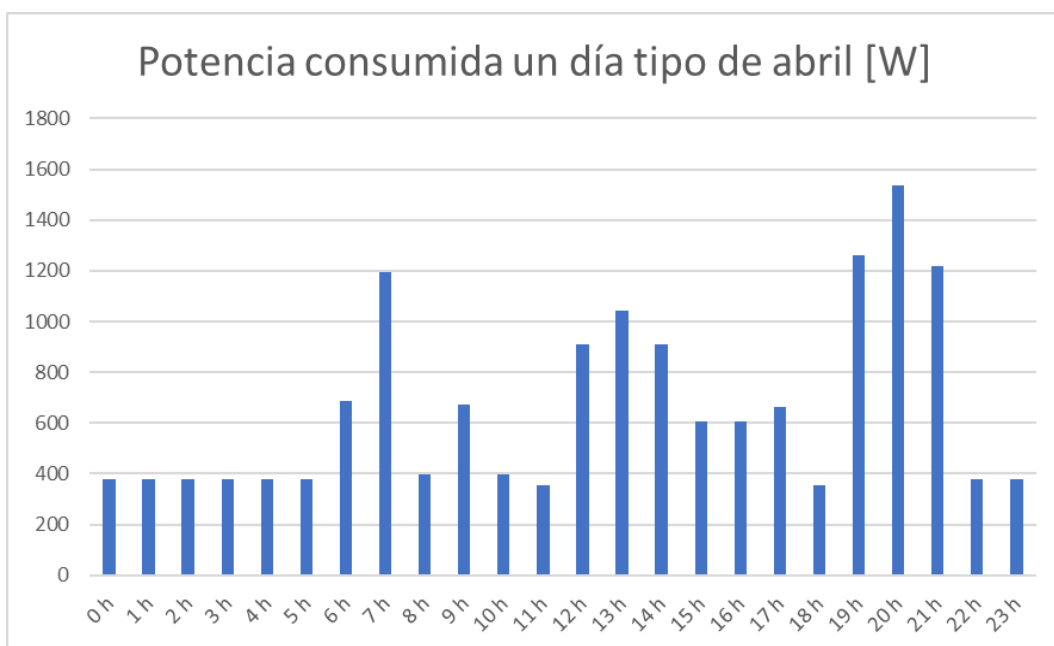


Ilustración 7 Gráfico de potencia consumida un día tipo de abril por horas.



Ilustración 8 Gráfico de potencia consumida un día tipo de mayo por horas.



Ilustración 9 Gráfico de potencia consumida un día tipo de junio por horas.

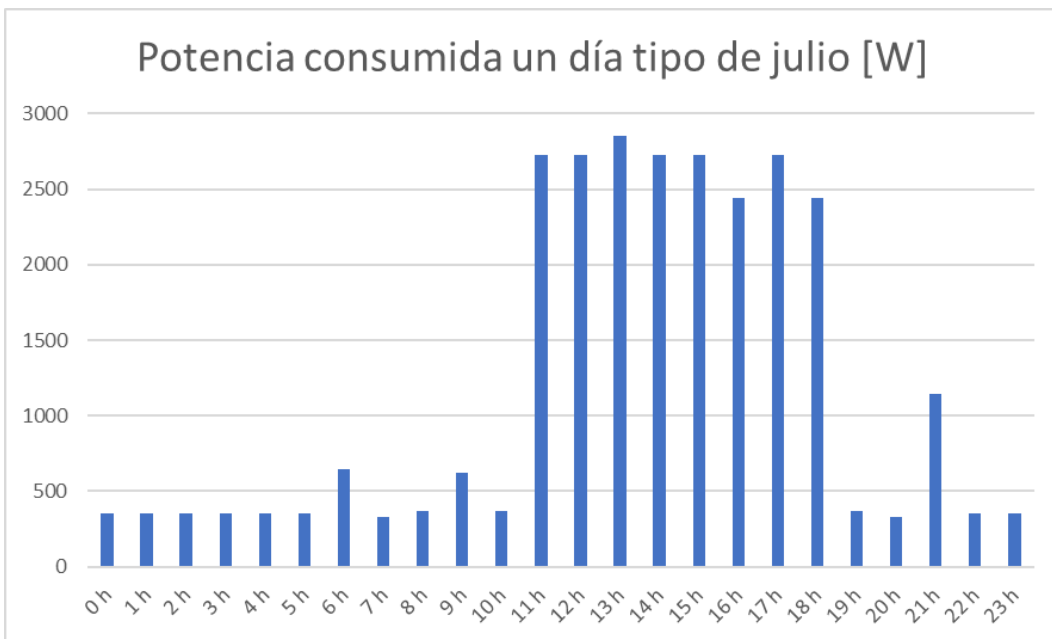


Ilustración 10 Gráfico de potencia consumida un día tipo de julio por horas.

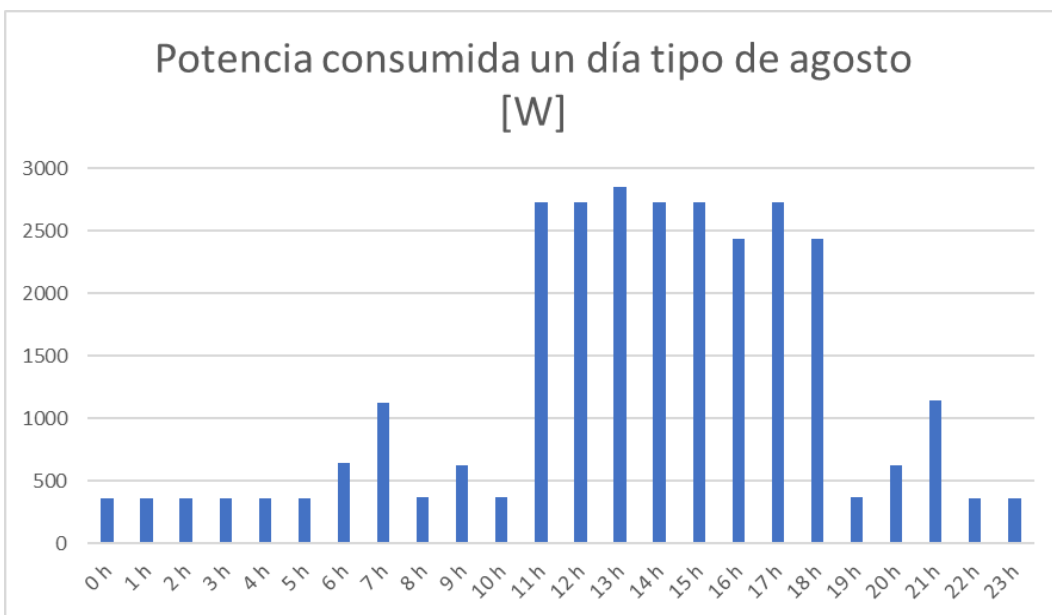


Ilustración 11 Gráfico de potencia consumida un día tipo de agosto por horas.

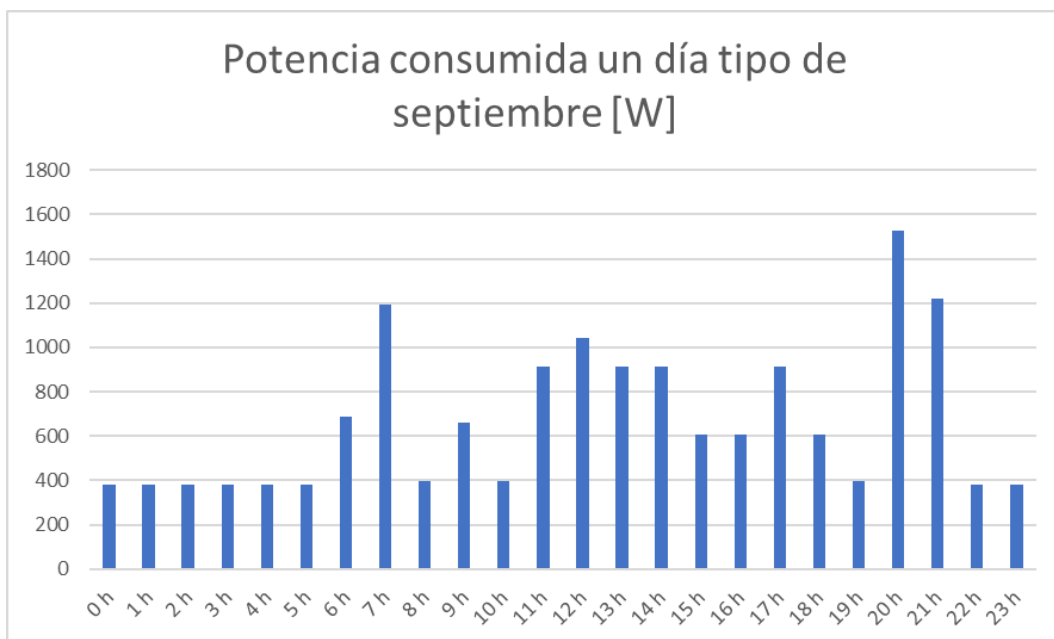


Ilustración 12 Gráfico de potencia consumida un día tipo de septiembre por horas.

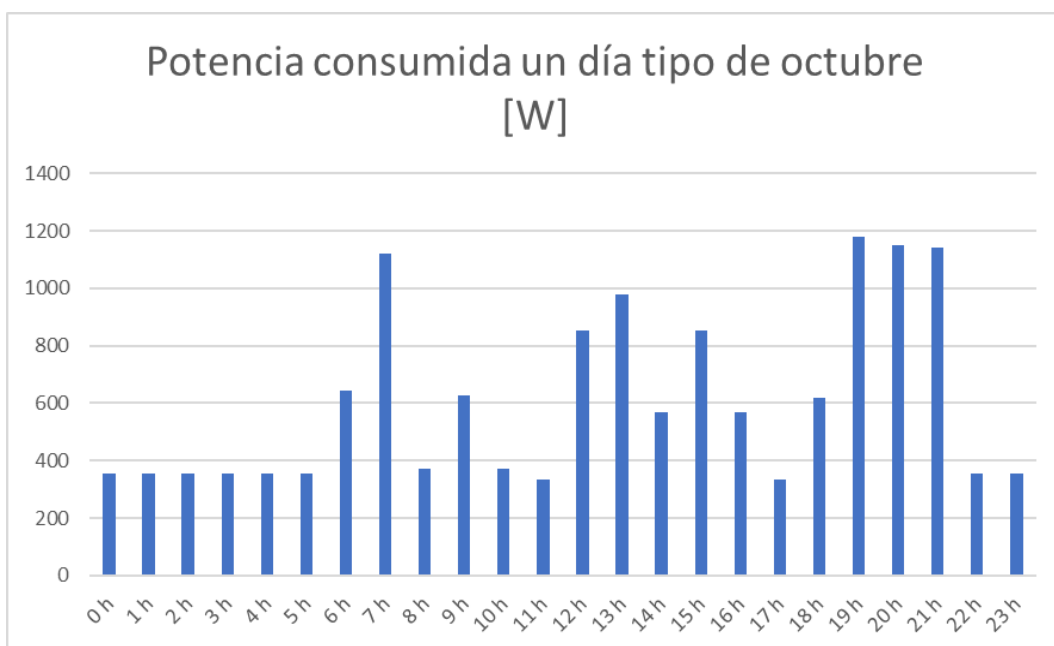


Ilustración 13 Gráfico de potencia consumida un día tipo de octubre por horas.



Ilustración 14 Gráfico de potencia consumida un día tipo de noviembre por horas.



Ilustración 15 Gráfico de potencia consumida un día tipo de diciembre por horas.

Una vez contamos con todos los datos necesarios para poder realizar el cálculo de la instalación fotovoltaica, procedemos a ello.

3. Diseño de la instalación fotovoltaica

3.1 Estructura de la instalación

El primer paso a dar para que la instalación fotovoltaica sea coherente es estructurar [2] cada uno de los elementos y la conexión entre ellos. La forma más fácil tanto de representarlo como de entenderlo es mediante un esquemático, como el que se incluye a continuación.

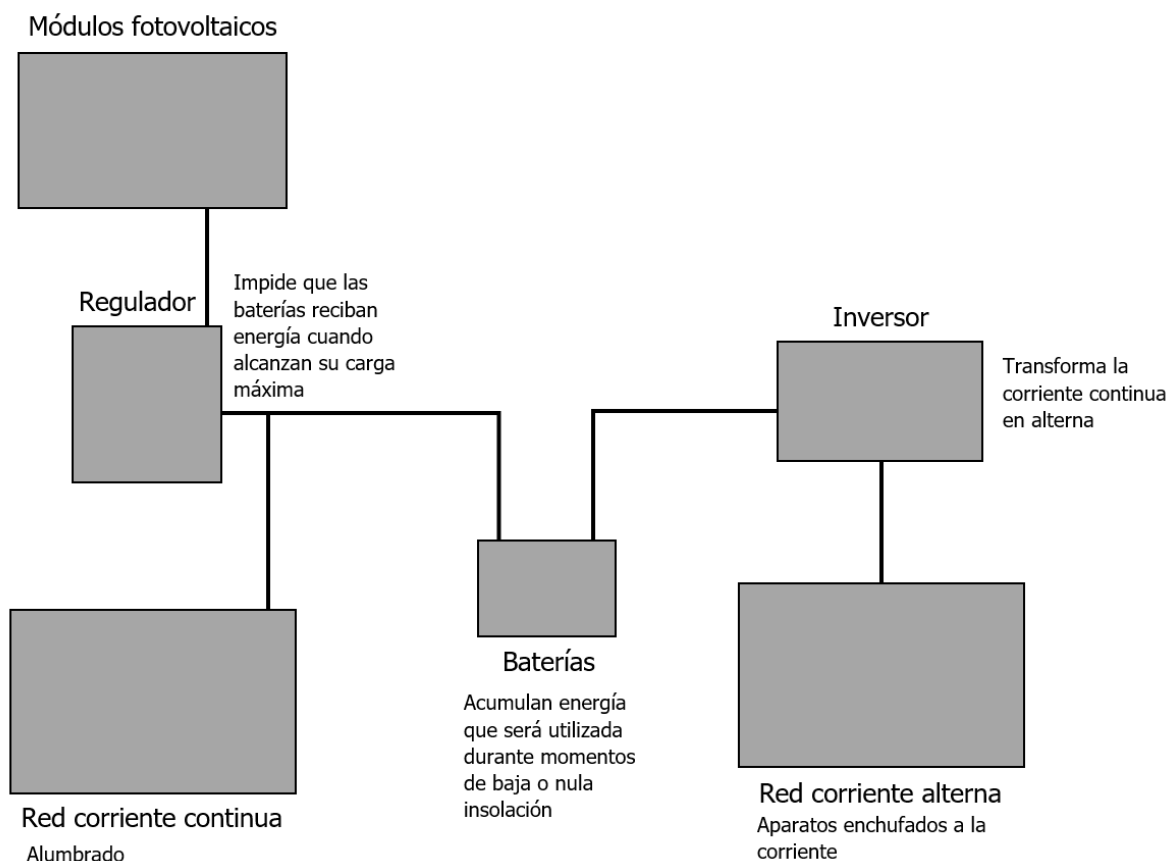


Ilustración 16 Esquema de la instalación.

3.2 Condiciones para la instalación de los módulos

La instalación de las placas se hará sobre el tejado, en la cara sur, de manera que los paneles queden inclinados hacia el sur. De esta manera, nos beneficiaremos de las ventajas expuestas anteriormente.

La granja cuenta con una ligera desviación con respecto al acimut [3] de unos 15° (α), no obstante, las placas se colocarán de manera paralela al tejado de la granja, es decir, admitiendo los 15° y no instalándolas de manera perfecta hacia el sur geográfico.



Ilustración 17 Esquemático que muestra el acimut.

La desviación del sur geográfico es mínima respecto la orientación de las placas es mínima colocándolas de forma paralela a la nave, y es por eso que no se modifica para conseguir una mejor integración arquitectónica. Se calcula las pequeñas pérdidas que supone esto mediante un documento [4].

B	C	D	E	F	G	H	I
Angulo de acimut			Angulo de inclinación			Latitud	
α	15		β	17,74		γ	42
Pérdidas por orientación e inclinación							
Pérdidas:			3,2276712				
Pérdidas límite según CTE							
General			10%	CUMPLE			
Superposición			20%	CUMPLE			
Integración arquitectónica			40%	CUMPLE			

Ilustración 18 Hoja de cálculo con el cálculo de pérdidas.

Se comprueba que las pérdidas totales son aproximadamente del 3,23% y no superan en ningún caso las pérdidas límite según el Código Técnico de la Edificación [5].

Los paneles irán paralelos a la cubierta sobre una estructura mínima, lo justo para separarlos del mismo tejado para que se ventilen.

3.3 Radiación solar disponible

Para obtener la radiación solar incidente, se pueden utilizar tablas con estimaciones ya existentes.

Una buena fuente de estas estimaciones es la aplicación PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System – European Commission, Joint Research Center) [6] [7], que tiene una plataforma on-line desde donde se pueden obtener los datos de insolación para toda Europa de forma fácil y rápida.

Para que el programa pueda devolver los datos correspondientes, necesita la ubicación de nuestra nave: 42°08'55.2"N 0°08'07.1"E (Hoz y Costean, Huesca).

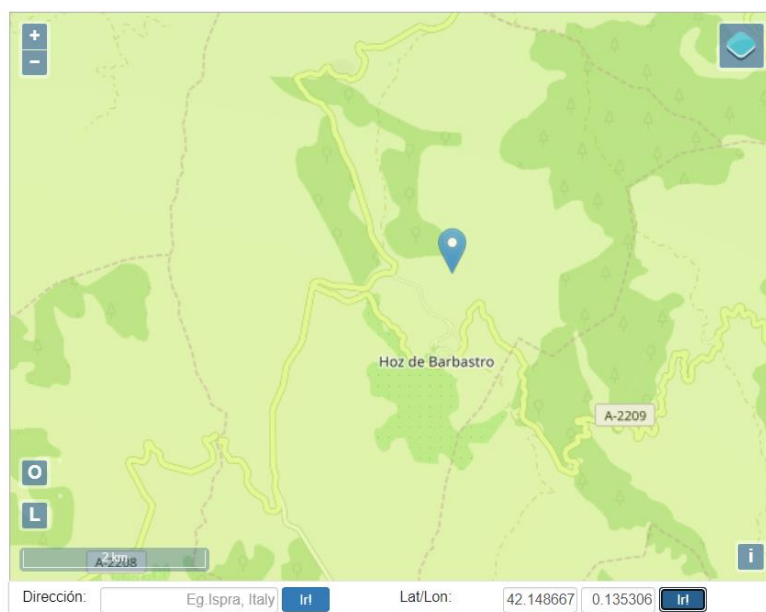


Ilustración 19 Ubicación de la nave en PVGIS.

Cursor: Seleccionado: 42.149, 0.135 Elevación (m): 658 PVGIS ver. 5.2	Utilizar las sombras del terreno: <input checked="" type="checkbox"/> Horizonte calculado <input type="checkbox"/> Cargar archivo de horizonte	<input type="button" value="csv"/> <input type="button" value="json"/> <input type="button" value="Seleccionar archivo"/> Ninguno archivo selec. <input type="button" value="Switch to version 5.1"/>
CONECTADO A RED RENDIMIENTO DE UN SISTEMA FV CONECTADO A RED	Base de datos de radiación solar* Tecnología FV* Potencia FV pico instalada [kWp]* Pérdidas sistema [%]*	PVGIS-SARAH2 Silicio cristalino 1 <input type="button" value="↕"/>
Opciones de montaje fijo Posición de montaje * Inclinación [°]* Azimut [°]* <input type="checkbox"/> Precio electricidad FV Coste sistema FV [su divisa] Interés [%/año] Vida útil [años]	Sobre el tejado / integrado en el edif <input type="checkbox"/> Optimizar inclinación <input type="checkbox"/> Optimizar inclinación y azimut	<input type="button" value="↕"/> <input type="button" value="↕"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
<input type="button" value="Visualizar resultados"/> <input type="button" value="csv"/> <input type="button" value="json"/>		

Ilustración 20 Datos de la instalación introducidos en PVGIS.

Sistema fijo: inclinación = 17,74 °, orientación = -15 °				
Mes	Ed [Wh]	Em [kWh]	Hd [Wh/m ²]	Hm [kWh/m ²]
Ene	2419,35	75	3000	93
Feb	3432,14	96,1	4317,86	120,9
Mar	4161,29	129	5383,88	166,9
Abr	4526,67	135,8	6026,67	180,8
May	5009,68	155,3	6861,3	212,7
Jun	5320	159,6	7480	224,4
Jul	5432,26	168,4	7774,19	241
Ago	5054,84	156,7	7161,29	222
Sep	4366,67	131	5996,67	179,9
Oct	3387,1	105	4470,97	138,6
Nov	2546,67	76,4	3216,67	96,5
Dic	2212,9	68,6	2738,71	84,9
Total año	-	1456,9	-	1961,6

Ed: producción media diaria de energía eléctrica del sistema [Wh]

Em: producción media mensual de energía eléctrica del sistema [kWh]

Hd: suma diaria promedio de irradiación global por metro cuadrado recibida por los módulos [Wh/m²]

Hm: suma promedio de irradiación global por metro cuadrado recibida por los módulos [kWh/m²]

Tabla 3 Datos de insolación en la ubicación de la nave.

Podemos observar que el mes más desfavorable de radiación es diciembre con 2738,71 Wh/m² al día. Dimensionaremos, entonces, la instalación para las condiciones más desfavorables de insolación. De esta manera nos aseguramos de que cubriremos la demanda durante todo el año.

Una vez conocemos la radiación solar incidente, la dividimos entre la radiación solar incidente que utiliza el fabricante para calibrar los módulos (1 kW/m²). Así obtendremos la cantidad de horas sol pico (HSP). En nuestro caso, a efectos prácticos, este valor no cambia. Aun así, utilizaremos el concepto de HSP, que es el número de horas equivalente que tendría que brillar el sol a una intensidad de 1000 W/m² para obtener la insolación total de un día, ya que en realidad el sol varía la intensidad a lo largo del mismo.

$$HSP = \frac{Hd \text{ [Wh/m}^2\text{]}}{1000 \text{ [W/m}^2\text{]}} = 2,74 \text{ HSP} \quad (1)$$

3.4 Cálculo de los paneles solares necesarios

El modelo de panel solar escogido es "Panel monocristalino PERC TITAN 130 (RSM130-8-450M)" [8].

Vamos a realizar los cálculos para establecer el número de módulos en función de las condiciones de radiación más desfavorables. Para realizar este cálculo hemos elegido módulos de 450 W. Recogemos los datos que nos da el fabricante.

Tamaño del módulo	1894 x 1096 x 30 mm
Tipo de células	Monocristalino
Número de células	130 (5x13+5x13)
Potencia máxima (W_P)	450 W
Tensión de circuito abierto (V_{oc})	45,33 V
Corriente de cortocircuito (I_{sc})	12,65 A
Tensión de máxima potencia (V_{MAX})	37,74 V
Corriente de máxima potencia (I_{MAX})	11,93 A
Clasificación máxima del fusible de la serie	20 A
Número de diodos	3 diodos de derivación Schottky
Cables	4.0 mm ² , positivo(+) 350 mm, negativo(-) 230 mm (conector incluido)
Condiciones de test estándar (STC)	Irradiancia 1000 W/m ² , Temperatura de celda 25 °C, Masa de aire AM1.5
Tensión máxima del sistema	1500 V _{DC}
Coefficiente de temperatura de V_{oc}	-0.25 %/°C
Coefficiente de temperatura de I_{sc}	0.04 %/°C
Coefficiente de temperatura de P_{MAX}	-0.34 %/°C
Temperatura nominal de funcionamiento del módulo (NMOT)	44 °C ±2 °C
Eficiencia del módulo (en %)	21,7 %

Tabla 4 Datos técnicos de los paneles.

Teniendo que los datos que nos da el fabricante son los siguientes:

- Tensión Máxima Potencia: 37,74 V
- Corriente en Cortocircuito (I_{sc}): 12,65 A
- Corriente de máxima potencia (I_{MAX}) 11,93 A

Y definiendo que nuestra tensión del sistema va a ser de 48 V, procedemos con los cálculos.

La energía diaria a producir por los paneles en un día tipo de diciembre de 14,68 kWh/día. Aplicamos un rendimiento de la instalación del 80 % para calcular la energía total necesaria para abastecer la demanda:

$$E_{TOTAL} = \frac{14,68}{0,8} = 18,35 \text{ kWh/día} \quad (2)$$

La energía necesaria diaria que tienen que suministrar el panel seleccionado será igual a la multiplicación de las HSP por la I_{max} del panel.

$$E = HSP \cdot I = 2,74 \text{ h} \cdot 11,93 \text{ A} = 32,69 \text{ Ah} \quad (3)$$

Ahora que sabemos la energía diaria que nos va a dar el módulo o placa solar elegido, vamos a calcular cuantos módulos o paneles fotovoltaicos vamos a necesitar en total.

Las instalaciones pequeñas con requerimiento de potencia inferior a 1000W o 1500W se pueden realizar a 12V. Para potencias entre los 1000W y los 3000W lo mejor es hacerlas a 24V. Para potencias superiores a los 3000W es necesario realizar la instalación a 48V.

Dividiremos los 18,35 kWh/día que tenemos por la tensión del sistema (48 V en nuestro caso). Esto nos dará un valor en Amper hora (Ah).

$$\frac{18,35 \text{ kWh}}{48 \text{ V}} = 382,19 \text{ Ah} \quad (4)$$

Dividimos los Ah que necesitamos entre los que produce un panel para obtener el número de módulos fotovoltaicos que necesitaremos.

$$\frac{382,19 \text{ Ah}}{32,69 \text{ Ah}} = 11,69 \quad (5)$$

Este número no puede tener decimales, puesto que se trata de unidades de paneles solares, entonces redondearemos siempre hacia arriba. Por lo tanto, los paneles que necesitaremos para nuestra instalación serán 12.

Como coincide que en los meses que el consumo es más elevado, la irradiación también lo es, el número de placas obtenido debería ser suficiente para cualquier momento del año. De todos modos, haremos el cálculo para todos los meses para poder estar seguros.

Siguiendo el mismo procedimiento que en el caso de diciembre, conseguimos rellenar la siguiente tabla con los resultados:

Mes	Hd [Wh/m ²]	HSP	Epanel [Ah]	Consumo diario [Wh]	Esistema [Ah]	Nº módulos
Ene	3000,00	3,00	35,79	15462,80	402,68	12
Feb	4317,86	4,32	51,51	17989,48	468,48	10
Mar	5383,88	5,38	64,23	14873,83	387,34	7
Abr	6026,67	6,03	71,90	15847,50	412,70	6
May	6861,30	6,86	81,86	15410,77	401,32	5
Jun	7480,00	7,48	89,24	28654,17	746,20	9
Jul	7774,19	7,77	92,75	28389,96	739,32	8
Ago	7161,29	7,16	85,43	29462,80	767,26	9
Sep	5996,67	6,00	71,54	16018,61	417,15	6
Oct	4470,97	4,47	53,34	14555,41	379,05	8
Nov	3216,67	3,22	38,37	15826,39	412,15	11
Dic	2738,71	2,74	32,67	14676,12	382,19	12

Tabla 5 Número de módulos necesario para cada mes.

Pese a ser diciembre el mes de menor radiación incidente, no sería el momento del año en el que más paneles necesitaríamos. En agosto, aunque el clima sea más favorable para este tipo de instalación, la granja cuenta también con un consumo mucho más elevado por el uso de los extractores murales, nebulizadores, etc. (dispositivos para refrigerar la nave) ya que las temperaturas son mucho más altas y no son adecuadas para el animal.

Es por esto que, para poder abastecer el consumo en cualquier momento del año, tendremos que elegir como referencia el mes que mayor número de módulos necesite, es decir, agosto con un total de 12 placas.

3.4.1 Cálculo de la cantidad de paneles en serie

Debemos tener en cuenta que depende de cómo conectemos los paneles, variaremos el voltaje y la intensidad de carga al final del campo fotovoltaico. Se entiende como campo fotovoltaico al conjunto de módulos que consta nuestra instalación.

Volviendo a nuestra instalación, sabemos que debemos mantener los 48 voltios entonces haremos tres series de 4 paneles cada una, donde la intensidad se va a sumar, pero el voltaje quedará de 16 voltios:

$$4 \cdot 11,93 \text{ A} = 47,72 \text{ A} \quad (6)$$

Y estas tres series las conectamos en paralelo, donde la intensidad quedará igual y el voltaje se va a sumar dando un total de 48 voltios:

$$16 \text{ V} \cdot 3 = 48 \text{ V} \quad (7)$$

En conclusión, tendremos que colocar 3 series de 4 paneles, conectadas en paralelo, como se muestra en la siguiente imagen.

3.4.2 Regulador de carga

La tensión nominal indica el valor de la tensión de trabajo que como hemos visto pueden ser 12, 24 o 48 voltios. La corriente máxima es la máxima intensidad que soportará el regulador.

Como regla general ahora lo vamos a ver vamos a dimensionar el regulador de carga con un factor de seguridad del 10%, esto es así para que, primero el regulador no trabaje a la intensidad límite que soporte tengamos hay un margen de maniobra.

Y por otro lado tenemos que estar bien seguros de que nuestro regulador se ajusta a la tensión del sistema.

Vamos al cálculo:

- Voltaje: 48 V
- I_{MAX} : 47,72 A (4 paneles en serie)

En principio hallaremos nuestra intensidad máxima de seguridad multiplicando la intensidad de los paneles conectados en paralelo por un 10%.

$$47,72 \text{ A} \cdot 1,1 = 52,5 \text{ A} \quad (8)$$

Con este resultado buscaremos un regulador de voltaje que soporte 48 V y 52,5 A o más.

El regulador seleccionado es maximizador. Aunque se haya elegido a conciencia una placa para instalaciones aisladas 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. Para nuestra instalación elegimos el regulador de carga "BLUE SOLAR MPPT 150/60-TR" [9]. Con lo cual, su característica más interesante es que admite 145 Vcc de entrada, por lo que el voltaje de trabajo de las placas al regulador será de 145 V. Esta decisión de subir el voltaje se ve motivada por la necesidad de abaratar 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, habría 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.

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

$$n_{\text{serie}} = \frac{V_t}{V_{\text{np}}} = \frac{145}{45,33} = 3,2 \approx 3 \text{ unidades} \quad (9)$$

n_{serie} : número de paneles en serie [unidades]

V_t : tensión de trabajo [V]

V_{np} : tensión nominal de una placa [V]

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:

$$n_{\text{paralelo}} = \frac{n_{\text{total}}}{n_{\text{serie}}} = \frac{12}{3} = 4 \text{ unidades} \quad (10)$$

n_{paralelo} : número de líneas en paralelo [unidades]

n_{total} : número de paneles totales [unidades]

n_{serie} : número de paneles en serie [unidades]

Con esta nueva configuración el número total de placas es:

$$n_{\text{total}} = 4 \cdot 3 = 12 \text{ unidades} \quad (11)$$

Modelo	I_{max} [A]	nº placas serie	nº líneas paralelo	nº placas
RSM130-8-450M	11,93	3	4	12

Tabla 6 Resumen de características de los módulos fotovoltaicos

Una vez tenemos clara la placa que se va a instalar se calculan los reguladores necesarios a partir de su intensidad máxima. 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.

$$I_{\text{pt}} = n_{\text{paralelo}} \cdot I_p = 4 \cdot 11,93 = 47,72 \text{ A} \quad (12)$$

I_{pt} : intensidad pico total [A]

I_p : intensidad pico de una placa [A]

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

$$n_{\text{lreg}} = \frac{I_{\text{reg}}}{I_p} = \frac{60}{11,93} = 5,03 \approx 5 \text{ unidades} \quad (13)$$

n_{lreg} : número de líneas regulador [unidades]

I_{reg} : intensidad regulador [A]

Ya que hay 4 líneas en paralelo de placas, el número de reguladores total es el siguiente:

$$n_{\text{lreg}} = \frac{n_{\text{paralelo}}}{n_{\text{lreg}}} = 0,8 \approx 1 \text{ unidades} \quad (14)$$

Modelo	Amperaje [A]	Ipico [A]	Líneas/reg.	n° reguladores
BLUE SOLAR MPPT 150/60-TR	60	47,72	5	1

Tabla 7 Resumen de características del regulador

3.4.3 Inversores

Para la elección del inversor nos centraremos en cuál es la potencia de cálculo de la instalación: 5697 W.

Como se ha explicado anteriormente en este tramo de la instalación se utilizará un voltaje de 48 V, así que 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 elegido sea "Inversor Phoenix Smart 48V 3000VA Victron Energy" [10] ya que es un inversor con grandes cualidades técnicas. Este inversor tiene una potencia de 3000 W, por lo que se emplearán dos para conseguir los 5697 W de potencia simultánea.

Modelo	Potencia [W]	n° inversores
Inversor Phoenix Smart 48V 3000VA Victron Energy	3000	2

Tabla 8 Resumen de características de los inversores

Como se tienen dos 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 (ambos 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		
Elemento de la instalación	Cantidad	Potencia [W]
Fluorescentes nave	21	378
Fluorescentes oficina	2	36
Fluorescentes caseta	2	36
Luces exteriores	1	11
Bombas de agua	0	0
Motores comederos	4	900
Motores ventanas	1	90
Extractores murales	8	900
Nebulizadores	2	450
Ordenador	0	0
TOTAL:		2801

Tabla 9 Reparto de cargas para el inversor 1

Inversor 2		
Elemento de la instalación	Cantidad	Potencia [W]
Fluorescentes nave	21	378
Fluorescentes oficina	2	36
Fluorescentes caseta	2	36
Luces exteriores	1	11
Bombas de agua	0	0
Motores comederos	3	675
Motores ventanas	1	90
Extractores murales	8	900
Nebulizadores	2	450
Ordenador	1	320
TOTAL:		2896

Tabla 10 Reparto de cargas para el inversor 2

Vemos que los dos inversores se ocupan de una potencia inferior a la que técnicamente pueden proveer. Así vemos que el cálculo es correcto y que la instalación será funcional.

Para que la sectorización de la instalación sea más sencilla de administrar y controlar se dispondrán dos 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:

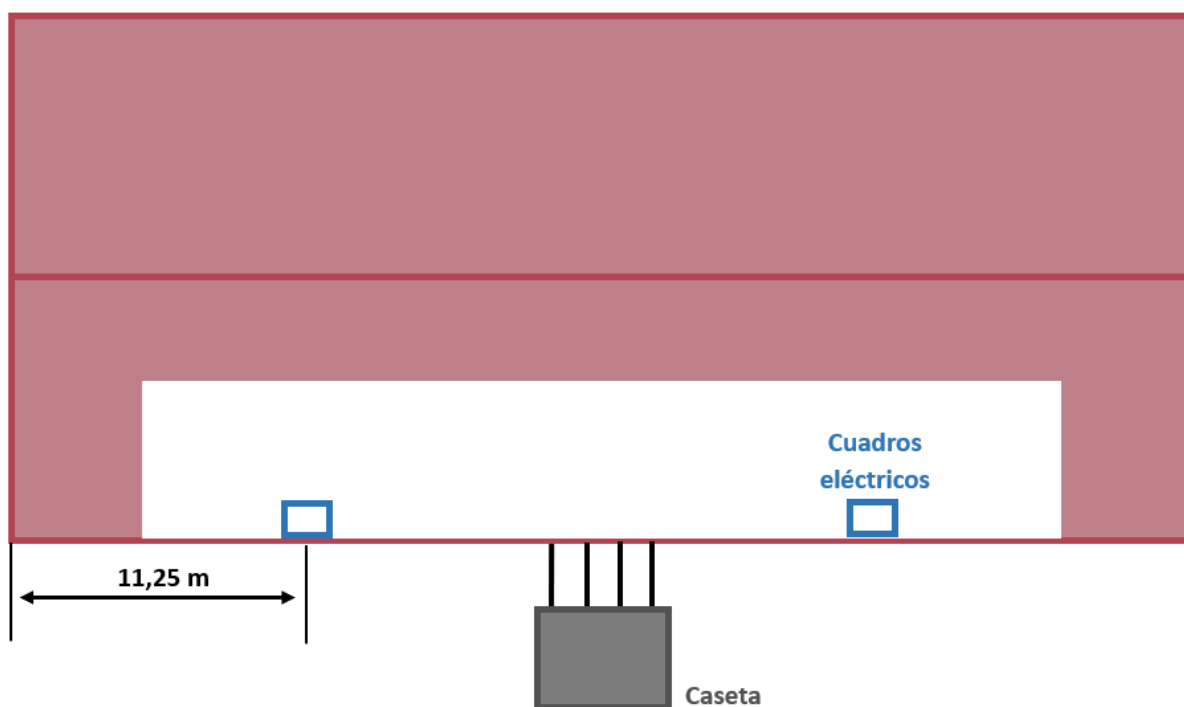


Ilustración 21 Esquema disposición de cuadros eléctricos

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.

3.4.4 Baterías

En el mercado existen varios tipos de tecnología para acumular energía. 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 acumuladores, que son conjuntos de baterías estacionarias de 2 V, que ya viene dispuestos por vasos de manera que se pueda conseguir el voltaje de la instalación y la capacidad deseada.

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	Autonomía [días]	Autonomía [h]	Consumo [Ah/día]	C _{bat} [Ah]
Diciembre	6	144	305,75	1835
Agosto	3	72	613,18	1842

Tabla 11 Datos para el cálculo de la autonomía de las baterías

Se seleccionarán baterías de entre 925 Ah y 1100 Ah con la finalidad de que el número total de las mismas no sea alto. Los acumuladores que se han elegido para este propósito son "BAE Secura 7 PVS 1050" [11].

Esta batería recibe su nombre por su descarga en 120 horas, lo que quiere decir que en este caso se debería obtener los Ah que daría si se descargase en tres días (72 horas). Esto se hace mediante la hoja de datos que nos proporciona el fabricante:

2. Technical data (Reference temperature 20 °C)

Type	C _{1h} Ah	C _{10h} Ah	C _{20h} Ah	C _{72h} Ah	C _{100h} Ah	C _{120h} Ah	C _{240h} Ah	R _i 1) mΩ	I _k 2) kA	Length (L) mm	Width (W) mm	Height (H) mm	Weight dry kg	Weight filled kg
2 PVS 140	63	111	127	141	143	144	148	1.52	1.37	105	208	420	9.1	14.5
3 PVS 210	95	167	191	211	215	217	222	1.06	1.96	105	208	420	11.2	16.4
4 PVS 280	127	223	254	282	287	289	295	0.84	2.46	105	208	420	12.8	18.0
5 PVS 350	159	279	318	352	359	361	369	0.70	2.98	126	208	420	15.3	21.7
6 PVS 420	191	334	382	424	431	434	444	0.60	3.47	147	208	420	18.1	25.7
5 PVS 550	223	389	432	486	496	500	513	0.57	3.61	126	208	535	20.0	28.8
6 PVS 660	267	467	518	583	595	601	616	0.49	4.18	147	208	535	23.5	34.0
7 PVS 770	310	544	604	681	694	700	720	0.44	4.69	168	208	535	26.8	39.1
6 PVS 900	352	665	748	856	877	888	916	0.47	4.41	147	208	710	33.0	47.4
7 PVS 1050	415	777	872	993	1,020	1,033	1,065	0.36	5.66	215	193	710	42.1	61.5
8 PVS 1200	473	886	996	1,137	1,160	1,178	1,216	0.32	6.36	215	193	710	46.6	65.4
9 PVS 1350	522	992	1,116	1,274	1,300	1,320	1,365	0.33	6.20	215	235	710	51.4	75.4
10 PVS 1500	585	1,100	1,240	1,418	1,450	1,464	1,516	0.28	7.25	215	235	710	56.0	79.4
11 PVS 1650	635	1,210	1,362	1,555	1,590	1,608	1,665	0.28	7.36	215	277	710	61.0	89.6
12 PVS 1800	698	1,320	1,486	1,699	1,740	1,752	1,816	0.24	8.41	215	277	710	65.4	93.4
11 PVS 2090	790	1,470	1,636	1,836	1,870	1,884	1,941	0.24	8.38	215	277	855	72.7	105.9
12 PVS 2280	869	1,600	1,784	2,001	2,040	2,052	2,116	0.22	9.48	215	277	855	77.4	110.4
13 PVS 2470	978	1,740	1,938	2,174	2,210	2,232	2,292	0.16	13.03	215	400	815	90.8	137.8
14 PVS 2660	1,051	1,880	2,080	2,332	2,380	2,400	2,448	0.15	13.82	215	400	815	95.3	142.4
15 PVS 2850	1,123	2,010	2,220	2,498	2,550	2,568	2,640	0.14	14.43	215	400	815	100.2	146.9
16 PVS 3040	1,195	2,140	2,380	2,664	2,710	2,736	2,808	0.13	15.20	215	400	815	105.4	151.6
17 PVS 3230	1,280	2,290	2,540	2,858	2,910	2,940	3,000	0.12	16.91	215	490	815	117.7	175.1
18 PVS 3420	1,352	2,420	2,680	3,024	3,080	3,108	3,192	0.11	17.55	215	490	815	121.9	179.1
19 PVS 3610	1,425	2,560	2,840	3,189	3,250	3,276	3,360	0.11	18.36	215	490	815	126.8	183.6
20 PVS 3800	1,496	2,690	2,980	3,355	3,420	3,444	3,528	0.11	18.92	215	490	815	132.0	188.3
22 PVS 4180	1,635	2,950	3,280	3,686	3,750	3,780	3,888	0.10	19.92	215	580	815	145.4	213.9
24 PVS 4560	1,777	3,220	3,560	4,010	4,090	4,128	4,224	0.09	21.26	215	580	815	155.2	223.0
26 PVS 4940	1,917	3,480	3,860	4,341	4,420	4,464	4,584	0.09	22.49	215	580	815	165.0	232.0

1, 2) Internal resistance R_i and short circuit current I_k according to IEC 60896-11

Height (H) is the maximum height between container bottom and top of the bolts in assembled condition.

BAE SECURA PVS SOLAR batteries are also available as dry pre-charged version. They are titled with additional "TG", e.g. 4 PVS 280 TG.

All values published in the table correspond to 100 % discharge of current depending capacity without voltage drop of connectors. Please consider item 7.

Capacidad C72 = 993 Ah

Por lo tanto, este será nuestro valor para C72.

Calculamos cuantas de estas necesitaremos:

$$n_{\text{bat}} = \frac{\text{con}_{\text{MAX}}}{C72} = \frac{1842}{993} = 1,85 \approx 2 \text{ unidades} \quad (15)$$

n_{bat} : número de acumuladores (baterías) [unidades]

con_{MAX} : consumo máximo [Ah]

Al escoger baterías de 2 V, los vasos en serie para llegar a la tensión de la instalación de 48 V los obtenemos dividiendo un voltaje entre el otro. De este modo, necesitaremos 24 vasos.

Para finalizar el cálculo de las baterías, multiplicamos el número de líneas en paralelo por los vasos, obteniendo como resultado 2 baterías para nuestra instalación.

Modelo	C72 [Ah]	Voltaje [V]	nº baterías
BAE Secura 7 PVS 1050	1842	48	2

Tabla 12 Resumen de características de las baterías

3.4.5 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:

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I}{k \cdot U} \quad (16)$$

L: longitud de la conducción [m]

I: intensidad máxima [A]

k: conductividad del material ($\text{m}/\Omega\text{mm}^2$) [cobre = $58 (\text{m}/\Omega)\text{mm}^2$]

U: caída de tensión [V]

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 [12]:

- 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 tendrán en cuenta 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.

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 "Cables multiconductores 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:

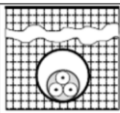

Instalación de referencia		Tabla y columna							
		Intensidad admisible para los circuitos simples					Factor de temperatura ambiente	Factor de reducción de agrupamiento	
		Aislamiento PVC		Aislamiento XLPE o EPR		Aislamiento mineral			
		Número de conductores					2	3	1, 2 y 3
2	3	2	3	1, 2 y 3					
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 13 Métodos de instalación de referencia (Tabla 52-B1)

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:

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 mm²	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 14 Intensidades admisibles, en amperios, para métodos de la tabla 52-B1 (Tabla 52-C2)

Aislamiento PVC, conductores de aluminio
 Temperatura del conductor: 70 °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						
2,5	23	19,5	-	-	-	-	-						
4	31	26	-	-	-	-	-						
6	39	33	-	-	-	-	-						
10	54	46	-	-	-	-	-						
16	73	61	-	-	-	-	-						
25	89	78	98	84	87	112	99						
35	111	96	122	105	109	139	124						
50	135	117	149	128	133	169	152						
70	173	150	192	166	173	217	196						
95	210	183	235	203	212	265	241						
120	244	212	273	237	247	308	282						
150	282	245	316	274	287	356	327						
185	322	280	363	315	330	407	376						
240	380	330	430	375	392	482	447						
300	439	381	497	434	455	557	519						
400	-	-	600	526	552	671	629						
500	-	-	694	610	640	775	730						
630	-	-	808	711	746	900	852						

NOTA - Las secciones se suponen circulares hasta los 16 mm² inclusive. Para secciones superiores, los valores indicados se refieren a almas sectoriales y pueden ser aplicados de forma segura a las almas circulares.

Tabla 15 Intensidades admisibles, en amperios, para los métodos de instalación E, F y G de la tabla 52-B1 (Tabla 52-C10)

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.

$$I_{MAX} = I_{MAXp} \cdot n_{paralelo} = 11,93 \cdot 4 = 47,72 \text{ A} \tag{17}$$

I_{MAXt} : intensidad máxima total [A]

I_{MAXp} : intensidad máxima de un panel [A]

$n_{paralelo}$: número de ramas en paralelo [unidades]

La caseta se encontraría a pocos metros del lateral sur de la granja, lo que nos lleva a elegir un máximo de 20 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. Contaríamos con unos 12 metros de cable enterrado y 8 de cable al aire libre. Sustituimos todos estos datos en la fórmula del cálculo de sección expuesta anteriormente.

→ Tramo con cables multiconductores al aire libre (realizamos los cálculos aislando la caída de tensión de la fórmula número 16):

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

$$U = \frac{2 \cdot 8 \cdot 47,72}{58 \cdot 6} = 2,19 \text{ V (4,57 \%)}$$

Instalaciones generadoras de B.T. (REBT ITC-BT 40)	1,5 % Entre instalación generadora y el punto de interconexión a la Red de Distribución Pública o cualquier punto de la instalación interior (P. ej. Grupos de socorro o de reserva, Instalaciones fotovoltaicas conectadas a red parte C.A, ...)
Línea General de Alimentación (L.G.A) (REBT ITC-BT 14)	0,5 % para L.G.A. destinadas a contadores totalmente centralizados. 1 % para L.G.A. destinadas a centralizaciones parciales de contadores (varias centralizaciones de contadores, centralizaciones parciales).
Derivación Individual (D.I.) (REBT ITC-BT 15)	0,5 % para el caso de contadores concentrados en más de un lugar. 1 % para el caso de contadores totalmente concentrados. 1,5 % para el caso de D.I. en suministros para un único usuario en que no existe L.G.A.
Instalación interior o receptora (REBT ITC-BT 19)	3 % para el alumbrado 5 % para tomas de corriente y otros usos El valor de la caída de tensión se podrá compensar entre la de la instalación interior y la de las derivaciones Individuales (D.I.), de forma que la caída de tensión total sea inferior a la suma de los valores límites especificados, según el tipo de esquema utilizado. En ese caso, la caída de tensión máxima total (D.I + Inst. interior) sería: - Para el caso de contadores concentrados en más de un lugar: 3,5 % alumbrado y 5,5 % tomas de corriente y otros usos. - Para el caso de contadores totalmente concentrados: 4 % alumbrado y 6 % tomas de corriente y otros usos. - Para el caso de D.I. en suministros para un único usuario en que no existe L.G.A.: 4,5 % alumbrado y 6,5 % tomas de corriente y otros usos. Si la instalación tiene un transformador propio, 4,5 % para alumbrado y 6,5 % para tomas de corriente y otros usos.
Instalación interior en viviendas (REBT ITC-BT 19)	3 % para el alumbrado 3 % para tomas de corriente y otros usos. El valor de la caída de tensión se podrá compensar entre la de la instalación interior y la de las derivaciones Individuales (D.I.), de forma que la caída de tensión total sea inferior a la suma de los valores límites especificados, según el tipo de esquema utilizado. En ese caso, la caída de tensión máxima total (D.I + Inst. interior) para alumbrado, tomas de corriente y otros usos sería: - Para el caso de contadores concentrados en más de un lugar: 3,5 % - Para el caso de contadores totalmente concentrados: 4 % - Para el caso de D.I. en suministros para un único usuario en que no existe L.G.A.: 4,5 %
Alumbrado exterior (REBT ITC-BT 09)	3 % Máxima caída de tensión entre el origen de la instalación y cualquier otro punto de la instalación.

Tabla 16 Valores máximos aceptados para la caída de tensión (REBT España)

Seleccionamos la sección inmediatamente superior hasta que consigamos que la caída de tensión no supere el 1 %.

$$U = \frac{2 \cdot 8 \cdot 47,72}{58 \cdot 10} = 1,32 \text{ V (2,74 \%)}$$

$$U = \frac{2 \cdot 8 \cdot 47,72}{58 \cdot 16} = 0,82 \text{ V (1,71 \%)}$$

$$U = \frac{2 \cdot 8 \cdot 47,72}{58 \cdot 25} = 0,53 \text{ V (1,10 \%)}$$

$$U = \frac{2 \cdot 8 \cdot 47,72}{58 \cdot 35} = 0,38 \text{ V (0,78 \%)}$$

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

Sección del conductor de cobre según IRAM 2183	Corriente máxima admisible
S (mm ²)	I (A)
1	9,6
1,5	13
2,5	18
4	24
6	31
10	43
16	59
25	77
35	96
50	116
70	148
95	180

Tabla 17 Corriente máxima admisible según la sección del conductor de cobre

→ Tramo con cables multiconductores en conducto enterrado

$$U = \frac{2 \cdot 12 \cdot 47,72}{58 \cdot 10} = 1,97 \text{ V (4,11 \%)}$$

$$U = \frac{2 \cdot 12 \cdot 47,72}{58 \cdot 16} = 1,23 \text{ V (2,57 \%)}$$

$$U = \frac{2 \cdot 12 \cdot 47,72}{58 \cdot 25} = 0,79 \text{ V (1,65 \%)}$$

$$U = \frac{2 \cdot 12 \cdot 47,72}{58 \cdot 35} = 0,56 \text{ V (1,18 \%)}$$

$$U = \frac{2 \cdot 12 \cdot 47,72}{58 \cdot 50} = 0,39 \text{ V (0,82 \%)}$$

Observamos que para que se cumplan las condiciones de caída de tensión, el caso más restrictivo es en el cable enterrado. Como la longitud del cable es relativamente corta, no nos sale a cuenta comprar cable de ambos diámetros, por lo tanto, la sección de 50 mm² es la seleccionada ya que es el caso más restrictivo.

Cables de conexionado entre placas

Para el conexionado entre placas tenemos que tener en cuenta que tenemos 4 ramas. La longitud de cable de cada una de ellas es de 6 metros, por lo tanto, el total será de 24 metros de cable. Este será del tipo cable multiconductor al aire libre. Según el reglamento debe cumplir el valor máximo de un 1 % de caída de tensión.

Seguimos el mismo método que en el caso anterior para obtener la sección necesaria.

$$U = \frac{2 \cdot 6 \cdot 11,93}{58 \cdot 2,5} = 0,99 \text{ V (2,05 \%)}$$

$$U = \frac{2 \cdot 6 \cdot 11,93}{58 \cdot 4} = 0,62 \text{ V (1,29 \%)}$$

$$U = \frac{2 \cdot 6 \cdot 11,93}{58 \cdot 6} = 0,41 \text{ V (0,86 \%)}$$

Obtenemos que el cable tendrá que tener una sección de 6 mm².

Cables de conexionado entre regulador y baterías

Para calcular la sección del cable que va de las baterías al regulador, tendremos en cuenta que es multiconductor y está al aire libre. La longitud necesaria es de 3 metros y la caída de tensión máxima recomendada es del 0,5 %. Procedemos al cálculo de la sección:

$$U = \frac{2 \cdot 3 \cdot 47,72}{58 \cdot 10} = 0,49 \text{ V (1,03 \%)}$$

$$U = \frac{2 \cdot 3 \cdot 47,72}{58 \cdot 16} = 0,31 \text{ V (0,64 \%)}$$

La sección para el conexionado entre el regulador y las baterías será de 16 mm².

Cables de conexionado entre baterías e inversor

El cable entre las baterías y el inversor será multiconductor al aire libre y de 3 metros, justo igual que el caso anterior. Debemos tener en cuenta que en este podemos permitir una caída de tensión algo más alta, del 1 % concretamente.

Calculamos la corriente que pasa por este tramo del sistema a partir de la tensión de este y la potencia del inversor.

$$I = \frac{P_{\text{inversor}}}{V} = \frac{3000 \text{ W}}{48 \text{ V}} = 62,5 \text{ A} \quad (18)$$

Una vez tenemos todos los datos necesarios, probamos el cálculo con la primera sección que podría cuadrar.

$$U = \frac{2 \cdot 3 \cdot 62,5}{58 \cdot 16} = 0,4 \text{ V (0,84 \%)}$$

$$U = \frac{2 \cdot 3 \cdot 62,5}{58 \cdot 25} = 0,26 \text{ V (0,54 \%)}$$

$$U = \frac{2 \cdot 3 \cdot 62,5}{58 \cdot 35} = 0,18 \text{ V (0,38 \%)}$$

La sección será de 35 mm² para el cable que conecta las baterías con el inversor.

En corriente alterna

La instalación consta de dos inversores de 3000 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:

$$I = \frac{P}{V \cdot \cos\alpha} = \frac{6000}{230 \cdot 0,95} = 27,46 \text{ A} \quad (19)$$

Por lo tanto, para calcular de nuevo la sección se sigue un procedimiento idéntico al anterior admitiendo también una caída de tensión máxima del 3 % de 230 voltios.

Para este caso 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.

$$S = \frac{2 \cdot 15 \cdot 27,46}{58 \cdot 6,9} = 2,06 \text{ mm}^2 \rightarrow 2,5 \text{ mm}^2$$

$$U = \frac{2 \cdot 15 \cdot 27,46}{58 \cdot 2,5} = 5,68 \text{ V (2,47 \%)}$$

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.

Cable enterrado: 34 A > 13,73 A

Cable en rodapié (consideramos pared térmicamente aislante): 26 A > 13,73 A

Resumen de secciones de cable

A continuación, se indican en la tabla todas las secciones calculadas para cada tramo de cable que es necesario en la instalación.

Tramo	Sección cable [mm ²]
Interconexión de placas	6
Placas - regulador	50
Regulador - baterías	16
Baterías - inversor	35
Inversor – toma de corriente	2,5

Tabla 18 Resumen de secciones de cable de la instalación

3.5 Protección de la instalación

Tomando como referencia el pliego de condiciones técnicas de instalaciones aisladas de la red [13], 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.

3.6 Fusibles

Los fusibles son dispositivos pequeños de seguridad que forman parte de las instalaciones eléctricas, los cuales se funden cuando la corriente alcanza ciertos valores excesivos.

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:

$$I_b \leq I_n \leq 0,9 \cdot I_{rmax} \quad (20)$$

I_b : intensidad de corriente de la línea [A]

I_n : intensidad nominal del fusible [A]

I_{rMAX} : intensidad máxima admisible del conductor [A]

Como se ha visto en el cálculo de sección para corriente continua, las máximas corrientes admisibles son de 146 A y 124 A. Seleccionamos para los cálculos el valor más restrictivo que en este caso es 146 A como I_{rMAX} :

$$47,72 \leq I_n \leq 0,9 \cdot 146$$

$$47,72 \leq I_n \leq 131,4$$

2	4	6	10	16	20	25	35
40	50	63	80	100	125	160	200
250	315	400	425	500	630	800	1000

Tabla 19 Intensidades normalizadas de los fusibles de BT, en amperios

Por lo que el fusible a instalar sería el NH00 de 50 A, el cual puede trabajar a un máximo de 500 V de tensión nominal.

3.7 Puesta a tierra

Tal y como nos indica el pliego de condiciones técnicas de la IDAE, será necesario instalar una toma a tierra que como mínimo esté conectada a la estructura del soporte del generador y a los marcos metálicos de los módulos. Estos cálculos se realizarán en base a la ITC.BT-18 del Reglamento Electrónico para Baja Tensión.

3.7.1 Características del suelo

Para poder conocer la resistividad del terreno en el que se realizará la puesta a tierra es importante conocer de qué tipo es este. Se puede observar en el mapa que se encuentra a continuación que nuestra ubicación tiene características de terreno arcilloso sobre todo, así que tomaremos este como referencia.

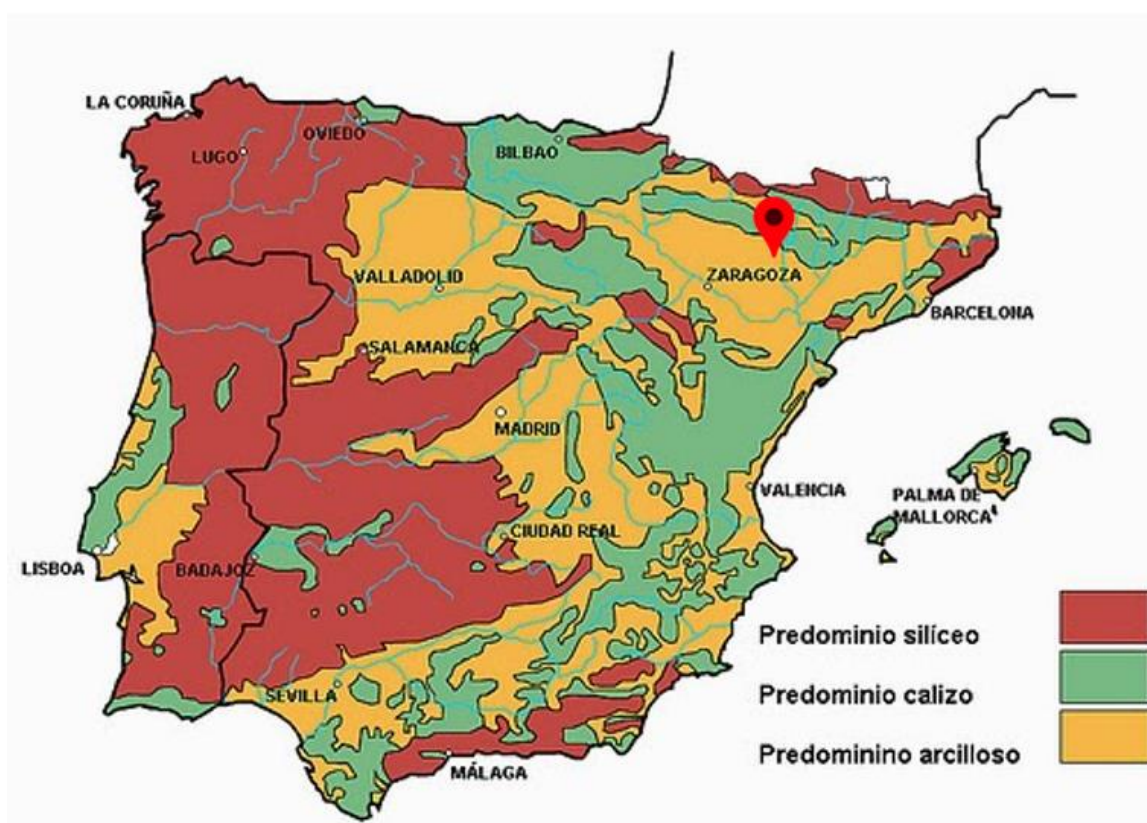


Tabla 20 Tipos de suelo en España.

Encontraremos las características de cada terreno en las ITC BT 18. Observando la tabla 3 de este, podemos tomar $500 \Omega \cdot m$ como resistividad para la puesta a tierra (arenas arcillosas).

Naturaleza terreno	Resistividad en Ohm.m
Terrenos pantanosos	de algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y Arcillas compactas	100 a 200
Margas del Jurásico	30 a 40
Arena arcillosas	50 a 500
Arena silíceas	200 a 3.000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 5.00
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3.000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1.000 a 5.000
Calizas agrietadas	500 a 1.000
Pizarras	50 a 300
Roca de mica y cuarzo	800
Granitos y gres procedente de alteración	1.500 a 10.000
Granito y gres muy alterado	100 a 600

Tabla 21 Valores orientativos de la resistividad en función del terreno (Tabla 3).

En esta misma normativa encontramos también las fórmulas que debemos utilizar según el electrodo que elijamos instalar para proteger nuestra instalación.

Electrodo	Resistencia de Tierra en Ohm
Placa enterrada	$R = 0,8 \rho/P$
Pica vertical	$R = \rho/L$
Conductor enterrado horizontalmente	$R = 2 \rho/L$
ρ , resistividad del terreno (Ohm.m) P, perímetro de la placa (m) L, longitud de la pica o del conductor (m)	

Tabla 22 Fórmulas para estimar la resistencia de tierra en función de la resistividad del terreno y las características del electrodo (Tabla 5).

Comenzamos viendo si sería suficiente con solamente conductor desnudo enterrado. Tenemos que las dimensiones de la planta de la nave son $45 \times 20 \text{ m}^2$, por lo tanto, contamos con 130 m perímetro. Para que el cable enterrado pueda dar la vuelta alrededor de la nave, tenemos que añadir algunos metros más al perímetro obtenido, para tener así la longitud necesaria de cable. Con 150 m en total será suficiente.

Una vez tenemos todos los datos que requiere el cálculo de la resistencia, aplicamos la fórmula correspondiente:

$$R_{\text{anillo}} = \frac{2\rho}{L} = \frac{2 \cdot 500}{150} = 6,67 \Omega \quad (21)$$

La resistencia obtenida es prácticamente 0, por lo que en principio debería ser suficiente con este método para que la puesta a tierra suficiente. De todos modos, vamos a asegurarnos, probando si al añadir alguna pica este valor podría ser más bajo todavía.

Realizamos el cálculo para tres picas verticales, por ejemplo. Cada una de ellas mide 2 metros, por lo que la longitud total sería de 6 m.

$$R_{\text{pica}} = \frac{\rho}{L} = \frac{500}{6} = 83,33 \Omega \quad (22)$$

Vemos que la resistencia obtenida mediante este método es mucho mayor. Es cierto que al sumar en paralelo ambas conseguiríamos que la total fuera algo más baja, pero el cambio no es nada significativo:

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_{\text{anillo}}} + \frac{1}{R_{\text{pica}}}} = \frac{1}{\frac{1}{6,67} + \frac{1}{83,33}} = 6,18 \, \Omega \quad (23)$$

Valorando ambos métodos, se decide que con el conductor desnudo enterrado es suficiente, ya que el número de picas que se necesitarían para que el cambio del valor de la resistencia fuera mínimamente relevante es muy alto. Por lo tanto, finalmente nos queda una resistencia de tierra de $6,67 \, \Omega$, como habíamos calculado al principio del apartado.

3.8 Disposición y colocación de los módulos

Las placas se instalarán mediante unos soportes coplanares atornillados. Estos son de tres paneles cada uno, colocados horizontalmente. Así que necesitaremos cuatro de ellos, uno para cada línea. Como aprovechamos la misma inclinación del tejado para que esta misma sea la de los paneles, tenemos la ventaja de que no los módulos no se harán sombra entre ellos. 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.

Para permitir el mantenimiento de los módulos en caso de avería o para revisar sus condiciones [14], un pasillo de 40 cm entre filas será suficiente [15]. Entre panel y panel de una misma hilera dejaremos una distancia de 10 cm. Organizaremos las placas de la siguiente forma:

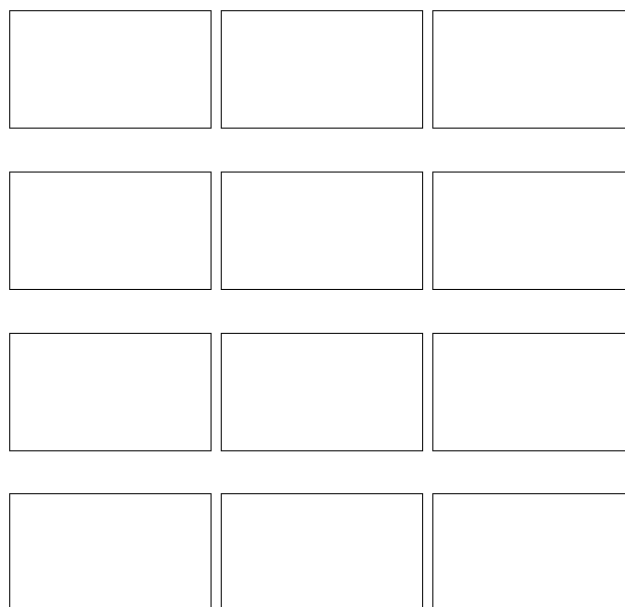


Tabla 23 Esquema de la colocación de los paneles

Cada fila de tres placas está conectada en serie entre ellas, y cada uno de estos grupos están en paralelo entre ellos.

3.9 Presupuesto de la instalación fotovoltaica

En este apartado se indican los costes por componente y el valor total, en euros, de la instalación calculada.

3.9.1 Módulos fotovoltaicos

Los paneles a instalar son el modelo "RSM130-8-450M" distribuidos por la tienda DPV ENERGY. El precio al cual se encuentran actualmente es 0,289 €/W_{pico}.

La potencia instalada en las placas es de 5400 W_{pico} ya que contamos con 12 módulos de 450 W. Calculamos a partir de esta información, el precio del conjunto de los paneles.

$$\text{precio} = 5400 \text{ W}_{\text{pico}} \cdot \frac{0,289 \text{ €}}{\text{W}_{\text{pico}}} = 1560,6 \text{ €}$$

3.9.2 Regulador

El modelo seleccionado para el regulador de carga es "BLUE SOLAR MPPT 150/60-TR". Se ha conseguido por un precio de 538,93 € en la tienda "monsolar".

Como vemos en el apartado en el que calculamos el número de reguladores para la instalación, solo será necesario uno, así que este sería el precio total.

3.9.3 Inversores

En el caso del inversor, el modelo es "Inversor Phoenix Smart 48V 3000VA Victron Energy". Las proporcionará la misma tienda que el regulador por un precio unitario de 1283,46 €. Necesitaremos dos, por lo tanto, calculamos el valor total de los inversores:

$$\text{precio} = 2 \text{ unidades} \cdot \frac{1283,46 \text{ €}}{\text{unidades}} = 2566,92 \text{ €}$$

3.9.4 Baterías

El modelo seleccionado para las baterías es "BAE Secura 7 PVS 1050". Las compraremos en la tienda "monsolar" por 10648 €/unidad. Para suplir el gasto energético de la instalación son necesarias 2 baterías. El precio total será:

$$\text{precio} = 2 \text{ unidades} \cdot \frac{10648 \text{ €}}{\text{unidades}} = 21296 \text{ €}$$

3.9.5 Cableado y protecciones

→ Entre placas

Tenemos 12 placas, por lo tanto, la distancia mínima de cable será 1,894 m de la anchura de los paneles ya que están dispuestos horizontalmente por el número total de placas. Debemos tener en cuenta el espaciado entre los módulos también. A la hora de calcular la sección del cable del conexionado de estos, se ha calculado que la longitud de cable para una

de las ramas es 6 metros. Por lo tanto, esto multiplicado por las cuatro ramas que tiene la instalación, resultaría en un total de 24 m de cable.

Para el interconexionado de placas necesitaremos tanto cable positivo, como cable negativo, ambos de 6 mm². El precio de los dos es igual, 2,50 € por metro.

$$\text{precio} = 24 \text{ m} \cdot \frac{2,50 \text{ €}}{\text{m}} = 60 \text{ €}$$

Este sería el coste del cable positivo, lo doblamos para obtener del negativo también y saber así el precio total del cable necesario: 120 €.

→ De las placas al regulador

Necesitaremos 20 metros de cable. El precio del cable de sección de 50 mm², que es el necesario en este caso, es de 9,50 €/metro. Por tanto:

$$\text{precio} = 20 \text{ m} \cdot \frac{9,50 \text{ €}}{\text{m}} = 190 \text{ €}$$

→ Cables de conexionado entre regulador y baterías

Contamos con 3 m de cable de 16 mm² de sección para conectar las baterías al regulador. El precio por metro de este es de 3,80 €.

$$\text{precio} = 3 \text{ m} \cdot \frac{3,80 \text{ €}}{\text{m}} = 11,40 \text{ €}$$

→ Cables de conexionado entre baterías e inversor

El cable para poder conectar las baterías con el inversor es de 35 mm² y necesitaremos una longitud de 3 metros. Teniendo que vale 7,80 €/metro, calculamos el coste total.

$$\text{precio} = 3 \text{ m} \cdot \frac{7,80 \text{ €}}{\text{m}} = 23,40 \text{ €}$$

→ Cables de conexionado entre inversor e instalación

Para conectar la salida del inversor a los cuadros eléctricos de la instalación de la nave necesitaremos el doble de cable, ya que hay dos cuadros. Esto serán 30 metros de cable de 1,5 mm². El precio del cable es de 0,26 €/metro.

$$\text{precio} = 30 \text{ m} \cdot \frac{0,26 \text{ €}}{\text{m}} = 7,80 \text{ €}$$

→ Puesta a tierra

Se necesita cable desnudo de cobre de 35 mm² para realizar la instalación de puesta a tierra. En nuestro caso son 150 metros y el coste del metro es de 5,35 €.

$$\text{precio} = 150 \text{ m} \cdot \frac{5,35 \text{ €}}{\text{m}} = 802,50 \text{ €}$$

→ Fusibles

Fusible NH00 de 50 A: 3,50 €

→ Soporte de los módulos

Como se ha comentado anteriormente el soporte que se utiliza en la instalación es coplanar, concretamente uno coplanar atornillado 01H de 3 paneles solares [16]. Cada soporte podrá tener una de las líneas de placas en serie. Tenemos cuatro de estas, así que tendremos que comprar cuatro.

$$\text{precio} = 4 \text{ unidades} \cdot \frac{192,65 \text{ €}}{\text{unidad}} = 770,60 \text{ €}$$

→ Caseta prefabricada

Para tener todos los equipos juntos y resguardados de las condiciones climatológicas adversas, tendremos una caseta prefabricada de hormigón, que ya se ha comentado anteriormente. Compraremos una de dimensiones 2,5 m x 2 m x 2,4 m, por 1934,90 €.

→ Mano de obra y diseño

Como se trata de un trabajo para ver si sería rentable la instalación de paneles fotovoltaicos en esta granja y no un proyecto real, se ha considerado que no es necesario contar esta parte del coste.

3.9.6 Resumen de presupuesto

Producto	Unidades	Precio
Módulos fotovoltaicos	12	1560,60 €
Regulador de carga	1	538,93 €
Inversores	2	2566,92€
Baterías	2	21296,00 €
Cable de 6 mm ² positivo (metros)	24	60,00 €
Cable de 6 mm ² negativo (metros)	24	60,00 €
Cable de 50 mm ² (metros)	20	190,00 €
Cable de 16 mm ² (metros)	3	23,40 €
Cable de 1,5 mm ² (metros)	30	7,80 €
Cable desnudo de cobre 35 mm ² (metros)	150	802,50 €
Fusible NH00 de 50 A	1	3,50 €
Soporte coplanar atornillado 01H de 3 paneles solares	4	770,60 €
Caseta prefabricada de hormigón	1	1934,90 €
TOTAL:		29815,15 €

Tabla 24 Presupuesto de la instalación fotovoltaica

4. Automatización del sistema de climatización

4.1 Objetivo de la automatización

Después de estudiar el funcionamiento de la nave, se ha decidido que es una buena opción automatizar el sistema de ventilación y extractores con el fin de aprovechar las condiciones climatológicas del ambiente, si son favorables, para conseguir la temperatura deseada. Con esto conseguiremos que ninguno de los dos sistemas de climatización se active innecesariamente, lo que llevará tanto un ahorro energético como un menor impacto en el medio ambiente.

El programa creado funcionará con el objetivo de aclimatar la nave y cumpliendo la estructura que se indica en el diagrama de flujo del apartado "funcionamiento del algoritmo de climatización" que se encuentra más adelante. La idea es que, además de activar y desactivar ventiladores y extractores según sea necesario, los datos de temperatura puedan enviarse mediante Wi-Fi y poder ver así si es coherente y correcto el funcionamiento.

Teniendo claro cómo queremos que vaya enfocado el proyecto, debemos seleccionar una placa de desarrollo acorde a nuestras necesidades. La escogida en este caso es "D1 Mini ESP32" [17], siendo ESP32 el microcontrolador que lleva integrado. Esta placa ya lleva el módulo Wi-Fi integrado por lo que será mucho más cómodo para nosotros. Otro de los motivos por los que se escoge es por su asequible precio y su accesibilidad en el mercado. Además de ser un microcontrolador recomendado para el entorno industrial es compatible con el lenguaje de programación Arduino, que nos aportará librerías con algunas funciones ya creadas que podamos necesitar.

El funcionamiento del programa se basa en tres pilares fundamentales, que combinados dan como resultado nuestro objetivo.

- La correcta lectura de temperatura de los sensores.
- El control del sistema de ventiladores y extractores a partir de los valores recibidos de temperaturas exterior e interior.
- La comunicación de la placa con la plataforma de análisis de datos ThingSpeak, mediante el módulo Wi-Fi.

4.2 Placa de desarrollo D1 Mini ESP32

El D1 mini ESP32 es una tarjeta de desarrollo especialmente orientada al Internet de las cosas (IoT). Está basado en el SoC (System on Chip) ESP8266, un chip altamente integrado, diseñado para las necesidades de un mundo conectado. Integra un potente procesador con Arquitectura de 32 bits y conectividad Wi-Fi.

La placa está diseñada especialmente para trabajar en protoboard o soldada sobre una placa. Posee un regulador de voltaje en placa que le permite alimentarse directamente del puerto USB. Los pines de entradas/salidas trabajan a 3,3 V. El chip CH340G se encarga de la comunicación USB-Serial.

4.2.1 Características

Voltaje de alimentación	5 V DC
Voltaje entrada/salida	3,3 V DC
SoC	ESP32
CPU	Tensilica Xtensa LX3 (32 bit)
Frecuencia de reloj	80 MHz/160 MHz
Instruction RAM	32 kB
Data RAM	96 kB
Memoria Flash Externa	4 MB
Pines digitales GPIO	11 (pueden configurarse como PWM a 3,3 V)
Pin analógico ADC	18 (0-5 V)
Chip USB	CH340G
Corriente Standby	40 μ A
Corriente pico	400 mA
Consumo corriente promedio	70 mA
Consumo de potencia Standby	< 1,0 mW (DTIM3)

Tabla 25 Características de la placa D1 Mini ESP32.

4.3 Sensor de temperatura DS18B20

El DS18B20 [18] es un sensor de temperatura con salida digital, con encapsulado de tipo TO-92 similar al empleado en transistores pequeños. Con este sensor puedes medir temperaturas desde los -55°C hasta los 125°C y con una resolución programable desde 9 bits hasta 12 bits.

Número de modelo	DS18B20
Voltaje de alimentación	3 V A 5,5 V
Encapsulado	TO-92-3
Tecnología	Through-Hole
Rango de temperatura	-55°C a $+125^{\circ}\text{C}$ (-67°F a $+257^{\circ}\text{C}$)
Corriente de suministro operativa	1,5 mA
Corriente de entrada	5 μA
Salida	Sensor digital
Resolución	12 bits
Interfaz de comunicación	1-Wire, con capacidad multidrop
Alimentación	Puede ser alimentado a través de línea de datos

Tabla 26 Características del sensor DS18B20.

4.4 Entorno de desarrollo

El entorno de desarrollo elegido para este proyecto es PlatformIO [19]. Este es un editor profesional y de código abierto, que permite el desarrollo de código para microcontroladores de forma profesional.

Lo interesante de esta herramienta es que se puede integrar como complemento o extensión adicional en otros entornos de desarrollo integrados.

Por su parte PlatformIO presenta características adicionales que facilitan la programación.

- Depurador
- Detección de puerto automático
- Gestor de librerías privadas
- Integración con un repositorio de código (como GitHub o GitLab)
- Permite desarrollo remoto.
- Asistencia inteligente de escritura: funciones como el autocompletado y la comprobación de sintaxis en tiempo real que ayudan a escribir código de forma profesional con menos errores.
- Archivo platformio.ini: contiene la configuración de los proyectos y permite que estos puedan moverse fácilmente de una computadora a otra.

Para que la extensión de PlatformIO proporcione sus características, es necesario incluirlo dentro de un entorno de desarrollo integrado como Visual Studio Code en nuestro caso.

Para visualizar los datos de los sensores en tiempo real utilizamos ThingSpeak. Es una API y aplicación de código abierto para el Internet de las Cosas que permite almacenar y recopilar datos de objetos conectados a través del protocolo HTTP a través de Internet o de una red local.

4.5 Funcionamiento del algoritmo de climatización

La idea de la que parte la realización de este programa es aprovechar la temperatura exterior en caso de que sea favorable. Para poder llevar a cabo esta automatización, se necesitarán dos sensores de temperatura, uno en el interior de la nave, para detectar la temperatura a la que están los cerdos, y otro en el exterior de esta, para saber cuál es la temperatura ambiente de ese momento.

En caso de que la temperatura de la nave sea demasiado elevada, miraremos la exterior. Podemos encontrarnos dos casos distintos: que la temperatura ambiente sea menor que la interior o que sea mayor. Si la temperatura de fuera es más baja que la de dentro, activaremos los extractores para que pueda salir calor al exterior y también los ventiladores a potencia 1 para que el aire se mueva y se refresque la nave. En el caso contrario, si la temperatura ambiente es mayor que la del interior, los extractores deberán estar cerrados, porque si no entraría calor y elevaría algunos grados la temperatura de la nave, cosa que no sería favorable para el animal. Los ventiladores se encenderán a potencia 2 para que el movimiento de aire sea mayor que en el otro caso. Después de este procedimiento, se vuelve a comprobar si la temperatura está por debajo de la deseada. Si vemos que no lo está, se reiniciaría el proceso para mantener la configuración necesaria hasta llegar a la adecuada. En cambio, si es que no, apagaremos tanto ventiladores como extractores porque no necesitará el sistema de climatización ya que la temperatura será la recomendada. Seguiremos comprobando constantemente, de todos modos, si alguno de ellos debe activarse o no.

A la hora de comprobar si la temperatura de la nave es mayor al máximo recomendado, podemos encontrarnos en el supuesto de que esta no lo sea. Comprobaremos si es menor que la mínima entonces. En caso afirmativo, apagaremos tanto ventiladores como extractores para que pueda atemperarse la nave. Si no ha bajado del umbral indicado, el sistema seguirá en el mismo estado en el que estaba, atento a cualquier variación de la temperatura para poder responder a los cambios y activar o desactivar los componentes que sea necesario.

En la página siguiente, se detalla todo este proceso de forma esquemática en un diagrama de flujo.

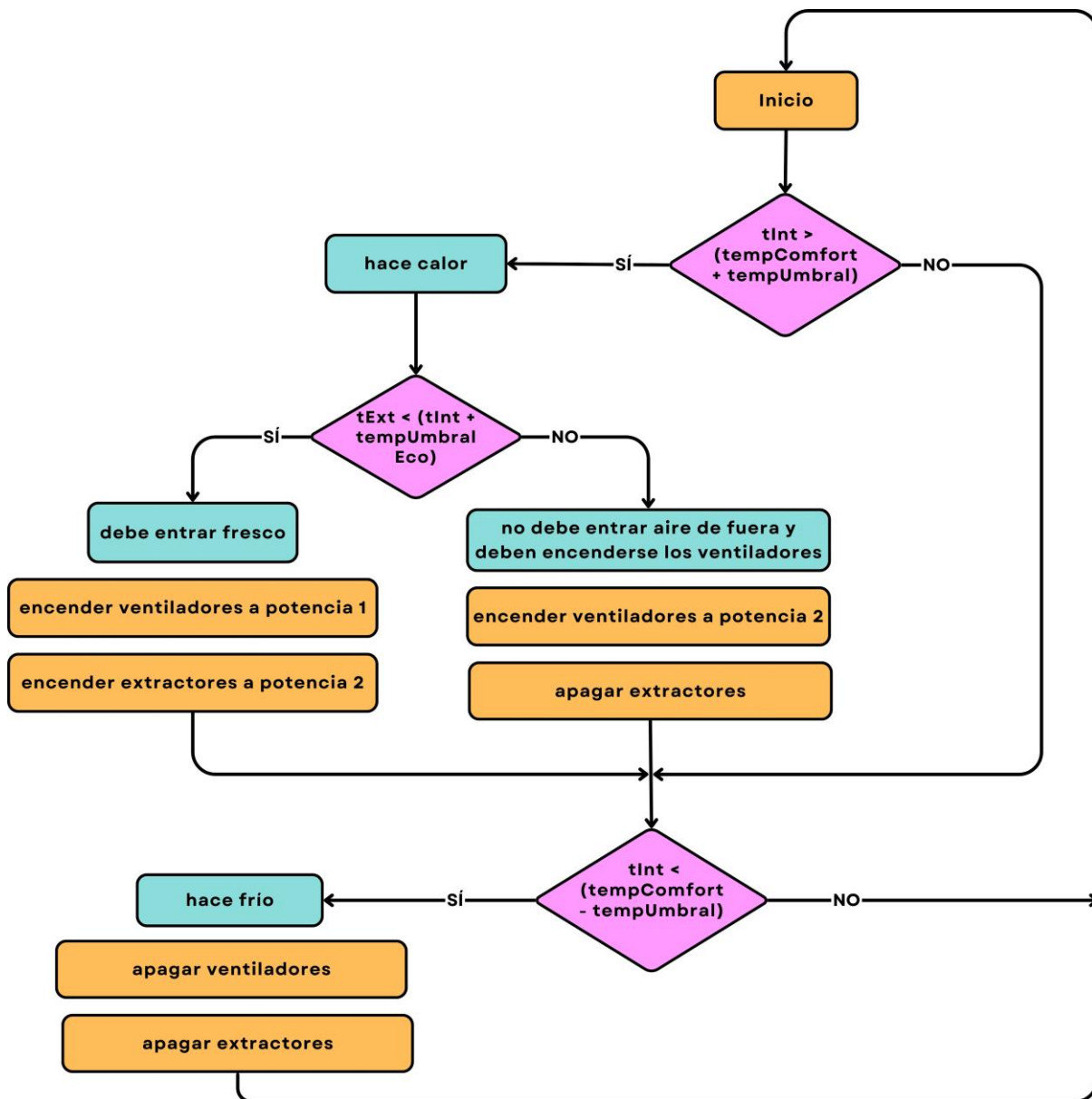


Tabla 27 Diagrama de flujo del programa para controlar la climatización.

4.6 Juego de pruebas

El código del programa se encuentra al final de este mismo documento, en el apartado de anexos. Para poder comprobar que funciona correctamente se ha montado una especie de prototipo en miniatura del modelo propuesto. Los ventiladores y extractores se representan mediante diodos LED. Cuando estos se encienden representan ventiladores y extractores en funcionamiento, y cuando se apagan que están en reposo. Tanto los LEDs como los sensores y la placa con el microcontrolador están conectados con ayuda de una protoboard y cables DuPont.

Con el fin de estar seguros de que el programa cumple las consignas deseadas, debe realizarse un juego de pruebas con los distintos casos que pueden darse.

Caso	Parámetros de entrada		Salida teórica				Salida real				Resultado
	T _{int}	T _{ext}	V1	V2	E1	E2	V1	V2	E1	E2	
1	26,1	26,4	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	OK
2	33,6	26,6	OFF	ON	ON	ON	OFF	ON	ON	ON	OK
3	25,6	33,0	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	OK
4	21,6	32,8	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OK
5	22,5	18,9	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OK
6	19,1	29,4	OFF	ON	ON	ON	OFF	ON	ON	ON	OK
7	18,4	16,8	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OK

T_{int}: temperatura en el interior de la nave [°C]

T_{ext}: temperatura en el exterior de la nave [°C]

V1: ventilador 1 / V2: ventilador 2

E1: extractor 1 / E2: extractor 2

Tabla 28 Juego de pruebas del programa.

En la tabla superior vemos los resultados de una prueba para cada situación posible, pero para comprobar que el funcionamiento es el adecuado han tenido que repetirse varias veces cada uno de los casos. De esta forma se demuestra la efectividad del código propuesto.

4.7 Presupuesto

Artículo	Precio unitario	Unidades	Precio total
Az Delivery D1 Mini ESP8266	8,99 €	1	8,99 €
DollaTek DS18B20	3,99 €	2	7,98 €
Diodo LED	0,05 €	4	0,20 €
Resistencia 1 kΩ	0,09 €	4	0,36 €
Relé ON/OFF ventiladores y extractores	5,60 €	4	22,40 €
TOTAL:			39,93 €

Tabla 29 Presupuesto del sistema de climatización.

5. Conclusiones

Después de realizar el cálculo de la instalación fotovoltaica y, además, implementar el programa para optimizar el sistema de climatización, se han reunido evidencias suficientes para poder determinar que llevar este proyecto a cabo, no solo sería viable, sino que también beneficioso.

A continuación, se enumeran los aspectos que se han considerado relevantes para tomar la decisión de realizar la ejecución propuesta en el trabajo.

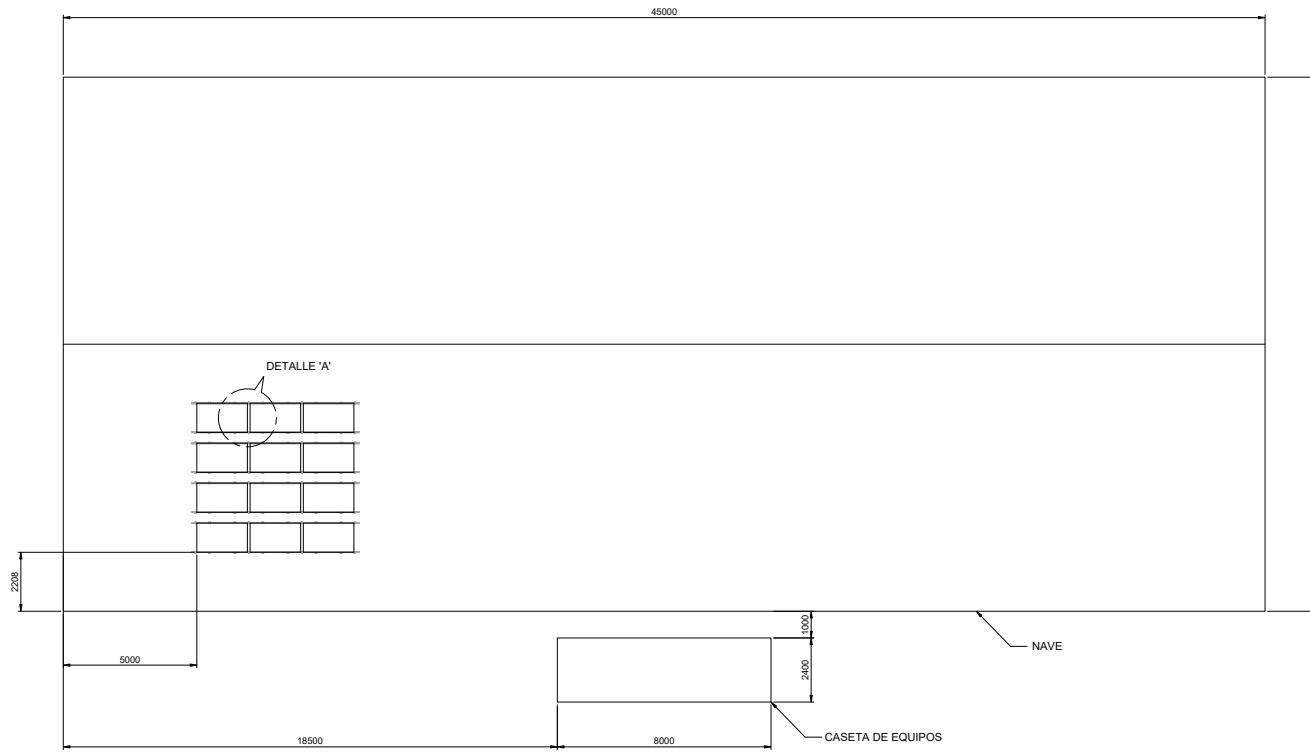
- Amortización de la instalación. Tras analizar los costes de inversión y los posibles ahorros en energía a lo largo del tiempo, se concluye que el tiempo de amortización serían unos 25 años. Es un tiempo considerable, pero si tenemos en cuenta los años de vida de una granja, vemos que a largo plazo la inversión económica se puede justificar.
- Reducción del consumo de energía. El uso de sensores de temperatura conectados al microcontrolador permite una gestión más inteligente y eficiente de la climatización. El sistema ajusta automáticamente la temperatura según las condiciones, lo que conduce a un ahorro significativo de energía.
- Generación de energía sostenible. El proyecto confirma que el uso de módulos proporcionará una fuente de energía sostenible y respetuosa con el medio ambiente, lo que ayudará a reducir la huella de carbono de la granja. El sistema de control de temperatura contribuirá a la conciencia ambiental también, al reducir el desperdicio de energía.
- Optimización del sistema. El sistema de climatización basado en microcontrolador ha demostrado ser efectivo para mantener la temperatura deseada en el ambiente. Los sensores de temperatura permiten una medición precisa y una respuesta rápida a las fluctuaciones térmicas, lo que contribuye a un control eficiente del clima interior. Además, se podría habilitar la funcionalidad de monitoreo y control remoto a través de la conexión a Internet. Esto permitiría a los usuarios ajustar la temperatura desde cualquier lugar, lo que mejoraría la eficiencia energética. Por lo que refiere a las placas solares, durante el proceso de diseño se han identificado oportunidades para optimizar el sistema fotovoltaico, como la selección de paneles solares más eficientes o la implementación de sistemas de seguimiento solar para aumentar la producción de energía.
- Beneficios fiscales y subvenciones. Se ha investigado y concluido que existen incentivos fiscales y subvenciones disponibles para la instalación de sistemas solares en la región, lo que mejora todavía más la rentabilidad del proyecto.

En resumen, el proyecto de control de un sistema de producción de energía eléctrica aislado mediante microcontrolador demuestra que la adopción de energía solar es una decisión estratégica que no solo reduce los costes operativos para futuras generaciones de propietarios, sino que también promueve la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental. A su vez, la optimización del sistema de climatización ha probado ser una solución efectiva, eficiente y versátil para controlar el clima en el interior de la nave. Proporciona beneficios en términos de comodidad, ahorro de energía y adaptabilidad, lo que lo convierte en una opción conveniente para la gestión térmica.

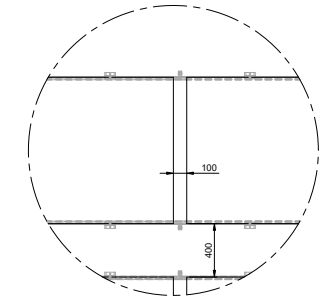
6. Anexos

6.1 Plano de distribución de los módulos fotovoltaicos

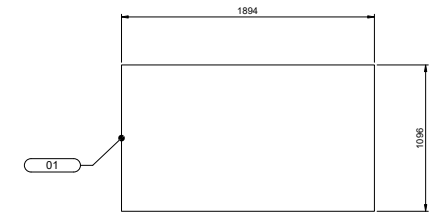
MARCA	CANT.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	kg/UD.
01	12	Panel monocristalino PERC TITAN 130 (RSM130-8-450M)	SILICIO MONOCRISTALINO	22.5



VISTA EN PLANTA
E=1:100



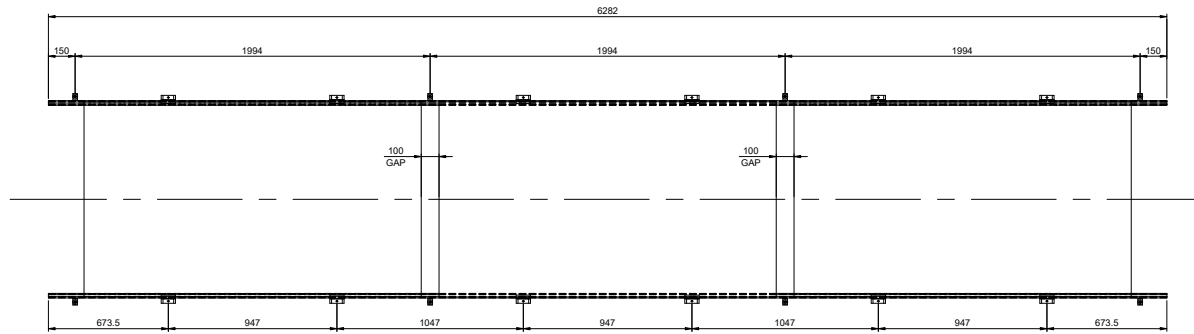
DETALLE 'A':
SEPARACIÓN
ENTRE PANELES
E=1:20



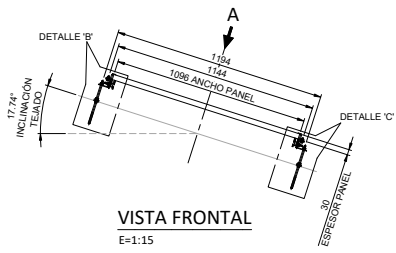
DETALLE PANEL FOTOVOLTAICO
E=1:20

	Data	Nombre	
Dibujado	18/07/23	Bárbara Almazor Mantero	UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI TRABAJO FIN DE GRADO
Comprovado			
S.normas			
Escala	1:100 1:20		Nº1 Sustituye a Sustituido por
	PLANO GENERAL DISTRIBUCIÓN PANELES		

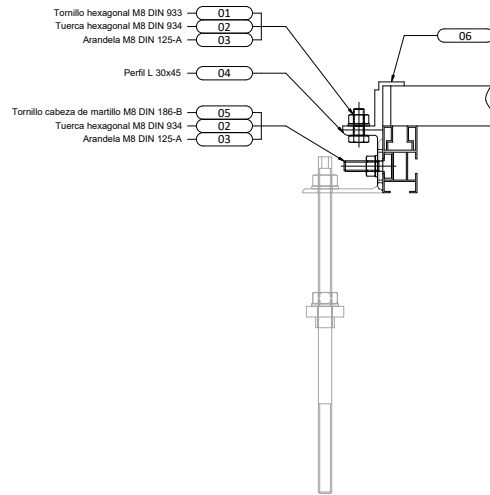
6.2 Plano del anclaje de los módulos al tejado



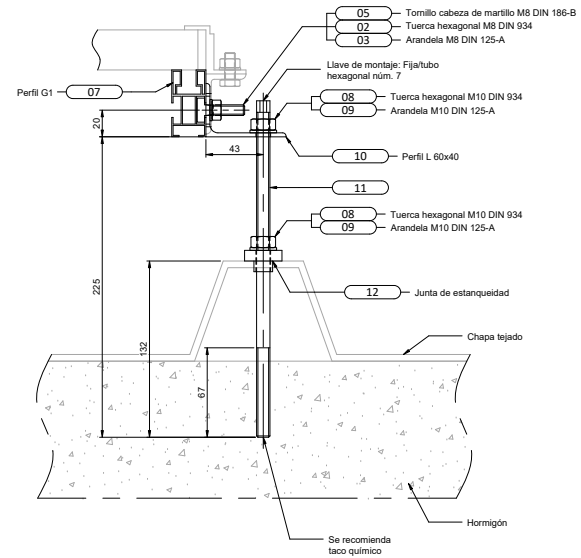
VISTA DESDE 'A'
E=1:15



VISTA FRONTAL
E=1:15



DETALLE 'B'
ANCLAJE PLACA-PERFIL
E=1:2



DETALLE 'C'
ANCLAJE PERFIL-TEJADO
E=1:2

MARCA	CANT.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	kg TOT.
01	12	TORNILLO HEXAGONAL M8x20 DIN 933	A.C.	0.15
02	32	TUERCA HEXAGONAL M8 DIN 934	A.C.	0.17
03	32	ARANDELA M8 DIN 125-A	A.C.	0.06
04	12	PERFIL L 30x45 x 60	A.C.	1.62
05	20	TORNILLO CABEZA DE MARTILLO M8x30 DIN 186-B	A.C.	0.37
06	12	STOPPER LATERAL	ALUMINIO	11.69
07	2	PERFIL 'G1'	ALUMINIO	9.84
08	16	TUERCA HEXAGONAL M10 DIN 934	A.C.	0.19
09	16	ARANDELA M10 DIN 125-A	A.C.	0.06
10	8	PERFIL L 60x40 x25	A.C.	0.76
11	8	PERNO DE ANCLAJE	A.C.	12.5
12	8	JUNTA DE ESTANQUEIDAD	GOMA	0.36

	Data	Nombre	
Dibujado	13/07/23	Bárbara Almazor Mantero	UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
Comprovado			TRABAJO FIN DE GRADO
S.normas			
Escala	PLANO DETALLE SISTEMA DE ANCLAJE		Nº2
1:15			Sustituye a
1:2			Sustituido por

6.3 Código

```

#include <Arduino.h> [20]

#include <WiFi.h> [21]

#define SECRET_SSID "Redmi 9" // replace MySSID with your WiFi network name
#define SECRET_PASS "28062022" // replace MyPassword with your WiFi password

#define SECRET_CH_ID 2248337 // replace 0000000 with your channel number
#define SECRET_WRITE_APIKEY "C3654AAD6QBGOWLT" // replace XYZ with your channel write
API Key

#include "ThingSpeak.h" [22] // always include thingspeak header file after other header
files and custom macros

char ssid[] = SECRET_SSID; // your network SSID (name)
char pass[] = SECRET_PASS; // your network password
int keyIndex = 0; // your network key Index number (needed only for WEP)
WiFiClient client;

unsigned long myChannelNumber = SECRET_CH_ID;
const char * myWriteAPIKey = SECRET_WRITE_APIKEY;

// Initialize our values
int number1 = 0;
int number2 = random(0, 100);
int number3 = 8;
int number4 = random(0, 100);
String myStatus = "";

// Include the libraries we need
#include <../include/OneWire.h> [23]

#include <DallasTemperature.h> [24]

// Data wire are plugged into port 4 and 16 on the Arduino
#define ONE_WIRE_BUS_1 16
#define ONE_WIRE_BUS_2 4

// Setup a oneWire instance to communicate with any OneWire devices (not just
Maxim/Dallas temperature ICs)
OneWire oneWire_in(ONE_WIRE_BUS_1);
OneWire oneWire_out(ONE_WIRE_BUS_2);

// Pass our oneWire reference to Dallas Temperature.
DallasTemperature sensor_inhouse(&oneWire_in);
DallasTemperature sensor_outhouse(&oneWire_out);
//DallasTemperature sensors(&oneWire);

#define PIN_EXTRACTOR1 23
#define PIN_EXTRACTOR2 19

#define PIN_VENTILADOR1 18
#define PIN_VENTILADOR2 26

void setup() {
  // initialize digital pin LED_BUILTIN as an output.
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
  Serial.begin (115200);

```

```

WiFi.mode(WIFI_STA);
ThingSpeak.begin(client); // Initialize ThingSpeak

Serial.println("\nGranja Bárbara Sistema de IoT control de Nave-Warehouse con sensores
Dallas18B20");
// Start up the library
sensor_inhouse.begin();
sensor_outhouse.begin();

////////////////////////////////////

pinMode(PIN_VENTILADOR1, OUTPUT);
pinMode(PIN_VENTILADOR2, OUTPUT);
pinMode(PIN_EXTRACTOR1, OUTPUT);
pinMode(PIN_EXTRACTOR2, OUTPUT);
digitalWrite(PIN_EXTRACTOR1, LOW);
digitalWrite(PIN_EXTRACTOR2, LOW);
digitalWrite(PIN_VENTILADOR1, LOW);
digitalWrite(PIN_VENTILADOR2, LOW);

}

void enviaMensaje(){

    ThingSpeak.setStatus("Prueba de inicio");
    int x = ThingSpeak.writeFields(myChannelNumber, myWriteAPIKey); // Impacta info en el
servidor
    if (x == 200) {
        Serial.println("Mensaje de prueba");
    }
    else {
        Serial.println("No se pudo actualizar el estado en el servidor. HTTP error code "
+ String(x));
    }

    Serial.print("Comprobar si se envió el mandaje a Thingspeak");
    // delay (8000);

}

void parpadeoLed(){
    ////////////////////////////////////// Timer parpadeo led
    static long timerLed=0;
    if ( millis() >= 1000 + timerLed ){
        digitalWrite(LED_BUILTIN, !digitalRead(LED_BUILTIN) ); // turn the LED off by
making the voltage LOW
        timerLed=millis();
    }
}

float tempIn, tempOut;

void mide (){
    // call sensors.requestTemperatures() to issue a global temperature
    // request to all devices on the bus
    Serial.print("Requesting temperatures...");
    sensor_inhouse.requestTemperatures(); // Send the command to get temperatures
    sensor_outhouse.requestTemperatures();
    Serial.println("DONE");
    // After we got the temperatures, we can print them here.
    // We use the function ByIndex, and as an example get the temperature from the first
    sensor only.
    tempIn = sensor_inhouse.getTempCByIndex(0);
    tempOut = sensor_outhouse.getTempCByIndex(0);
}

```

```

// Check if reading was successful
if(tempIn != DEVICE_DISCONNECTED_C) {
  Serial.print("Temp (in) for the device 1 (index 0) is: ");
  Serial.println(tempIn);
}
else {
  Serial.println("Error device 1: Could not read temperature data");
}

if(tempOut != DEVICE_DISCONNECTED_C) {
  Serial.print("Temp (out) for the device 2 (index 0) is: ");
  Serial.println(tempOut);
}
else {
  Serial.println("Error device 2: Could not read temperature data");
}
}

void envia (String mensajeEnviar){
  // Connect or reconnect to WiFi
  if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    Serial.print("Attempting to connect to SSID: ");
    Serial.println(SECRET_SSID);
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
      WiFi.begin(ssid, pass); // Connect to WPA/WPA2 network. Change this line if using
open or WEP network
      Serial.print(".");
      delay(5000);
    }
    Serial.println("\nConnected.");
  }

  // set the fields with the values

  Serial.print("La temperatura del sensor interior es ");
  Serial.print(tempIn);
  ThingSpeak.setField(1, tempIn);
  Serial.print("\nLa temperatura del sensor exterior es ");
  ThingSpeak.setField(2, tempOut);
  Serial.print(tempOut);
  Serial.println("");
  // set the status
  ThingSpeak.setStatus(mensajeEnviar);

  // write to the ThingSpeak channel
  int x = ThingSpeak.writeFields(myChannelNumber, myWriteAPIKey); // Impacta info en el
servidor
  if (x == 200) {
    Serial.println("Channel update successful (200).");
  }
  else {
    Serial.println("Problem updating channel. HTTP error code " + String(x));
  }

  // change the values
  number1++;
  if (number1 > 99) {
    number1 = 0;
  }
  number2 = random(0, 100);
  number3 = 9;
  number4 = random(0, 100);
}

//Función para medir temperaturas con una sonda analogica (o potenciómetro para pruebas)

```

```

int InterpolarTemperatura (int dato_recibido)
{
    int Tobtenida;

    Tobtenida = map(dato_recibido, 20, 358, -40, 125);
    return (Tobtenida);
}

void ventiladoresInternos(int argumentoRecibe) {
    static int ultimaVelocidad;
    if (argumentoRecibe != ultimaVelocidad) {
        Serial.print("\n*****");
        Serial.print("vent:");
        Serial.print(argumentoRecibe);
        Serial.print("*****\n");
        delay (2000);
    }
    switch (argumentoRecibe) {
        case 0:
            digitalWrite(PIN_VENTILADOR1, LOW);
            digitalWrite(PIN_VENTILADOR2, LOW);
            break;
        case 1:
            digitalWrite(PIN_VENTILADOR1, HIGH);
            digitalWrite(PIN_VENTILADOR2, LOW);
            break;
        case 2:
            digitalWrite(PIN_VENTILADOR1, HIGH);
            digitalWrite(PIN_VENTILADOR2, HIGH);
            break;
    }

    ultimaVelocidad = argumentoRecibe;
}

void extractores (int argumentoRecibe) {
    if (argumentoRecibe == 0) {
        digitalWrite(PIN_EXTRACTOR1, LOW);
        digitalWrite(PIN_EXTRACTOR2, LOW);
    }
    else if (argumentoRecibe == 1 || argumentoRecibe == 2) {
        digitalWrite(PIN_EXTRACTOR1, HIGH);
        digitalWrite(PIN_EXTRACTOR2, HIGH);
    }
}

String termostato(){
    // Variables configurables
    int temp_comfort = 22;
    int temp_umbral = 2;
    int temp_umbral_eco = 0; //0 SUPER ECO (MIENTRAS MÁS GRANDE, MENOS ECO)
    String resultado;
    /*
    int medicionInterior = analogRead(A5);
    int medicionExterior = analogRead(A4);

    int tInt = InterpolarTemperatura (mediccionInterior);
    int tExt = InterpolarTemperatura (mediccionExterior);

    Serial.print("Temp interior=");
    Serial.print(InterpolarTemperatura (mediccionInterior));
    Serial.print(", exterior=");

```

```

Serial.print(InterpolarTemperatura (medicionExterior));
*/

//Necesitas enfriar
if (tempIn > (temp_comfort + temp_umbral)) {
  //Hace calor
  resultado+=" -> Debe enfriar, ";

  if (tempOut < tempIn + temp_umbral_eco) {
    resultado+= ("Conviene entrar fresco, ");
    extractores(2);
    ventiladoresInternos(1);
  }
  else {
    //Hace calor y afuera no está más fresco
    extractores(0);
    ventiladoresInternos(2);
    resultado+=("(extractor apagado)");
  }
}
else {
  ventiladoresInternos(0);
  extractores(0);
}

if (tempIn < (temp_comfort - temp_umbral)) {
  //Hace frío
  ventiladoresInternos(0);
  extractores(0);
  //calefaccionar();
  resultado+=" -> Debe calentar";
}

Serial.println(resultado);
return(resultado);
}

void loop() {

  parpadeoLed();

  //////////////////////////////////////// Timer parpadeo led
  static long timerSaludo=0;
  if ( millis() >= 15000 + timerSaludo ){
    Serial.print("Leyendo y enviando... segundos=");
    Serial.println(millis()/1000);

    mide(); //termómetro
    String resultadoTermostato=termostato(); //termostato
    envia(resultadoTermostato);
    timerSaludo=millis();
  }

  ////////////////////////////////////////

}

```

7. Referencias

- ¹ "Visor SigPac". Visor SigPac. Accedido el 14 de enero de 2023. [En línea]. Disponible: <http://sigpac.aragon.es/visor/>
- ² "Regulador de Carga Solar: Calculos, Tipos, Funciones." Tecnología Fácil: Electricidad, Electrónica, Informática, etc. Accedido el 18 de enero de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/regulador-de-carga-solar.html>
- ³ "Entendiendo el Azimut y la Elevación | PhotoPills". PhotoPills. Accedido el 3 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.photopills.com/es/articulos/entendiendo-el-azimut-la-elevacion>
- ⁴ "Cálculo de perdidas por orientación e inclinación - [Energías Renovables]". [Energías Renovables]. Accedido el 3 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible: <http://www.aularenova.es/spip.php?article58>
- ⁵ A. S. Rull, Código técnico de la edificación. Barcelona, [Spain]: Marcombo Boixareu Editores, 2007.
- ⁶ J. A. A. Lorenzo. "PVGIS - Guía rápida y ejemplo de cálculo en Español - SunFields". SunFields Empresa de Placas y Equipos Solares. Accedido el 10 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/pvgis-guia-rapida-y-ejemplo-calculo-espanol/#Introducir-los-datos>
- ⁷ "JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission". JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission. Accedido el 10 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/
- ⁸ "PANEL MONOCRISTALINO PERC DE ALTO RENDIMIENTO TITAN 110_Paneles_RISEN ENERGY CO., LTD". RISEN ENERGY CO., LTD. Accedido el 10 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible: https://es.risenenergy.com/product/assembly_info?info=5
- ⁹ "REGULADOR MPPT VICTRON BLUE SOLAR MPPT 150/60-TR | TECNOSOL". TECNOSOL. Accedido el 18 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible: <https://tecnosolab.com/producto/reguladores/reguladores-mppt/regulador-mppt-victron-blue-15060-tr>
- ¹⁰ "Inversor Victron Phoenix Smart 48V 3000VA | al Mejor Precio". Autosolar | La Tienda de la Energía Solar. Accedido el 18 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible: <https://autosolar.es/inversores-48v/inversor-phoenix-smart-48v-3000va-victron-energy>
- ¹¹ "Monsolar". Monsolar.com - Tu tienda online de energía solar y ahorro energético. Accedido el 18 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.monsolar.com/baterias-opzs-48v-bae-7pvs1050.html>
- ¹² B. B. González, Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión 7.^a edición. Marcombo, 2021.
- ¹³ Colectivo, Pliego De Condiciones Tecnicas De Instalaciones Aisladas De Red. Páginas De Espuma, 2002.
- ¹⁴ "Distancia entre filas de paneles solares. Cómo evitar el sombreado | Tecnosol tienda online de Energía Solar". BLOG Tecnosol. Accedido el 27 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible: <https://tecnosolab.com/noticias/distancia-entre-filas-de-paneles-solares/>

¹⁵ "Pasillos de acceso para mantenimiento". Solarweb.net - El portal de la energía solar. Accedido el 28 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.solarweb.net/forosolar/fotovoltaica-sistemas-conectados-red/15737-pasillos-acceso-mantenimiento.html>

¹⁶ "Soporte coplanar atornillado 01H - anclaje a hormigón y/o - Bricoelige.com". Bricoelige.com. Accedido el 5 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible: https://bricoelige.com/soporte-coplanar-atornillado-anclaje-a-hormigon-y-o-madera-horizontal#/18-n_placas-3_paneles_solares

¹⁷ "ESP32 D1 Mini Nodemcu WiFi Module + Bluetooth Internet Development Board Compatible con Arduino". AZ-Delivery. Accedido el 10 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.az-delivery.de/es/products/esp32-d1-mini>

¹⁸ "DS18B20 Sensor de Temperatura TO-92 0,5 C integrado". ElectroComponentes.es. Accedido el 3 de junio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.electrocomponentes.es/temperatura/871-ds18b20-sensor-de-temperatura-to-92-05-c-integrado.html>

¹⁹ <https://platformio.org/>

²⁰ GitHub: Let's build from here · GitHub. Accedido el 14 de junio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://github.com/arduino/ArduinoCore-avr/blob/master/cores/arduino/Arduino.h>

²¹ Arduino. "WiFi". Arduino Library List - Arduino Libraries. Accedido el 28 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.arduinolibraries.info/libraries/wi-fi>

²² MathWorks. "ThingSpeak". Arduino Library List - Arduino Libraries. Accedido el 30 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.arduinolibraries.info/libraries/thing-speak>

²³ J. S. T. P. R. J. G. T. J. D. G. L. P. S. S. R. B. S. M. T. K. B. R. C. L. Nystrom. "OneWire". Arduino Library List - Arduino Libraries. Accedido el 29 de junio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.arduinolibraries.info/libraries/one-wire>

²⁴ M. Burton. "DallasTemperature". Arduino Library List - Arduino Libraries. Accedido el 29 de junio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.arduinolibraries.info/libraries/dallas-temperature>