



universidad
de león



Escuela de Ingenierías
Industrial, Informática y Aeroespacial

GRADO EN INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA
INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

Trabajo de Fin de Grado

AUTOMATIZACIÓN DE UN BANCO SOLAR URBANO CON
CAPACIDAD DE CALEFACCIÓN Y CARGA INALÁMBRICA
DE DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS

AUTOMATION OF AN URBAN SOLAR BANK CAPABLE OF
SELF-HEATING AND WIRELESS CHARGING OF
ELECTRONIC DEVICES

Autor: David García López
Tutor: Juan Felipe García Sierra

(Julio, 2022)

UNIVERSIDAD DE LEÓN
Escuela de Ingenierías Industrial, Informática y
Aeroespacial

GRADO EN INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y
AUTOMÁTICA
Trabajo de Fin de Grado

ALUMNO: David García López

TUTOR: Juan Felipe García Sierra

TÍTULO: Automatización de un banco solar urbano con capacidad de calefacción y carga inalámbrica de dispositivos electrónicos

CONVOCATORIA: Julio, 2022

RESUMEN:

En este proyecto abordamos el diseño de un banco urbano dotado de un sistema de calefacción de su superficie, estaciones de carga para dispositivos electrónicos y un sistema lógico que se encarga de controlar el correcto funcionamiento de todos los elementos. Este conjunto de cargas se alimentan en exclusiva por una pequeña instalación solar fotovoltaica aislada constituida por dos paneles solares.

A la hora de diseñar todos los sistemas, hemos considerado diversos factores, siendo los más importantes la eficacia y robustez del sistema, la eficiencia energética y la resiliencia del sistema frente a agentes meteorológicos y humanos relacionados con el vandalismo y el uso indebido.

El sistema de calefacción de la superficie del banco constituye el mayor consumo eléctrico de la instalación. Lo hemos basado en la tecnología del suelo radiante eléctrico, siendo esta la que mejor se adapta a los factores que hemos mencionado. Las estaciones de carga de dispositivos electrónicos y el sistema lógico también suponen un consumo eléctrico, sin embargo hemos considerado este despreciable por ser muy reducido. El rendimiento de la instalación está directamente relacionado con los valores de radiación solar de los años futuros, sin embargo hemos diseñado la instalación solar para que, en las condiciones de radiación diaria más desfavorables de los últimos diez años, las cargas puedan estar activas al menos cuatro horas diarias.

La instalación solar está dotada de baterías con un regulador de carga que permiten al sistema funcionar aislado de la red eléctrica. Las baterías permiten almacenar la energía generada que no se consuma en el momento, y están dimensionadas para permitir a las cargas estar activas al menos esas cuatro horas diarias durante un periodo de cinco días sin la existencia de radiación solar. A su vez, el sistema lógico formado por un microcontrolador y un conjunto de periféricos hace que no sea necesaria la intervención humana para su correcto funcionamiento. De este modo, el sistema está

completamente aislado y es autosuficiente.

Hemos seleccionado todos los dispositivos necesarios para llevar a cabo el proyecto de tal forma que puedan estar ocultos bajo la superficie de las partes físicas del banco, solventando de esta forma los problemas de vandalismo y de inclemencias meteorológicas, a excepción de las tomas de carga USB, los paneles solares y la interfaz con el usuario del sistema lógico, constituida por una pantalla LCD. El proyecto adquiere así una robustez muy elevada.

En último lugar, para llevar a cabo toda la instalación, hemos establecido qué características físicas debe tener el cableado eléctrico. Estas características físicas están relacionadas fundamentalmente con la sección y la longitud, y dependen directamente de la intensidad que circula por cada tramo del mismo, así como las máximas caídas de voltaje permitidas según el reglamento.

No hemos diseñado esta instalación para que se encuentre en continuo funcionamiento, si no que aporte a los usuarios tales prestaciones durante el mayor tiempo que la radiación solar lo permita, siendo su labor principal la de actuar como un banco urbano convencional.

Palabras clave: solar fotovoltaica, radiante, microcontrolador, sensor, consumo, temperatura, automatizado.

Firma del alumno:

VºBº Tutor/es:

UNIVERSIDAD DE LEÓN
Escuela de Ingenierías Industrial, Informática y
Aeroespacial

GRADO EN INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y
AUTOMÁTICA
Trabajo de Fin de Grado

STUDENT: David García López

TUTOR: Juan Felipe García Sierra

TITLE: Automation of an urban solar bank capable of self-heating and wireless charging of electronic devices

CONVOCATORIA: July, 2022

ABSTRACT:

In this project we present the design of an urban bench equipped with a surface-heating system, charging stations for electronic devices and a logic system that is responsible for controlling the correct operation of all the elements. This set of loads is fed exclusively by a small isolated photovoltaic solar installation made up of two solar panels.

When designing all the systems, we have considered various factors, the most important being the effectiveness and robustness of the system, its energy efficiency and the resilience of the system against weather and human agents related to vandalism and improper use.

The heating system of the surface of the bench accounts for the greatest electrical consumption of the installation. We have based it on the technology of electric underfloor heating, since it is the more suitable one for the factors that we have mentioned. The charging stations for electronic devices and the logic system also imply an electrical consumption, however we have considered this to be negligible as it is very low in comparison to the former. The performance of the installation is directly related to the solar radiation values of future years, however, we have designed the solar installation so that, in the most unfavorable daily radiation conditions of the last ten years, the loads can be active at least four hours a day.

The solar installation is equipped with batteries with a charge regulator that allow the system to function isolated from the electricity grid. The batteries allow energy generated and not instantly consumed to be stored, and are sized to allow the loads to be active for at least those four hours a day for a period of five days without the existence of solar radiation. In turn, the logic system formed by a microcontroller and a set of peripherals makes human intervention unnecessary for its correct operation. Thus, the system is completely isolated and self-sufficient.

We have selected all the necessary devices to carry out the project in such a way that they can be hidden under the surface of the physical parts of the

bank, thus solving the problems of vandalism and inclement weather, with the exception of USB charging sockets, the solar panels, and the interface with the user of the logical system, constituted by an LCD screen. The project thus acquires a very high robustness.

Finally, to carry out the entire installation, we have established what physical characteristics the electrical wiring must have. These physical characteristics are fundamentally related to their section and length, and depend directly on the intensity that circulates through each section of it, as well as on the maximum voltage drops allowed according to the regulations.

We have not designed this facility to be in continuous operation, but to provide users with such benefits for as long as solar radiation allows, its main task being to act as a conventional urban bank.

Key words: solar photovoltaic, radiating, microcontroller, sensor, consumption, temperatura, automated

Firma del alumno:

VºBº Tutor/es:

Índice de contenidos.

1.	Introducción.....	15
2.	Trabajo relacionado.....	17
3.	Sistema de calefacción.....	20
3.1.	Tipos de tecnología de calefacción.....	20
3.1.1.	Calefacción por infrarrojos.....	20
3.1.2.	Calefacción por superficie radiante.....	22
3.2.	Selección de la tecnología empleada.....	25
3.3.	Cálculo del consumo eléctrico de la tecnología de calefacción empleada.....	27
3.3.1.	Metros de cable necesarios a instalar.....	27
3.3.2.	Tipo de cable paralelo empleado.....	29
3.3.3.	Consumo energético total del sistema de calefacción.....	32
4.	Instalación solar fotovoltaica.....	33
4.1.	Elementos que conforman la instalación fotovoltaica aislada.....	33
4.1.1.	Paneles solares.....	33
4.1.2.	Regulador de carga.....	33
4.1.3.	Baterías solares.....	34
4.1.4.	Inversor solar.....	34
4.2.	Colocación de los módulos fotovoltaicos.....	35
4.2.1.	Orientación.....	35
4.2.2.	Inclinación.....	36
4.2.3.	Incorporación de los paneles en el banco urbano.....	37
4.3.	Datos de radiación en el emplazamiento.....	38
4.3.1.	Datos de radiación para una inclinación de 28°.....	40
4.3.2.	Datos de radiación para una inclinación de 36°.....	41
4.3.3.	Datos de radiación para una inclinación de 58°.....	42

4.3.4.	Selección de la inclinación óptima.	43
4.4.	Dimensionado de la instalación.	44
4.4.1.	Paneles solares.	44
4.4.2.	Baterías solares.	48
4.4.3.	Regulador de carga.	50
4.4.4.	Inversor fotovoltaico.	51
4.4.5.	Inversor híbrido	53
4.5.	Resumen de la instalación.	55
4.6.	Presupuesto.	56
5.	Sistema lógico.	57
5.1.	Microcontrolador empleado.	57
5.1.1.	Definición, historia y principio de funcionamiento.	57
5.1.2.	Modelos de placa Arduino.	58
5.1.3.	Arduino empleado.	64
5.2.	Periféricos empleados.	64
5.2.1.	Temperatura ambiente y humedad.	65
5.2.2.	Temperatura del asiento.	66
5.2.3.	Fecha y Hora.	68
5.2.4.	Nivel de carga de las baterías.	71
5.2.5.	Interfaz con el usuario.	72
5.2.6.	Detección de usuario.	73
5.2.7.	Activación y desactivación del sistema de calefacción.	75
5.3.	Conexión de los periféricos con el microcontrolador	76
5.4.	Presupuesto.	78
5.5.	Planteamiento teórico del código implementado en el microcontrolador.	79
5.6.	Librerías	81
6.	Sistema de carga de dispositivos electrónicos.	83

6.1.	Sistema de carga de dispositivos de forma inalámbrica.	83
6.1.1.	Principio de funcionamiento.	83
6.1.2.	Modelo empleado.	84
6.2.	Sistema de carga de dispositivos por cable.	85
6.2.1.	Modelo empleado.	85
6.3.	Presupuesto.....	87
7.	Cableado.....	88
7.1.	Tramo paneles solares – caja de conexiones.	90
7.2.	Tramo caja de conexiones – regulador.	92
7.3.	Tramo regulador – baterías.....	93
7.4.	Tramo baterías – inversor.....	93
7.5.	Tramo inversor – carga.	94
7.6.	Resumen.	95
8.	Presupuesto	96
8.1.	Enlaces de compra	98
9.	Conclusiones y trabajo futuro.....	101
10.	Lista de referencias bibliográficas	104
11.	Apéndices.	109
12.	Anexos.....	110

Índice de figuras.

Figura 2-1 Banco urbano del instituto de Killian Court en la Universidad Tecnológica de Massachusetts. (Fuente: [2]).	19
Figura 3-1 Radiador que utiliza la tecnología infrarroja. (Fuente: [4]).	22
Figura 3-2 Esquema de instalación y componentes del folio radiante. (Fuente [5]).	24
Figura 3-3 Esquema de instalación y componentes del hilo radiante. (Fuente: [5]).	25
Figura 3-4 Banco Equal, comercializado por la empresa Escofet 1886 S.A. Fotografía: Eugeni Pons. (Fuente: [6]).	27
Figura 3-5 Esquema de la planta del banco. (Fuente: elaboración propia).	28
Figura 3-6 Tabla que relaciona la distancia de separación entre tiradas de cable con la longitud respectiva de la curva que las une. (Fuente: [7]).	28
Figura 3-7 Esquema de las capas que constituyen el cable paralelo autorregulable. (Fuente: Anexo 1).	30
Figura 3-8 Especificaciones técnicas cable paralelo autorregulable BTV (nVent-Raychem). (Fuente: Anexo 1).	31
Figura 4-1 Esquema de todos los elementos que conforman una instalación solar fotovoltaica aislada. (Fuente: [9]).	35
Figura 4-2 Banco público contemporáneo Woody Scorpio, diseñado por David Karásek y distribuido por la empresa Mmcité Street furniture. (Fuente: [11]).	38
Figura 4-3 Fragmento de la hoja de técnica donde se observan las medidas físicas del panel fotovoltaico monocristalino JA SOLAR JAM72S20-450/MR. (Fuente: Anexo 2).	45
Figura 4-4 Fragmento de la hoja técnica donde se observa la curva I-V del panel fotovoltaico monocristalino JA SOLAR JAM72S20-450/MR. (Fuente: Anexo 2).	46
Figura 4-5 Fragmento de la hoja técnica de la batería HOPPECKE Power VL 2-325 Series OPzS. (Fuente: Anexo 3).	50
Figura 4-6 Fragmento de la hoja técnica del regulador de carga SRNE MPPT SR-ML 12/24V 40A LCD. (Fuente: Anexo 4).	51
Figura 4-7 Comparación de las ondas generadas por un inversor PWM y por uno MSW. (Fuente: [9]).	52
Figura 4-8 Fragmento de la hoja técnica de la gama de inversores Phoenix Smart 1600VA-3000VA del fabricante Victron Energy. (Fuente: Anexo 5).	53

Figura 4-9 Fragmento de la hoja técnica del inversor fotovoltaico híbrido OMEGA UM 3K-24 del fabricante MasterPower. (Fuente: Anexo 6).....	54
Figura 5-1 Placa Arduino UNO. (Fuente: [15]).	59
Figura 5-2 Placa Arduino DUE. (Fuente: [15]).	59
Figura 5-3 Placa Arduino Leonardo. (Fuente: [15]).	60
Figura 5-4 Placa Arduino Mega 2560. (Fuente: [15]).	61
Figura 5-5 Placa Arduino Mega ADK. (Fuente: [15]).	61
Figura 5-6 Placa Arduino Micro. (Fuente: [15]).	62
Figura 5-7 Placa Arduino Nano. (Fuente: [15]).	62
Figura 5-8 Placa Arduino Yun. (Fuente: [15]).	63
Figura 5-9 Placa Arduino FIO. (Fuente: [15]).	63
Figura 5-10 Fragmento de la hoja técnica del sensor SHT35-DIS-B25ks (humedad) del fabricante Sensirion. (Fuente: Anexo 7).	65
Figura 5-11 Fragmento de la hoja técnica del sensor SHT35-DIS-B25ks (temperatura) del fabricante Sensirion. (Fuente: Anexo 7).	66
Figura 5-12 Esquema de funcionamiento del ángulo de visión del sensor MLX90614ESF. (Fuente: [17]).	67
Figura 5-13 Esquema de conexión del GY-906 MLX90614ESF con Arduino UNO (en Arduino Mega 2560 SCL=D21 y SDA=D20). (Fuente: [18]).	68
Figura 5-14 Fragmento de la hoja técnica del sensor MLX90614ESF. (Fuente: Anexo 8).	68
Figura 5-15 Esquema de conexión RTC DS3231 con Arduino UNO (En Arduino Mega SCL=D21 y SDA=D20). (Fuente: [19]).	70
Figura 5-16 Esquema de conexión del módulo NEO GY-GPS6MV2 con Arduino UNO (En Arduino Mega RX=D0/D19/D17/D15 y TX=D1/D18/D16/D14). (Fuente: [20]).	71
Figura 5-17 Pantalla LCD Gravitech LCD-20x4B. (Fuente: Apartado 8.1 Enlaces de compra: referencia *10).	73
Figura 5-18 Esquema de conexión RCWL-0516 con Arduino UNO. (Fuente: [21]).	74
Figura 5-19 Relé ARCELI 3pcs 2 canales DC 5V para Arduino. (Fuente: Apartado 8.1 Enlaces de compra: referencia *14).	75
Figura 5-20 Esquema de pines de Arduino Mega 2560. (Fuente: [23]).	77
Figura 6-1 Apariencia exterior del cargador inalámbrico para encastrar TecnoLoop inLoop. (Fuente: Anexo 12).	85

Figura 6-2 Fragmento de la hoja técnica del cargador inalámbrico para encastrar TecnoLoop inLoop. (Fuente: Anexo 12).	85
Figura 6-3 Apariencia exterior del cargador de doble toma USB TecnoLoop Pip. (Fuente: Anexo 12).	86
Figura 6-4 Dimensiones del cargador de doble toma USB TecnoLoop Pip. (Fuente: Anexo 12).	86
Figura 6-5 Espesor máximo del panel donde se debe instalar el cargador de doble toma USB TecnoLoop Pip. (Fuente: Anexo 12).	87
Figura 7-1 Caídas de tensión permitidas según el IDAE para los distintos tramos de una instalación solar fotovoltaica. (Fuente: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)).	89
Figura 7-2 Elección de la conductividad del cable según el aislante. (Fuente: [25]).	90
Figura 7-3 ITC-BT-019 (ITC019) Instalaciones interiores o receptoras. (Fuente: [26]).	91

Índice de tablas.

Tabla 3-1 Presupuesto de compra cable calefactable paralelo autorregulable. (Fuente: elaboración propia).	31
Tabla 4-1 Ángulo de inclinación óptima respecto a la superficie de los paneles solares según el tipo de consumo en la provincia de León. (Fuente: [10]).....	37
Tabla 4-2 Datos de radiación media diaria en kWh/m ² obtenidos a partir de la herramienta PVGIS para una inclinación de los paneles de 28° en la provincia de León. (Fuente: [12]).	40
Tabla 4-3 Datos de radiación media diaria en kWh/m ² obtenidos a partir de la herramienta PVGIS para una inclinación de los paneles de 36° en la provincia de León. (Fuente: [12]).	41
Tabla 4-4 Datos de radiación media diaria en kWh/m ² obtenidos a partir de la herramienta PVGIS para una inclinación de los paneles de 58° en la provincia de León. (Fuente: [12]).	42
Tabla 4-5 Valores medios de radiación diaria en kWh/m ² para los distintos meses e inclinaciones. (Fuente: elaboración propia).	43
Tabla 4-6 Parámetros eléctricos mas importantes del panel fotovoltaico monocristalino JA SOLAR JAM72S20-450/MR. (Fuente: Anexo 2).	45
Tabla 4-7 Tabla resumen de la energía generada por la instalación fotovoltaica para el mes con las condiciones más desfavorables. (Fuente: ecuaciones 4-3, 4-4, 4-5 y 4-6).	47
Tabla 4-8 Resumen de todos los elementos que componen la instalación fotovoltaica con sus respectivas dimensiones y peso. (Fuente: elaboración propia y anexos 2, 3, 4, 5 y 6).	55
Tabla 4-9 Presupuesto de compra de todos los elementos que conforman la instalación solar fotovoltaica. (Fuente: elaboración propia).	56
Tabla 5-1 Tabla resumen de las variables monitorizadas, con los periféricos asociados a ellas respectivamente, y su influencia sobre el sistema. (Fuente: elaboración propia).....	64
Tabla 5-2 Listado de los periféricos con los correspondientes pines del Arduino a los que deben ir conectados. (Fuente: elaboración propia).	77
Tabla 5-3 Presupuesto de compra de todos los elementos que conforman el sistema lógico. (Fuente: elaboración propia).....	79
Tabla 5-4 Ejemplo de lo que se visualizará en la pantalla LCD. (Fuente: elaboración propia).	81

Tabla 6-1 Presupuesto de compra de las distintas estaciones de carga implementadas. (Fuente: elaboración propia).....	87
Tabla 7-1 Resumen de la longitud y sección de cada tramos de cableado de la instalación. (Fuente: elaboración propia).....	95
Tabla 8-1 Presupuesto total del proyecto. (Fuente: tablas 3-1, 4-9, 5-3 y 6-1).....	98
Tabla 8-2 Enlaces de compra de todos los elementos que componen el proyecto. (Fuente: elaboración propia).	100

1. Introducción.

En este proyecto abordamos todos los aspectos teóricos que atañen al diseño de un **banco urbano alimentado mediante energía solar** que proporciona a sus usuarios un **sistema de calefacción de su superficie**, así como **estaciones de carga de dispositivos inalámbricos**.

Los principales objetivos de nuestro proyecto son los siguientes:

- **Diseñar un sistema de calefacción y un sistema de carga de dispositivos electrónicos.** Una de las cargas eléctricas consistirá en un sistema de **calefacción** de la superficie del banco basado en la tecnología que encontremos más adecuada tras la valoración de posibles alternativas. Esta carga supondrá la mayor parte del consumo de la instalación. Por otro lado, incorporaremos un conjunto de **estaciones de carga** de dispositivos electrónicos, tanto inalámbricas como por cable, que también supondrá un consumo, pero en este caso mucho menor.
- **Implementar un sistema lógico para controlar las cargas.** Dicho sistema estará conformado por un microcontrolador y un conjunto de periféricos que transmitirán toda la información necesaria del entorno. Este microcontrolador actuará como cerebro del proyecto haciendo que no sea necesaria la intervención humana.
- **Diseñar un sistema eléctrico que permita el funcionamiento de todo el sistema de forma independiente de la red eléctrica.** Para afrontar el consumo eléctrico del conjunto de cargas y del sistema lógico diseñaremos una instalación solar fotovoltaica aislada de la red eléctrica que dotaremos de baterías, regulador e inversor para hacer frente a esta circunstancia de aislamiento. De esta forma, el banco solar urbano se convierte en un sistema totalmente independiente y aislado.

Además de los objetivos principales del proyecto antes mencionados, y para poder llevar a cabo nuestro proyecto, se plantean a su vez los siguientes subobjetivos:

- **Identificar los requisitos del sistema debidos a factores externos.** Al tratarse de una instalación fotovoltaica, debe estar situada exclusivamente en lugares al aire

libre, por lo que deberemos identificar los requisitos derivados de esta ubicación, principalmente medioambientales y de resistencia frente a posibles actos vandálicos.

- **Adaptar el sistema a factores externos.** En línea con el anterior objetivo, debemos implementar todos los sistemas mencionados de la forma más oculta y protegida posible, sin reducir su rendimiento o prestaciones.
- **Conseguir la autosuficiencia completa del sistema.** La instalación fotovoltaica debe ser capaz de abastecer por sí misma las cargas durante un periodo de tiempo prolongado, garantizamos su correcto funcionamiento en las condiciones más desfavorables posibles.
- **Establecer los requisitos de cableado.** El cableado eléctrico debe tener las características físicas (principalmente longitud y sección) adecuadas para la instalación proyectada.

2. Trabajo relacionado.

A lo largo de la historia las ciudades han ido evolucionando en mayor o menor medida en función de los recursos de los que dispone cada país o continente. En la actualidad existen modelos de ciudad en el primer mundo muy modernizados y todos estos avances se han trasladado a todos los elementos urbanísticos que rodean a la población. El mobiliario urbano del cual está dotado una ciudad es una pieza fundamental para aportar un aspecto que atraiga a los visitantes, así como el garantizar el bienestar de sus propios habitantes. El mobiliario urbano moderno esta enfocado a mejorar la calidad de vida de las personas, aportando no solo mayor comodidad, si no una serie de prestaciones y servicios que hace unos años eran inimaginables. A su vez todos estos avances deben de ir acompañados de una política de desarrollo sostenible de las grandes urbes cada vez mas masificadas y contaminadas.

Actualmente nos encontramos en la era de la hiperconectividad y la automatización, dos factores que han alcanzado todos los aspectos de la sociedad, incluido aquel que atañe al propio mobiliario urbano. Esto ha provocado el surgimiento de las denominadas ciudades inteligentes. El funcionamiento de estas se basa en la continua toma de datos a través de una infinidad de receptores situados por todas partes, desde un sensor de temperatura o movimiento, hasta una célula fotoeléctrica, por poner algún ejemplo. Todo este conjunto de receptores forma los sentidos de la ciudad inteligente, a través de los cuales se recopila información continuamente para poder ser utilizada con posterioridad para tomar mejores decisiones, evitar riesgos, o corregir ciertos fallos recurrentes. Del mismo modo para poder llevar a cabo todo esto, es necesario una transferencia de datos sin fricciones y en tiempo real, lo cual permita al usuario o al propio sistema automatizado consultar los diversos datos obtenidos en tiempo real.

En cuanto a lo que al mobiliario urbano se refiere, esta inteligencia de las cosas (IoT) ha provocado una serie de avances en el mismo, que le aportan una importancia mucho mayor de la que ya tenía, ya que a mayores de su labor principal tiene otras prestaciones adicionales, condicionadas por este aspecto. Como por ejemplo, en este proyecto, un simple banco esta dotado de calefacción autorregulable o de un compartimento de carga inalámbrica para dispositivos electrónicos, imprescindibles en el día a día. En la actualidad todavía no es muy

frecuente encontrarse con este tipo de mobiliario urbano, sin embargo, con el paso del tiempo es muy probable que se extienda con mucha rapidez, dado que las múltiples ventajas que aporta no van acompañadas de un coste desorbitado, por lo que puede considerarse bastante accesible para los gobiernos locales o nacionales.

Esta modernización y sofisticación de los diversos elementos que componen las ciudades contemporáneas no puede suponer un problema adicional en cuanto a lo que al desarrollo sostenible se refiere. Por este motivo, para llevarlo a cabo es necesario apoyarse en otras herramientas como pueden ser las energías renovables. Las energías renovables, a diferencia de lo que sucede con los combustibles fósiles, son una fuente de energía ilimitada ya que se nutren de elementos naturales que abastecen la tierra y no se agotan, como pueden ser el sol o el viento. De esta manera, para producir dicha energía, estas fuentes inagotables tampoco producen emisiones de efecto invernadero, por lo que no contribuyen a agravar la problemática del cambio climático presente en la actualidad. Del mismo modo los residuos que producen son prácticamente nulos. Actualmente la energía solar y eólica ya se han convertido en una pieza clave en el suministro eléctrico europeo. De esta forma también se ha conseguido que se conviertan en energías competitivas con una considerable reducción en los costes de fabricación y mantenimiento.

En concreto, en este proyecto emplearemos la energía solar fotovoltaica para abastecer los requerimientos energéticos del mismo. Los primeros descubrimientos que se realizaron en torno a este tipo de energía datan de 1838, cuando el físico francés Alexandre Edmond Becquerel se dio cuenta de que al aplicar luz solar a una pila electrolítica con electrodos de platino con la que estaba trabajando se producía un aumento de la corriente eléctrica. Posteriormente en 1877, el profesor de Filosofía Natural en la King College de Londres, William Grylls Adams, de origen inglés, descubrió que cuando exponían selenio a la luz solar, este producía electricidad. De esta forma creó la primera célula fotovoltaica de selenio. En 1953, Calvin Fuller, Gerald Pearson, y Daryl Chapin, inventaron la célula solar de silicio que era capaz de producir suficiente energía como para abastecer pequeños dispositivos eléctricos. Sin embargo, las placas fotovoltaicas comerciales no aparecieron hasta 1956 y no fue hasta 1970 cuando se produjo una reducción de su precio de en torno al 80%, lo que las convirtió en una fuente de energía competitiva [1].

Actualmente existen múltiples ejemplos de mobiliario urbano moderno a lo largo de todo el planeta. Por ejemplo, en el instituto de Killian Court, núcleo del campus de la prestigiosa Universidad Tecnológica de Massachusetts, existen unos peculiares bancos construidos con paneles curvos de madera que incorporan paneles solares que ejercen como estación de carga de energía inteligente y limpia (figura 2-1). Al igual que se pretende en este proyecto, almacenan la energía solar para poder ser utilizada durante la noche. A su vez aprovechan su diseño curvo, ya que transforman el balanceo humano en 35W de electricidad [2].



Figura 2-1 Banco urbano del instituto de Killian Court en la Universidad Tecnológica de Massachusetts. (Fuente: [2]).

A su vez también existen diversas compañías que están empezando a comercializar distintos tipos de bancos urbanos con paneles solares incorporados para producir energía eléctrica que abastezca diversos tipos de funciones.

3. Sistema de calefacción.

Como hemos indicado con anterioridad, el sistema de calefacción va a constituir el corazón del proyecto. Es necesaria una tecnología que permita crear un entorno con unas condiciones de temperatura agradables para los distintos usuarios, concretamente calefactando la superficie del banco urbano, o bien, las personas u objetos que se encuentren en sus proximidades.

3.1. TIPOS DE TECNOLOGÍA DE CALEFACCIÓN.

Dentro del mercado existen múltiples alternativas para llevar a cabo este proceso. Sin embargo, tanto la calefacción por infrarrojos, como la calefacción por superficies radiantes, son las que mejor se adaptan al cometido que han de desempeñar dentro de este proyecto, con sus respectivas ventajas e inconvenientes.

3.1.1. Calefacción por infrarrojos [3].

El principio de funcionamiento de estos sistemas de calefacción es muy similar al proceso mediante el cual el Sol calienta La Tierra, es decir, el calor se transmite mediante radiación de rayos infrarrojos sobre la materia cercana al foco de emisión.

Estos sistemas utilizan como foco emisor de los rayos infrarrojos unos radiadores especiales, los cuales se pueden implementar en sus respectivos lugares de forma fácil y sencilla, únicamente necesitando para su funcionamiento una toma de corriente y siendo capaces de mimetizarse perfectamente con el entorno. A su vez será necesaria la utilización de un termostato o dispositivo de control que pueda regular su temperatura para no perder eficiencia. Una vez que están conectados a la red eléctrica, emiten una determinada frecuencia de rayos infrarrojos, que penetran en la superficie de la materia que se encuentra en sus proximidades, bien sea materia inerte como objetos, o bien materia orgánica, como personas. De esta forma, estos sistemas no calientan el aire directamente, evitando así provocar efectos adversos en las vías respiratorias de los usuarios, causados por sequedad de estas. El efecto es retroactivo, es decir, una vez que se calientan los objetos y personas de

su alrededor, estos transmiten el calor a su entorno, provocando así que también se caliente el ambiente de una manera natural.

Existen dos modelos de sistemas de calefacción de rayos infrarrojos:

- **Rayos infrarrojos de onda larga:** tienen una eficiencia muy elevada y su forma de aumentar la temperatura es progresiva. Se suelen utilizar en lugares donde es necesaria una calefacción repartida.
- **Rayos infrarrojos de onda corta:** estos sistemas son mas intensos. Emiten luz y permiten que se puedan alcanzar temperaturas más elevadas, por lo que la exposición a los mismos genera una sensación térmica mucho mayor. Sin embargo, no es recomendable para los seres humanos estar expuestos durante largos periodos de tiempo a estos sistemas, ya que al ser más intensos, pueden provocar un envejecimiento de la piel, por lo que son mas frecuentes en el ámbito industrial. Al ser mas potentes, también son los empleados en exteriores.

Es de vital importancia para el correcto funcionamiento de estos sistemas realizar un buen dimensionado de los mismos, evitando así pérdidas de eficiencia. Los fabricantes de estos equipos afirman que pueden llegar a ser en torno a un 60% mas económicos que los sistemas tradicionales de calefacción. El crono termostato cumple un papel fundamental en esta afirmación, ya que gracias a ellos el sistema se detiene cuando ya se ha alcanzado la temperatura deseada.

Es un sistema que no produce ruidos ni vibraciones, y que a su vez, apenas requiere de mantenimiento (figura 3-1).



Figura 3-1 Radiador que utiliza la tecnología infrarroja. (Fuente: [4]).

3.1.2. Calefacción por superficie radiante [5].

Se trata de un sistema de calefacción cuya fuente de emisión de calor está constituida por un circuito de tuberías o cables, los cuales se integran bajo la superficie del lugar donde se quiera implementar. Será necesaria la colocación de una losa flotante de mortero la cual funcionará como aislante térmico. Existen dos tipos de suelo radiante en función del principio de funcionamiento.

➤ Suelo radiante por agua.

En este caso, este sistema se puede utilizar tanto para calefacción como para refrigeración. El principio de funcionamiento consiste en hacer pasar agua a distintas temperaturas, en función del efecto deseado, a través de un circuito de tuberías de polietileno situado bajo la superficie. Dentro de este tipo de suelo radiante, existen tres maneras de alimentarlo:

- **Gas natural:** funciona de manera muy similar a la calefacción tradicional por radiadores que se encuentra en la mayoría de los hogares. Una caldera de gas natural es la encargada de calentar el agua que va a atravesar las tuberías, mediante la combustión de gas, para posteriormente hacerla llegar al colector, que la distribuye por todo el sistema. Sin embargo, este modelo de suelo radiante por agua no permite realizar funciones de refrigeración, ya que la caldera de gas no permite enfriar el agua.

- **Aerothermia:** utiliza una bomba aerotérmica, la cual recoge a través de un fluido anticongelante la energía del aire para calentar el agua del circuito de tuberías. Esta bomba puede invertir el procedimiento de generación de calor para ser capaz de generar frío y que el sistema actúe como refrigerador.
 - **Geothermia:** utiliza el principio de la temperatura del subsuelo, ya que utiliza un conjunto de tuberías con refrigerante enterradas en él. Este principio consiste en que la temperatura del subsuelo es mayor que la temperatura ambiente en invierno, y en verano sucede lo contrario, por lo que también puede actuar como sistema refrigerante.
- Suelo radiante eléctrico.

Este sistema, al contrario que el suelo radiante por agua, en lugar de utilizar tuberías, utiliza un circuito eléctrico, basado en unas resistencias calefactoras, las cuales producen un aumento notable de temperatura cuando circula la corriente eléctrica por ellas. De este modo este sistema solo puede funcionar como método de calefacción.

Existen dos modelos de suelo radiante eléctrico:

- **Folio radiante:** consiste en una película flexible conductora de electricidad, y a su vez, resistiva, la cual recibe el nombre de folio radiante. El folio radiante está formado por dos láminas de poliéster unidas por un sellado térmico. Entre estas hojas se sitúan las láminas de cobre que conducirán la electricidad y en perpendicular las tiras calefactoras de grafito. Su instalación se realiza mediante la colocación del folio radiante sobre un aislante térmico y por encima del mismo una capa anti-vapor, la cual se encargará de proteger el pavimento de la superficie (figura 3-2).

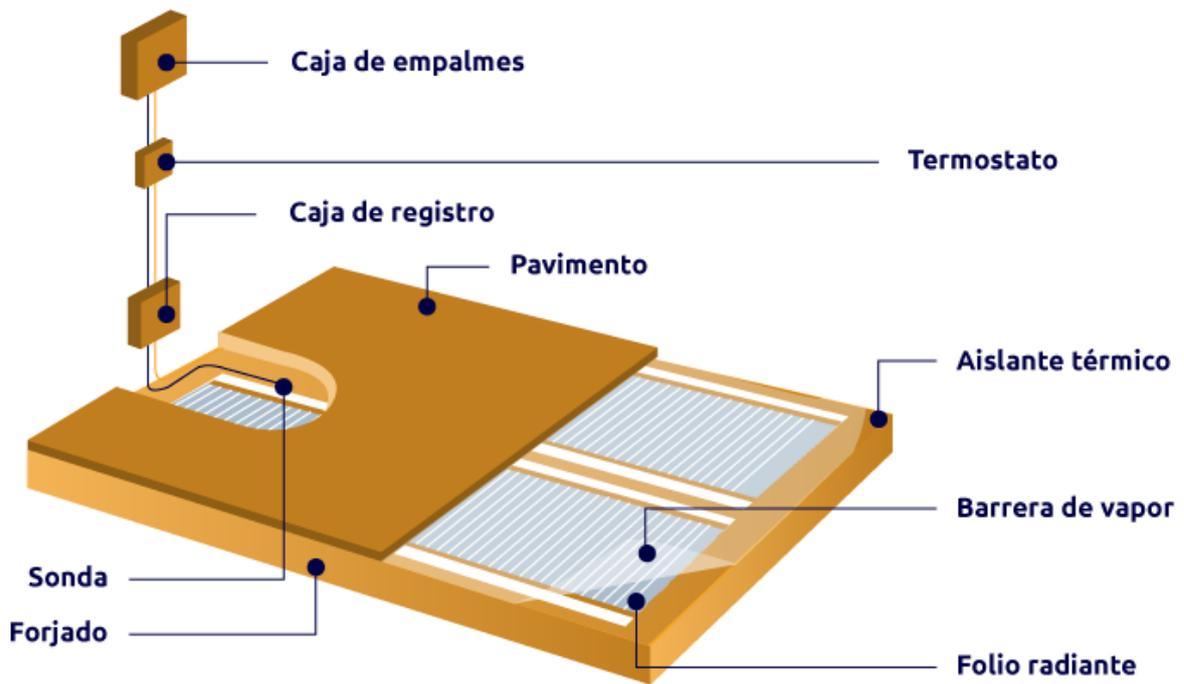


Figura 3-2 Esquema de instalación y componentes del folio radiante. (Fuente [5]).

- Hilo radiante:** consiste en el empleo de un cable calefactor paralelo, que se basa en el arrollamiento del hilo paralelo eléctrico a través de un conductor de calentamiento, que se deberá distribuir de una forma determinada, de tal modo que abarque toda la superficie que se desea calentar. Para un correcto funcionamiento de la instalación se debe situar el cable sobre una capa de material aislante y posteriormente recubrirlo con mortero, y en la parte superior cemento cola. Por encima de este último se colocará la capa del pavimento del cual se desea que este constituida la superficie. La capa formada por todos estos compuestos tendrá un grosor no superior a los 6 centímetros. La malla radiante consiste en una red de fibra de vidrio o polietileno sobre la que ya se ha colocado el hilo radiante para facilitar su instalación (figura 3-3).

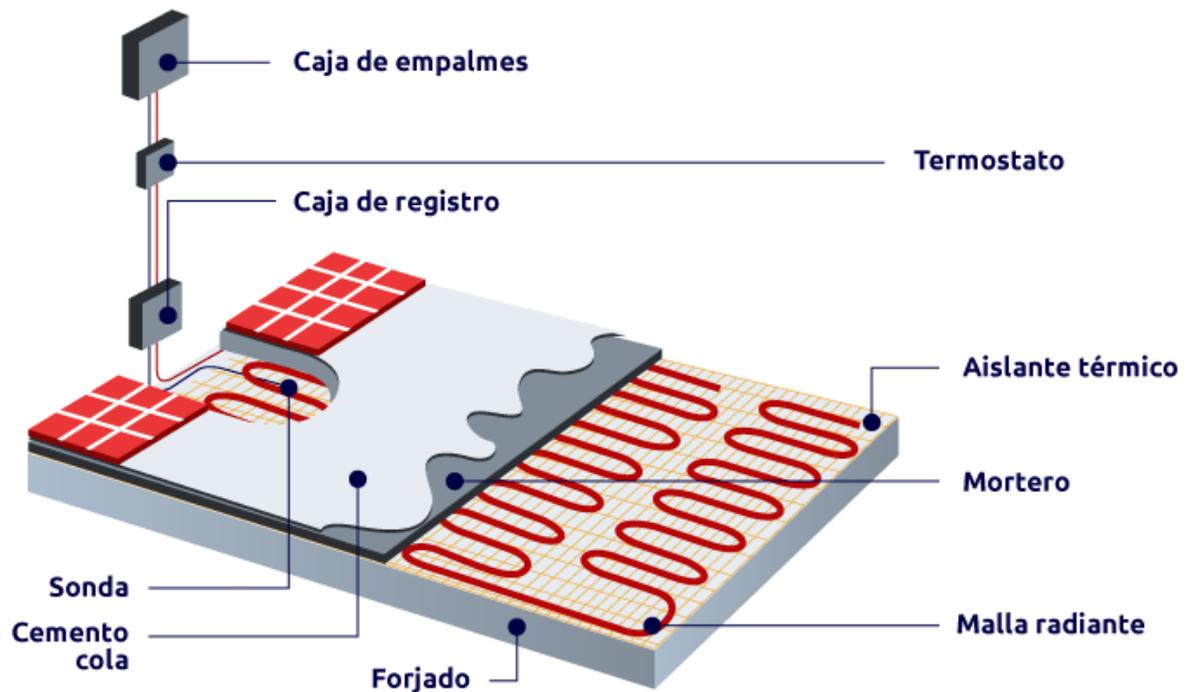


Figura 3-3 Esquema de instalación y componentes del hilo radiante. (Fuente: [5]).

En el caso del suelo radiante eléctrico, la inversión inicial es mucho menos notable que en el caso del suelo radiante por agua. Sin embargo, la eficiencia y ahorro energético de este último es algo mayor, suponiendo la amortización de la inversión inicial a corto-medio plazo. Por otro lado, la instalación es mucho más sencilla en el caso del suelo radiante eléctrico, necesitando únicamente la malla radiante y una toma de corriente.

3.2. SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA EMPLEADA.

El mayor condicionante que va a tener este proyecto consiste en el hecho de que la instalación en cuestión va a encontrarse presumiblemente situada en la vía pública, al aire libre, con todos los inconvenientes que ello supone. El conjunto de los componentes necesarios para hacer funcionar correctamente la tecnología de calefacción empleada deberá tener el tamaño más reducido posible. A su vez, al estar expuesto a todos los factores externos, tanto meteorológicos como humanos (vandalismo), esta tecnología deberá tener la mayor robustez posible, quedando oculto a la vista todo aquello que fuera factible, siendo accesible únicamente para que un técnico especialista realice las respectivas labores de mantenimiento. Por otro lado, dado que la tecnología empleada para este cometido está

alimentada únicamente a partir de la energía generada por una instalación fotovoltaica de pequeño tamaño, el consumo energético también va a ser uno de los principales factores a tener en cuenta a la hora de seleccionar el más adecuado.

En una primera instancia, descartaremos la tecnología de calefacción por suelo radiante por agua, dado que para implementar la misma, es necesario disponer de una caldera instalada, lo cual hace que el espacio requerido para llevar a cabo la misma sea mucho mayor que con las otras dos alternativas.

Del mismo modo, la tecnología infrarroja presenta varios inconvenientes. Los radiadores IR empleados para este cometido han de estar situados sobre los usuarios, a modo de tejadillo, siempre a una distancia igual o superior a los 2 metros, para no producir daños. Pese a disponer de una tecnología de fabricación que les aporta unas características muy resistentes frente a los factores climáticos adversos, nos encontramos con la problemática de los actos de vandalismo. Al estar tan expuestos, a la vista y al alcance de cualquiera, aumentan notablemente las posibilidades de que puedan sufrir algún tipo de daño, lo cual pone en riesgo la vida útil del proyecto. Asimismo, aunque la tecnología infrarroja aproveche casi en su totalidad la energía eléctrica para transformarla en energía calorífica, el consumo de los radiadores IR destinados a ubicaciones de exterior tiene un valor elevado en comparación con los otros métodos. Las potencias unitarias oscilan entre los 2000W y los 3000W.

En conclusión, por todos estos factores que se han mencionado, la tecnología que mejor se adapta a las necesidades del proyecto es la correspondiente con el método del suelo radiante eléctrico. Esto es debido a la facilidad en su instalación, ya que no es necesario ningún elemento adicional al cable resistivo correspondiente. A su vez, este cable se encuentra situado bajo varias capas de material, por lo que queda completamente oculto a la vista y a los factores externos, solventando así los problemas de vandalismo mencionados, pudiendo ser la capa de material mas externo de aquel que deseemos, siempre que el valor de su conductividad térmica sea aceptable. Asimismo, es posible que realicemos una instalación del tamaño que tenga la superficie del banco, únicamente teniendo en cuenta los metros de cable que van a ser necesarios, y su correcta distribución por toda la capa de material como indicaremos con posterioridad. Dado que la superficie del banco no es muy extensa, no

necesitaremos emplear muchos metros de cable, por lo que el consumo también es reducido en comparación con los otros métodos.

3.3.CÁLCULO DEL CONSUMO ELÉCTRICO DE LA TECNOLOGÍA DE CALEFACCIÓN EMPLEADA.

3.3.1. Metros de cable necesarios a instalar.

Como se ha indicado con anterioridad, el tamaño de la superficie del banco donde va instalado el cable resistivo, que conformará el sistema de calefacción, está directamente relacionado con el consumo del mismo, es decir, cuanto mayor sea la extensión de esta, mas metros de cable son necesarios, y a su vez mayor es el consumo eléctrico.



Figura 3-4 Banco Equal, comercializado por la empresa Escofet 1886 S.A. Fotógrafo: Eugeni Pons. (Fuente: [6]).

El diseño exterior del banco en el cual nos basamos en el proyecto es como el correspondiente con el de la figura 3-4, variando la parte inferior del mismo, que estará recubierta completamente, como sucede con la parte mas a la izquierda de la imagen, para poder situar en su interior los distintos componentes que son necesarios para llevar a cabo la instalación solar fotovoltaica y que detallaremos con posterioridad. Por lo tanto, en la figura

3-5 está reflejado el esquema de la planta del banco, a partir del cual calculamos la superficie útil, con el objetivo de conocer los metros de cable resistivo que son necesarios instalar.

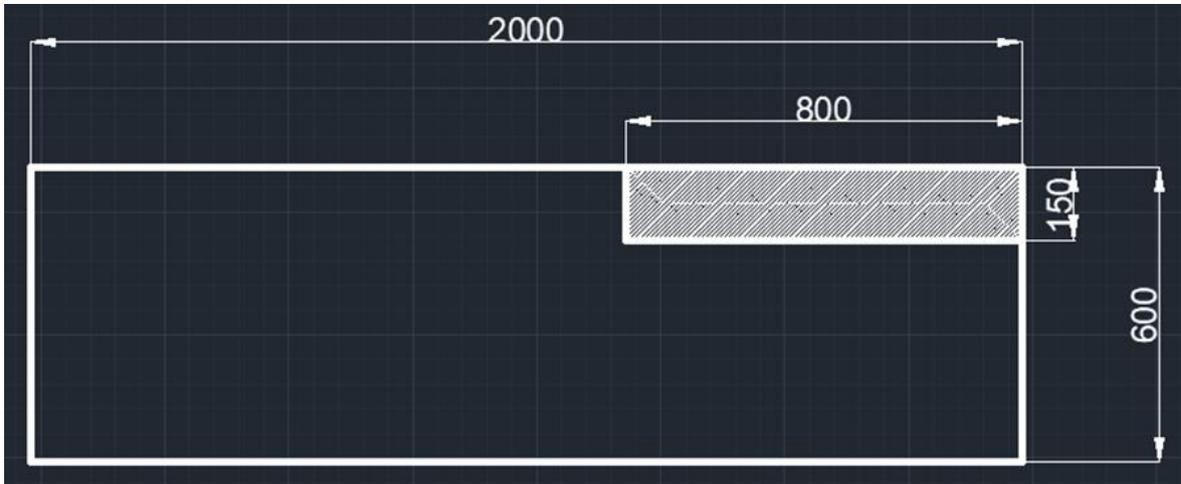


Figura 3-5 Esquema de la planta del banco. (Fuente: elaboración propia).

Por lo tanto, la superficie útil del banco sobre la que va instalada el cable calefactor paralelo es la siguiente:

$$Area = 0,6 m \times 2 m - 0,15 m \times 0,8 m = 1,08 m^2 \quad (3-1)$$

Una vez conocemos la superficie útil (ecuación 3-1), el siguiente paso es calcular la longitud de cable que instalaremos. Para calcular los metros de cable necesarios, tenemos que decidir en primer lugar la separación que van a tener las tiradas de cable, puesto que esta distancia condicionará la longitud de las curvas de unión entre tiradas. Dado que se trata de una instalación de pequeño tamaño, consideraremos la menor posible (75mm) por lo que las curvas tienen una longitud de 150mm (Figura 3-6).

	S1	S2	S3	S4	S5
Separación (mm)	75	100	125	150	175
Curva Lc1 (mm)	150	180	220	270	315

Figura 3-6 Tabla que relaciona la distancia de separación entre tiradas de cable con la longitud respectiva de la curva que las une. (Fuente: [7]).

Posteriormente calculamos la distancia total que van a tener el conjunto de todas curvas en la totalidad de cable a instalar (ecuación 3-2) [7]:

$$\frac{\text{Longitud superficie del banco}(mm) \times \text{Longitud de curva}(mm)}{\text{Separación entre tiradas}(mm) \times 1000} =$$

$$(3-2)$$

$$= \frac{2000 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}}{75 \text{ mm} \times 1000} = \mathbf{4 \text{ m}}$$

En último lugar, calculamos con la siguiente fórmula (ecuación 3-3) el total de cable que es necesario instalar para cubrir toda la superficie de la placa de material del banco [7]:

$$\frac{\text{Área Útil } (m^2) \times 1000}{\text{Separación entre tiradas } (mm)} + \text{Longitud de las curvas}(m) =$$

$$(3-3)$$

$$= \frac{1,08 \text{ m}^2 \times 1000}{75 \text{ mm}} + 4 \text{ m} = \mathbf{18,4 \text{ m}}$$

En conclusión, para llevar a cabo el proceso de instalación de un sistema de calefacción, con el principio de funcionamiento del suelo radiante eléctrico, en la superficie del banco urbano del proyecto, con las dimensiones mencionadas, son necesarios 18,4 metros de cable resistivo.

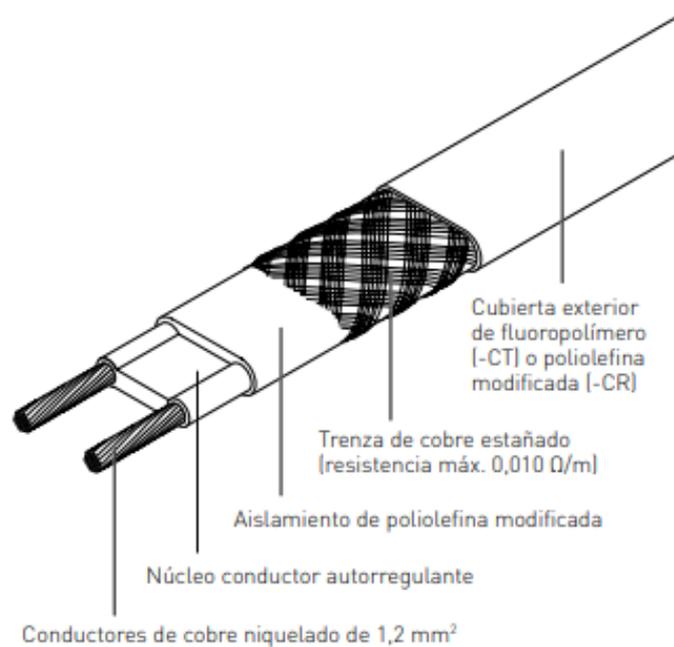
3.3.2. Tipo de cable paralelo empleado.

Finalmente, para conocer el consumo eléctrico que va a suponer el sistema de calefacción, seleccionamos el modelo de cable paralelo calefactable que mejor se adapta a las necesidades del proyecto.

Hemos optado por la utilización de un cable paralelo autorregulable, concretamente el modelo **BTV 15W/m ATEX**, proporcionado por el fabricante *nVent- Raychem*. Este modelo, puede mantener temperaturas de funcionamiento de hasta 65°C, e incluso de 85°C con una incidencia acumulada no superior a las 1000 horas (figura 3-8). Asimismo, como su propio nombre indica, varía la disipación de energía en función de la temperatura que se

necesita en cada ocasión. Para obtener esta propiedad de autorregulación, está constituido por los siguientes elementos distribuidos en forma de capas (figura 3-7) [8]:

- Dos conductores de cobre.
- Matriz conductora calentada, gracias a la cual el dispositivo desempeña su principal función de calentarse y ajustarse.
- Capa de aislamiento. Puede tener una o varias. Por lo general suelen ser mas de una.
- Trenza de blindaje protector, generalmente constituida por metal que le aporta al cable propiedades de robustez frente a inclemencias mecánicas o electromagnéticas.
- Una ultima capa o concha exterior para aportarle mas robustez mecánica (fluoro polímero).



*Figura 3-7 Esquema de las capas que constituyen el cable paralelo autorregulable.
(Fuente: Anexo 1).*

El principio de funcionamiento es muy similar al de cualquier conductor resistivo. Cuando aumenta la temperatura de este, también lo hace proporcionalmente su resistividad. A consecuencia de esto la energía que se consume es menor. Cuando disminuye la temperatura en cualquier punto de la matriz conductora mencionada anteriormente, la conductividad aumenta y como resultado, vuelve a incrementar la temperatura [8].

Atributo	Valor
Tipo de Cable	Protección contra escarcha
Salida por Metro	15W
Autorregulable	Sí
Tensión nominal	230
Temperatura de Funcionamiento Mínima	-60°C
Temperatura de Funcionamiento Máxima	+65°C
Rango de Temperatura de Funcionamiento	-60 → +65 °C.
Material de la Funda	Fluoropolímero
Color de la Funda	Negro
Certificación para atmósferas explosivas ATEX	ATEX

Figura 3-8 Especificaciones técnicas cable paralelo autorregulable BTV (nVent-Raychem). (Fuente: Anexo 1).

CONCEPTO/DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (Uds)	PRECIO UNITARIO (€)	ENLACE DE COMPRA	IMPORTE (€)
Kit 20 metros cable calefactor autorregulable BTV (nVent-Raychem)	1	584,16	*1	584,16
TOTAL SIN IVA				584,16
IVA	0,21			122,67
TOTAL				706,83

Tabla 3-1 Presupuesto de compra cable calefactable paralelo autorregulable. (Fuente: elaboración propia).

3.3.3. Consumo energético total del sistema de calefacción.

Puesto que el modelo de cable paralelo calefactable que empleamos en el proyecto disipa una potencia por metro de 15W, la potencia unitaria total del conjunto de cable a instalar en toda la superficie del banco urbano corresponde con:

$$18,4 \text{ m} \times 15 \frac{\text{W}}{\text{m}} = \mathbf{276 \text{ W}} \quad (3-4)$$

En conclusión, el sistema de calefacción implementado en el banco urbano a través de la tecnología del suelo radiante eléctrico tiene una potencia unitaria de 276 W (ecuación 3-4).

4. Instalación solar fotovoltaica.

Existen dos tipos de instalaciones fotovoltaicas. Por un lado, se encuentran aquellas que están conectadas a la red eléctrica, cuya principal ventaja consiste en un ahorro en el consumo energético. Este tipo de instalaciones carecen de baterías, pues no es necesario el almacenamiento de la energía. Por el contrario, existe otro tipo de instalación denominada instalación solar fotovoltaica aislada, la cual como su propio nombre indica, se encuentra aislada de la red eléctrica y utiliza las baterías para almacenar la energía que produce para su posterior utilización. Dado que los requerimientos energéticos del proyecto no suponen un consumo desorbitado, podemos optar por implementar una instalación solar fotovoltaica aislada. Se trata de una instalación de un tamaño lo más reducido posible, conformada por cuatro elementos bien diferenciados (figura 4-1).

4.1.ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA AISLADA [9].

4.1.1. Paneles solares.

Constituyen la parte mas visible y característica del sistema y a su vez son el corazón de este. Son los encargados de utilizar la radiación procedente del sol para generar energía eléctrica mediante una serie de procesos internos en el silicio que la conforma. Es importante tener en cuenta el tipo de panel que se ha de seleccionar, en función de la transformación que ha tenido lugar en el silicio empleado, ya que podemos optar por células monocristalinas o policristalinas. Del mismo modo, otra característica fundamental de las células es su correspondiente curva I-V, la cual viene proporcionada por el fabricante en su hoja técnica, así como la influencia del aumento o disminución de temperatura en el rendimiento.

4.1.2. Regulador de carga.

Es el elemento encargado de gestionar las baterías, evitando cargas o descargas excesivas de las mismas. Se puede entender su funcionamiento como el de un interruptor entre las placas y las baterías, de tal forma que se abre cuando están totalmente cargadas y se cierra en el momento que las baterías necesitan que se las suministre energía de nuevo.

4.1.3. Baterías solares.

Son las encargadas de almacenar la energía producida por las células fotovoltaicas para su posterior utilización en aquellos momentos en los que no exista radiación solar. Existen múltiples tipos, sin embargo, las mas adecuadas para este cometido son las baterías estacionarias de plomo ácido, con vasos de 2V cada uno, agrupándolos hasta alcanzar la tensión de la instalación establecida. Este tipo de batería puede estar durante largos periodos totalmente cargada y soportar descargas profundas esporádicamente. Los dos parámetros mas importantes a tener en cuenta a la hora de seleccionar las baterías son los siguientes:

- **Profundidad de descarga máxima:** corresponde con el porcentaje de descarga máximo que sufre la batería antes de ser desconectada por el regulador, de tal manera que no se produzca un acortamiento de su vida útil. Para un ciclo diario se suelen considerar entre el 15% y el 20%
- **Ciclo estacional:** corresponde con el numero de días que puede estar la batería descargándose sin recibir alimentación por parte de los módulos fotovoltaicos, o siendo esta mucho mas baja de lo normal. Suelen ser periodos comprendidos entre 4 y 10 días con una profundidad de descarga del 70%.

4.1.4. Inversor solar.

Las cargas alimentadas por el sistema fotovoltaico, por lo general, son cargas en régimen alterno, por lo que es necesario este dispositivo para transformar la corriente continua generada por los módulos fotovoltaicos en corriente alterna. A la hora de dimensionar el inversor CC-230AC será necesario calcular el pico de potencia generado en caso de que todas las cargas estuvieran conectadas al sistema y funcionando simultáneamente.

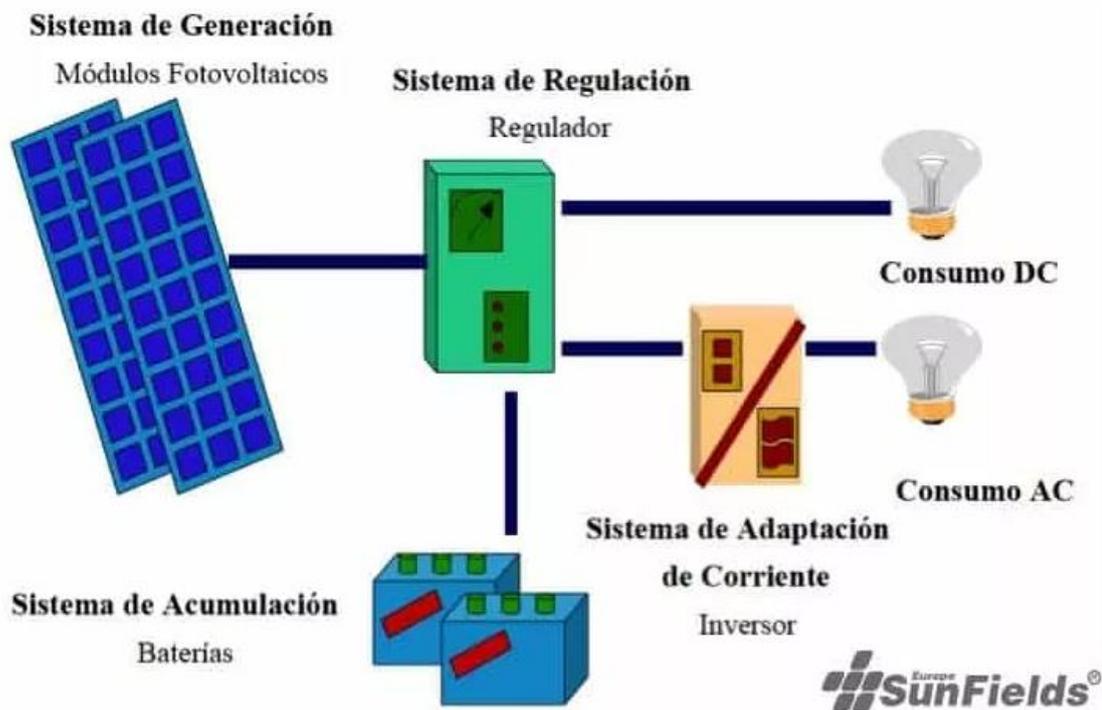


Figura 4-1 Esquema de todos los elementos que conforman una instalación solar fotovoltaica aislada. (Fuente: [9]).

4.2.COLOCACIÓN DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.

Para maximizar el rendimiento de la instalación solar es de vital importancia la forma en la que se sitúen los paneles fotovoltaicos que conforman la misma, tanto la orientación que tienen, como su ángulo de inclinación respecto a la superficie terrestre. Esto va a depender también del lugar de emplazamiento donde se decida situarla.

4.2.1. Orientación [10].

La orientación mas adecuada para situar los paneles solares es de carácter general en cualquier lugar de la península ibérica. Se deberán dirigir los mismos hacia el sur (ángulo azimutal de 0°), para así lograr que reciban la máxima irradiación solar posible durante el día. De esta forma la radiación solar incide perpendicularmente sobre las células y por tanto el rendimiento es máximo. Sin embargo, pueden existir factores externos, de carácter logístico, que nos impidan poder orientar los paneles de esta forma. En tal caso pueden presentarse las siguientes orientaciones alternativas:

- **Desvío de 45° respecto al sur:** en este caso el rendimiento de los módulos fotovoltaicos es muy similar al que se obtendría en el caso de la orientación sur que se debe barajar en una primera instancia. Tan solo se producirían unas pérdidas de entre un 1% y un 4%, por lo que prácticamente producirían la misma electricidad. Este no sería un motivo que pusiera en juego la viabilidad del proyecto.
- **Dirigidas hacia el Este u Oeste:** en este caso la instalación reduciría su rendimiento en torno a un 20%. Es una cifra elevada, sin embargo, seguiría sin ser un factor determinante para cancelar el proyecto. La orientación Oeste es la orientación mas adecuada después de la orientación sur en cuanto a lo que a producción eléctrica se refiere. El motivo de esto es que los paneles orientados hacia el Oeste producen un 55% mas de su potencial a partir de las 17 horas, mientras que aquellos orientados hacia el sur, a partir de esa franja horaria tan solo extraen el 15% de su potencial.
- **Orientación Norte:** en este caso la viabilidad del proyecto sería prácticamente nula, ya que apenas incidiría radiación sobre los paneles y el rendimiento tendría unas cifras muy desfavorables.

4.2.2. Inclinación [10].

En el caso de la inclinación, los valores adecuados de la misma si que variarán de una provincia a otra de la península. En España la inclinación media ideal para las instalaciones fotovoltaicas oscila entre los 30° y los 40°. Sin embargo, hay otros factores que se deben tener en cuenta. La inclinación mas adecuada depende tanto de la latitud del lugar como de la época del año en el que se vaya a necesitar una mayor producción por parte de la instalación, encontrándonos con los siguientes escenarios:

- Si los requerimientos energéticos de la instalación van a ser mayoritariamente durante los meses de invierno, se deberán inclinar los paneles con una inclinación 15° superior al ángulo de latitud. Es decir, la provincia de León por ejemplo, se encuentra en la latitud 42,6° por lo que los paneles deberían situarse con un ángulo de 58° aproximadamente.

- Por el contrario, si la instalación va a funcionar mayoritariamente durante los meses de verano, habrá que situar los paneles con un ángulo respecto a la superficie de 15° menos al ángulo de latitud del lugar. Es decir, en la provincia de León la inclinación idónea en este caso sería de 28° aproximadamente.
- Si la instalación va a tener un consumo medio similar durante todos los meses del año, entonces únicamente tendremos en cuenta la latitud del lugar, e inclinaremos los paneles con un ángulo intermedio entre el idóneo en verano y el idóneo en invierno. En el caso de la provincia de León el ángulo óptimo en este escenario es de 36°.

Consumo solo en invierno	Consumo solo en verano	Consumo medio similar todos los meses
58°	28°	36°

Tabla 4-1 Ángulo de inclinación óptima respecto a la superficie de los paneles solares según el tipo de consumo en la provincia de León. (Fuente: [10]).

A su vez, es de vital importancia situar los módulos fotovoltaicos que conforman la instalación en un lugar en el cual no se vean afectados por las sombras generadas por los elementos colindantes, ya que del mismo modo podrían reducir el rendimiento del sistema notablemente.

4.2.3. Incorporación de los paneles en el banco urbano.

Una vez hayamos decidido cual va a ser la inclinación y orientación que más favorezca al rendimiento de nuestra instalación fotovoltaica, será necesario que implementemos dichos paneles en el mobiliario urbano en cuestión. En nuestro caso nos hemos basado en el diseño de David Karásek, en el cual los paneles se sitúan en la parte superior del banco, a modo de tejadillo, con la inclinación y orientación establecidas, como puede observarse en la figura 4-2.



Figura 4-2 Banco público contemporáneo Woody Scorpio, diseñado por David Karásek y distribuido por la empresa Mmcité Street furniture. (Fuente: [11]).

4.3.DATOS DE RADIACIÓN EN EL EMPLAZAMIENTO.

Para llevar a cabo el cálculo de la instalación fotovoltaica y conocer la viabilidad del proyecto es necesario que conozcamos unos antecedentes previos en cuanto a lo que a los valores de radiación se refiere, en el lugar del emplazamiento de la misma. Para ello, utilizaremos la herramienta PVGIS, la cual consiste en una base de datos muy extensa, mediante la cual podemos extraer los valores de radiación que recibirían las células fotovoltaicas en un lugar concreto, durante un periodo de tiempo determinado. También es necesario conocer el ángulo respecto a la superficie en el cual se encontrarían los supuestos paneles fotovoltaicos que captarían dicha radiación. En este caso emplearemos dicha herramienta para conocer los datos de radiación en la ciudad de León, al norte de España, donde está situado el objeto de este proyecto. Tomaremos información para las tres posibles

inclinaciones de los paneles en dicho lugar, mencionadas en el apartado 4-2-2, para posteriormente decidir cual es la mas óptima.

Los datos de radiación son obtenidos en KWh/m² para las tres posibles inclinaciones, en un periodo de tiempo desde 2005 hasta 2016.

4.3.1. Datos de radiación para una inclinación de 28°.

MES	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Enero	88,97	93,28	81,16	99,89	76,17	94,03	75,2	119,74	85,7	80,83	100,03	53,74
Febrero	137,67	135,42	100,65	121,17	141,98	104,34	119,43	157,84	114,93	99,13	111,24	73,06
Marzo	173,31	136,73	165,61	182,22	197,36	149,37	145,11	199,18	112,3	173,78	168,43	118,18
Abril	169,72	188,66	176,78	178,26	195,7	194,69	195,69	150,77	169,41	184,6	175,65	139,19
Mayo	212,22	218,85	203,01	171,31	222,56	198,8	218,75	200,75	200,79	217,35	219,27	175,19
Junio	233,08	217,94	201,21	212,74	200,48	198,51	225,48	203,44	212,89	218,28	216,67	168,86
Julio	243,89	229,91	233,7	233,71	239,38	247,47	236,86	243,21	230,38	224,24	236,48	177,88
Agosto	238,98	224,41	211,73	228,32	230,64	238,28	213,2	231,76	236,95	221,86	218,32	189,27
Septiembre	200,07	170,43	199,62	183,76	202,89	182	197,3	180,14	190,28	177,25	187,72	138,34
Octubre	116,68	123,56	161,7	150,34	145,03	147,21	171,04	134,88	114,67	139,55	123,12	122,4
Noviembre	105,26	77,51	139,25	102,84	91,48	115,73	85,23	94,36	118,7	67,19	100,95	70,98
Diciembre	108,22	92,78	97,79	87,99	65,39	85,11	99,86	73,49	99,88	97,22	62,73	86,68

Tabla 4-2 Datos de radiación media diaria en kWh/m² obtenidos a partir de la herramienta PVGIS para una inclinación de los paneles de 28° en la provincia de León. (Fuente: [12]).

4.3.2. Datos de radiación para una inclinación de 36°.

MES	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Enero	95,99	100,88	87,25	108,09	81,59	101,36	80,35	130,45	92,5	86,75	108,15	57,33
Febrero	146,57	144,23	105,76	128,37	151,03	109,96	126,79	168,31	121,78	104,28	117,21	75,92
Marzo	178,57	139,8	169,86	187,56	203,44	152,96	148,47	205,24	114,08	179,02	172,97	120,41
Abril	168,3	187,35	175,83	177,36	194,92	193,94	195,01	149,78	168,21	183,7	175,06	137,88
Mayo	205,95	212,32	197,55	166,89	215,99	192,49	212,35	194,49	194,71	211,3	212,28	170,42
Junio	223,6	209,12	193,21	204,35	192,46	190,68	216,46	195,53	204,34	209,41	207,98	162,59
Julio	235,02	222,32	225,71	225,68	231,21	238,94	228,9	234,95	222,9	216,61	228,14	172,03
Agosto	235,87	221,38	208,67	225,3	227,75	235,19	210,34	228,94	233,95	219,15	215,21	186,57
Septiembre	203,64	172,65	203	187,2	206,55	184,88	200,91	182,62	193,42	179,85	190,97	139,69
Octubre	121,35	128,87	170,01	157,75	151,96	154,6	179,77	140,93	119,17	146,18	128,09	127,5
Noviembre	113,39	82,25	151,22	110,94	98	124,87	90,98	101,26	128,53	71,12	109	75,16
Diciembre	119,13	101,62	107,23	95,99	70,69	92,45	109,51	79,46	109,88	106,4	67,17	94,36

Tabla 4-3 Datos de radiación media diaria en kWh/m² obtenidos a partir de la herramienta PVGIS para una inclinación de los paneles de 36° en la provincia de León. (Fuente: [12]).

4.3.3. Datos de radiación para una inclinación de 58°.

MES	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Enero	106,93	112,91	96,64	121	89,72	112,74	87,88	147,92	103,17	95,72	120,96	62,51
Febrero	158,07	155,64	111,15	137,06	162,35	116,42	136,11	181,82	130,19	109,87	123,86	78,12
Marzo	178,28	137,52	167,8	186,65	202,64	150,77	146,1	204,38	110,8	178,54	171,32	117,48
Abril	151,99	169,39	159,91	161,36	177,67	176,72	177,84	136,39	152,32	167,07	160,18	124,89
Mayo	174,94	180,2	169,06	144,17	183,36	162,97	180,35	164,76	165,63	180,53	178,85	146,31
Junio	182,52	171,17	159,07	167,78	158,02	156,46	177,24	161,45	167,27	171,52	170	135,18
Julio	193,24	184,45	186,68	186,55	191,24	196,94	189,55	194,24	185,36	179,46	187,96	144,53
Agosto	207,95	195,09	183,98	198,7	201,23	207,35	185,93	202,55	206,34	194,2	189,52	164,83
Septiembre	196,32	164,82	195,07	180,98	199,06	177,64	193,95	174,6	185,88	172,36	184,06	132,79
Octubre	124,28	132,87	178,08	164,5	158,13	161,66	187,92	145,83	121,99	152,12	131,37	131,09
Noviembre	125,73	88,68	170,08	123,48	107,55	138,88	99,22	111,51	143,95	76,31	121,44	80,7
Diciembre	138,08	116,71	123,39	109,42	79,27	104,58	126,06	89,13	127,17	121,99	74,02	107,14

Tabla 4-4 Datos de radiación media diaria en kWh/m² obtenidos a partir de la herramienta PVGIS para una inclinación de los paneles de 58° en la provincia de León. (Fuente: [12]).

4.3.4. Selección de la inclinación óptima.

MES	VALORES MEDIOS (kWh/m ²)		
	28°	36°	58°
Enero	87,40	94,22	104,84
Febrero	118,07	125,02	133,39
Marzo	160,13	164,37	162,69
Abril	176,59	175,61	159,64
Mayo	204,90	198,90	169,26
Junio	209,13	200,81	164,81
Julio	231,43	223,53	185,02
Agosto	223,64	220,69	194,81
Septiembre	184,15	187,12	179,79
Octubre	137,52	143,85	149,15
Noviembre	97,46	104,73	115,63
Diciembre	88,10	96,16	109,75

Tabla 4-5 Valores medios de radiación diaria en kWh/m² para los distintos meses e inclinaciones. (Fuente: elaboración propia).

Dado que el proyecto está situado en la provincia de León, la cual posee un clima muy árido, con temperaturas muy bajas durante los meses de invierno, es necesario que seleccionemos la inclinación que permita un mayor rendimiento del sistema durante estos meses, ya que el mayor consumo del mismo está constituido por un sistema de calefacción, que como es lógico, se utilizará mayoritariamente durante los meses de invierno, cuando la temperatura ambiente sea mas desfavorable. Por lo tanto, los paneles estarán colocados con una inclinación de 58° aproximadamente respecto a la superficie. De este modo, para esta inclinación, el mes que presenta unos valores de radiación mas bajos es el mes de **ENERO** con un valor de **104,84 KWh/m2**.

Hemos descartado otra opción de mayor complejidad, la cual consistiría en instalar los paneles de manera que se pudieran alternar entre dos inclinaciones distintas, las cuales serían los 58° que se han comentado y los 28° que mejorarían el rendimiento durante los meses de

verano. De esta forma también se garantizaría que cuando llegará el periodo del año en el cual correspondiera cambiar la inclinación, se realizará una comprobación del estado de la instalación, ayudando a mantener la misma en las mejores condiciones posibles. Sin embargo, se ha desestimado esta opción, ya que la complejidad de la misma aumentaría y no es de vital importancia, ya que como se ha comentado con anterioridad, los mayores requerimientos energéticos del sistema van a ser durante los meses de invierno.

4.4.DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN.

Una vez conocemos, tanto la inclinación y la orientación que tienen los módulos fotovoltaicos, como los valores de radiación solar diaria medios percibida por los mismos para el mes más desfavorable, procedemos al dimensionado de la instalación, es decir, el cálculo del número de dispositivos que son necesarios para abastecer las necesidades energéticas, así como el modelo mas adecuado de cada uno de ellos.

4.4.1. Paneles solares.

Como indicamos con anterioridad, el primer factor a tener en cuenta a la hora de seleccionar la célula fotovoltaica es el tipo de la misma, en función de la transformación que ha tenido lugar en el silicio empleado para su fabricación. De este modo se puede optar por una célula de silicio monocristalino, o en su defecto, una de silicio policristalino. No existe una diferencia que haga que una sea mejor que la otra, sino que las condiciones del medio en el que va a estar situada la instalación harán que tomemos la decisión. En este caso el panel que mejor se adapta a unas condiciones frías y mas adversas, como son las de una ciudad del norte de España como León, es el panel solar fotovoltaico de silicio monocristalino, ya que tienden a absorber mejor la radiación y soportan menos el sobrecalentamiento [13], por lo que seleccionamos uno de esta gama.

Como norma general, en primer lugar se procede a realizar una estimación de los consumos que van a presentar las cargas conectadas a la instalación fotovoltaica, para posteriormente calcular cual va a ser el número de paneles necesarios para abastecer dichos requerimientos [9]. Sin embargo, en este caso, dado que disponemos de limitaciones logísticas, puesto que se debe tratar de una instalación de pequeño tamaño, hemos tomado la decisión de utilizar

dos módulos fotovoltaicos y en función de este dato, calcularemos el tiempo que la carga va a poder estar en funcionamiento en las peores condiciones de radiación. Por lo tanto, el proyecto está conformado por dos células fotovoltaicas de 24V de tensión nominal, conectadas en paralelo, por lo que tendríamos una tensión de instalación de 24V. Hemos seleccionado el modelo de panel **JAM72S20-450/MR** monocristalino con tecnología PERC, del fabricante *JA SOLAR*. De la hoja de características extraemos los valores mas importantes a tener en cuenta (tabla 4-6, figura 4-3 y figura 4-4):

Potencia máxima nominal (W)	$P_{max} = 450$
Voltaje en circuito abierto (V)	$V_{oc} = 49,70$
Voltaje de potencia máxima (V)	$V_{mp} = 41,52$
Corriente de potencia máxima (A)	$I_{mp} = 10,84$
Corriente en cortocircuito (A)	$I_{sc} = 11,36$

Tabla 4-6 Parámetros eléctricos mas importantes del panel fotovoltaico monocristalino JA SOLAR JAM72S20-450/MR. (Fuente: Anexo 2).

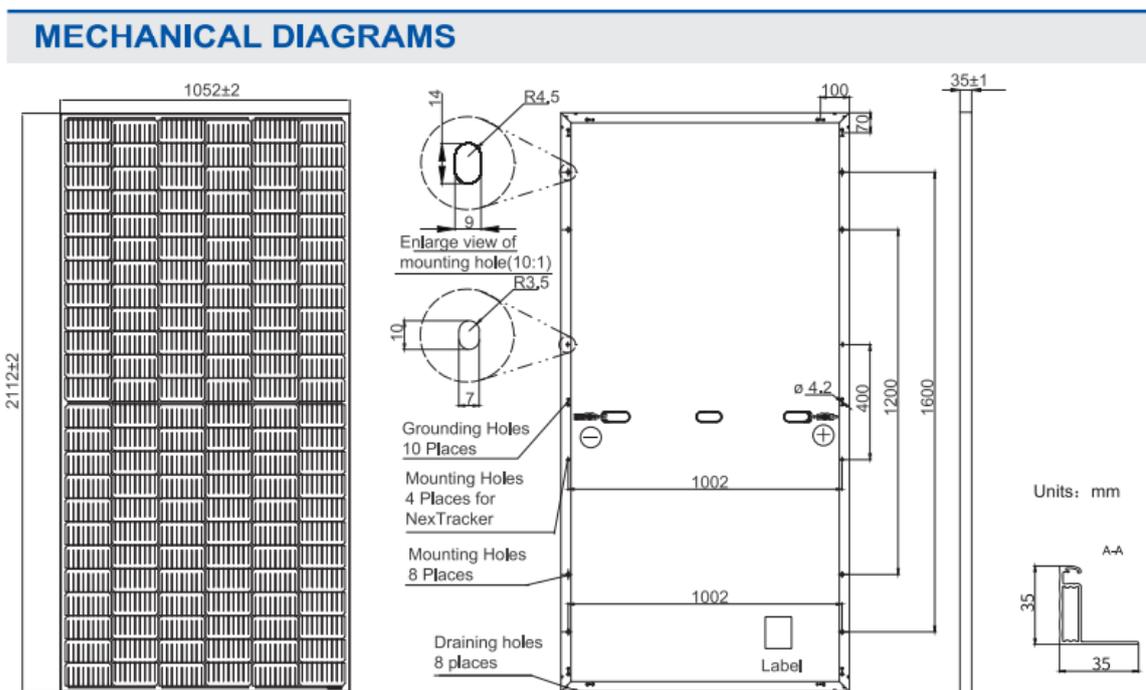


Figura 4-3 Fragmento de la hoja de técnica donde se observan las medidas físicas del panel fotovoltaico monocristalino JA SOLAR JAM72S20-450/MR. (Fuente: Anexo 2).

Current-Voltage Curve JAM72S20-455/MR

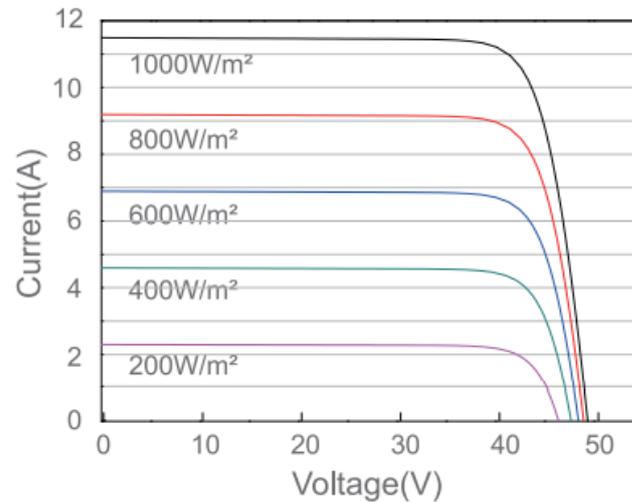


Figura 4-4 Fragmento de la hoja técnica donde se observa la curva I-V del panel fotovoltaico monocristalino JA SOLAR JAM72S20-450/MR. (Fuente: Anexo 2).

Una vez conocemos la tensión de la instalación (24 V), así como la inclinación que tienen las células (58°) con los correspondientes valores de radiación percibidos para dicha inclinación, conocidos gracias a la herramienta PVGIS, podemos realizar los cálculos. En el proceso de cálculo tenemos en cuenta un factor de sobredimensionamiento (Cs) del 20% para evitar posibles fallos posteriores en la instalación, debidos a una radiación inusualmente baja a la esperada. A su vez, consideraremos un rendimiento del inversor de 92%, es decir 0,92. Este es un valor común aproximado para todos los modelos de inversor [9].

$$N^{\circ} \text{ de líneas en paralelo} = \frac{Cs}{\text{Corriente de potencia máxima (Imp)}}$$

(4-1)

$$\begin{aligned} Cs &= N^{\circ}lp \times Imp = 2 \text{ líneas en paralelo} \times 10,84 \text{ A} = \\ &= 21,68 \frac{\text{A} \cdot \text{m}^2}{\text{kW}} \end{aligned}$$

$$\text{Coeficiente de dimensionado (Cmd)} = \frac{Cs}{1,2} =$$

(4-2)

$$= \frac{21,68 \frac{\text{A} \cdot \text{m}^2}{\text{kW}}}{1,2} = 18,0667 \frac{\text{A} \cdot \text{m}^2}{\text{kW}}$$

$$\frac{Ah}{mes} = Cmd \times Radiación \text{ mes más desfavorable} =$$

$$= 18,0667 \frac{A * m^2}{kW} \times 104,84 \frac{kWh}{m^2} = \mathbf{1.894,11283} \frac{Ah}{mes}$$
(4-3)

$$\frac{Ah}{día} = \frac{\frac{Ah}{mes}}{N^{\circ} \text{ días mes más desfavorable}} =$$

$$= \frac{1.894,11283 \frac{Ah}{mes}}{31 \text{ días}} = \mathbf{61,1004} \frac{Ah}{día}$$
(4-4)

$$\frac{Ah}{mes} = \frac{\frac{Wh}{mes}}{\text{Tensión de la instalación} \times \text{Rendimeinto del inversor}}$$
(4-5)

$$\frac{Wh}{mes} = \frac{Ah}{mes} \times \text{Tensión de la instalación} \times \text{Rendimeinto del inversor} =$$

$$= 1.894,11283 \frac{Ah}{mes} \times 24 V \times 0,92 = \mathbf{41.822,0113} \frac{Wh}{mes}$$

$$\frac{Wh}{día} = \frac{\frac{Wh}{mes}}{N^{\circ} \text{ días mes más desfavorable}} =$$

$$= \frac{41.822,0113 \frac{Wh}{mes}}{31 \text{ días}} = \mathbf{1.349,09714} \frac{Wh}{día}$$
(4-6)

Mes más desfavorable	Nº Días	Wh/mes (4-5)	Wh/día (4-6)	Ah/mes (4-3)	Ah/día (4-4)
Enero	31	41.822,0113	1.349,09714	1.894,11283	61,1004

Tabla 4-7 Tabla resumen de la energía generada por la instalación fotovoltaica para el mes con las condiciones más desfavorables. (Fuente: ecuaciones 4-3, 4-4, 4-5 y 4-6).

Considerando los valores de consumo unitario de la carga conectada al sistema a través del inversor (276W) calculados con anterioridad (ecuación 3-4), podemos estimar el numero de

horas que puede permanecer activa ininterrumpidamente, para las condiciones de radiación diarias que se han considerado.

$$\begin{aligned} \text{Horas de funcionamiento diarias} &= \frac{1.349,09714 \frac{Wh}{\text{día}}}{276 W} = & (4-7) \\ &= \mathbf{4,88 \text{ horas}} \end{aligned}$$

Con esta configuración de la instalación que hemos establecido, es posible abastecer el sistema durante 4,88 horas diarias (ecuación 4-7) durante el mes de enero. Hay que tener en cuenta que este sería el mes que presenta unas condiciones mas desfavorables, por lo que es muy probable que el rendimiento mejore notablemente en los meses restantes debido al aumento de la radiación. Del mismo modo, también es muy probable que el rendimiento real en este mes sea superior al calculado, gracias al coeficiente de sobredimensionamiento que se ha utilizado.

4.4.2. Baterías solares.

Para el cálculo del número de baterías que van a ser necesarias, debemos concretar cuales van a ser los valores numéricos de los tres parámetros mas importantes a tener en cuenta [9]. Estos son los siguientes:

- Profundidad de descarga máxima estacional (PDmaxe): 70% = 0,7
- Profundidad de descarga máxima diaria (PDmaxd): 15% = 0,15
- Número de días de autonomía (N): 5

Una vez hemos establecido estos valores, procedemos a calcular la capacidad nominal requerida por parte de la batería que utilizaremos, en función de la profundidad de descarga tanto estacional (Cne) como diaria (Cnd). Tomaremos como referencia el valor mas elevado de estos dos datos, para no tener problemas de insuficiencia [9]. La tensión de la batería corresponde con el mismo valor de la tensión de la instalación, en este caso 24V.

$$Cnd (Wh) = \frac{\frac{Wh}{día}}{PDmaxd} = \frac{1.349,09714 \frac{Wh}{día}}{0,15} = 8.993,981 Wh \quad (4-8)$$

$$Cnd (Ah) = \frac{Cnd (Wh)}{Vbat} = \frac{8.993,981 Wh}{24 V} = 374,749 Ah \quad (4-9)$$

$$Cne (Wh) = \frac{\frac{Wh}{día} \times N}{PDmaxe} = \frac{1.349,09714 \frac{Wh}{día} \times 5}{0,7} = 9.636,408 Wh \quad (4-10)$$

$$Cne (Ah) = \frac{Cne (Wh)}{Vbat} = \frac{9.636,408 Wh}{24 V} = 401,517 Ah \quad (4-11)$$

En las instalaciones fotovoltaicas se busca evitar que se produzcan descargas agresivas, es decir, el objetivo es que la descarga se realice de forma progresiva. Por este motivo, buscaremos que las baterías utilizadas tengan tiempos de descarga en torno a las 100 horas (C100). Cuanto mas pronunciada es la descarga de una batería, menor es la energía que es capaz de suministrar. Por lo tanto, hay que tener en cuenta el valor correspondiente con la capacidad de descarga estacional, por lo que la batería que seleccionamos debe tener una capacidad nominal igual o superior a **C100 =402 Ah** (ecuación 4-11).

La tensión de la batería del sistema, como se ha indicado, es de 24V, la misma tensión que proporcionan las células y que conforma la tensión de la instalación. Dado que este tipo de baterías están formadas por vasos de 2V, es necesario colocar 12 vasos en serie para conformar los 24V requeridos. La batería que seleccionamos es una batería estacionaria de plomo ácido modelo: **Batería Power VL 2-325 Series OPzS**, del fabricante **HOPPECKE**. Este modelo de batería tiene una capacidad nominal de descarga C100 igual a 420Ah (figura 4-5), por lo que cubre las necesidades del proyecto.

Series OPzS bloc	Nominal voltage V	C ₁₀₀ /1.85 V Ah	C ₅₀ /1.85 V Ah	C ₂₀ /1.83 V Ah	C ₁₀ /1.80 V Ah	C ₅ /1.77 V Ah
power vL 12-50	12	70	65	60	50	44
power vL 12-100	12	130	130	120	101	88
power vL 12-150	12	200	190	180	151	132
power vL 6-200	6	270	255	240	202	176
power vL 6-250	6	330	320	298	252	220
power vL 6-300	6	400	380	358	302	264

Series OPzS	Nominal voltage V	C ₁₀₀ /1.85 V Ah	C ₅₀ /1.85 V Ah	C ₂₀ /1.83 V Ah	C ₁₀ /1.80 V Ah	C ₅ /1.77 V Ah
power vL 2-215	2	280	265	245	213	182
power vL 2-270	2	350	330	307	266	227
power vL 2-325	2	420	395	370	320	273
power vL 2-390	2	520	490	454	390	345
power vL 2-470	2	620	585	542	468	414
power vL 2-550	2	730	685	634	546	483

Figura 4-5 Fragmento de la hoja técnica de la batería HOPPECKE Power VL 2-325 Series OPzS. (Fuente: Anexo 3).

4.4.3. Regulador de carga.

En el caso de la selección de un regulador que se adapte a las necesidades de nuestra instalación, hay que tener en cuenta como parámetro principal la máxima corriente que tiene que soportar. Para calcular dicha corriente de entrada al regulador (Iregulador), utilizamos la intensidad de cortocircuito de la célula fotovoltaica (Isc), ya que este es el valor de corriente máximo que podrá genera la placa. A su vez hay que multiplicar por el número de líneas en paralelo que conforman la instalación, en este caso esta formada por dos líneas. Y en último lugar la multiplicamos también por un factor de seguridad, lo cual hace que el margen sea aun mayor en el caso de un cortocircuito en el sistema, evitando así posibles daños del equipo [9].

$$\begin{aligned}
 I_{regulador} &= \text{FactorSeguridad} \times I_{sc} \times N^{lp} = \\
 &= 1,25 \times 11,36 \times 2 = \mathbf{28,4 \text{ A}}
 \end{aligned}
 \tag{4-12}$$

En conclusión, el regulador que empleamos en la instalación debe ser capaz de soportar como mínimo una corriente de 29A a la entrada (ecuación 4-12). A su vez, es más correcto

emplear un regulador maximizador (MPPT), que a diferencia de los reguladores de carga normales (PWM), es capaz de extraer hasta un 30% mas de rendimiento. El regulador que seleccionamos corresponde con el modelo **Regulador MPPT SR-ML 12/24V 40A LCD** del fabricante **SRNE** (figura 4-6).

Parámetro	Valor		
	2420	2430	2440
Voltaje del sistema	12V/24V Auto		
Consumo sin carga	0.7W a 1.2W		
Voltaje de batería	9V a 35V		
Máx. voltaje de entrada	100V (25°C) 90V (-25°C)		
Rango de voltaje MPPT máx.	Voltaje de batería +2V a 75V		
Corriente de carga máx.	20A	30A	40A
Corriente de carga máx. CC	20A		
Capacidad de carga máx.	10000uF		
Entrada potencia fotovoltaica máx.	260W/12V 520W/24V	400W/12V 800W/24V	550W/12V 1100W/24V
Eficiencia de conversión	≤98%		
Eficiencia del MPPT	>99%		
Compensación por temperatura	-3mv/°C/2V (por defecto)		
Rango de temperatura ambiente	-35°C a +45°C		
Grado de protección	IP32		
Peso	1.4Kg	2Kg	2Kg
Método de comunicación	RS232		
Altitud	≤3000m		
Dimensiones	210*151*59.5mm	238*173*72.5mm	238*173*72.5mm

Figura 4-6 Fragmento de la hoja técnica del regulador de carga SRNE MPPT SR-ML 12/24V 40A LCD. (Fuente: Anexo 4).

4.4.4. Inversor fotovoltaico.

La energía producida por la instalación solar fotovoltaica se encuentra en régimen de corriente continua, a la tensión que hemos establecido para la instalación, es decir 24V. Es necesario un inversor para transformar esos 24V en corriente continua a los correspondientes 230V en corriente alterna, a los que están conectados las cargas.

A la hora de seleccionar el inversor mas adecuado, hay que tener en cuenta únicamente la suma de las potencias unitarias de todas las cargas conectadas a la instalación. Muchas de las cargas empleadas poseen picos de potencia en el arranque, que pueden llegar a ser incluso cinco veces mayor que la potencia unitaria en régimen nominal. Sin embargo, las cargas que empleamos en este proyecto carecen de estos picos de arranque, lo que nos permite seleccionar un inversor cuyo pico de potencia permitido se ajuste mas a la suma de las potencias unitarias, teniendo únicamente en cuenta un factor de seguridad del 50% [9].

Por otro lado, existe otra característica según la cual podemos diferenciar dos tipos de inversores en el mercado. Se encuentran los inversores de onda senoidal pura (PWM) y los inversores de onda senoidal modificada (MSW) (figura 4-7) [9].

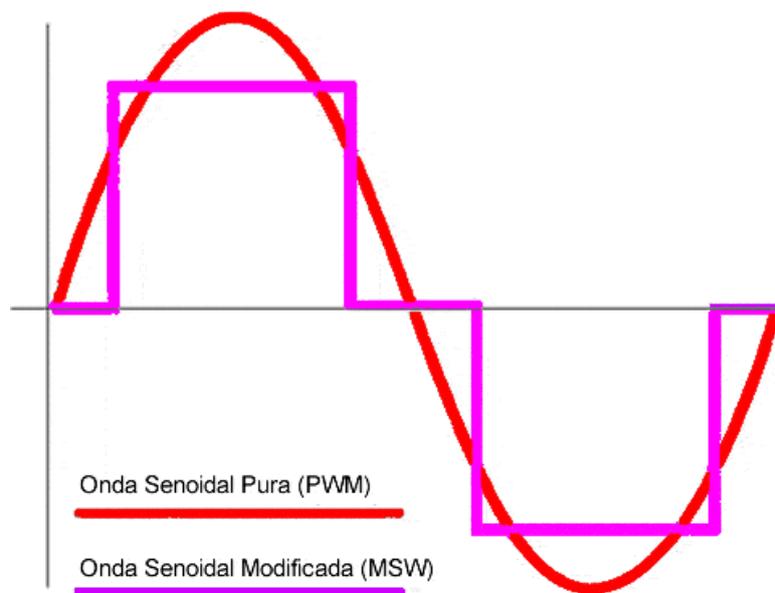


Figura 4-7 Comparación de las ondas generadas por un inversor PWM y por uno MSW. (Fuente: [9]).

Los inversores de onda senoidal pura son la mejor opción para este tipo de instalaciones, ya que a pesar de tener un precio mas elevado, imitan a la perfección la onda de la red eléctrica, y por lo tanto, evitan que se pueda producir algún tipo de problema con algunas cargas inductivas como los motores eléctricos, algo que podría suceder con los inversores de onda

senoidal modificada. Los PWM se consideran la mejor opción para alimentar los equipos eléctricos y electrónicos actuales [9].

$$P_{inversor} = \text{FactorArranque} \times \text{PotenciaUnitariaCargaAC} \times \text{FactorSeguridad} \quad (4-13)$$

$$P_{inversor} = 1 \times 276 \text{ W} \times 1,5 = \mathbf{414 \text{ W}}$$

El inversor seleccionado debe soportar como mínimo 414 W de potencia pico (ecuación 4-13). El inversor que seleccionamos corresponde con el modelo **Phoenix Smart 24V 1600VA (1300W)** del fabricante *Victron Energy* (figura 4-8). Este modelo de inversor supera notablemente los requisitos de potencia, sin embargo, hemos optado por esta opción para permitir la posibilidad de incorporar nuevas cargas en el futuro sin la necesidad de rediseñar toda la instalación.

Inversor Phoenix Smart	12/1600 24/1600 48/1600	12/2000 24/2000 48/2000	12/3000 24/3000 48/3000
Funcionamiento en paralelo y en trifásico	No		
INVERSOR			
Rango de tensión de entrada (1)	9,3 – 17V 18,6 – 34V 37,2 – 68V		
Salida	Tensión de salida: 230VCA ±2% 50 Hz o 60Hz ± 0,1% (1)		
Potencia cont. de salida a 25°C (2)	1600VA	2000VA	3000VA
Potencia cont. de salida a 25°C	1300W	1600W	2400W
Potencia cont. de salida a 40°C	1200W	1450W	2200W
Potencia cont. de salida a 65°C	800W	1000W	1700W
Pico de potencia	3000VA	4000VA	6000VA

Figura 4-8 Fragmento de la hoja técnica de la gama de inversores Phoenix Smart 1600VA-3000VA del fabricante Victron Energy. (Fuente: Anexo 5).

4.4.5. Inversor híbrido

Actualmente existe una alternativa en el mercado, la cual consiste en un dispositivo mas moderno y sofisticado, el cual aúna las funcionalidades del regulador de carga y del inversor fotovoltaico en un único aparato. A la hora de seleccionar aquel que mejor se adapte a las características de la instalación hay que tener en cuenta los mismos parámetros que se tuvieron en cuenta con el regulador y el inversor, es decir que soporte una corriente de entrada superior a los 29A y una potencia a la salida superior a los 414W, así como una tensión de trabajo igual a la de las baterías, en este caso 24V.

El modelo que seleccionamos corresponde con el inversor híbrido **OMEGA UM 3000W/24V** del fabricante *MasterPower*, el cual se debe considerar como una alternativa real a la hora de implementar el proyecto. Este inversor híbrido posee un factor de potencia mejorado de 0,8 a 1, por lo que se pueden conectar a la salida 3000W reales, lo cual supera con creces las necesidades del proyecto. Asimismo, actúa como un regulador MPPT capaz de soportar 40A de corriente máxima de carga solar. El tipo de onda es senoidal pura (figura 4-9).

Omega UM 3K-24	Características Principales
	<ul style="list-style-type: none"> • Inversor solar de onda sinusoidal pura. • Factor de potencia de salida 1. • Alto rango de voltaje de entrada fotovoltaico. • Inversor funcionando sin batería. • Cargador solar MPPT incorporado de 40 A. • Función de ecualización de la batería para optimizar el rendimiento de la batería y ampliar el ciclo de vida. • Kit antipolvo incorporado para ambientes hostiles.

Figura 4-9 Fragmento de la hoja técnica del inversor fotovoltaico híbrido OMEGA UM 3K-24 del fabricante MasterPower. (Fuente: Anexo 6).

4.5.RESUMEN DE LA INSTALACIÓN.

ELEMENTO	UNIDADES	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ALTO (mm)	PESO (Kg)
Célula Fotovoltaica	2	1052 ±2	35 ±1	2112 ±2	24,7 ±3%
Baterías solares	12	147	208	420	24,6
OPCCION A					
Regulador	1	238	173	72,5	2
Inversor	1	219	125	485	12
OPCCIÓN B					
Inversor híbrido	1	285	100	334	6,5

Tabla 4-8 Resumen de todos los elementos que componen la instalación fotovoltaica con sus respectivas dimensiones y peso. (Fuente: elaboración propia y anexos 2, 3, 4, 5 y 6).

4.6.PRESUPUESTO.

CONCEPTO/DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (Uds)	PRECIO UNITARIO (€)	ENLACE DE COMPRA	IMPORTE (€)
Panel fotovoltaico monocristalino <i>JA SOLAR JAM72S20-450/MR</i>	2	174,29	*2	348,58
Batería solar <i>HOPPECKE Power</i> VL 2-325 Series OPzS	12	170,46	*3	2.045,52
OPCIÓN A				
Regulador de carga <i>SRNE MPPT</i> SR-ML 12/24V 40A LCD	1	138,78	*4	138,78
Inversor <i>Victron Energy Phoenix</i> Smart 24V 1600VA	1	867,95	*5	571,23
OPCIÓN B				
Inversor híbrido <i>MasterPower</i> OMEGA UM 3K/24	1	257,03	*6	257,03
TOTAL SIN IVA (A)				3.104,11
TOTAL SIN IVA (B)				2.651,13
IVA (A)	0,21			651,86
IVA (B)	0,21			556,74
TOTAL (A)				3.755,97
TOTAL (B)				3.207,87

Tabla 4-9 Presupuesto de compra de todos los elementos que conforman la instalación solar fotovoltaica. (Fuente: elaboración propia).

5. Sistema lógico.

El sistema de calefacción que hemos implementado debe ir acompañado de un dispositivo programable (microcontrolador), que tenga como función principal la puesta en marcha y paro del mismo, así como la monitorización de una serie de variables, todo ello a través de la información recogida mediante una serie de periféricos.

5.1.MICROCONTROLADOR EMPLEADO.

El microcontrolador empleado será una placa electrónica de la familia Arduino.

5.1.1. Definición, historia y principio de funcionamiento [14].

Arduino es una plataforma de creación electrónica de código abierto, es decir, un código que es un modelo de desarrollo de software basado en la colaboración abierta por cualquier persona o entidad. Gracias a Arduino, los creadores y desarrolladores pueden crear microordenadores para una infinidad de aplicaciones a través de una única placa.

El proyecto surge en torno a 2003, motivado por la necesidad de encontrar un sustituto a las populares placas *BASIC STAMP*, las cuales tenían un coste muy elevado para los estudiantes que querían iniciarse y aprender en el mundo de la electrónica. Los pioneros fueron unos estudiantes del *Instituto de Diseño Interactivo* de Ivrea, en Italia. Así nació Arduino, una placa con todo el hardware necesario para conectar periféricos a las entradas y salidas de un microcontrolador, y que puede ser programada con cualquier sistema operativo.

Arduino basa el principio de su éxito en los conceptos de hardware y software libre. Esto es que cualquier empresa o particular, basándose en unas especificaciones y diagramas de carácter público, tienen la capacidad de replicar estas placas, guardando diferencias puntuales entre ellas, pero con la misma funcionalidad (hardware libre). Del mismo modo sucede con los programas informáticos, los cuales se encuentran a disposición del usuario para su utilización y modificación a conveniencia (software libre). Arduino dispone de su

propia plataforma de creación, denominada *Arduino IDE* (Entorno de Desarrollo Integrado), donde cualquier usuario puede crear aplicaciones para Arduino con infinidad de utilidades.

Arduino basa su principio de funcionamiento en el microcontrolador *ATMEL*. Un microcontrolador es un circuito integrado con el que podemos interactuar a través de instrucciones escritas en lenguaje de programación, mediante una interfaz, como puede ser el entorno *Arduino IDE*, y que hacen que los circuitos de la placa del microcontrolador actúen de una manera específica. Para ello será necesario transmitirle dicha información, datos e instrucciones al microcontrolador. Esto se hace mediante una serie de conexiones de entrada o interfaz de entrada, dónde van incorporados los diferentes periféricos. El microcontrolador es el encargado de procesar esta información suministrada. Los periféricos pueden ser de muchos tipos en función de la aplicación que vaya a tener el programa desarrollado. A su vez, es necesaria una interfaz de salida para transmitir dicha información procesada de nuevo a otros periféricos. En este caso suelen ser periféricos encargados de mostrar la información, o bien actuadores, para realizar una función específica.

Existen diversos tipos de placas Arduino, que comparten su diseño básico, pero tienen cualidades diferentes. Además, es posible incorporarle a la placa principal de Arduino una serie de mochilas o escudos (Shields), para suministrarle nuevas funciones añadidas.

5.1.2. Modelos de placa Arduino [15].

➤ Arduino UNO (figura 5-1).

Modelo de gama básica. Todas las shields han sido creadas para incorporarse sobre esta placa. Dispone de 14 pines entrada/salida digitales de los cuales 6 se pueden usar como PWM. A su vez cuenta con 6 entradas analógicas, así como I2C, SPI y un módulo UART.



Figura 5-1 Placa Arduino UNO. (Fuente: [15]).

➤ Arduino DUE (figura 5-2).

Este modelo esta basado en un microcontrolador de 32 bits. Posee 54 entradas/salidas digitales, así como 12 entradas analógicas. Dispone a mayores de 2 buses TWI, SPI y 4 módulos UART. La tensión de trabajo de todos los módulos es de 3,3V, ya que una tensión de 5V podría provocar daños en la placa. Incorpora a nivel interno dos puertos USB para poder controlar periféricos.

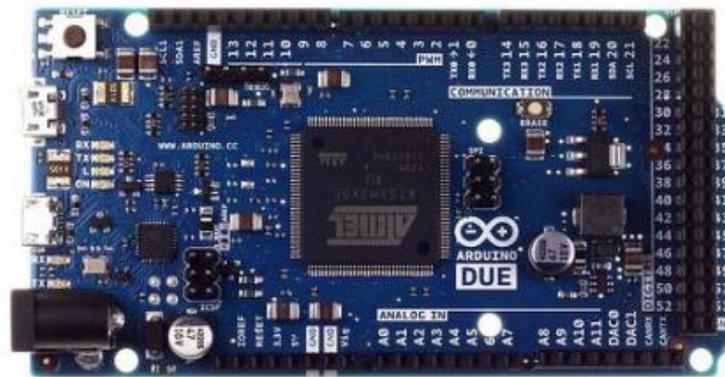


Figura 5-2 Placa Arduino DUE. (Fuente: [15]).

➤ Arduino Leonardo (figura 5-3).

Modelo también de gama básica. Posee 12 entradas analógicas, así como 20 entradas/salidas digitales. Esta basado en el microcontrolador *ATmega32u4*, lo que lo diferencia de los otros

modelos, ya que no tiene un controlador adicional para controlar USB. A su vez incorpora más pines de interrupciones externas y comunicación TWI, SPI y dos módulos UART.

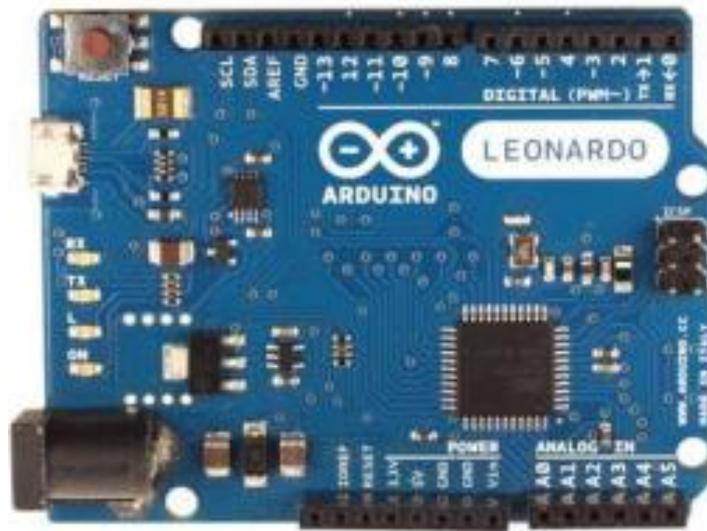


Figura 5-3 Placa Arduino Leonardo. (Fuente: [15]).

➤ Arduino Mega 2560 (figura 5-4).

Este modelo está basado en el microcontrolador *ATmega2560*. Posee 54 entradas/salidas digitales, de las cuales 16 de ellas pueden emplearse como PWM, así como 16 entradas analógicas, 4 módulos UART, 2 PWI y 1 SPI. Incorpora además 6 interrupciones externas. Tal y como sucede con Arduino UNO, tiene compatibilidad con todas las shields de Arduino.

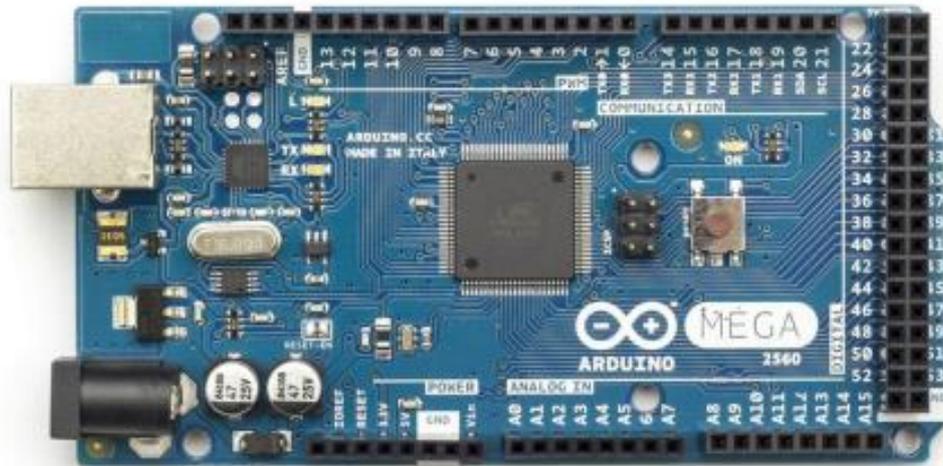


Figura 5-4 Placa Arduino Mega 2560. (Fuente: [15]).

➤ Arduino Mega ADK (figura 5-5).

Posee características idénticas a las correspondientes con el modelo *Arduino Mega 2560*, sin embargo, incorpora a mayores la posibilidad de USB Host.



Figura 5-5 Placa Arduino Mega ADK. (Fuente: [15]).

➤ Arduino Micro (figura 5-6).

En este caso, este modelo tiene unas características idénticas a las del *Arduino Leonardo*, sin embargo, existe una notable diferencia en cuanto al tamaño, siendo el modelo *Micro* mucho

mas reducido. Tiene compatibilidad con todas las shields, no obstante, se deben instalar de forma externa al mismo (cableándolas).

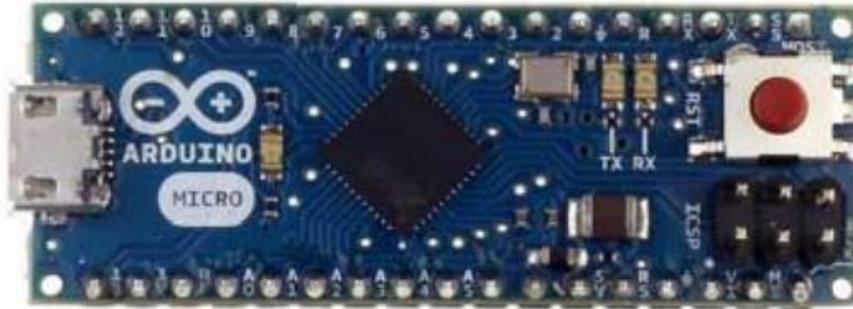


Figura 5-6 Placa Arduino Micro. (Fuente: [15]).

➤ Arduino Nano (figura 5-7).

Posee unas características similares a las de Arduino UNO, sin embargo, esta basado en el microcontrolador *ATmega328*. Encontramos también diferencias con este modelo en cuanto al tamaño, así como con la forma de conectarlo a un dispositivo para programarlo. Este modelo tiene compatibilidad con un gran número de shields, instalándolas de forma externa mediante cableado.

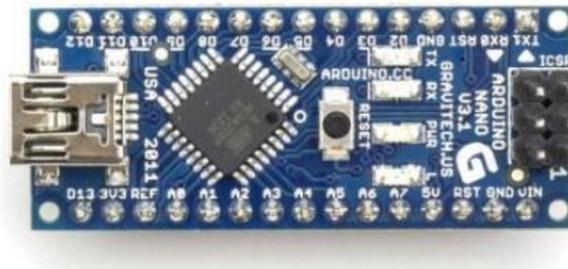


Figura 5-7 Placa Arduino Nano. (Fuente: [15]).

➤ Arduino Yun (figura 5-8).

Se trata de un modelo de una sofisticación mucho mayor, ya que su conjunto trabaja por separado de forma complementaria, incorporando por un lado la versatilidad de un Arduino normal basado en un microcontrolador *ATmega32u48* a 16MHz y por otro lado un

dispositivo con microprocesador *Atheros AR9331* que trabaja con *Lilino* a 400 MHz. Tiene la funcionalidad de trabajar por separado.



Figura 5-8 Placa Arduino Yun. (Fuente: [15]).

➤ Arduino FIO (figura 5-9).

Este modelo esta basado en un microcontrolador *ATmega328p*, el cual le hace trabajar a 8Mhz y 3,3V. Posee 14 pines entrada/salida digitales, de los cuales 6 de ellos pueden usarse como PWM, así como 8 pines de entrada analógicos. Incorpora un conector para la batería con su modulo de carga correspondiente y un slot para permitir la posibilidad de instalar un modulo de comunicaciones *xBee*, gracias a lo cual no es necesario conectarlo al ordenador para programarlo. Gracias a que dispone de UART TTL e interrupciones es posible ponerlo en modo *Sleep*. A su vez también permite poner el *xBee* en modo *Sleep* lo que provoca una reducción del consumo total. Además, posee TWI (I2C) y SPI.



Figura 5-9 Placa Arduino FIO. (Fuente: [15]).

5.1.3. Arduino empleado.

Dadas las características del proyecto y la labor que tiene la placa Arduino encargada de realizar las labores de control, así como el conjunto de periféricos que se conectarán a la misma, empleamos el modelo **Arduino Mega 2560**.

5.2. PERIFÉRICOS EMPLEADOS.

Una vez hemos tomado la decisión de cual va a ser el modelo de placa Arduino que va a constituir el cerebro del sistema, es necesario decidir que periféricos se encargan de monitorizar las distintas variables, y de hacerle llegar dicha información al microcontrolador, así como los actuadores sobre los que influye posteriormente. Cada una de dichas variables que influyen sobre el sistema, están asociadas a un periférico respectivamente. Una vez hemos seleccionado los periféricos y actuadores es necesario decidir si dichas variables asociadas a ellos son decisivas en el control del sistema, y a su vez si son visibles o modificables por el usuario. Se resume todo en la Tabla 5-1.

Variable	Periférico	Control	Visible	Modificable
Temperatura ambiente	SHT35-DIS-B25ks	Si	Si	No
Humedad	SHT35-DIS-B25ks	No	Si	No
Temperatura asiento	GY-906 MLX90614ESF	Si	Si	No
Fecha/hora	RTC DS3231 y NEO GY-GPS6MV2	Si	Si	No
Detección de usuario	RCWL-0516	Si	No	Si
Calefacción	Relé ARCELI	Si	Si	No
Nivel de carga de las baterías	Regulador	Si	No	No

Tabla 5-1 Tabla resumen de las variables monitorizadas, con los periféricos asociados a ellas respectivamente, y su influencia sobre el sistema. (Fuente: elaboración propia).

5.2.1. Temperatura ambiente y humedad.

La monitorización de la temperatura ambiente es de vital importancia en el control del sistema de calefacción de la superficie del banco. Es necesario que establezca en la programación de la placa base Arduino un valor de temperatura de referencia, por debajo del cual se active el sistema, y por encima permanezca inactivo. Sin embargo, esta variable funciona como variable complementaria a la temperatura del asiento, ya que es esta la que tiene mayor prioridad para el control. Por el contrario, la humedad no tiene influencia, tan solo aporta más información del entorno al usuario.

Para llevar a cabo esta labor se usa el sensor **SHT35-DIS-B25ks** del fabricante *Sensirion*. Este sensor, diseñado para Arduino, es muy utilizado en el ámbito industrial, ya que posee una gran precisión (0,1°C), y sirve tanto para medir temperatura como humedad (figura 5-10 y figura 5-11). Tiene la capacidad de funcionar correctamente en entornos donde existan grandes variaciones de estas variables. Se trata de un sensor digital con una velocidad de comunicación de 1 MHz, es decir, especialmente rápido. A su vez da una resolución de 16 bits. Para conectarse a Arduino utiliza el protocolo I2C.

Humidity Sensor Specification

Parameter	Condition	Value	Units
SHT30 Accuracy tolerance ¹	Typ.	±2	%RH
	Max.	Figure 2	-
SHT31 Accuracy tolerance ¹	Typ.	±2	%RH
	Max.	Figure 3	-
SHT35 Accuracy tolerance ¹	Typ.	±1.5	%RH
	Max.	Figure 4	-
Repeatability ²	Low, typ.	0.21	%RH
	Medium, typ.	0.15	%RH
	High, typ.	0.08	%RH
Resolution	Typ.	0.01	%RH
Hysteresis	at 25°C	±0.8	%RH
Specified range ³	extended ⁴	0 to 100	%RH
Response time ⁵	t _{63%}	8 ⁶	s
Long-term drift	Typ. ⁷	<0.25	%RH/yr

Figura 5-10 Fragmento de la hoja técnica del sensor SHT35-DIS-B25ks (humedad) del fabricante Sensirion. (Fuente: Anexo 7).

Temperature Sensor Specification

Parameter	Condition	Value	Units
SHT30 Accuracy tolerance ¹	typ., 0°C to 65°C	±0.2	°C
	Max.	Figure 8	-
SHT31 Accuracy tolerance ¹	typ., 0°C to 90°C	±0.2	°C
	Max.	Figure 9	-
SHT35 Accuracy tolerance ¹	typ., 20°C to 60°C	±0.1	°C
	Max.	Figure 10	-
Repeatability ²	Low, typ.	0.15	°C
	Medium, typ.	0.08	°C
	High, typ.	0.04	°C
Resolution	Typ.	0.01	°C
Specified Range	-	-40 to 125	°C
Response time ⁸	$t_{63\%}$	>2	s
Long Term Drift	max	<0.03	°C/yr

Figura 5-11 Fragmento de la hoja técnica del sensor SHT35-DIS-B25ks (temperatura) del fabricante Sensirion. (Fuente: Anexo 7).

5.2.2. Temperatura del asiento.

Esta variable es la que tiene mayor importancia en la programación de la lógica del sistema de calefacción mediante Arduino, ya que cuando se activa el mismo, es la que sufre una variación notable, al contrario que la temperatura ambiente, que permanece inalterable, esté o no el sistema activo. Aunque la temperatura del asiento tiene mayor prioridad, ambas variables funcionan en conjunto. De nuevo establecemos un valor de referencia para la activación y desactivación del sistema.

La monitorización de esta variable se realiza mediante el módulo **GY-906 MLX90614ESF**. Consiste en un sensor de temperatura (MLX90614ESF) (figura 5-14), que emplea la luz infrarroja para realizar las mediciones, por lo que puede tomar la temperatura de objetos o superficies a distancia, sin necesidad de establecer contacto con ellos, perteneciente a la familia de dispositivos *MLX90614*. Está integrado dentro de la tarjeta electrónica GY-906, que posee el hardware necesario para conectar y programar el sensor. Dentro de este hardware está incluido el regulador de voltaje 662K, para alimentar el módulo directamente desde el microcontrolador Arduino. Se comunica con este último mediante el protocolo I2C (figura 5-13).

El principio de funcionamiento consiste en la ley de Stefan-Boltzman, que afirma que cualquier objeto que se encuentre a una temperatura superior al cero absoluto (0°K), emite radiación [16]. Esta familia de dispositivos se encarga de captar dicha radiación, para transformar la información en una señal eléctrica equivalente a la temperatura medida. El encargado de llevar a cabo esta función es un chip de silicio sensible a la radiación infrarroja, combinado con la electrónica necesaria para amplificar y digitalizar la señal.

El modelo utilizado en el proyecto (MLX90614ESF) posee una precisión de $0,5^{\circ}\text{C}$. En cuanto al rango de temperatura, es distinto en función de si se mide temperatura ambiente u objetos. En la medición de objetos, que es lo que atañe a su función en el proyecto, va desde -70°C a 380°C . Para conocer la distancia de medición del sensor es de vital importancia saber su ángulo de visión. Este modelo tiene un ángulo de visión de 80° . Esto se traduce en que un objeto situado a 0.5m de distancia, deberá tener un diámetro igual o superior a 0,83m para poder ser captado por el sensor. El objeto a medir ha de tener siempre un tamaño mayor que el abarcado por el ángulo. Cuanto más pequeño sea el objeto, mas cerca habrá que situar el sensor (figura 5-12).

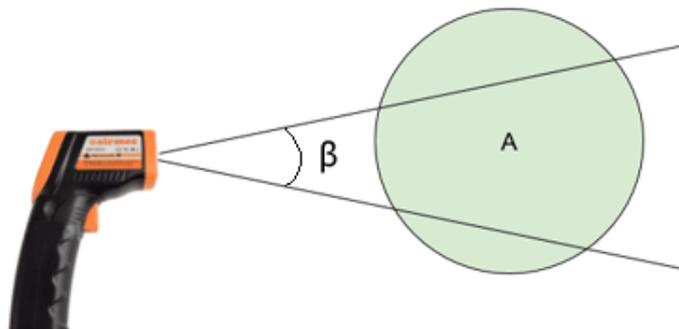


Figura 5-12 Esquema de funcionamiento del ángulo de visión del sensor MLX90614ESF. (Fuente: [17]).

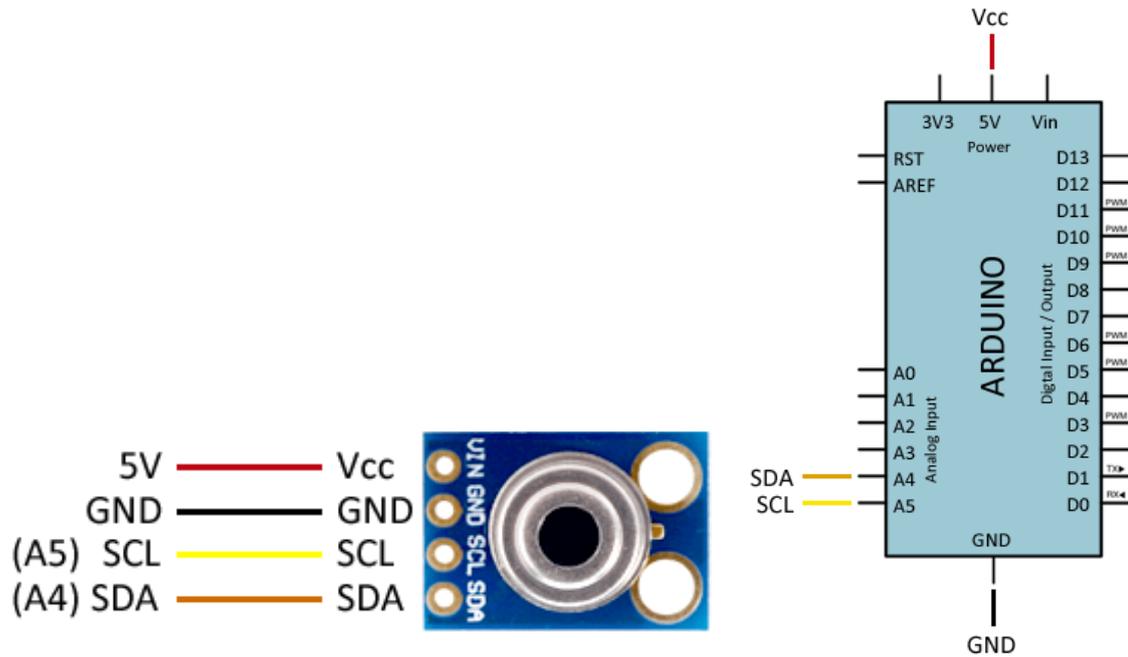


Figura 5-13 Esquema de conexión del GY-906 MLX90614ESF con Arduino UNO (en Arduino Mega 2560 SCL=D21 y SDA=D20). (Fuente: [18]).

Parameter	MLX90614ESF-Axx	MLX90614ESF-Bxx MLX90614ESF-Dxx	MLX90614KSF-Axx
Supply Voltage, V_{DD} (over voltage)	7V	5V	7V
Supply Voltage, V_{DD} (operating)	5.5 V	3.6V	5.5V
Reverse Voltage	0.4 V		
Operating Temperature Range, T_A	-40...+85°C		-40...+125°C
Storage Temperature Range, T_S	-40...+125°C		-40...+125°C
ESD Sensitivity (AEC Q100 002)	2kV		
DC current into SCL / Vz (Vz mode)	2 mA		
DC sink current, SDA / PWM pin	25 mA		
DC source current, SDA / PWM pin	25 mA		
DC clamp current, SDA / PWM pin	25 mA		
DC clamp current, SCL pin	25 mA		

Figura 5-14 Fragmento de la hoja técnica del sensor MLX90614ESF. (Fuente: Anexo 8).

5.2.3. Fecha y Hora.

Se trata de la variable mas restrictiva de todas las presentes, ya que de sus valores dependen todas las demás, es decir, programamos el microcontrolador de tal forma que existen franjas temporales durante las cuales el sistema de calefacción permanece inactivo,

independientemente tanto de la temperatura ambiente como de la temperatura del asiento, las cuales detallaremos en el apartado 5-5.

Incorporamos dos periféricos para llevar a cabo la monitorización de esta variable. Por un lado, utilizamos el módulo GPS **NEO GY-GPS6MV2** para proporcionar una actualización constante tanto de la fecha como de la hora. Por otro lado, dado que es necesario que exista señal GPS para que funcione con normalidad, la tarjeta **RTC DS3231** actúa como refuerzo, interviniendo solo en caso de que el primero no funcione correctamente debido a esta circunstancia.

➤ Circuito integrado RTC DS3231.

Existen circuitos integrados que se acoplan a la placa de Arduino y que actúan como relojes en tiempo real (RTC). El término RTC surgió para distinguir estos dispositivos electrónicos de los relojes electrónicos convencionales. Estos últimos contabilizaban el tiempo dependiendo del número de pulsos de una señal, sin estar relacionado con ninguna unidad temporal. Sin embargo, los RTC son similares a los relojes y calendarios que usamos habitualmente, teniendo en cuenta ciertos aspectos excepcionales, como el sistema sexagesimal, los meses con diferentes días e incluso los años bisiestos.

Su funcionamiento está basado en un resonador de cristal integrado con la electrónica necesaria para contabilizar el paso del tiempo. Asimismo, suelen incorporar una batería independiente (CR2032) para continuar contabilizando el paso del tiempo incluso en caso de sufrir una pérdida de alimentación. Esta batería está capacitada para alimentar el módulo durante un periodo aproximado de 9 o 10 años. Combinamos este circuito integrado con un LED, el cual, mediante la previa programación del microcontrolador, se encenderá cuando el RTC no funcione correctamente, lo cual puede indicar al mantenedor que es necesario la sustitución de la batería.

El modelo que empleamos en el proyecto es el **RTC DS3231**, el cual tiene una precisión muy elevada. En modelos anteriores, surgían ciertas variaciones de temperatura que provocaban desfases en la medición temporal que se podían traducir en un error de 1 o 2 minutos diarios. Sin embargo, en el DS3231 se incorporó medición y compensación de la

temperatura haciendo que este desfase desaparezca casi en su totalidad, reduciéndose únicamente a unos 172 ms diarios, es decir, 1 segundo cada 6 días. La comunicación mediante Arduino se realiza mediante el protocolo I2C (figura 5-15). Es habitual que estos circuitos integrados incorporen una pequeña memoria EEPROM AT24C32, la cual se puede usar para almacenar registros y mediciones.

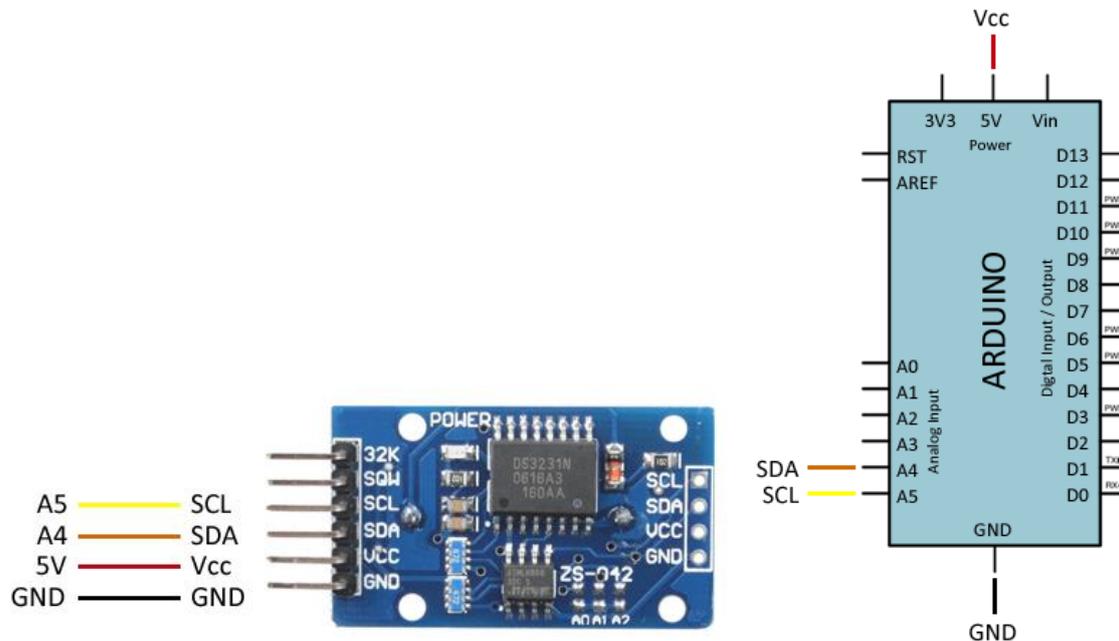


Figura 5-15 Esquema de conexión RTC DS3231 con Arduino UNO (En Arduino Mega SCL=D21 y SDA=D20). (Fuente: [19]).

➤ Módulo GPS NEO GY-GPS6MV2.

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un sistema que basa su principio de funcionamiento en la recepción continua de señales que provienen de una red de 24 satélites que orbitan alrededor de La Tierra. Únicamente es necesario un receptor GPS, junto con la electrónica necesaria para procesar los datos recibidos. Cada uno de los satélites que conforma la red está provisto de 4 relojes atómicos. A su vez, los relojes de todos los satélites se encuentran sincronizados. Esto permite una medición del tiempo muy exacta, lo que permite a los módulos receptores de señales GPS ser utilizados como relojes, ya que reciben información tanto de su posición exacta como de la hora.

Dentro del proyecto hemos optado por la utilización del módulo GPS *GY-GPS6MV2*. Este modelo está incluido dentro de la familia de dispositivos *NEO-6*, fabricados por *U-Blox*. Están diseñados para comunicarse con facilidad con el microcontrolador Arduino, ya que están incorporados en módulos con la electrónica necesaria para ello.

Dentro de las características generales de esta familia de dispositivos se destaca su pequeño tamaño y consumo. Para realizar la comunicación dispone de módulos UART, SPI, I2C y USB (figura 5-16). Todos los modelos incorporan un regulador de voltaje que permite la alimentación directa a 5V. Asimismo, disponen de una frecuencia máxima de medición de 5Hz. En cuanto a los valores de precisión, los datos son muy razonables para un sistema de posicionamiento GPS (posición: 2,5m, velocidad: 0,1m/s y orientación: 0,5°)

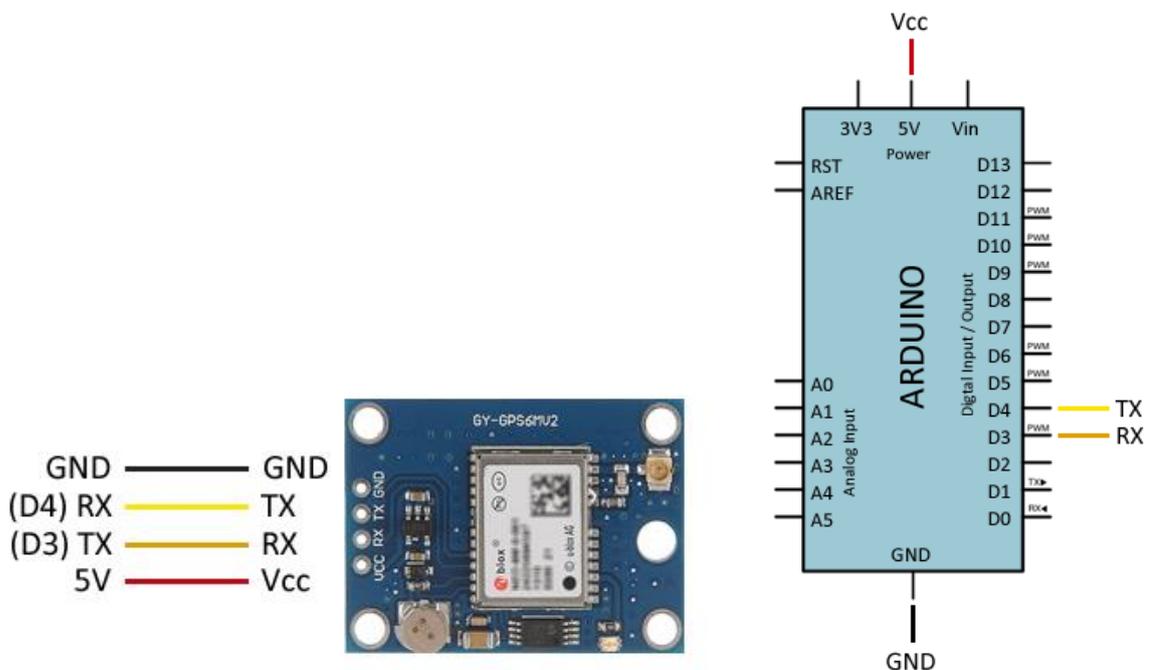


Figura 5-16 Esquema de conexión del módulo NEO GY-GPS6MV2 con Arduino UNO (En Arduino Mega RX=D0/D19/D17/D15 y TX=D1/D18/D16/D14). (Fuente: [20]).

5.2.4. Nivel de carga de las baterías.

Dado que tanto el sistema de calefacción, como todo el conjunto de elementos que constituyen el sistema lógico están alimentados mediante una instalación solar fotovoltaica aislada, es decir, independiente de la red eléctrica, la variable relacionada con el nivel de carga de las baterías tiene una importancia vital, puesto que si se encuentran descargadas no

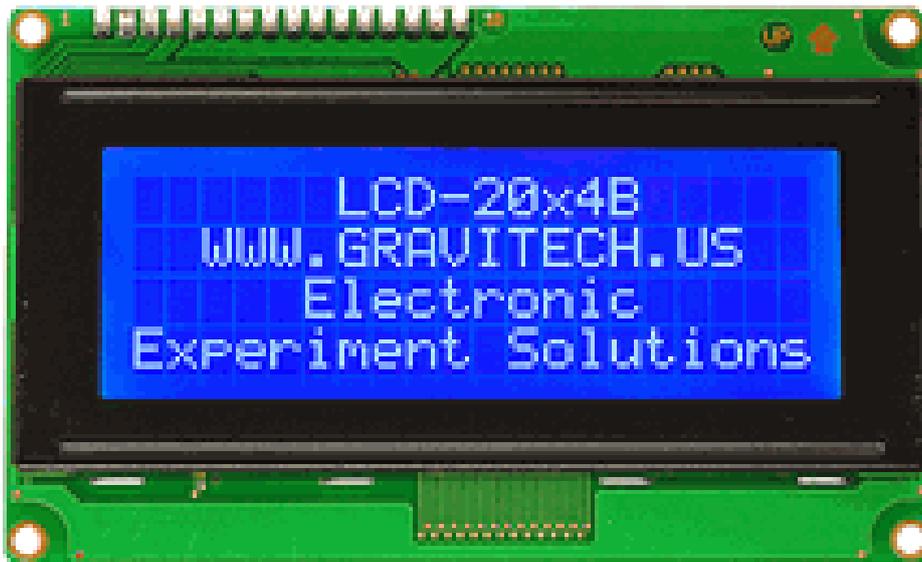
hay manera de hacer funcionar ninguno de los sistemas. A su vez, la vida útil de las mismas se reduce notablemente si se realizan descargas muy agresivas, o bien si se alcanzan profundidades de descarga muy elevadas.

Debido a estos factores, es necesario la monitorización de esta variable. Sin embargo, ya existe un elemento dentro de la instalación solar que se encarga de cumplir esta labor, como es el regulador de carga, que desconecta las baterías cuando se alcanza una profundidad de descarga determinada y también cuando se encuentran totalmente cargadas. Es decir, no es necesario que incorporemos un elemento adicional al sistema lógico para controlar esta variable, ya que sería redundante, y cargaría el procesador Arduino con un mayor número de instrucciones de forma innecesaria.

5.2.5. Interfaz con el usuario.

Es necesario que exista una interfaz mediante la cual el usuario pueda visualizar los datos que proporciona el sistema conformado por el procesador Arduino y los distintos sensores. Para ello hemos optado por incorporar una pantalla LCD, donde se sucede la información periódicamente, para que el usuario pueda consultarla.

Hemos seleccionado la pantalla del fabricante *Gravitech* de 4 líneas de 20 caracteres cada línea, modelo **LCD-20x4B**, basada en el estándar HD44780 (figura 5-17).



*Figura 5-17 Pantalla LCD Gravitech LCD-20x4B. (Fuente: Apartado 8.1 Enlaces de compra: referencia *10).*

5.2.6. Detección de usuario.

Es necesario que establezcamos una variable que indique al sistema si existe un usuario que esta ubicado en el banco, o por el contrario, si este se encuentra vacío, ya que esto es determinante a la hora de programar la activación del sistema de calefacción, puesto que en caso de que no haya nadie utilizando el banco, las condiciones de activación y desactivación cambian.

Para realizar esta función empleamos un sensor de movimiento de microondas, concretamente el modelo **RCWL-0516**. Se trata de un sensor radar de microondas por efecto Doppler. Tiene la capacidad de detectar el movimiento en sus proximidades de cualquier persona u objeto, independientemente de la temperatura a la que se encuentren, al contrario que otros sensores de movimiento por infrarrojos, que solo detectan cuerpos que tengan una temperatura distinta al ambiente. Únicamente es necesario un pin adicional al de alimentación y masa para conectarlo con Arduino (figura 5-18).

El principio de funcionamiento del RCWL-0516 consiste en emitir una onda de alta frecuencia (3,2 GHz). Cuando existe un cuerpo en movimiento en sus proximidades, la onda reflejada varía su frecuencia. Posteriormente un receptor la recibe y la combina con la onda

emitida. Un filtro de paso bajo se encarga de filtrar la diferencia entre ambas ondas, para que finalmente esta diferencia sea amplificada por una etapa de transistor.

Otra de las principales ventajas de este dispositivo es su capacidad de detección omnidireccional, es decir, detecta el movimiento en 360°, sin ángulos ciegos. Asimismo, el rango de temperaturas en las que puede trabajar va desde los -20°C a los 80°C. La distancia máxima de detección ya viene preestablecida por el fabricante, y data de 7 metros. Cuando detecta movimiento en este rango, el pin de salida lógico TTL cambia de nivel bajo a nivel alto, durante un tiempo de 2 segundos, tiempo que también está preestablecido. Sin embargo, es posible modificar estos dos valores añadiendo diversos componentes pasivos en los puntos de soldadura de la parte trasera de la placa:

- C-TM: añadiendo un capacitor aumenta el tiempo durante el cual la salida TTL permanece en estado alto.
- R-GN: incorporando una resistencia se acorta el rango de detección. Por ejemplo, con una resistencia de 1MΩ pasa a ser 5m.

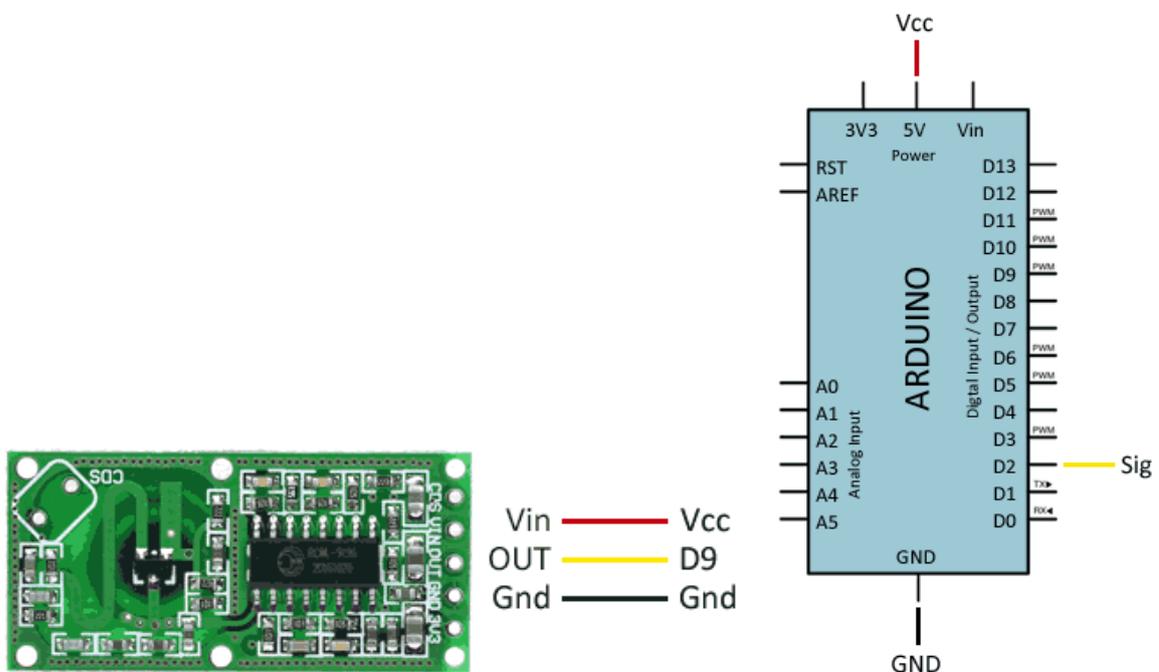
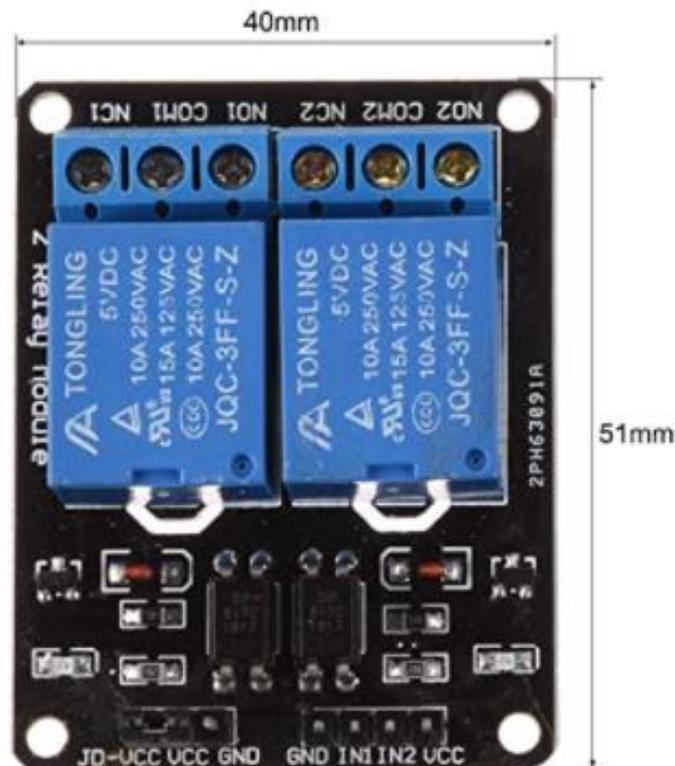


Figura 5-18 Esquema de conexión RCWL-0516 con Arduino UNO. (Fuente: [21]).

5.2.7. Activación y desactivación del sistema de calefacción.

En el proyecto utilizamos un relé para controlar la activación y desactivación del sistema de calefacción, a través de las órdenes del microcontrolador. El relé fue creado por Joseph Henry, en 1835. Se trata de un dispositivo que funciona a modo de interruptor. Sin embargo, no se trata de un interruptor convencional, sino que está controlado por un circuito eléctrico independiente de aquel que se desea controlar. Mediante una bobina y un electroimán se consigue que se conmuten los contactos deseados [22]. Es decir, cuando el pin de control de la placa Arduino se pone a nivel alto (5V), se cierra el interruptor, mientras que si se encuentra a nivel bajo (0V), el circuito externo se encuentra abierto. Para su conexión con el microcontrolador únicamente son necesarios tres cables, dos a tierra (GND) y alimentación (Vcc) respectivamente, y un tercero a uno de los pines digitales, que será el encargado de controlar la conmutación. El modelo que hemos seleccionado corresponde al fabricante *ARCELI* (figura 5-19).



*Figura 5-19 Relé ARCELI 3pcs 2 canales DC 5V para Arduino. (Fuente: Apartado 8.1 Enlaces de compra: referencia *14).*

5.3. CONEXIÓN DE LOS PERIFÉRICOS CON EL MICROCONTROLADOR

Periférico	Pines de conexionado con Arduino (figura 5-20)
SHT35-DIS-B25ks	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Vcc ➤ GND ➤ D21 (SCL) ➤ D20 (SDA)
GY-906 MLX90614ESF	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Vcc ➤ GND ➤ D21 (SCL) ➤ D20 (SDA)
RTC DS3231	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Vcc ➤ GND ➤ D21 (SCL) ➤ D20 (SDA) ➤ D10 (LED indicador de correcto funcionamiento)
GPS NEO GY-GPS6MV2	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Vcc ➤ GND ➤ D0/D19/D17/D15 (RX0/RX1/RX2/RX3) ➤ D1/D18/D16/D14 (TX0/TX1/TX2/TX3)
Gravitech LCD-20x4B	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Vcc ➤ GND ➤ D4 ➤ D5 ➤ D6 ➤ D7 ➤ D8 ➤ D9

RCWL-0516	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Vcc ➤ GND ➤ D3
Relé ARCELI	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Vcc ➤ GND ➤ D2

Tabla 5-2 Listado de los periféricos con los correspondientes pines del Arduino a los que deben ir conectados. (Fuente: elaboración propia).

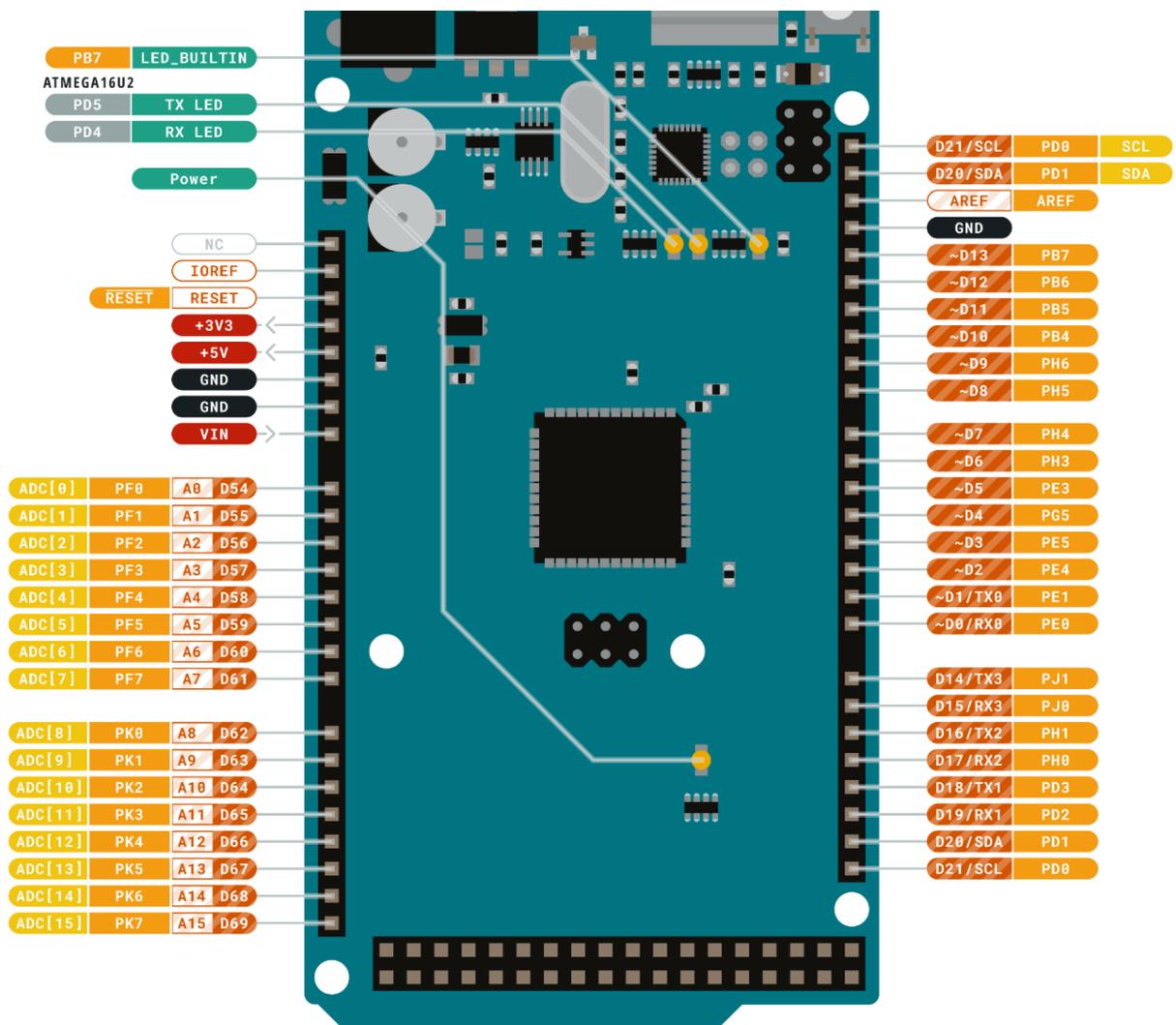


Figura 5-20 Esquema de pines de Arduino Mega 2560. (Fuente: [23]).

5.4.PRESUPUESTO

CONCEPTO/DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (Uds)	PRECIO UNITARIO (€)	ENLACE DE COMPRA	IMPORTE (€)
Microcontrolador Arduino Mega 2560	1	35,57	*7	35,57
Sensor de temperatura por infrarrojos GY-906 MLX90614ESF	1	24,20	*8	24,20
Sensor de temperatura <i>Sensirion</i> SHT35-DIS-B25ks	1	12,40	*9	12,40
Pantalla LCD <i>Gravitech</i> LCD-20x4B	1	18,06	*10	18,06
Circuito integrado RTC-DS3231	1	6,19	*11	6,19
Módulo GPS NEO GY-GPS6MV2	1	11,36	*12	11,36
Sensor de microondas RCWL-0516	1	8,56	*13	8,56
Relé <i>ARCELI</i> 3pcs 2 canales DC 5V	1	7,43	*14	7,43

TOTAL SIN IVA				123,77
IVA	0,21			25,99
TOTAL				149,76

*Tabla 5-3 Presupuesto de compra de todos los elementos que conforman el sistema lógico.
(Fuente: elaboración propia).*

5.5. PLANTEAMIENTO TEÓRICO DEL CÓDIGO IMPLEMENTADO EN EL MICROCONTROLADOR.

Como hemos indicado con anterioridad es necesario programar el microcontrolador Arduino Mega 2560 para el correcto funcionamiento del sistema de calefacción y en consecuencia la eficiencia de la instalación fotovoltaica. En primer lugar, desarrollamos la idea teórica, para posteriormente traducirla en el código. De esta forma, conseguimos que el sistema de calefacción se active y desactive automáticamente según las restricciones de uso que desglosaremos a continuación.

En primer lugar, el módulo GPS NEO GY-GPS6MV2, en combinación con el circuito integrado RTC DS3231, responsables de gestionar la variable Fecha/Hora, nos proporcionan la información necesaria para configurar el microcontrolador de tal forma que permita la activación del sistema de calefacción únicamente en la franja horaria de 8:00 de la mañana a 20:00 de la tarde. De esta forma, se evitan consumos innecesarios durante periodos de tiempo en los que no existe ningún usuario. Del mismo modo, se destinan dos días a la semana para la carga de baterías, durante los cuales también permanece desconectado. En nuestro caso hemos decidido que estos días sean el sábado y el domingo, situándonos en un escenario donde predominen los usuarios del mundo académico o laboral.

Durante las noches, las temperaturas descienden notablemente en la ubicación geográfica que se ha seleccionado para situar el proyecto (provincia de León, España), siendo estas en muchas ocasiones inferiores a 0°C, basándonos en los datos de años anteriores. De esta forma, es muy probable que se congele la superficie del banco durante ciertos periodos de tiempo. Por este motivo, implementamos una condición, por la cual, cuando nos encontramos en horario de funcionamiento, y a su vez, el sensor de temperatura de la

superficie del banco detecta que esta ha descendido por debajo de los 5°C, se activa el sistema de calefacción. Cuando la temperatura medida por el MLX90614ESF asciende por encima de los 5°C mencionados y el sensor de presencia de usuario no detecta a nadie, el sistema de calefacción se desconecta automáticamente. Esto provoca el descongelamiento del banco a primera hora de la mañana, o bien evita que se congele durante el día.

Por el contrario, cuando el sensor de microondas RCWL-0516 detecta la presencia de un usuario, y al mismo tiempo, la temperatura ambiente desciende por debajo de los 10°C y la de la superficie del banco sea inferior a los 25°C, también se activa automáticamente el sistema de calefacción. Del mismo modo que sucede en el escenario de ausencia de usuario, el sistema de calefacción se desconecta automáticamente cuando la temperatura de la superficie del banco asciende por encima de los 25°C, evitando sobrecalentamientos y daño a los usuarios.

Hemos decidido que no se disponga de un interruptor manual para la activación del sistema, ya que es posible que algunos usuarios den un uso indebido del mismo, activándolo continuamente cuando no sea necesario, y provocando así una descarga excesiva de las baterías y un deterioro de las mismas, acortando notablemente su vida útil. No supone un inconveniente notable ya que como hemos indicado, existe un sensor para detectar la presencia de usuario, lo que hace que se active automáticamente si se cumplen las condiciones meteorológicas establecidas y alguien está utilizando el banco. Esto aporta una mayor robustez al proyecto, haciéndolo mucho más fiable.

Asimismo, hemos implementado una pantalla LCD, que actúa como interfaz con el usuario, donde este puede visualizar distinta información referida al entorno, como puede ser la fecha y la hora, la temperatura tanto ambiente como de la superficie del banco, la humedad, el día de la semana en el que nos encontramos, y si el sistema de calefacción está activo o inactivo. En la tabla 5-4 se puede observar un ejemplo de lo que se visualizaría en un momento determinado, donde se está indicando que es Lunes (“L”) y que el sistema de calefacción está activo (“ON”).

1	7	:	0	0	:	0	0		2	5	/	0	5	/	2	0	2	2
T	e	m	p		a	m	b	:	1	9	.	7	°	C				L
T	e	m	p		a	s	i	e	n	t	o	:	1	9	.	7	°	C
H	u	m	e	d	a	d	:		1	0	.	1	%				O	N

Tabla 5-4 Ejemplo de lo que se visualizará en la pantalla LCD en un momento determinado. (Fuente: elaboración propia).

Todas estas instrucciones que hemos de implementar en el microcontrolador están traducidas a código de Arduino en el Apéndice 1.

5.6.LIBRERÍAS

Para la utilización de ciertos periféricos con una placa microcontrolador de la familia Arduino, es necesario implementar una serie de programas creados por terceros, los cuales le añaden nuevas funcionalidades, generalmente con nuevas instrucciones de código. Las librerías necesarias de implementar en la placa Arduino Mega 2560, que hemos empleado en este proyecto, para poder desarrollar correctamente el código que haga funcionar el sistema lógico tal y como se indica en el apartado 5.6, son las siguientes:

- **Adafruit_MLX90614:** desarrollada y mantenida por *Adafruit*. Esta librería incorpora al microcontrolador Arduino la posibilidad de comprender instrucciones de código para el correcto funcionamiento del sensor de temperatura por infrarrojos GY-906 MLX90614ESF.
- **Geek Factory GFRTC:** desarrollada por *Geek factory*, esta librería permite leer y escribir información de hora y fecha en el circuito integrado RTC-DS3231.
- **TimeLib:** desarrollada por *Geek factory*, esta librería nos ofrece funcionalidades para mantener la fecha y la hora con hardware externo o sin él. Asimismo, nos permite obtener la fecha y la hora.

- **HTU3X**: desarrollada por *Zero Knowledge*, esta librería permite incorporar instrucciones de código para extraer los valores de temperatura y humedad del sensor SHT35-DIS-B25ks.
- **TinyGPS**: desarrollada y mantenida por Mikal Hart. Esta librería permite diferenciar al microcontrolador del conjunto de información obtenida de un módulo GPS, en nuestro caso el módulo NEO GY-GPS6MV2, la que corresponde a cada variable (fecha, hora, coordenadas...).

6. Sistema de carga de dispositivos electrónicos.

Gracias a la instalación solar fotovoltaica aislada que hemos implementado, la cual alimenta el conjunto de dispositivos incorporados en el banco, es posible añadir un conjunto de estaciones de carga de dispositivos electrónicos, tanto inalámbricas como convencionales con cable, de gran utilidad para los distintos usuarios del banco urbano.

6.1.SISTEMA DE CARGA DE DISPOSITIVOS DE FORMA INALÁMBRICA.

6.1.1. Principio de funcionamiento [24].

La carga inalámbrica basa el principio de su funcionamiento en la inducción o carga electromagnética. Posee una cierta complejidad en cuanto a su fabricación, sin embargo, su funcionamiento es sencillo. El soporte para la carga es el encargado de generar un campo electromagnético y emisor de energía y el receptor es el teléfono móvil. Para ello, ambos disponen de bobinas de inducción electromagnética. Mediante la fuente de alimentación a la que está conectado, el soporte de carga emplea dicha bobina para transformar la electricidad en corriente alterna de alta frecuencia, y a partir de ella surge el campo electromagnético, que queda a la espera de otra bobina hacia donde pueda dirigir la electricidad, es decir, la del teléfono móvil.

No supone ningún riesgo para la salud este sistema, ya que el soporte de carga, cuando no está en contacto con ningún dispositivo, emite una señal inocua de forma regular, con la intención de localizar una bobina receptora en sus proximidades.

Existen varios estándares de este sistema con distintas tecnologías de funcionamiento, sin embargo, ha sido uno de ellos el que más ha destacado sobre todos los demás, gracias a su gran rendimiento.

- **Estándar Qi:** es este el mas extendido a nivel mundial. Realiza el proceso de carga con frecuencias bastante altas, por lo que es necesario que las dos bobinas se encuentren muy próximas.
- **Estándar PMA:** es un estándar bastante extendido, al igual que el Qi, sin embargo, la tecnología que emplea de carga por resonancia magnética le hace ser menos eficiente. El factor positivo de esta tecnología es que debido a que genera campos electromagnéticos mayores, permite a las dos bobinas estar mas distanciadas. Gracias al mismo soporte se pueden cargar varios dispositivos.
- **WattUp:** Puede cargar aparatos a distancias muy grandes, de hasta 5 metros
- **Cota:** permite distancias de carga de hasta 10 metros, gracias al Wifi y el Bluetooth. Por desgracia es muy lento, de tan solo 1W.

6.1.2. Modelo empleado.

Se trata de un modelo de cargador inalámbrico para encastrar denominado **inLoop**, y distribuido por el fabricante *TecnoLoop* (figura 6-1 y figura 6-2). Posee un diseño resistente a los impactos y a la intemperie, sin embargo, este modelo destaca por ser invisible, es decir, podemos instalarlo por debajo de la superficie del lugar donde se quiera situar. La distancia para cargar los dispositivos no puede superar los 10mm y no puede situarse bajo superficies metálicas. Emplea el estándar de tecnología Qi, siendo compatible con todos los dispositivos que posean este sistema de carga. Es necesario un orificio de alojamiento de 60 mm de diámetro. A su vez no necesita ningún tipo de configuración, tan solo estar alimentado. Dispone de un LED que se ilumina al iniciarse la carga, para notificar al usuario que el dispositivo se encuentra colocado correctamente.



Figura 6-1 Apariencia exterior del cargador inalámbrico para encastrar TecnoLoop inLoop. (Fuente: Anexo 12).

Especificaciones:

Color:	Blanco
Dimensiones:	Ø70mm x 15 mm
Certificaciones:	CE \ RoHS \ FCC
Protecciones:	OVP, OPP, SCP, OTP, FOD
Estándar de carga:	Qi wireless charging standard
Input:	DC 5V2A/9V1.67A
Output:	1.000mA
Consumo standby:	< 10mA
Frecuencia:	110KHz-205KHZ
Distancia de transmisión:	< 10 mm
Peso:	75g
Conector:	Micro USB

Figura 6-2 Fragmento de la hoja técnica del cargador inalámbrico para encastrar TecnoLoop inLoop. (Fuente: Anexo 12).

6.2.SISTEMA DE CARGA DE DISPOSITIVOS POR CABLE.

6.2.1. Modelo empleado.

Implementamos un modelo de cargador de doble toma USB para encastrar, denominado **Pip** y distribuido por el fabricante *TecnoLoop* (figura 6-3). Se trata de una toma de carga doble

USB de 5A de carga rápida con forma circular. Para su instalación es necesario un alojamiento de 60mm de diámetro y una profundidad mínima de 44mm (figura 6-4 y figura 6-5). Se encuentra disponible en una amplia gama de acabados y colores. El cuerpo esta confeccionado con Nylon, el frente de policarbonato y el anillo de ABS. Está fabricado bajo los estándares de calidad ISO9001.



Figura 6-3 Apariencia exterior del cargador de doble toma USB TecnoLoop Pip. (Fuente: Anexo 12).

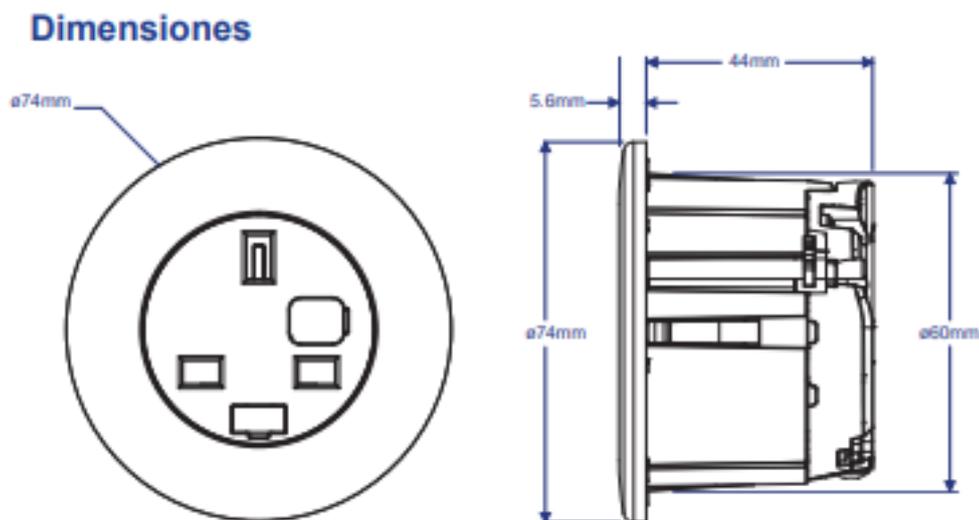


Figura 6-4 Dimensiones del cargador de doble toma USB TecnoLoop Pip. (Fuente: Anexo 12).

Espesor máximo de panel

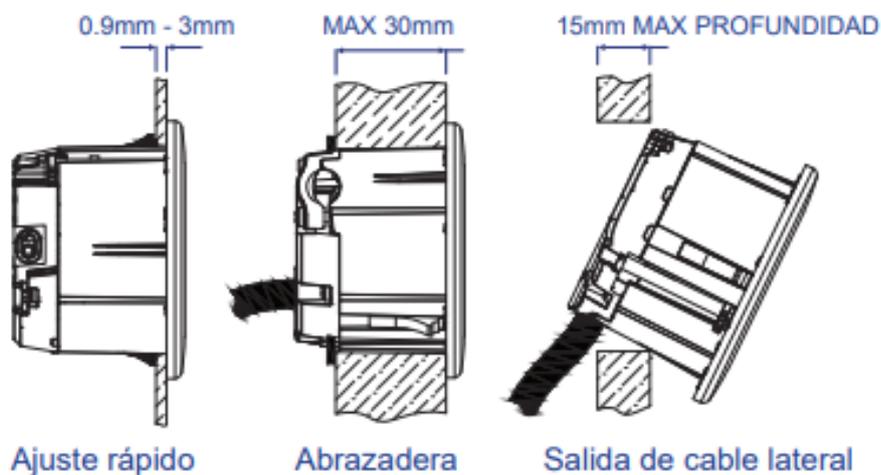


Figura 6-5 Espesor máximo del panel donde se debe instalar el cargador de doble toma USB TecnoLoop Pip. (Fuente: Anexo 12).

6.3.PRESUPUESTO

CONCEPTO/DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (Uds)	PRECIO UNITARIO (€)	ENLACE DE COMPRA	IMPORTE (€)
Cargador inalámbrico para encastrar TecnoLoop inLoop	2	34,00	*15	68,00
Cargador de doble toma USB para encastrar TecnoLoop Pip	1	151,00	*16	151,00
TOTAL SIN IVA				219,00
IVA	0,21			45,99
TOTAL				264,99

Tabla 6-1 Presupuesto de compra de las distintas estaciones de carga implementadas. (Fuente: elaboración propia).

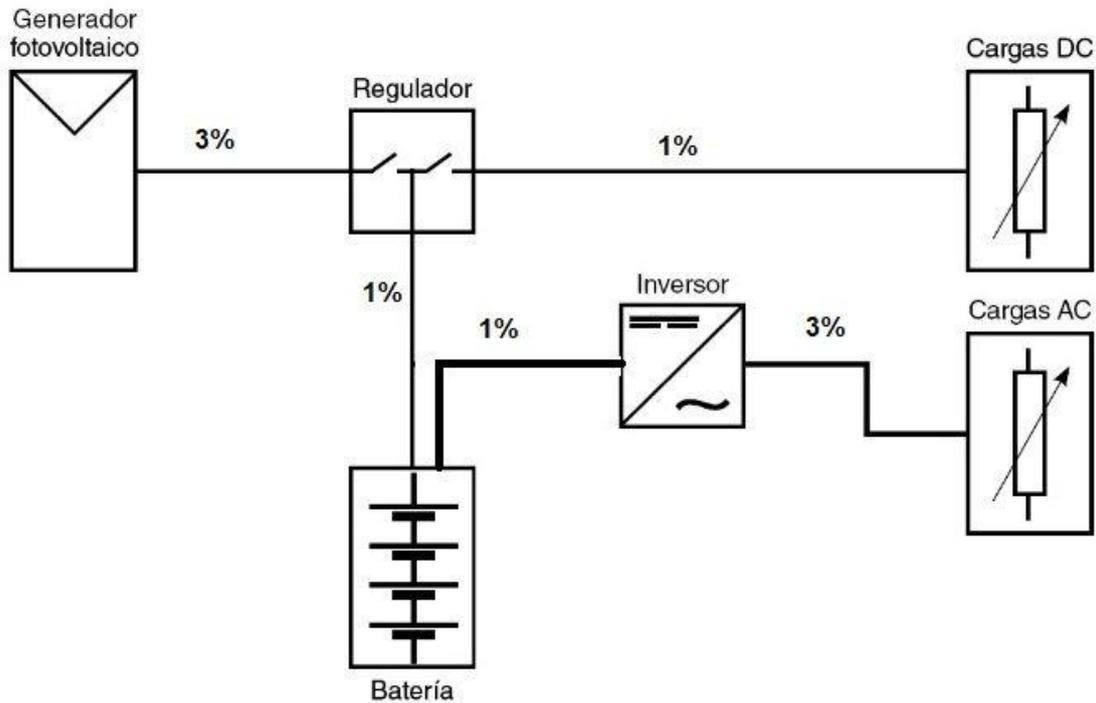
7. Cableado.

Una vez hemos dimensionado completamente la instalación solar fotovoltaica, y conocemos el número de componentes que la conforman, así como sus modelos y especificaciones técnicas, es necesario que calculemos la sección mínima necesaria de los conductores que constituyen dicho cableado, para cada tramo de la misma [25].

Para llevar a cabo el cálculo de dicha sección, el REBT [26] nos exige que se cumplan dos condiciones:

- No exceder la intensidad máxima admisible según el REBT: dicho reglamento nos proporciona unas tablas, donde viene especificada la intensidad máxima admisible de cada sección de conductor, en función del tipo de instalación y del tipo de aislante. Esto es para asegurarnos de que el conductor no se calienta en exceso durante su uso y se le denomina condición térmica.
- No superar la máxima caída de tensión permitida entre los distintos puntos de la instalación. Estos valores varían en función de los distintos tramos, siendo estos los que aparecen en la figura 7-1 en el caso de instalaciones fotovoltaicas según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

CAIDAS DE TENSION MÁXIMAS PERMITIDAS



El 1% o el 3% de la tensión del tramo de cable. OJO entre el inversor y las cargas es corriente alterna a 230V

Figura 7-1 Caídas de tensión permitidas según el IDAE para los distintos tramos de una instalación solar fotovoltaica. (Fuente: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)).

Para calcular la sección mínima que debe tener el conductor para que se cumplan dichos requisitos de caída de tensión se utiliza la siguiente fórmula:

$$S = \frac{2 \times L \times I}{AU \times \sigma}$$

S = Sección del conductor (mm²)

L = Longitud de la línea (m)

I = Intensidad máxima de la línea (A)

AU = Caída de tensión máxima permitida en la línea (V)

σ = Conductividad del conductor (S·m/mm²)

Asimismo, el IDAE recomienda que las secciones de los conductores sean siempre superiores a los 2,5 mm² en el tramo de los paneles solares al regulador y a los 4 mm² en el tramo del regulador a las baterías.

Para llevar a cabo la instalación utilizamos el cable de cobre **TOPSOLAR PV H1Z2Z2-K** del fabricante *Top Cable*, cuyo aislante es de PVC. Se trata de un modelo de cable especialmente destinado para aplicaciones fotovoltaicas, certificado por TÜV según las normas de referencia IEC62930 [27] y EN50618 [28]. Nos encontramos ante un cable muy flexible, compatible con la mayoría de los conectores. Podemos instalarlo tanto a la intemperie como enterrado, garantizándose en ambos casos su correcto funcionamiento. Véase sus características técnicas en el Anexo 12. Dado que como hemos indicado este cable este fabricado con cobre recubierto de PVC, usamos un valor de conductividad de 48, como podemos observar en la figura 7-2.

Tipo de Aislante del Conductor

MATERIAL	ρ_{20°	σ_{20°	TERMOPLÁSTICOS (PVC, poliolefinas Z1 o similares)		TERMOESTABLES (tipo XLPE, EPR, poliolefinas Z, silicona...)	
			ρ_{70°	σ_{70°	ρ_{90°	σ_{90°
Cobre	0'018	56	0'021	48	0'023	44
Aluminio	0'029	35	0'033	30	0'036	28

Figura 7-2 Elección de la conductividad del cable según el aislante. (Fuente: [25]).

7.1. TRAMO PANELES SOLARES – CAJA DE CONEXIONES.

La caja de conexiones es el lugar donde va dirigido el cableado de todas las líneas de paneles que conforman la instalación, para una vez allí conectarlas como hemos diseñado. En nuestro caso, el cableado de los dos paneles que posee la instalación se dirige hacia la caja de conexiones, donde se conectan en paralelo. Vamos a suponer una distancia de 2 metros de cable desde cada uno de los paneles hasta la caja de conexiones. La intensidad que circula por cada uno de los tramos de las ramas corresponde con la I_{sc} de la placa (11,36 A, tabla

4-6). A su vez, la caída de tensión no puede ser superior nunca al 3% (figura 7-1) de 24V que tiene la instalación (0,72V).

Según el REBT, en su ITC019, en este tramo estamos ante una instalación de tipo C (cables multiconductores directamente sobre la pared), conformada por dos terminales (2XPVC), por lo que la siguiente intensidad a soportar superior a los 11,36 A es la de 16A cuya sección para cumplir la condición térmica debe ser de 1,5mm² (figura 7-3). Sin embargo, elegimos la sección de 2,5 mm² para este tramo, que es la que recomienda el IDEA.

**Tabla A - Intensidades admisibles para cables con conductores de cobre, no enterrados
Temperatura ambiente 40°C en el aire**

Método de instalación*	Número de conductores cargados y tipo de aislamiento											
		3x PVC	2x PVC		3x XLPE	2x XLPE						
A1												
A2	3x PVC	2x PVC		3x XLPE	2x XLPE							
B1				3x PVC	2x PVC		3x XLPE		2x XLPE			
B2			3x PVC	2x PVC		3x XLPE	2x XLPE					
C					3x PVC		2x PVC	3x XLPE		2x XLPE		
E						3x PVC		2x PVC	3x XLPE		2x XLPE	
F							3x PVC		2x PVC	3x XLPE		2x XLPE
Sección mm ² COBRE	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	16,5	19	20	21	24	--
2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	23	26	26,5	29	33	--
4	20	21	23	24	27	30	31	34	36	38	45	--
6	25	27	30	32	36	37	40	44	46	49	57	--
10	34	37	40	44	50	52	54	60	65	68	76	--
16	45	49	54	59	66	70	73	81	87	91	105	--
25	59	64	70	77	84	88	95	103	110	116	123	140
35	--	77	86	96	104	110	119	127	137	144	154	174
50	--	94	103	117	125	133	145	155	167	175	188	210
70	--	--	--	149	160	171	185	199	214	224	244	269
95	--	--	--	180	194	207	224	241	259	271	296	327
120	--	--	--	208	225	240	260	280	301	314	348	380
150	--	--	--	236	260	278	299	322	343	363	404	438
185	--	--	--	268	297	317	341	368	391	415	464	500
240	--	--	--	315	350	374	401	435	468	490	552	590
300	--	--	--	361	401	430	461	500	538	563	638	678
400	--	--	--	431	480	515	552	600	645	674	770	812
500	--	--	--	493	551	592	633	687	741	774	889	931
630	--	--	--	565	632	681	728	790	853	890	1028	1071

*Se indican como 3x los circuitos trifásicos y como 2x los monofásicos.
A efecto de las intensidades admisibles los cables con aislamiento termoplástico a base de poliolefina (Z1) son equivalentes a los cables con aislamiento de policloruro de vinilo (V).*

Figura 7-3 ITC-BT-019 (ITC019) Instalaciones interiores o receptoras. (Fuente: [26]).

Posteriormente, procedemos a comprobar que la sección mínima que debe tener este tramo para garantizar una caída de tensión inferior al 3% es inferior a los 2,5mm².

$$S = \frac{2 \times 2m \times 11,36A}{0,72V \times 48 \frac{S \cdot m}{mm^2}} = 1,3148 mm^2 \quad (7-1)$$

Por lo tanto, como podemos ver en la ecuación 7-1, con una sección de cable de **2,5 mm²** entre las células fotovoltaicas y la caja de conexiones cumplimos las dos condiciones.

7.2. TRAMO CAJA DE CONEXIONES – REGULADOR.

Lo primero que debemos tener en cuenta en este tramo es la necesidad de instalar un interruptor magnetotérmico a la salida de la caja de conexiones, el cual permita la desconexión de todas las ramas de paneles conectadas en paralelo. Este dispositivo aporta seguridad al regulador, evitando que se produzcan daños debidos a un cortocircuito. Asimismo, en caso de necesitar desconectar las baterías para su mantenimiento o sustitución, tenemos la posibilidad de desconectar los paneles en primer lugar y de esta forma evitar que se dañe el regulador por no tener donde descargar la energía producida. Dado que el regulador de nuestra instalación soporta una intensidad máxima de 40A, seleccionamos el interruptor magnetotérmico normalizado de 40A.

Dado que tanto el interruptor magnetotérmico como el regulador soportan una intensidad máxima de 40A, la sección de los cables de este tramo es acorde con este valor. Volvemos al REBT (ITC019), donde nos indican que para este tipo de cableado (conductores aislados en tubos en montaje superficial o empotrados en obra 2XPVC) la intensidad inmediatamente superior a los 40A es de 50A, correspondiente a una sección de cable de 10mm² (figura 7-3). Con este valor de sección se cumple la condición térmica.

En este tramo la caída de tensión máxima vuelve a ser de un 3% (figura 7-1) respecto a los 24V de la instalación (0,72V). Comprobamos que la sección de cable de 10 mm² hace cumplir esta condición (ecuación 7-2). Hay que tener en cuenta a su vez la longitud del tramo, la cual consideramos de 1 m aproximadamente.

$$S = \frac{2 \times 1m \times 40A}{0,72V \times 48 \frac{S \cdot m}{mm^2}} = 2,3148 \text{ mm}^2 \quad (7-2)$$

Por lo tanto, con la sección de **10 mm²** se cumplen ambas condiciones.

7.3. TRAMO REGULADOR – BATERÍAS.

Este tramo se calcula de igual forma que el anterior, ya que la intensidad máxima es la misma, así como el tipo de instalación. Por lo tanto, de nuevo el REBT, en su ITC019, nos indica que para cumplir la condición térmica es recomendable una sección de 10 mm² para estos valores (figura 7-3).

Por el contrario, la máxima caída de tensión en este tramo es inferior a la anterior, pudiendo ser únicamente de un 1% (figura 7-1) respecto a los 24V de la instalación (0,24V), por lo que es necesario comprobar de nuevo si para la sección mencionada se cumple también esta condición (ecuación 7-3). La longitud del tramo en este caso la consideraremos de 0,5 m.

$$S = \frac{2 \times 0,5m \times 40A}{0,24V \times 48 \frac{S \cdot m}{mm^2}} = 3,4722 \text{ mm}^2 \quad (7-3)$$

De nuevo, con una sección de cable de **10mm²** para este tramo se cumplen ambas condiciones.

7.4. TRAMO BATERÍAS – INVERSOR.

En el caso de este tramo, para calcular la intensidad máxima que circula por el cableado, hay que tener en cuenta la potencia máxima que soporta el inversor seleccionado (1300W, figura 4-8) y la tensión de la instalación (ecuación 7-4). Asimismo, de nuevo instalamos un interruptor magnetotérmico para esta intensidad en este tramo.

$$I_{\text{máxima}} = \frac{1.300W}{24V} = 54,17 \text{ A} \quad (7-4)$$

El REBT nos vuelve a indicar en la ITC019 que para el mismo tipo de cable y de instalación, la intensidad inmediatamente superior a los 54,17 A (ecuación 7-4) es de 66 A, a la cual le corresponde una sección de 16mm² para cumplir la condición térmica (figura 7-3).

La caída de tensión máxima de este tramo vuelve a ser de un 1% (figura 7-1) respecto a los 24V de la instalación (0,24V), así como la longitud del tramo que volvemos a considerar de 0,5m. En la ecuación 7-5 comprobamos que la sección de 35 mm² cumple también esta condición.

$$S = \frac{2 \times 0,5m \times 66A}{0,24V \times 48 \frac{S \cdot m}{mm^2}} = 5,7292 \text{ mm}^2 \quad (7-5)$$

Por la tanto, la sección de **16 mm²** para este tramo cumple ambas condiciones.

7.5. TRAMO INVERSOR – CARGA.

Para el cálculo de la intensidad máxima que circula por este tramo (ecuación 7-6) de nuevo utilizamos la potencia máxima del inversor, sin embargo, ahora el voltaje es de 230V.

$$I_{\text{máxima}} = \frac{1.300W}{230V} = 5,6522 \text{ A} \quad (7-6)$$

El REBT en la ITC019 nos dice que considerando el tipo de cable y de instalación igual a los anteriores tramos, la intensidad inmediatamente superior a los 5,6522A (ecuación 7-6) es de 15 A, a la cual le corresponde una sección de 1,5 mm² (figura 7-3).

En este caso la caída de tensión máxima permitida es del 3% (figura 7-1) de 230V (6,9V). Considerando a su vez una longitud del tramo de 1 metro calculamos la sección mínima necesaria para cumplir esta condición (ecuación 7-7).

$$S = \frac{2 \times 1m \times 5,6522A}{6,9V \times 48 \frac{S \cdot m}{mm^2}} = 0,03413 \text{ mm}^2 \quad (7-7)$$

Por lo que con una sección de $1,5 \text{ mm}^2$ de nuevo se cumplen ambas condiciones.

7.6.RESUMEN.

Tramo	Longitud (m)	Sección (mm²)
Paneles solares / Caja de conexiones	2	2,5
Caja de conexiones / Regulador	1	10
Regulador / Baterías	0,5	10
Baterías / Inversor	0,5	16
Inversor / Carga	1	1,5

*Tabla 7-1 Resumen de la longitud y sección de cada tramo de cableado de la instalación.
(Fuente: elaboración propia).*

8. Presupuesto

CONCEPTO/DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (Uds)	PRECIO UNITARIO (€)	ENLACE DE COMPRA	IMPORTE (€)
SISTEMA DE CALEFACCIÓN				
Kit 20 metros cable calefactor autorregulable BTV (<i>nVent-Raychem</i>)	1	584,16	*1	584,16
INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA				
Panel fotovoltaico monocristalino <i>JA SOLAR JAM72520-450/MR</i>	2	174,29	*2	348,58
Batería solar <i>HOPPECKE Power VL 2-325 Series OPzS</i>	12	170,46	*3	2.045,52
OPCIÓN A				
Regulador de carga <i>SRNE MPPT SR-ML 12/24V 40A LCD</i>	1	138,78	*4	138,78
Inversor <i>Victron Energy Phoenix Smart 24V 3000VA</i>	1	867,95	*5	571,23
OPCIÓN B				
Inversor híbrido MasterPower <i>OMEGA UM 3K/24</i>	1	257,03	*6	257,03
SISTEMA LÓGICO				

Microcontrolador Arduino Mega 2560	1	35,57	*7	35,57
Sensor de temperatura por infrarrojos GY-906 MLX90614ESF	1	24,20	*8	24,20
Sensor de temperatura <i>Sensirion</i> SHT35-DIS-B25ks	1	12,40	*9	12,40
Pantalla LCD <i>Gravitech</i> LCD-20x4B	1	18,06	*10	18,06
Circuito integrado RTC-DS3231	1	6,19	*11	6,19
Módulo GPS NEO GY-GPS6MV2	1	11,36	*12	11,36
Sensor de microondas RCWL-0516	1	8,56	*13	8,56
Relé ARCELI 3pcs 2 canales DC 5V	1	7,43	*14	7,43
SISTEMA DE CARGA DE DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS				
Cargador inalámbrico para encastrar TecnoLoop inLoop	2	34,00	*15	68,00

Cargador de doble toma USB para encastrar TecnoLoop Pip	1	151,00	*16	151,00
TOTAL SIN IVA (A)				4.031,04
TOTAL SIN IVA (B)				3.578,06
IVA (A)	0,21			846,52
IVA (B)	0,21			751,39
TOTAL (A)				4.877,56
TOTAL (B)				4.509,45

Tabla 8-1 Presupuesto total del proyecto. (Fuente: tablas 3-1, 4-9, 5-3 y 6-1).

8.1.ENLACES DE COMPRA

Referencia	Proveedor	Enlace
*1	RS Components	https://es.rs-online.com/web/p/cables-calefactores/0379889
*2	AutoSolar	https://autosolar.es/panel-solar-24-voltios/panel-ja-solar-450w-24v-monocristalino-perc
*3	Monsolar	https://www.monsolar.com/baterias-estacionarias-hoppecke-power-vl-24-325.html
*4	AutoSolar	https://autosolar.es/reguladores-de-carga-mppt/regulador-mppt-100v-40a-lcd-1224v
*5	AutoSolar	https://autosolar.es/inversores-24v/inversor-phoenix-smart-24v-1600va-victron-energy
*6	Leroy Merlin	https://www.leroymerlin.es/fp/82477653/inversor-hibrido-omega-um-3000w-24v-masterpower?keyword=&ds_kid=92700068915556067&ds_ag=Todas+Categorias&ds_c=LM Empoderar AO SmartShopping Todas_Categoria/final Google Conversion OMD&source=google&adtype=&gclid=CjwKCAjw46CV

		BhB1EiwAgy6M4iMODfThgaiRd18PsAt0hWvTqu5Q33IWSbyMNODEKt4tawiRB6dJfhoCwF4QAvD_BwE&gclid=aw.ds
*7	RS Components	https://es.rs-online.com/web/p/arduino/7154084
*8	Amazon	https://www.amazon.es/GY-906-MLX90614ESF-temperatura-infrarrojos-Arduino/dp/B07WNPVRX7
*9	Mouser Electronics	https://www.mouser.es/ProductDetail/Sensirion/SHT35-DIS-B25kS?qs=y6ZabgHbY%252BxyJLNSvkWFsA%3D%3D
*10	Mouser Electronics	https://www.mouser.es/ProductDetail/Gravitech/LCD-20x4B?qs=Vxac6xGyzPnBxc%252BA4A6otw%3D%3D&mgh=1&vip=1&gclid=CjwKCAiA4KaRBhBdEiwAZi1zzszmo7feV1GQ6wLQNbbn4QGpcPiy7ZSt4WH7O00wdHokUITVRaVtQhoC2fYQAvD_BwE
*11	Amazon	https://www.amazon.es/AZDelivery-Reloj-tiempo-DS3231-Parent/dp/B01M2B7HQB?th=1
*12	e-ika electrónica y robótica	https://www.e-ika.com/modulo-gps-gy-gps6mv2-para-arduino-2
*13	Amazon	https://www.amazon.es/Aexit-microondas-Interruptor-inteligente-85ba55ed2df83be83a7e018ee6bb0746/dp/B0838KKKN2/ref=sr_1_1_sspa?keywords=rwl-0516&qid=1647935738&sr=8-1-spons&psc=1&spLa=ZW5jenlwdGVkUXVhbGlmaWVyPUExWE0zSFRTNVNRR0hWJmVuY3J5cHRlZElkPUEwNjQxNTA0MIYwVVK2ME1LR1REUSZlbnNyeXB0ZWRBZEIkPUEwMzk5Nzk0MkY5UIBYM01PMIQxRSZ3aWRnZXROYW1IPXNwX2F0ZiZhY3Rpb249Y2xpY2tSZWRpcmVjdCZkb05vdExvZ0NsaWNRPXRydWU=

*14	Amazon	https://www.amazon.es/ARCELI-Canales-Raspberry-optoacoplador-expansi%C3%B3n/dp/B07MY2R2ML/ref=pd_sbs_sccl_6/259-4988293-5670063?pd_rd_w=2wZtn&pf_rd_p=bead054f-de1a-4d92-98b9-04253f60cdcd&pf_rd_r=BZQTE5Y6373Q9W69PQHK&pd_rd_r=f46c622a-9d61-4880-a0cc-2679771ec251&pd_rd_wg=jfLYN&pd_rd_i=B07MY2R2ML&psc=1
*15	TecnoLoop	https://tecnoloop.es/producto/cargador-inalambrico-invisible-para-mobiliario-inloop/
*16	TecnoLoop	https://tecnoloop.es/producto/cargador-doble-usb-para-mueble-pipo/

Tabla 8-2 Enlaces de compra de todos los elementos que componen el proyecto. (Fuente: elaboración propia).

9. Conclusiones y trabajo futuro.

A lo largo de este proyecto hemos conseguido alcanzar todos los objetivos que nos habíamos planteado, abarcando todos los aspectos teóricos que atañen al diseño de un banco urbano alimentado mediante energía solar, que proporciona a sus usuarios diversas funcionalidades consistentes en un sistema de calefacción de su superficie, y en un conjunto de estaciones de carga de dispositivos electrónicos, tanto inalámbricas como por cable.

El sistema de calefacción, basado en la tecnología de suelo radiante eléctrico, supone la mayor parte del consumo de la instalación, mientras que el sistema de carga de dispositivos presenta un consumo mucho menor, hasta el punto de que lo hemos considerado despreciable en comparación con el resto de elementos.

A su vez, hemos diseñado un sistema lógico formado por un microcontrolador y un conjunto de periféricos. Estos periféricos están formados por un conjunto de sensores que se encargan de captar la información necesaria del medio, para transmitirla al microcontrolador y que este la procese y ejecute las acciones pertinentes por medio de los actuadores instalados. No es necesaria la intervención humana para el funcionamiento de los distintos sistemas, por lo que el banco urbano es completamente autosuficiente.

Para afrontar el consumo eléctrico del conjunto de cargas y del sistema lógico, hemos diseñado una instalación solar fotovoltaica aislada de la red eléctrica que hemos dotado de baterías, regulador e inversor para hacer frente a esta circunstancia de aislamiento. De esta forma, el banco solar urbano se convierte en un sistema totalmente independiente y aislado, sin la necesidad de la intervención humana para su correcto funcionamiento (salvo para realizar labores de mantenimiento cada cierto tiempo).

Esta instalación está dotada de baterías y regulador, para poder almacenar la energía eléctrica que se produce y no se consume en el momento. Hemos diseñado estas baterías para que proporcionen una autonomía de unos 5 días aproximadamente, con un funcionamiento diario de las cargas de unas 4 horas, teniendo siempre en cuenta para su diseño los datos disponibles sobre la radiación solar diaria más desfavorable de los últimos 10 años. Del mismo modo,

hemos utilizado diversos factores de sobredimensionado para garantizar el correcto funcionamiento. No hemos desarrollado esta instalación para que esté en funcionamiento ininterrumpidamente, si no para que aporte a los usuarios estas prestaciones el mayor tiempo que las condiciones de radiación lo permitan.

Para llevar a cabo toda la instalación hemos establecido también las características físicas debe tener el cableado eléctrico. Estas características físicas están relacionadas fundamentalmente con la sección y la longitud, y dependen directamente de la intensidad que circula por cada tramo del mismo, así como las máximas caídas de voltaje permitidas según el reglamento.

La principal problemática que se nos ha presentado consistió en la necesidad de implementar todos los sistemas de la forma más protegida posible frente a los factores externos, meteorológicos y humanos. Por este motivo, hemos diseñado la instalación de tal forma que todos los sistemas se encontraran ocultos bajo la superficie del banco, a excepción de las tomas de carga USB, los paneles solares, y la interfaz con el usuario del sistema lógico (pantalla LCD). De esta forma el proyecto adquiere una robustez muy elevada, estando protegido frente a los actos de vandalismo y las inclemencias del tiempo, lo que presumiblemente permitirá que se conserve en buen estado a lo largo del tiempo. Este factor ha sido determinante a la hora de escoger el tipo de tecnología empleada para cada uno de los sistemas, ya que no todas permiten ocultar sus elementos con facilidad sin reducir su rendimiento. Asimismo, hemos conseguido que el tamaño del conjunto sea lo más reducido posible, sin poner en juego la viabilidad del proyecto.

TRABAJO FUTURO

Una vez realizado este diseño teórico, cuando se proceda a llevar a cabo la construcción del banco sería de vital importancia conocer el lugar exacto de su construcción, ya que en función de este habrá que decidir la disposición exacta del conjunto de dispositivos que lo componen.

Asimismo, sería conveniente realizar un nuevo estudio de mercado, y barajar posibles alternativas a los dispositivos seleccionados, siempre que tengan las mismas

especificaciones técnicas. Dado que la tecnología solar se encuentra actualmente en constante desarrollo, también cabe la posibilidad de que para unas dimensiones similares hayan surgido dispositivos con características técnicas de mayor gama, lo cual permitiría rediseñar la instalación para poder incorporar funciones adicionales a las diseñadas, o bien que estas sean alimentadas durante un periodo de tiempo mucho mayor.

En último lugar será necesario decidir cuáles van a ser los materiales exactos de los cuales van a estar confeccionadas las partes físicas del banco. De nuevo habrá que realizar un estudio de mercado para saber que materias primas son las que mejores prestaciones de calidad precio aportarán, siempre que sus propiedades físicas no se interpongan en los objetivos del proyecto, principalmente la conductividad térmica del material que confeccione la superficie del banco donde se ubiquen los usuarios, para permitir el correcto funcionamiento del sistema de calefacción basado en el principio del suelo radiante eléctrico. Asimismo, hay que tener en cuenta que estos materiales tengan buena resistencia frente a los factores meteorológicos externos. Existe una amplia gama de materiales que se podrían emplear.

10. Lista de referencias bibliográficas

- [1] Oriol Planas, “Historia de la energía solar”, *Energía Solar*, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/historia> .[Accedido: 11-mayo-2022].
- [2] “Mobiliario urbano moderno: ocho maravillosos ejemplos de bancos con personalidad”, *Forjas Estilo*, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://forjas.es/blog/mobiliario-urbano-moderno/> .[Accedido: 25-mayo-2022].
- [3] Mikel Iturbe, “Calefacción por infrarrojos, ¿Cómo funciona?”, *Caloryfrio*, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/calefaccion-instalaciones-componentes/sistema-calefaccion-infrarrojos-como-funciona.html> .[Accedido: 12-mayo-2022].
- [4] “Calefactor infrarrojos IR Radiant Exteriores 1.500 W”, *trocobuy*. [En línea]. Disponible en: <https://www.trocobuy.com/en/page/producto/5083> .[Accedido: 12-mayo-2022].
- [5] “Calefacción por suelo radiante: precio, tipos y opiniones”, *Preciogas by Selectra*, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://preciogas.com/instalaciones/equipamiento/suelo-radiante> .[Accedido: 12-mayo-2022].
- [6] “Mobiliario urbano de hormigón y madera”, *Pepe Gascón arquitectura*, 2009. [En línea]. Disponible en: <https://www.pgarquitectura.es/proyectos/mobiliario-urbano-de-hormigon-y-madera> .[Accedido: 25-mayo-2022].

- [7] “Manual suelo radiante eléctrico”, *Elementos Calefactores AS*, [En línea]. Disponible en: https://www.sueloradiante.com/pdf/Manual_Suelo_radiante.pdf .[Accedido: 15-mayo-2022].
- [8] “¿Cómo se organiza un cable calefactor autorregulador?”, *ElectroEXPERT*, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://electroexp.com/es/kak-ustroen-samoreguliruyushhijsya-greyushhij-kabel.html> .[Accedido: 16-mayo-2022].
- [9] José Alfonso Alonso Lorenzo, “Manual de cálculo de instalación fotovoltaica aislada con baterías”, *SunFields Europe*. [En línea]. Disponible en: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/calculo-sistema-fotovoltaico-aislado/> .[Accedido: 17-mayo-2022].
- [10] “¿Cómo orientar e inclinar mi instalación fotovoltaica?”, *Tarifagasluz by Selectra*, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://tarifagasluz.com/autoconsumo/instalacion/inclinacion-y-orientacion> .[Accedido: 17-mayo-2022].
- [11] “Banco público contemporáneo Woody Scorpio”, *mmcité Street furniture*. [En línea]. Disponible en: <https://www.archiexpo.es/prod/mmcite-street-furniture/product-63740-2014451.html> .[Accedido: 25-mayo-2022].
- [12] “PVGIS Photovoltaic Geographical Information System”, European Comission. [En línea]. Disponible en: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-photovoltaic-geographical-information-system_en .[Accedido: 25-mayo-2022].
- [13] “Diferencias entre silicio monocristalino y multicristalino o policristalino”, *AutoSolar*, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://autosolar.es/placas-fotovoltaicas/diferencias-entre-silicio->

- [monocristalino-y-multicristalino-o-policristalino](#) .[Accedido: 18-mayo-2022].
- [14] Yúbal Fernández, “Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno”, XATAKA, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno> .[Accedido: 20-mayo-2022].
- [15] Daniel J. Bolaños, “Tipos de Arduinos”, *bolanosdj*. [En línea]. Disponible en: <https://www.bolanosdj.com.ar/MOVIL/ARDUINO2/tiposarduino.pdf> .[Accedido: 20-mayo-2022].
- [16] Jozef Stefan y Ludwig Boltzmann, “Ley de Stefan-Boltzmann”, 1884.
- [17] Luis del Valle Hernández, “Termómetro infrarrojo con Arduino MLX90614”, programarfácil, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://programarfácil.com/blog/arduino-blog/termometro-infrarrojo-con-arduino-mlx90614/> .[Accedido: 25-mayo-2022].
- [18] Luis Llamas, “Arduino y el termómetro infrarrojo a distancia MLX90614”, *Luis Llamas ingeniería, informática y diseño*, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/arduino-y-el-termometro-infrarrojo-a-distancia-mlx90614/> .[Accedido: 25-mayo-2022].
- [19] Luis Llamas, “Reloj y calendario en Arduino con los RTC DS1307 y DS3231”, *Luis Llamas ingeniería, informática y diseño*, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/reloj-y-calendario-en-arduino-con-los-rtc-ds1307-y-ds3231/> .[Accedido: 25-mayo-2022].
- [20] Luis Llamas, “Localización GPS con Arduino y los módulos GPS NEO-6”, *Luis Llamas ingeniería, informática y diseño*, 2016. [En

- línea]. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/localizacion-gps-con-arduino-y-los-modulos-gps-neo-6/> .[Accedido: 25-mayo-2022].
- [21] Luis Llamas, “Detector de movimiento con Arduino y radar de microondas RCWL-0516”, *Luis Llamas ingeniería, informática y diseño*, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/arduino-detector-movimiento-rcwl-0516/> .[Accedido: 25-mayo-2022].
- [22] “Relé”, *Wikipedia*, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Relé> .[Accedido: 23-mayo-2022].
- [23] “Arduino Mega 2560 REV3”, *Tosta Tronic*. [En línea]. Disponible en: <https://tostatronic.com/store/placas/1925-arduino-mega-2560-rev3-7630049200067.html> .[Accedido: 25-mayo-2022].
- [24] Samuel Fernández, “¿Qué es y cómo funciona la carga inalámbrica en los teléfonos móviles?”, *XATAKA*, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.xatakamovil.com/desarrollo/que-es-y-como-funciona-la-carga-inalambrica-en-los-telefonos-moviles> .[Accedido: 23-mayo-2022].
- [25] Ernesto Rodríguez, “Cálculo sección cables para fotovoltaica”, *AreaTecnologia*. [En línea]. Disponible en: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/cables-fotovoltaica.html> .[Accedido: 31-mayo-2022].
- [26] *Reglamento electrotécnico para baja tensión e ITC*, Boletín Oficial del Estado, 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.boe.es/biblioteca_juridica/codigos/codigo.php?modo=2&id=326_Reglamento_electrotecnico_para_baja_tension_e_ITC .[Accedido: 31-mayo-2022].
- [27] *Electric cables for photovoltaic systems with a voltage rating of 1,5 kV DC*, IEC 62930, 2017.
- [28] *Cables eléctricos para sistemas fotovoltaicos*, UNE-EN 50618, 2015.

11.Apéndices.

- ❖ **Apéndice 1:** código fuente desarrollado para implementar en el microcontrolador Arduino Mega 2560 para que reciba la información, la procese y actúe sobre los respectivos periféricos según las condiciones desarrolladas en el apartado 5.6.

12. Anexos.

- ❖ **Anexo 1:** hoja técnica cables calefactores autorregulables *Pentair Raychem* BTV.
- ❖ **Anexo 2:** hoja técnica panel fotovoltaico monocristalino *JA SOLAR JAM72S20-445-470/MR*.
- ❖ **Anexo 3:** hoja técnica baterías solares *Hoppecke* Power VL Series OPzS.
- ❖ **Anexo 4:** hoja técnica regulador de carga *SRNE* MPPT SR-ML 12/24V 20-30-40A.
- ❖ **Anexo 5:** hoja técnica inversor *Victron Energy* Phoenix Smart 1600VA-3000VA.
- ❖ **Anexo 6:** hoja técnica inversor híbrido *MasterPower* Omega UM 3k-24.
- ❖ **Anexo 7:** hoja técnica sensor de humedad y temperatura *Sensirion* SHT3x-DIS.
- ❖ **Anexo 8:** hoja técnica sensor de temperatura infrarrojo *Melexis* familia MLX90614.
- ❖ **Anexo 9:** hoja técnica módulo GPS NEO-6 *u-blox* 6.
- ❖ **Anexo 10:** hoja técnica sensor de microondas RCWL-0516.
- ❖ **Anexo 11:** hoja técnica pantalla *Gravitech* LCD-20x4B.
- ❖ **Anexo 12:** catalogo *TecnoLoop*.
- ❖ **Anexo 13:** hoja técnica cable solar certificado *Top Cable* TOPSOLAR PV H1Z2Z2-K.