

UNIVERSIDAD DE LAS ISLAS BALEARES

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

DEPARTAMENTO DE FÍSICA



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

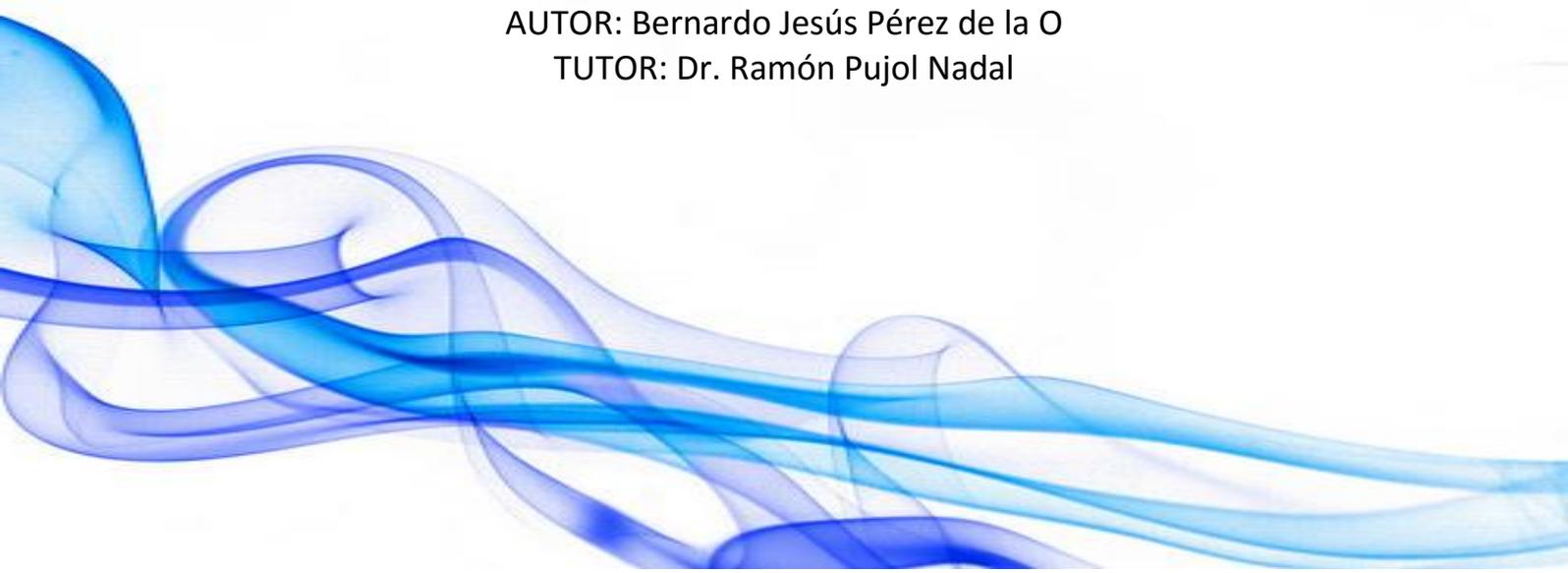
# TRABAJO DE FIN DE GRADO

**DISEÑO DE UN MÓDULO FOTOVOLTAICO PARA SU APLICACIÓN  
EN PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA ENERGÍAS RENOVABLES**

**EPSU0406**

AUTOR: Bernardo Jesús Pérez de la O

TUTOR: Dr. Ramón Pujol Nadal



## Tabla de contenido

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
1.1. MOTIVACIÓN	3
1.2. OBJETIVOS	3
1.3. CONTEXTUALIZACIÓN	4
1.4. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO	4
<b>2. LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA</b>	<b>5</b>
2.1. HISTORIA	5
2.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	6
2.3. CÉLULA FOTOVOLTAICA	6
2.4. RADIACIÓN SOLAR	8
2.5. DESARROLLO DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN EL MUNDO <sup>3</sup>	9
2.6. LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN ESPAÑA <sup>4</sup>	14
2.7. INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS	16
<b>3. AFINACIÓN DE LA PRÁXIS</b>	<b>22</b>
3.1. PRÁCTICAS EN UNIVERSIDADES ESPAÑOLAS	22
3.2. TOMA DE DECISIONES	23
3.3. MÓDULOS DE PRÁCTICAS EXISTENTES PARA DOCENCIA	23
3.4. DISEÑO DEL MÓDULO DE LABORATORIO REALIZADO	25
<b>4. DISPOSITIVOS UTILIZADOS</b>	<b>28</b>
4.1. PANEL FOTOVOLTAICO	28
4.2. INVERSOR – REGULADOR	29
4.3. BATERÍAS	30
4.4. SONDA DE TEMPERTATURA PT1000	30
4.5. PIRANÓMETRO	31
4.6. REGISTRADOR DE DATOS ADC-24	32
4.7. REGISTRADOR DE DATOS DE TEMPERATURA PT-104	33
4.8. MULTÍMETRO	34
4.9. BRÚJULA	34
4.10. ELEMENTO DE CÁLCULO DEL ÁNGULO DE INCIDENCIA SOLAR	35
4.11. RESISTENCIA VARIABLE DE POTENCIA	36
4.12. MÓDULO DE LABORATORIO CREADO	37
<b>5. CRITERIOS SOBRE GUIÓN DE PRÁCTICAS</b>	<b>38</b>
<b>6. MEDICIONES Y ENSAYOS REALIZADOS</b>	<b>39</b>
6.1. BATERÍAS	39
6.2. INVERSOR	39
6.3. PANEL FOTOVOLTAICO	40
6.4. DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN	40
6.5. DATOS RECOGIDOS DURANTE LA RESOLUCIÓN DE LA PRÁCTICA PROPUESTA	41
6.6. ESTUDIO DEPENDENCIA TEMPERATURA PLACA Y CURVA I-V	42
<b>7. ERRORES EVITABLES DURANTE LA PRÁCTICA</b>	<b>43</b>
7.1. IRRADIANCIA	43
7.2. VIENTO	43
7.3. MOVIMIENTO DE LA TIERRA	43
<b>8. CONCLUSIÓN</b>	<b>44</b>
<b>ANEJO 1: PROPUESTA GUIÓN DE PRÁCTICAS</b>	<b>45</b>
<b>ANEJO 2: RESULTADOS PROPUESTA GUIÓN DE PRÁCTICAS</b>	<b>65</b>

<b>ANEJO 3: DATOS PARTE IRRADIANCIA VARIABLE EN PROPUESTA GUIÓN DE PRÁCTICAS .....</b>	<b>71</b>
<b>ANEJO 4: DATOS PARTE IRRADIANCIA CONSTANTE EN PROPUESTA GUIÓN DE PRÁCTICAS .....</b>	<b>72</b>
<b>ANEJO 5: ESPECIFICACIONES MULTÍMETRO METERMAN 34XR .....</b>	<b>73</b>
<b>ANEJO 6: HOJA DE CARACTERÍSTICAS SONDA PT-1000 .....</b>	<b>75</b>
<b>ANEJO 7: HOJA DE CARACTERÍSTICAS RESISTENCIA VARIABLE .....</b>	<b>76</b>
<b>ANEJO 8: ESPECIFICACIONES PIRANÓMETRO CMP-3 .....</b>	<b>79</b>
<b>ANEJO 9: DATOS TÉCNICOS INVERSOR AJ 350-24-S .....</b>	<b>80</b>
<b>ANEJO 10: ESPECIFICACIONES ADC-24 DATA LOGGER.....</b>	<b>82</b>
<b>ANEJO 11: ESPECIFICACIONES USB PT-104 DATA LOGGER .....</b>	<b>85</b>
<b>ANEJO 12: EVOLUCIÓN FOTOGRÁFICA .....</b>	<b>86</b>
<b>ANEJO 13: MEDIDAS MÓDULO FOTOVOLTAICO .....</b>	<b>100</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>101</b>

# 1. INTRODUCCIÓN

---

## 1.1. MOTIVACIÓN

La motivación del presente Trabajo de Fin de Grado (T.F.G. de aquí en adelante) surge debido a la estructura de la metodología docente de la asignatura optativa Energías Renovables (Código 22443) de la Universidad de las Islas Baleares.

La asignatura mencionada, se imparte en el Grado de Ingeniería Electrónica Industrial y Automática, el cual, actualizó a la Ingeniería Técnica especializada en Electrónica Industrial y Automática por la aprobación del Proceso de Bolonia.

El Proceso de Bolonia propone la creación de un Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) implicando la instauración de una metodología docente que reúne la evaluación continua con la enseñanza práctica.

Desde el inicio del grado mencionado en el segundo párrafo (año 2010), la metodología docente de la asignatura Energías Renovables se basa en unas clases de problemas en la modalidad de las clases prácticas. Estos problemas consisten en realizar los cálculos necesarios para el dimensionado de instalaciones de energías renovables, así como la elección de los elementos principales que las componen.

Debido a lo anterior, surge este T.F.G., facilitando una actividad de trabajo presencial en la modalidad de las clases prácticas con su correspondiente peso en la evaluación docente de la propia asignatura.

## 1.2. OBJETIVOS

Los objetivos pueden ser clasificados en generales y específicos, siendo ellos:

### **Objetivos Generales**

- Introducir un nuevo elemento de aprendizaje orientado al alumno basado en la práctica experimental
- Ofrecer una parte práctica a la metodología docente de la asignatura Energías Renovables con su evaluación correspondiente.
- Motivar al alumnado y mejorar el proceso de aprendizaje.

### **Objetivos Específicos**

- Profundizar en el aprendizaje sobre la energía fotovoltaica.
- Conocer el proceso de instrumentación para la caracterización de un panel fotovoltaico.
- Conocer la dependencia de la salida de un panel fotovoltaico frente a la radiación y temperatura de célula.

### 1.3. CONTEXTUALIZACIÓN

De manera introductoria, el módulo fotovoltaico realizado consta de dos elementos principales debido al volumen que ellos ocupan. Todo el conjunto, ha sido diseñado única y exclusivamente por el autor del presente T.F.G.

De un lado, se dispone de una estructura reclinable en la que se emplaza la placa fotovoltaica. Esta estructura está diseñada para las medidas de la placa facilitada, sin embargo, puede ser adaptada de manera rápida y sencilla al tamaño de otras placas fotovoltaicas mediante perforaciones para poder acoplar anclajes que puedan soportar el elemento en cuestión. En ella, se transforma un movimiento rotatorio, provocado por una manivela, en un movimiento lineal. Gracias a lo anterior, y mediante elementos de conexión, se consigue llevar a cabo la inclinación deseada.

Por otro lado, los elementos principales restantes, se alojan en un panel vertical, con la finalidad de llevar a cabo el proceso de toma de resultados de forma organizada. En este caso, se dispone de elementos eléctricos con los que el alumno podrá verificar el funcionamiento de los dispositivos para sus diferentes estados.

Ambos elementos, se encuentran caracterizados por la presencia de ruedas giratorias con las que poder mover, sin esfuerzo alguno, estos elementos.

### 1.4. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

El documento se estructura de modo que la lectura se vaya haciendo cada vez más profunda en los capítulos determinados por su definición.

De acuerdo con lo precedente, el capítulo 1, recoge una breve introducción del propio TFG, dando una idea sobre lo realizado describiendo los objetivos marcados.

El capítulo 2 se centra, de manera breve, en introducir al lector al mundo de la energía fotovoltaica, explicando los elementos principales y el punto en el que nos encontramos respecto a otros países punteros en energías renovables. De manera análoga, se introduce el modelo solar seguido las mediciones.

El diseño del módulo se detalla a lo largo del capítulo 3, donde se representará los pasos seguidos durante el proceso de confección. La información referente a los dispositivos utilizados, se recoge en el capítulo 4. De manera adjunta, se encuentran sus manuales o guías de usuario.

El capítulo 5 expone los criterios optados para la elaboración de un posible guion de prácticas, el cual, se recoge como anexo. Las pruebas, ensayos y mediciones experimentales sobre el propio módulo, son recogidas en el capítulo 6.

El capítulo 7 menciona los factores evitables durante la realización de la práctica propuesta. Finalmente, el capítulo 8 presenta la conclusión del autor del T.F.G.

## 2. LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

---

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía que produce electricidad de origen renovable, obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o bien mediante una deposición de metales sobre un sustrato denominada célula solar de película fina.<sup>1</sup>

### 2.1. HISTORIA

El físico francés Alexandre Edmond Becquerel fue quien constató el concepto del efecto fotovoltaico en el año 1839. Sus estudios sobre el espectro solar, magnetismo, electricidad y óptica son el pilar científico de la energía fotovoltaica. Sin embargo, no fue hasta el año 1883 en que se fabricara la primera célula solar, realizada por el inventor norteamericano Charles Fritts. Desarrolló una muestra semiconductor de selenio, recubierta de una fina capa de oro, la cual, disponía de una eficiencia del 1%. Debido al coste que suponía, su uso fue para sensores de luz en la exposición de cámaras fotográficas, no obstante, sirvió para verificar la posibilidad de obtener electricidad a partir de la luz. Los estudios sobre inducción electromagnética, fuerzas eléctricas y ondas electromagnéticas realizados en el siglo XIX por Faraday, Maxwell, Tesla y Hertz sirvieron de ayuda para que en el 1921 Albert Einstein ganara el Premio Nobel de Física por su trabajo en el que se describe la naturaleza de la luz y el efecto fotoeléctrico, siendo ahora mismo el fundamento de la conversión de la energía solar en electricidad. El inventor estadounidense Russel Ohl, patentó la primera célula solar de silicio en 1946, pero el investigador estadounidense Gerald Pearson, de los Laboratorios Bells, descubrió de manera accidental, experimentando en la electrónica, creó una célula fotovoltaica más eficiente con silicio. Gracias a esto, Daryl Chaplin y Calvin Fuller, también de los Laboratorios Bells, mejoraron esta célula solar para un uso más práctico. Empezaron la primera producción de paneles solares en 1954, que se utilizaron en su mayoría en satélites espaciales. En los 70's, el primer uso general para el público, fue con calculadoras que, aún hoy en día, se siguen utilizando actualmente. De ahí en adelante, una expansión del mercado de consumo, junto con una sucesión de procesos industriales permitieron una reducción drástica del coste de producción que suponían

## 2.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

La luz solar está compuesta por fotones de diferentes energías, debido a las diferentes longitudes de ondas del espectro solar. Según la Teoría de Bandas, un material semiconductor se caracteriza por tener dos bandas de valencia y de conducción separadas por una pequeña banda prohibida, en la que los electrones no pueden localizarse.

La unión de un número elevado de átomos y a la pequeña diferencia de energía entre los numerosos niveles de energía más altos (orbitales de valencia), da lugar a que pueda considerarse como si los niveles de energía similar, formen bandas continuas y brechas energéticas entre las bandas.

Las bandas de energía se clasifican en dos grupos conocidos como, banda de valencia, ocupada por los electrones de valencia de los átomos, y banda de conducción, ocupada por los electrones libres, desligados de los átomos pudiendo moverse libremente.

Para que un material sea un buen conductor de la corriente eléctrica, debe tener una separación entre las bandas de conducción y valencia (banda prohibida), pequeña o nula, con el fin de que existan electrones que puedan atravesar la banda prohibida.

Cuando un fotón, con la suficiente energía como para pasar la banda prohibida, colisiona con una célula, es absorbido por el material semiconductor presente en la célula y se libera un electrón, quien deja una carga positiva conocida como *hueco*, que después será ocupado por un nuevo electrón.

De acuerdo con lo anterior, la generación de pares de electrón-hueco, crea un flujo de electrones libres dando lugar a la creación de un campo eléctrico, generando así una corriente eléctrica.

## 2.3. CÉLULA FOTOVOLTAICA

La célula fotovoltaica (Imagen 1) se encuentra formada por unas delgadas láminas de un material semiconductor, siendo la parte más importante de la célula. Las delgadas láminas, son tratadas especialmente con el fin de conseguir láminas dopadas de manera diferentes. Además de lo anterior, las células están formadas por una malla metálica superior cuyo objetivo es recolectar los electrones del semiconductor y transferirlos a la carga y una malla inferior para completar el circuito eléctrico. Asimismo, en la parte superior existe una capa antirreflejo, encargada de aumentar el número de fotones absorbidos, y una capa de vidrio u otro material, que protege a la célula de las condiciones ambientales.

Las células, suelen tener una forma cuadrada de 10cm de lado y un grosor que oscila entre 0,25 y 0,35mm. Ello viene determinado por el proceso de fabricación.

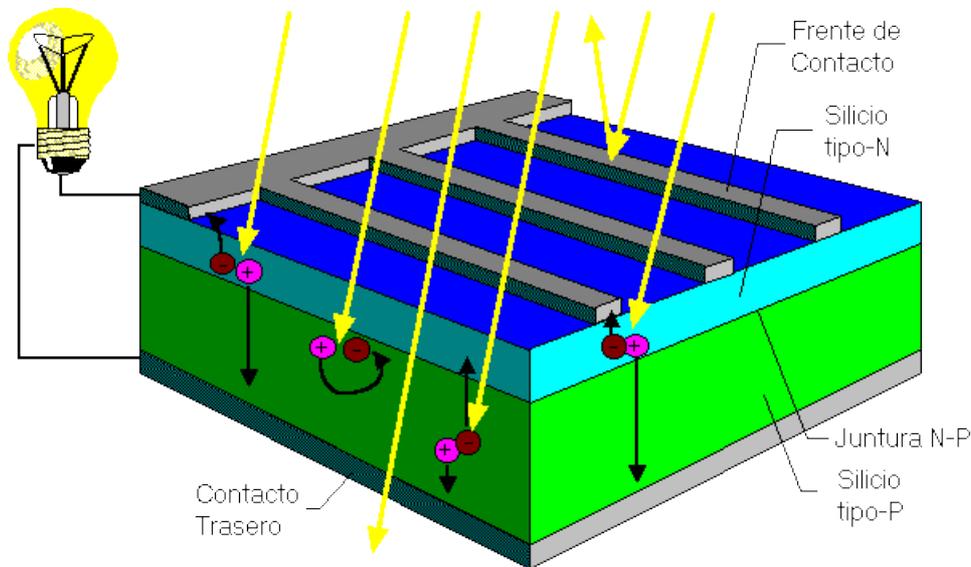


Imagen 1: Composición de una célula fotovoltaica

Actualmente, el mercado numerosos tipos de células, sin embargo, el grupo de mono-cristalinas es el más utilizado gracias a sus prestaciones y durabilidad. Todas las células pertenecen a uno de los grupos de a continuación, diferenciados por la estructura que presenta el material:

- a) Mono-cristalinas
- b) Amorfás
- c) Poli-cristalinas

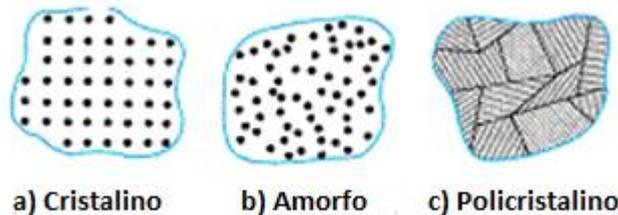


Imagen 2: Diferentes estructuras presentes en el silicio

Las mono-cristalinas fueron las primeras en ser manufacturadas, debido al mismo uso de técnicas para la fabricación de diodos y transistores. Su rendimiento energético llega al 15-17% y se les suelen asignar la abreviatura cSi. El proceso de fabricación del cristal de silicio requiere un alto consumo de energía eléctrica, dando lugar a un encarecimiento de las células.

Las poli-cristalinas, pSi, se obtienen mediante la fundición del silicio de grado industrial para verterlo en moldes de sección cuadrada. Como el coste del material y el procesado se simplifica son más económicas que las anteriores, pero con un rendimiento energético menor, del 12-14%.

Las amorfás, aSi, o de película delgada, se caracterizan por ser mucho más delgadas que las estructuras anteriores al tener un menor uso del material, por lo que su coste de producción se reduce. Sacrifican rendimiento energético, 10%, por el coste.

## 2.4. RADIACIÓN SOLAR

La radiación es la transferencia de energía por ondas electromagnéticas y se produce desde la fuente hacia el exterior en todas las direcciones. Estas ondas, no necesitan un medio físico de propagación, por lo que pueden viajar por el vacío.

El Sol se comporta como un cuerpo negro de una temperatura cercana a los 6.000K y emite energía de acuerdo con la ley de Planck. Se conoce como espectro electromagnético al conjunto de todas las longitudes de ondas. La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo al ultravioleta, ello es conocido como el espectro solar, que es de aproximadamente de un 49% para el infrarrojo, un 43% para la luz visible y un 8% para el ultravioleta.

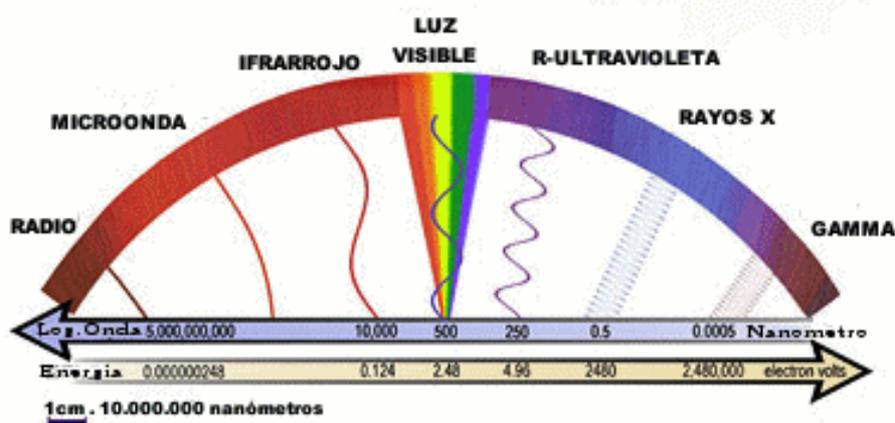


Imagen 3: Espectro electromagnético

La dirección con la que incide la radiación solar sobre los cuerpos en la superficie terrestre es importante para poder saber su comportamiento al ser reflejada, ya que un rayo reflejado depende del ángulo incidente. Debido a este fenómeno, se establece un modelo que diferencia dos maneras de clasificar la irradiación, directa y difusa.

- **Irradiación Solar Directa:** llega al cuerpo desde la dirección del Sol.
- **Irradiación Solar Difusa:** su dirección ha sido modificada por diversas circunstancias, sufriendo una dispersión en multitud de direcciones.

“La suma de ambas se conoce como *irradiación total* (o global) incidente. La irradiación depende en cada instante del ángulo que forman la normal a la superficie en el punto considerado y la dirección de incidencia de los rayos solares. Por supuesto, dada la lejanía del Sol respecto de nuestro planeta se puede suponer, con muy buena aproximación, que los rayos del Sol inciden de manera paralela sobre el planeta. No obstante, en cada punto del mismo, localmente considerado, la inclinación de la superficie respecto a dichos rayos depende de la latitud y de la hora del día para una cierta localización en longitud. Dicha inclinación puede definirse a través del ángulo que forman el vector normal a la superficie en dicho punto y el vector paralelo a la dirección de incidencia de la radiación solar.”<sup>2</sup>

## 2.5. DESARROLLO DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN EL MUNDO <sup>3</sup>

Todo comienzo tiene un origen y, en este caso, el origen se basa en el descubrimiento del principio del funcionamiento de la energía solar fotovoltaica, el efecto fotoeléctrico. Con el paso del tiempo, los avances técnicos permiten aprovechar el principio hasta el fin de lograr la conversión a una fuente de energía práctica y fiable.

### **DESDE SUS PRIMEROS PASOS HASTA SU USO EN SATÉLITES**

En 1956 el precio del vatio de electricidad producido en centrales convencionales oscilaba en 50 céntimos de dólar, mientras, el precio del vatio producido por paneles fotovoltaicos rondaba los 300 dólares. Debido a ello, la idea de suministrar elevadas cantidades de energía con esta tecnología quedaba descartada.

El principal ingreso provenía de la industria juguetera, donde su función era suministrar una pequeña energía a maquetas, y de la industria electrónica, donde su uso residía en el aporte energético en elementos sencillos como radios. Esta situación afectaba al desarrollo de esta tecnología.

Sin embargo, surgió la carrera espacial, donde la alimentación de los satélites hizo destacar la tecnología por suministrar energía en áreas de difícil acceso. Sus competidoras fueron la energía nuclear y el uso de baterías químicas. Por un lado, la energía nuclear brindaba varias complejidades, por otro lado, los sistemas con baterías, se caracterizaban por encontrarse inutilizados una vez que la batería se agotara.

De acuerdo con lo anterior, el desarrollo tecnológico del sector fue en auge. Empresas como Hoffman Electronic ofreció células solares de 14mW con un rendimiento del 3% a un coste de 1 500 \$/W en 1955, cuando en 1957 mejoró el rendimiento a un 8%.

No fue hasta el 17 de marzo del 1958 cuando se lanza el satélite Vanguard 1, siendo su principal fuente de alimentación unas baterías y, de manera secundaria, los paneles fotovoltaicos. Los paneles ofrecían 100 mW y ocupaban 100 cm<sup>2</sup>. El único consumo era el de un transmisor de 5mW. La sorpresa fue observar la descarga de las baterías en menos de un mes y el adelanto de la tecnología fotovoltaica al ser la principal fuente de alimentación en sus 5 años de operación.

De este modo, la carrera espacial ayudó al desarrollo de esta tecnología, sin embargo, sin ella no habríamos conocido la carrera espacial tal y como la conocemos en la actualidad.

Año	Nombre Satélite	Potencia fotovoltaica instalada	Satélite
1958	Vanguard I	100 mW	
1962	Telstar	14 W	
1964	Nimbus	470 W	
1966	Observatorio Astronómico Espacial	1 KW	
1973	Skylab	20 KW	

Tabla 1: Evolución de los satélites espaciales

## DEL ESPACIO A LA TIERRA

Pese al éxito anterior, los paneles fotovoltaicos no eran competitivos en aplicaciones terrestres. No fue hasta principios de los años 70 cuando el Dr. Elliot Berman y la ayuda financiera de EXXON se redujera el coste por vatio hasta los 20\$. Ello fue posible al uso de silicio con una pureza menor y unos materiales encapsulantes más económicos.

Gracias a ello, resultaba más viable el uso de paneles fotovoltaicos en zonas poco accesibles, como boyas marinas, faros, repetidores de telecomunicación, etc., a tender una red eléctrica e incluso a realizar un mantenimiento periódico de baterías. A medida que pasaba el tiempo, la tecnología iba en aumento.

En los años 80 surge la iniciativa de electrificar sociedades en países empobrecidos, donde el ambiente resultaba muy favorable para este tipo de tecnología. También surgen las primeras viviendas con presencia de aporte energético fotovoltaico en zonas desarrolladas.

La imagen inferior representa la evolución del precio de las células fotovoltaicas de manera dependiente de la evolución tecnológica sufrida.

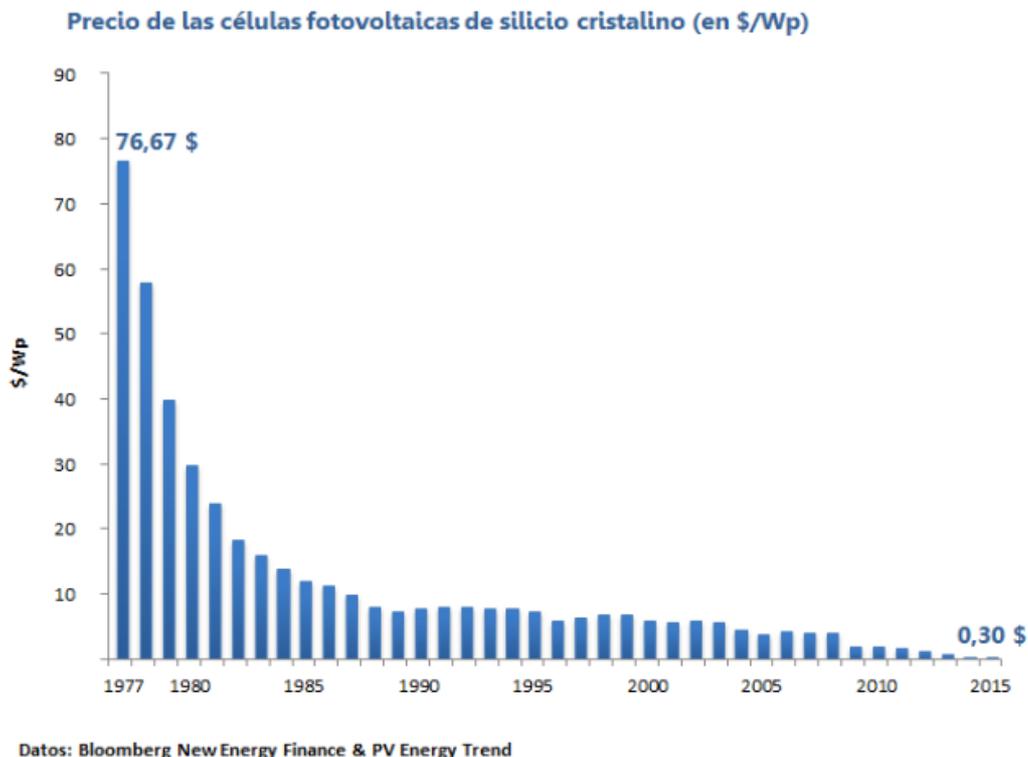


Imagen 4: Precio célula fotovoltaica de Si cristalino

## **ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN LOS ÚLTIMOS AÑOS**

En los años 90 y principios del siglo XXI, la tecnología fotovoltaica ha experimentado un descenso en coste y un aumento en eficiencia. Debido a ello, muchos gobiernos apoyan esta tecnología, obligando a las compañías eléctricas a comprar la electricidad fotovoltaica a un precio mucho mayor que el de venta y ofreciendo subvenciones.

El concepto de huerta solar aparece y una multitud de inversores se ven atraídos por su fuente de ingresos fijas y fiables. Una huerta solar es una asociación de inversores en una central fotovoltaica. Además de lo anterior, toma fuerza las instalaciones pequeñas y medianas.

En un inicio toman fuerza países como Alemania, España y Portugal, donde se crean grandes centrales que hasta el momento fueron las mayores del mundo. Tales ejemplos son las ubicadas en, Amaraleja (Portugal) de 50 MW, Olmedilla (España) de 60 MW, Puertollano de 50 MW (España), Parque Solar Neuhardenberg (Alemania) de 150 MW, etc.

A día de hoy, el incremento se ha visto superado hasta 4 veces, siendo actualmente la mayor central fotovoltaica *Solar Star Solar Farm I y II*. (EEUU) de 579 MW.

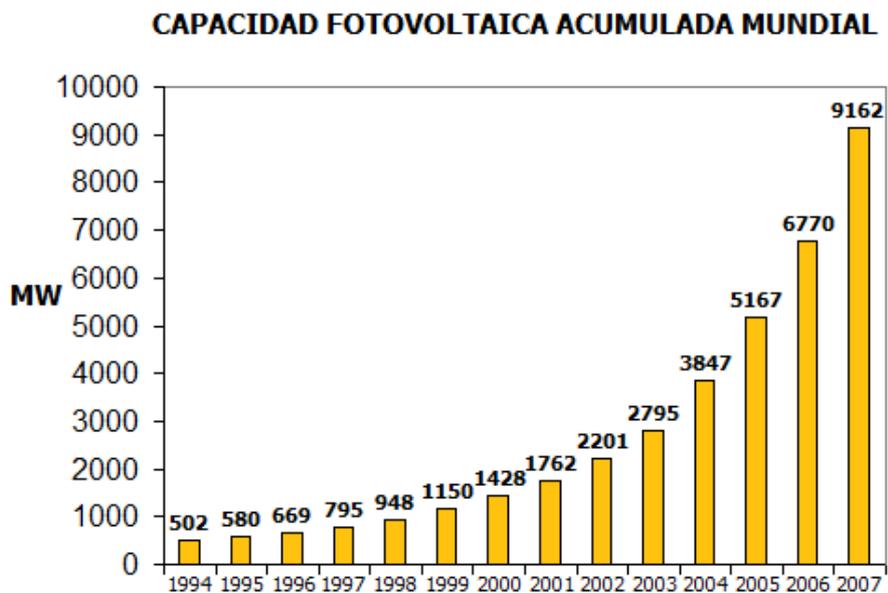


Imagen 5: Capacidad fotovoltaica acumulada mundial

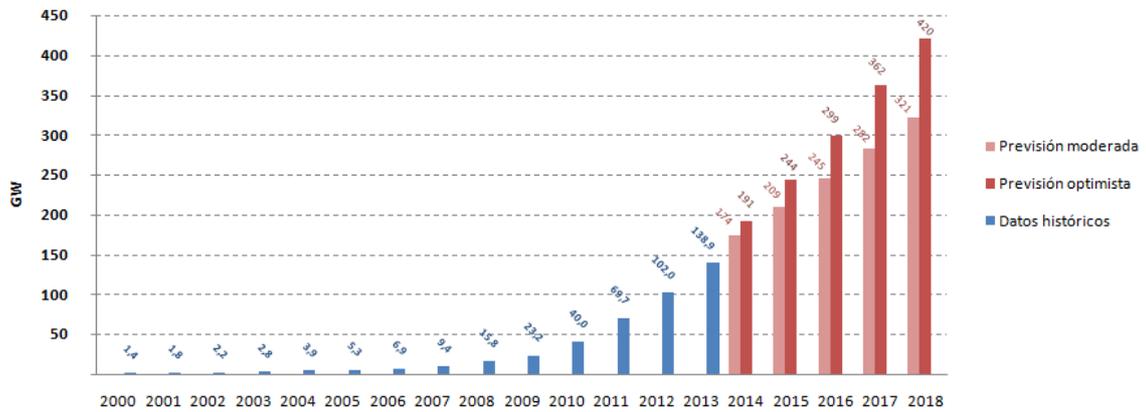


Imagen 6: Capacidad fotovoltaica instalada en el mundo

## ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN UN FUTURO

Existen varios factores optimistas acerca de su futuro debido a los avances tecnológicos y al apoyo institucional por potencias comerciales y de consumo como son la Unión Europea y los Estados Unidos.

Los avances tratan de alternativas a las células de silicio. Actualmente se ha conseguido películas flexibles con rendimientos de hasta un 25% y un proceso de elaboración reducido. Ejemplo de ello es la tecnología CIS (Cobre indio Selenio) y CIGS (Cobre indio Galio Diselenido).

Del mismo modo, se encuentran en proceso de desarrollo las células orgánicas con un rendimiento del 5% que encuentran su lugar en la industria plástica, y las células solares del tipo sensibilizado por tinte con un rendimiento cercano al 10%, las cuales, tienen un gran efecto visual, debido a que es posible variar su tonalidad hasta el punto de adaptarlas de manera translúcida.



Imagen 7: Ejemplo de la flexibilidad de los nuevos avances

Existen varias normativas que se basan en el compromiso de la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> y generar un porcentaje mayor al actual de que la energía provenga de fuentes renovables.

El proceso de implantación de la energía fotovoltaica se ve ralentizado por el coste que conlleva realizar este tipo de instalaciones, llegando a ser tres veces superior a las energías fósiles.

## 2.6. LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN ESPAÑA <sup>4</sup>

### **REGULACIÓN LEGAL**

España se encuentra en una zona geográfica propicia para la energía solar, ya que es uno de los países con mayor irradiación anual.

En 1998 el Gobierno aprobó el Real Decreto 2818/1998 en el que se establecieron unas primas de 30 y 60 pesetas por kWh que se vertía a la red para sistemas con potencia nominal superior e inferior a 5kWp respectivamente. De acuerdo con los resultados obtenidos, se publicó el Real Decreto 1663/2000, en el que se establecían condiciones técnicas y administrativas específicas. Sin embargo, los RD 436/2004 y RD 661/2007 fueron quienes impulsaron el desarrollo de centrales fotovoltaicas al estipular una prima de 44 céntimos de euro por kWh fotovoltaico que se inyectaba a la red.

En 2008 España se convirtió en el país de la UE con mayor potencia fotovoltaica instalada con 2708 MW instalados en ese mismo año. Sin embargo, el crecimiento se ralentizó por la presencia del RD 1578/2008, quien estableció unas primas variables en función de la ubicación de la instalación (32 y 34 céntimos de euro para ubicaciones en el suelo y en el tejado respectivamente), estando sujetas a un máximo de potencia anual instalada a partir del 2009 que se iría adaptando de manera anual según el comportamiento del momento. Debido a ello, en 2011 la energía fotovoltaica representó el 2,9% de la generación eléctrica según datos Red Eléctrica.

A finales del 2011 se aprobó el Real Decreto que estableció la regulación de las condiciones administrativas, económicas y técnicas de la conexión a la red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia. Sin embargo, todavía se encuentra por declarar la norma que desarrolle las condiciones técnicas necesarias para dichas conexiones y, al mismo tiempo, la regulación de un modelo de balance neto.

Hoy en día, el acceso a la red eléctrica se realiza con una serie de permisos de la administración y la autorización de la compañía eléctrica de la zona. Ello provoca un ralentizado de las energías renovables, ya que se buscan motivos técnicos para controlar intereses de las compañías en otras fuentes energéticas, bloqueando de este modo la iniciativa de la población a producir energía fotovoltaica.

## **SITUACIÓN ACTUAL**

La aprobación del RDL 1/2012 procedió a la suspensión de forma indefinida de los procedimientos de preasignación de retribución y de los incentivos económicos para las nuevas instalaciones renovables. Ello supuso que plantas fotovoltaicas que no estuvieran inscritas en cupo no recibieran primas alguna vendiendo la energía a precio de mercado.

Todo ello, sumado a la aprobación de los RD1565/2010 que limitaban la percepción de primas y el número de horas susceptibles de pago, supuso un frenado al desarrollo de la energía fotovoltaica.

Desde el Gobierno se justificaron como medidas necesarias para atajar el déficit de tarifa, la desviación entre los costes e ingresos del mercado eléctrico español, achacada a las energías renovables. Sin embargo, diferentes asociaciones del sector renovable rechazaron estas acusaciones argumentando que, aproximadamente, un 20% del déficit se debe a las primas del régimen especial y que en el periodo comprendido entre el 2000 y 2008, el déficit de tarifa fue 8.000 millones de euros mayor que las primas a las renovables cuando en España no se había desarrollado la industria fotovoltaica entonces.

Esta situación provoca contradicciones entre los objetivos de la UE para impulsar las energías renovables y en España. A finales del 2014 la potencia fotovoltaica instalada en España ascendió a 4.672 MW.

Afortunadamente, España ostenta el tercer puesto europeo en capacidad fotovoltaica acumulada. Las fuentes de energía no renovables son cada vez más caras y la necesidad de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> no puede seguir estancada.

## 2.7. INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

Existen principalmente dos tipos de instalaciones, caracterizadas por encontrarse conectadas o no a la red eléctrica. Ambas tienen ventajas y desventajas una frente a la otra, siendo un tema en continuo debate la legislación vigente del momento.

En este apartado, se da a conocer una breve introducción sobre las ventajas y diferencias que cada una dispone, siempre, haciendo referencia al ámbito español.

- **Instalación conectada a red:** la principal y fundamental ventaja sobre el otro tipo de instalación reside en disponer de suministro eléctrico siempre que sea necesario, tanto si se realiza un dimensionado para una cierta carga o, además, ostentar la posibilidad de pasar por periodos de escasez de suministro solar.

Su desventaja reside principalmente en la legislación vigente como se mencionaba anteriormente. La posibilidad de producir un exceso de energía se suma al consumo que se haga de la red, algo que se penaliza por producir un excedente de energía que fue implementado para evitar fraudes en el consumo. A todo ello, existe un peaje de respaldo que debe ser considerado, ya que siempre se debe de pagar por el simple hecho de poderse dar la posibilidad de realizar un consumo de la red. Finalmente, el sistema completo debe estar legalizado, por lo que el sistema se ve encarecido notablemente.

- **Instalación aislada:** las ventajas residen principalmente en la ausencia de las desventajas del tipo de instalación anterior (peaje de respaldo e independencia de la red eléctrica). Sin embargo, la desventaja principal es el encarecimiento del sistema, ya que supone el almacenaje de la energía en baterías, además, se debe tener un control más exhaustivo y minucioso sobre el consumo energético que se realice, debido a la posibilidad de quedarse sin energía durante un periodo de tiempo considerable. Esto último, no debería ser una desventaja propiamente dicha, ya que se trata de un tema que hace más referencia a la comodidad que a la sostenibilidad energética en sí.

El siguiente esquema ilustra los principales elementos que compone cualquier instalación fotovoltaica típica:

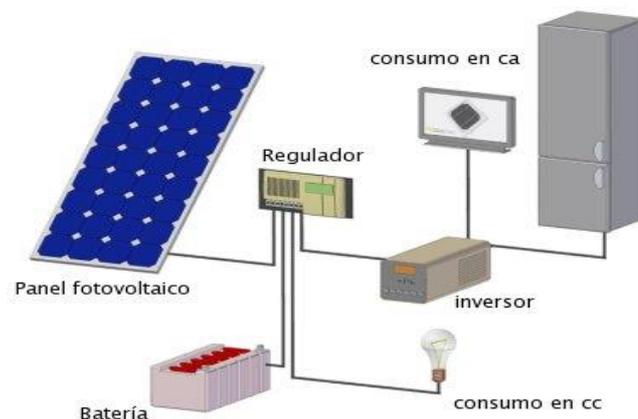


Imagen 8: Esquema instalación solar fotovoltaica

## PANEL FOTOVOLTAICO

Un panel fotovoltaico se compone por un conjunto de células solares conectadas en serie/paralelo, encargadas de transformar la energía procedente del sol en energía eléctrica. Los paneles se clasifican de acuerdo al tipo de células que los componen:

- **Cristalinas:**
  - **Monocristalinas:** compuestas por un único cristal de silicio. El proceso de fabricación es lento y muy costoso debido a las temperaturas necesarias para tal finalidad. Su eficiencia máxima oscila en torno al 24%.
  - **Policristalinas:** compuestas por pequeñas partículas cristalizadas por un proceso de enfriamiento lento. Su eficiencia máxima se encuentra alrededor del 15%.
- **Amorfas:** se tratan de una aleación de silicio en las que no ha cristalizado. Su eficiencia es pequeña, sin embargo, son muy económicas.

El principal elemento clave en el análisis de los paneles fotovoltaicos son las curvas corriente-tensión (I-V) y potencia-tensión (P-V) como las que se representan en las imágenes 9 y 10 respectivamente.

Las curvas, contienen puntos de estudio principales. Estos puntos representan, por un lado, la intensidad de cortocircuito ( $I_{sc}$ ), que no es más que la máxima corriente que puede extraerse del panel con una carga nula, en otras palabras, a tensión cero. Por otro lado, se encuentra el voltaje en circuito abierto ( $V_{oc}$ ), tratándose de la máxima tensión que proporciona el panel con la ausencia de ninguna carga.

La potencia es el producto de la tensión y la corriente. En cada curva se haya un punto para el cual, la potencia es máxima ( $P_{max}$ ), siendo éste, el óptimo de operación del panel ( $P_M$ ).

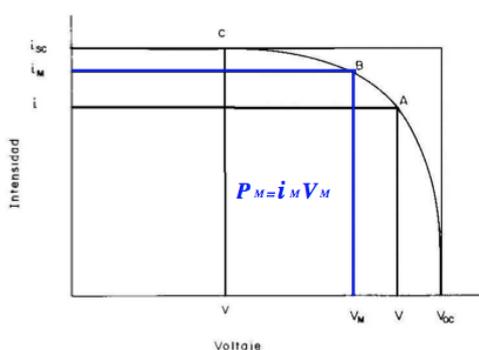


Imagen 9: Curva I-V

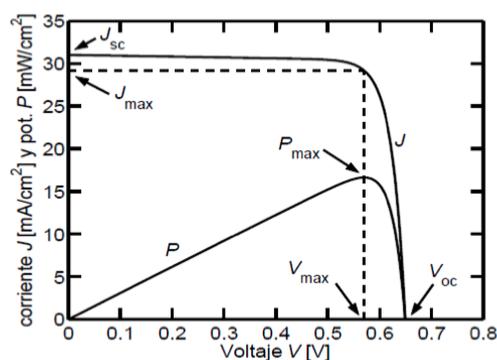


Imagen 10: Curva P-V

El papel de la temperatura de la célula y la radiación que ella recibe juegan un papel esencial en la caracterización de las curvas mencionadas.

Para el caso de disponer de una radiación constante y unas mediciones para temperaturas de célula diferentes, la intensidad de cortocircuito aumenta

ligeramente a medida que la temperatura aumenta, mientras, el voltaje en circuito abierto, disminuye. Ambos parámetros lo realizan de manera lineal. De acuerdo con este caso, la potencia máxima disminuye a medida que la temperatura de la célula aumenta.

En el caso de disponer de una temperatura de célula constante y una radiación variable, la intensidad de cortocircuito aumenta linealmente a medida que la radiación aumenta, mientras que el voltaje en circuito abierto también aumenta, pero ahora, de manera logarítmica. Por ende, la potencia máxima aumenta a medida que la radiación se ve aumentada.

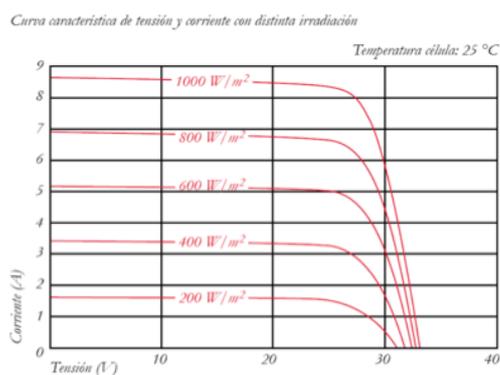


Imagen 11: Radiación constante

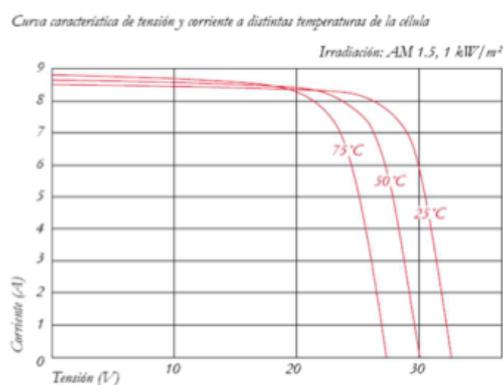


Imagen 12: Temperatura de célula constante

Los parámetros mencionados, se realizan bajo las condiciones estándares de ensayo (STC; *Standard Test Conditions*), con radiación de  $1000\text{W}/\text{m}^2$  y temperatura de célula de  $25\text{ }^\circ\text{C}$ . Existe otro tipo de ensayo más cercano a la realidad que algunos comerciales aportan. Él es el NOCT (*Normal Operating Cell Temperature*) y se caracteriza por tener una radiación de  $800\text{W}/\text{m}^2$  y temperatura ambiente de  $20\text{ }^\circ\text{C}$  y una velocidad del viento de  $1\text{ m/s}$ .

- **Potencia Máxima:** máxima potencia que se puede obtener del panel. Sus unidades son los watios pico (WP).
- **Intensidad de cortocircuito:** aquella intensidad que se obtiene entre los terminales de manera directa, sin resistencia y con la caída de tensión nula.
- **Voltaje de circuito abierto:** aquél voltaje que se obtiene del panel impidiendo el paso de corriente entre terminales.
- **Factor de forma, FF:** relación entre la potencia máxima que se puede entregar y el producto del voltaje en circuito abierto y la intensidad en circuito cerrado. Según lo anterior, es un concepto útil para medir la forma de la curva I-V

## REGULADOR

Se trata del dispositivo que protege a las baterías y a los paneles de sobrecargas, descargas, cortocircuitos en los puntos de consumo, etc. Su funcionalidad es de llevar un control constante del estado de las baterías regulando al mismo tiempo la intensidad de carga de éstas con el fin de prolongar su ciclo de vida.

Actualmente, la evolución de la electrónica permite que los reguladores dispongan de diferentes modos de uso de acuerdo a las circunstancias que puedan ocurrir llevando a cabo unas funciones de alarmas específicas que, por un control adaptativo, pueden ser fácilmente operadas por el usuario.

Existen unas etapas por las que el regulador puede encontrarse:

- **Carga en bruto:** más conocido como '*bulk*'. La intensidad que viaja a los acumuladores es máxima hasta que se consigue un 80-90% de carga del acumulador. Momento en el cual se pasa a la siguiente etapa.
- **Absorción:** la intensidad de carga baja lentamente y el voltaje se mantiene constante.
- **Flotación:** se baja el voltaje y se deriva corriente procedente de los módulos a una resistencia de disipación. Tan sólo, se permite una entrada de corriente con el fin de mantener el acumulador cargado. Todo lo anterior para conseguir una compensación de la autodescarga.
- **Ecualización:** se sobrecargan las baterías con el fin de igualar los elementos de los acumuladores. Suele realizarse una vez cada periodo de entre 15-30 días. Esto evita la sulfatación del sistema. Siempre y cuando el acumulador no sea de del o AGM al no tener presencia de electrolitos líquido.

## INVERSOR

Es el dispositivo encargado de transformar la corriente continua procedente del panel fotovoltaico y/o baterías a corriente alterna.

Los parámetros a tener en cuenta a la hora de su elección son:

- Versátil para un amplio rango de potencias.
- Bajo consumo en vacío, sin cargas conectadas.
- Resistente a los picos de arranque.
- Protección contra cortocircuitos.
- Regulación de la tensión y de la frecuencia de salida.

Existen modelos que incorporan inversor y regulador en el mismo espacio. Algunos inversores funcionan también como reguladores de carga de las baterías.

## **BATERÍA**

Se trata de un acumulador eléctrico capaz de acumular la energía eléctrica producida para un posterior uso. Entre sus principales funciones destacan las de mantener un voltaje estable en la instalación, suministrar una potencia instantánea superior a la de los paneles fotovoltaicos y suministrar energía en ausencia de radiación solar.

La característica principal a tener en cuenta es su capacidad, que es definida como aquella cantidad de electricidad que puede ser lograda en una descarga completa del acumulador. Sus unidades son los amperios hora (Ah) y es el producto de la intensidad de descarga del acumulador durante el tiempo que se encuentra operativo.

Otros parámetros a tener en cuenta son:

- **Eficiencia de carga:** que no es más que la relación entre energía empleada para recargar la batería y la energía almacenada.
- **Autodescarga:** es el proceso mediante el cual el acumulador tiende a perder carga a pesar de no estar en uso.
- **Profundidad de descarga:** se trata de la cantidad de energía, en tanto por ciento, que es obtenida del acumulador durante una determinada descarga, partiendo de una carga total. La vida útil del acumulador varía en función de la profundidad de descarga. Se mide en ciclos de carga-descarga.

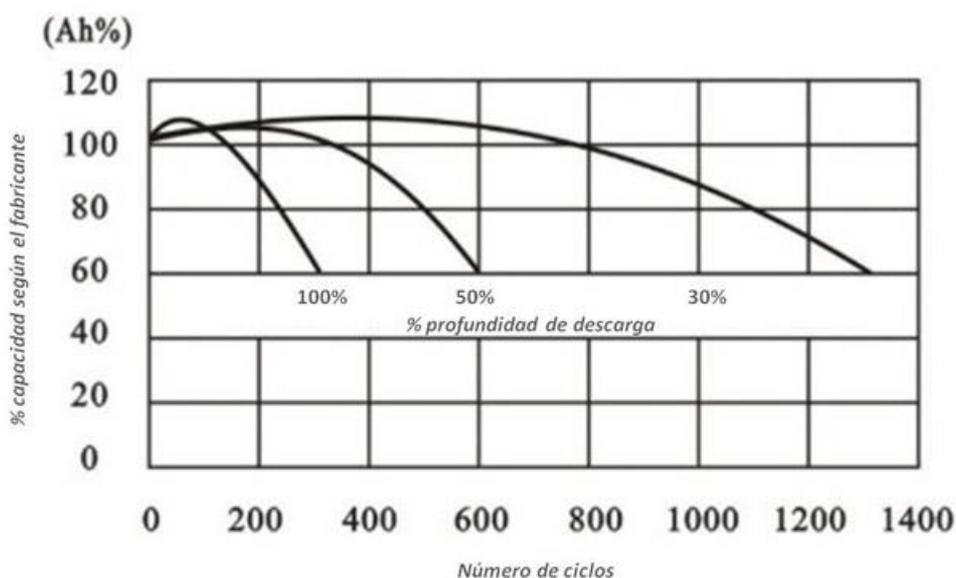


Imagen 13: Vida estimada de la batería en función de la profundidad de descarga.

Existen varios tipos de baterías clasificados según de la tecnología de su fabricación y de los electrolitos que utilizan. Entre ellas podemos destacar las marcadas en la tabla 2.

Tipo	Tensión por vaso	Tiempo de recarga	Autodescarga/mes	Nº ciclos	Capacidad	Precio
Pb-ácido	2	8-16 h	<5%	Medio	30-50 Wh/kg	Bajo
Ni-Cd	1,2	1 h	20%	Alto	50-80 Wh/kg	Medio
Ni-Mh	1,2	2-4 h	20%	Medio	60-120 Wh/kg	Medio
Li ion	3,6	2-4 h	6%	Medio-bajo	110-160 Wh/kg	Alto

Tabla 2: Características de los principales tipo de baterías.

En las instalaciones fotovoltaicas convencionales encontraremos la variedad perteneciente al tipo de plomo-ácido por sus características. En la tabla 3 se recogen las principales.

Tipo	Ventaja	Inconveniente	Aspecto
<b>Tubular estacionaria</b>	Ciclado profundo*	Precio Disponibilidad	
<b>Arranque</b>	Precio Disponibilidad	Tiempo de vida corto Escasa reserva de electrolito Funcionamiento en ciclados profundos	
<b>Solar</b>	Funcionamiento en ciclados medios Reserva de electrolito	Tiempo de vida medio	
<b>Gel</b>	Mantenimiento	Deterioro	

Tabla 3: Tipo de baterías utilizadas en las instalaciones solares convencionales

\*Proceso de carga-descarga

### 3. AFINACIÓN DE LA PRÁXIS

---

A lo largo del actual capítulo se expone de manera cronológica la evolución del presente T.F.G. hasta el resultado final del módulo de laboratorio realizado.

#### 3.1. PRÁCTICAS EN UNIVERSIDADES ESPAÑOLAS

Se realizó una búsqueda de prácticas de laboratorio afines a la propuesta, con la finalidad de conocer casos de éxito ya experimentados en otras universidades.

Si bien se realizó una búsqueda de prácticas similares a través de las guías docentes publicadas, no se pudo extraer información suficiente como para conocer la finalidad y objetivos de las prácticas que se realizaban.

Sin embargo, hubo un contacto con un profesor de la asignatura Generación Eléctrica con Energías Renovables de la Universidad Politécnica de Madrid, quien facilitó dos guiones de prácticas. El primero de ellos, tiene como objetivo inicial, obtener la curva característica IV de un panel fotovoltaico, mediante una aplicación informática y unas cargas determinadas, y comparar los resultados obtenidos con los datos proporcionados con el fabricante.

El siguiente objetivo sería analizar los dos estados de la batería (carga y descarga) frente a dos cargas conectadas al sistema panel + batería. Los resultados se obtienen por la aplicación informática mencionada anteriormente.

Para finalizar con una parte de la práctica, se establece el objetivo de calcular la carga máxima a la que se puede alimentar (en corriente continua y régimen permanente) la instalación anterior considerando diferentes autonomías en diferentes condiciones meteorológicas. Finalmente, se realiza una evaluación del potencial energético de un ejemplo de instalación.

Por otro lado, el último guion trata del control de la potencia activa y reactiva inyectadas a la red por un inversor autónomo alimentado desde una instalación fotovoltaica.

Sus objetivos se pueden resumir como un acercamiento a la teoría de control vectorial para controlar las potencias activas y reactivas, comprobación experimental de la regulación de las diferentes potencias mencionadas anteriormente y aplicación a la obtención de la máxima potencia activa generada por la instalación fotovoltaica analizada.

De acuerdo con los sistemas de medición utilizados y a los que el autor del presente T.F.G tiene a su disposición, únicamente sería interesante realizar las mediciones experimentales del primer guion mediante ensayos con multímetros. De este modo, se realiza una lluvia de ideas con las que realizar una práctica realizable en un periodo de tiempo no superior a 110 minutos.

### 3.2. TOMA DE DECISIONES

Después de numerosas ideas y análisis de la implementación de éstas, se realizan unas decisiones que marcarán el camino a seguir para la elaboración de un módulo de laboratorio fotovoltaico en el que poder realizar ensayos experimentales con el fin de cumplir con algunos de los objetivos marcados en la memoria.

Se tomaron varias decisiones sobre el diseño del módulo. Ellas pueden ser enumeradas como:

1. Realizar una caracterización del panel fotovoltaico facilitado.
2. Comprobar la dependencia de la salida del panel según la radiación recibida, la temperatura de placa, orientación e inclinación del panel.
3. Acercar al alumno el uso de diferentes dispositivos como elementos de medición utilizados en la caracterización de tecnología fotovoltaica.

De acuerdo con lo anterior, se decidió diseñar un módulo en el que se ubique un panel fotovoltaico y que éste permita una movilidad para conseguir diferentes orientaciones e inclinaciones de manera sencilla y, al mismo tiempo, ubicar de manera compacta algunos de los elementos de medición.

Por lo que hace referencia a la segunda decisión, será necesario simular una carga variable que sea conectada al panel. Por ello, se realiza una búsqueda, con su posterior estudio, de los elementos que puedan simular lo requerido. La carga variable será especificada mediante una resistencia variable de potencia superior a la potencia pico del panel fotovoltaico.

### 3.3. MÓDULOS DE PRÁCTICAS EXISTENTES PARA DOCENCIA

Actualmente, existen varios módulos de laboratorio en los que el alumnado podría realizar unas mediciones experimentales directas. A continuación, se presentan algunos ejemplos. Las funcionalidades de estos módulos son similares, siendo destacable el estudio de una instalación fotovoltaica, determinar la curva características de los paneles y estudio del comportamiento de los paneles solares en diversas condiciones de funcionamiento.

#### **Sistema de entrenamiento en energías renovables de Lab-Volt modelo 46120**

Es un laboratorio modular en el que el estudiante comprueba las ventajas económicas y eficiencia de la producción de energía renovable, además de repasar los fundamentos teóricos pertenecientes tanto a los elementos principales de una instalación, como a la propia instalación. Dispone de dispositivos actuales utilizados en hogares.



Imagen 14: Sistema de Entrenamiento en Energía Solar/Eólica

### **Equipo de laboratorio DIKON modelo EN 01.4**

Replica un sistema utilizado normalmente en barcos, grupos de bombeo o caravanas. Es un sistema muy completo que consta de dos paneles de 20 Wp, baterías, regulador, inversor, piranómetro, voltímetros, amperímetros y cargas en continua y alterna.



Imagen 15: Entrenador didáctico solar FV - EDISOLAR

### **Equipo de energía solar fotovoltaica controlado desde PC - EDIPON**

Se trata de un equipo muy completo al ubicar paneles fotovoltaicos, simuladores solares compuesto por diferentes lámparas solares, sistema de ventilación, regulador de cargas, baterías, sensores varios.

Lo más atractivo es el control mediante el Sistema de Control desde Computador (SCADA) de la empresa, facilitando un software sencillo a la vez de intuitivo. Además, consta de varios certificados de seguridad y calidad.



Imagen 16: Equipo de energía fotovoltaica controlado desde PC - EDIPON

### 3.4. DISEÑO DEL MÓDULO DE LABORATORIO REALIZADO

De acuerdo con los objetivos, se decide realizar un módulo de laboratorio con el que sea posible realizar una práctica de no más de 110 minutos de duración.

Se realizan estimaciones de tiempos en cuanto a la realización de unas mediciones directas para caracterizar el panel fotovoltaico y analizar la respuesta de la anterior frente a cambios de radiación y temperatura de placa. Debido a un cierto margen de tiempo, se opta por elaborar el guion de prácticas adjunto como anejo.

Para ello, se diseñan unos esbozos de cómo debería ser el módulo de laboratorio para que cumpla con los objetivos de la práctica. Debe de facilitar un desplazamiento sencillo con el fin de realizar una orientación deseada, al mismo tiempo, debe posibilitar una inclinación del panel fotovoltaico determinada y presentar un método de refrigeración del panel válido.

El módulo está formado por dos elementos caracterizados por su función principal. Por un lado, un elemento es el encargado de acoplar el panel fotovoltaico y darle la funcionalidad, tanto de rotar como de inclinar. Todo ello, es de creación propia por parte del autor del TFG. Como justificante, se reúnen los planos realizados en forma de anexo y modelos CAD junto a las imágenes tomadas.

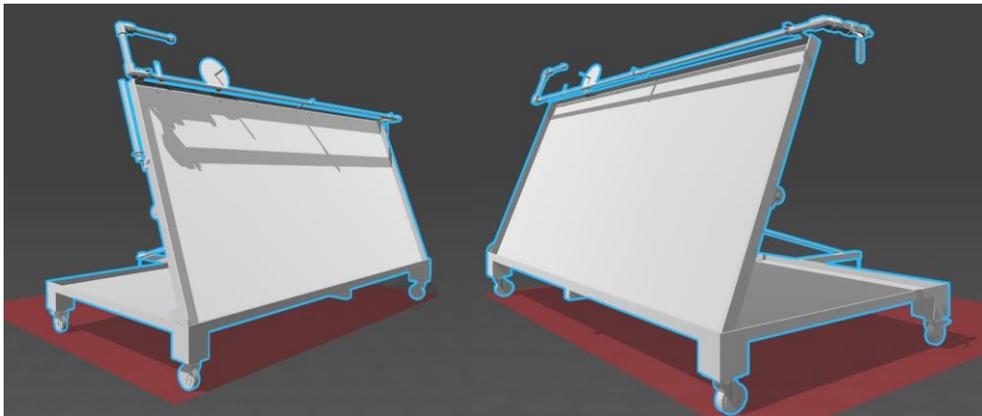


Imagen 17: Modelo CAD estructura módulo FV

La inclinación se realiza mediante la transformación de un movimiento rotatorio a un movimiento lineal a través de un elemento de seguridad en obras conocido como “sargento” (ver imagen 18), el cual, ha sido tanto remodelado como adaptado para garantizar la función deseada. La inclinación se representa graduada gracias a la incorporación de un transportador de ángulos en el lateral inferior izquierdo. Por otro lado, la rotación se hace funcional gracias a las ruedas que presencia, las dos traseras con freno, consiguiendo así, una posible rotación adecuada y cómoda.



Imagen 18: Sargento de obra

A través de un elemento tubular de  $\varnothing$  20 mm conectado a tres rodamientos, se transfiere el movimiento lineal del sargento de obra al soporte que ubica el panel fotovoltaico. Este soporte, se encuentra fijado a unas bisagras que permiten llevar a cabo la inclinación.

La estructura principal se compone de perfiles de hierro soldados entre ellos, cuyas dimensiones son de 35 x 35 x 5 mm. Sobre ellos, se asienta remachada, una chapa laminada de hierro de 3 mm de grosor. Con lo anterior, se consigue evitar una estructura vacía, dándole consistencia y robustez.

Cuenta con un transportador de ángulos con el que es posible graduar su inclinación de una manera visual y precisa (ver imagen 23 del Anejo 12). Además, dispone de un soporte para el piranómetro elegido y del dispositivo del cálculo del ángulo de incidencia solar, debido a que éste debe estar en la misma inclinación que el panel fotovoltaico (ver imagen 21 del Anejo 12). Como adición, se instaló un elemento de sujeción para ubicar la resistencia variable de potencia (ver imagen 25 del Anejo 12), además de un sistema de refrigeración por agua. Este último sistema, tiene el objetivo de estudiar el comportamiento de un panel fotovoltaico cuando, éste, se enfrenta a condiciones atmosféricas adversas (ver imagen 26 del Anejo 12)

Por otro lado, el módulo cuenta con un elemento cuya función es ubicar los elementos restantes, descritos en el capítulo 3. Este módulo se trata de un armario portátil facilitado por el departamento de física, el cual, pertenece a la compañía GCE SOLAR. Consta de una salida AC, conectada al inversor que ubica en su interior, un interruptor de palanca, por el cual se habilita la salida en AC procedente del inversor, y una apertura por la que se transfiere el cableado correspondiente al panel solar. Esto último, instalado por parte del autor del presente TFG. Gracias a las ruedas presentes y a su estructura, el transporte resulta cómodo, sin necesidad de aplicar un esfuerzo considerable.

En su interior se ubica el conjunto conformado por las dos baterías y el inversor. Además, consta de un espacio adicional para ubicar un multímetro de mano con el que poder realizar mediciones sobre el sistema (ver imagen 19 del Anejo 12).

Finalmente, se opta por realizar un diseño de refrigeración mediante una película fina de agua sobre el mismo panel fotovoltaico. Sin embargo, existe el problema sobre la reflexión de la radiación sobre el panel. Para validar el diseño, se estudia la diferencia presente en la radiación recibida sobre el panel recreando el proceso en un diseño de prueba. De acuerdo con el estudio de los datos obtenidos, recogidos en el punto 6.6 de la presente memoria, se valida el diseño y se realiza su elaboración. El estado final se presenta en la imagen 27.

Como anejo, se recoge una evolución cronológica del proceso de elaboración del módulo de laboratorio resumido anteriormente.

## 4. DISPOSITIVOS UTILIZADOS

---

A continuación, se detallan las principales características de los elementos de los que se compone el módulo fotovoltaico diseñado. Como complemento, se facilitan sus hojas características en forma de anexo.

### 4.1. PANEL FOTOVOLTAICO

Se trata del modelo *SL175CE-30M* del fabricante GCE Solar con las siguientes características, según fabricante:

Máxima potencia (WP)	175 WP
Intensidad de cortocircuito (ISC)	5,02 A
Corriente máxima de la placa (IMP)	4,69 A
Voltaje circuito abierto (VOC)	44,28 V
Voltaje punto máximo (VMP)	37,29 V
Tolerancia	± 5%
Temperatura de trabajo de la célula	-45 °C +85 °C
Peso	15 Kg
Dimensiones	1580 x 808 x 35 mm
Tecnología de la célula	Monocristalina
Número de células (PCS)	72 pcs
Tamaño célula (mm)	125 x 125
Marco	Aluminio
Cristal frontal	3,2 mm
FF %	70 - 76
Eficiencia de la célula para 50 W	16,50 %
Máxima capacidad de superficie	1000 V

Tabla 4: Características panel fotovoltaico SL175CE-30M

## 4.2. INVERSOR – REGULADOR

El inversor pertenece a la gama AJ, perfecto para un uso doméstico por sus características, recogidas en la tabla 5. El modelo en cuestión es el AJ 350-24-S, donde se recoge las principales características de tal siguiendo el siguiente patrón:

### GAMA POTENCIA NOM. – TENSIÓN NOM. SISTEMA – STANDBY

Se trata de un modelo Stanby, por el cual, el sistema deja de funcionar de manera intermitente cuando no se detecta ningún consumidor. En ese preciso momento, un led luminoso parpadea siguiendo un patrón que a continuación se detallará. El umbral de detección se ajusta de fábrica un valor aproximado de 2W y opera en un rango de 1 a 20W de potencia mínima detectable. Para variar la potencia mínima a la que se desea percibir, puede efectuarse mediante el giro el potenciómetro que se encuentra en el interior del dispositivo, llegando hasta el punto de desactivar tal función. El giro en sentido horario disminuye la sensibilidad del dispositivo, mientras que el giro opuesto incrementa su sensibilidad.

Se puede conectar cualquier carga destinada a alimentarse a 230 V y 50 Hz hasta la potencia nominal del dispositivo.

En su parte inferior, se representa un esquema de conexionado por el que se debe guiar cualquier persona que vaya a dar uso al dispositivo. Todo ello, es descrito de manera detallada en el propio manual de usuario que se adjunta con el producto.

Consta de, un único pulsador por el que se enciende y apaga el dispositivo. Su modo de funcionamiento se representa por el estado de dos leds luminosos.

El led luminoso verde, representado por un rayo, tiene cuatro posibles estados que se detallan a continuación:

- **Encendido:** la tensión de 230 V está presente en la salida AC; el inversor se encuentra en funcionamiento.
- **Parpadeo:** existen dos variedades, representadas gráficamente según:
  - - - - - -: el inversor se encuentra en su modo standby.
  - — — — —: la tensión 230 V se ha parado momentáneamente tras la presencia de una alarma; el arranque del inversor se hará automáticamente cuando tal proceso de alarma haya desaparecido
- **Apagado:** no existe tensión de 230 V en la salida del dispositivo.

Como material de apoyo, se adjunta el manual de usuario del dispositivo.

### 4.3. BATERÍAS

El módulo dispone de dos baterías de celdas húmedas, comunes en el uso de la automoción, de 12 V la unidad. Ambas dos, se conectan en serie para garantizar el voltaje al que caracteriza al sistema de 24 V.

Se trata del modelo S3 de BOSCH, diseñada para un arranque óptimo en coches sencillos que cuentan con un pequeño abastecimiento de energía.

Marca	BOSCH
Modelo	S3 - 002
Referencia	0 092 S30 030
Voltios (V)	12
Amperios (Ah)	45
Arranque (A)	400
Tecnología	Ca/Ca sin mantenimiento
Polaridad	Positivo derecha
Sujeción	B13
Tecnología de la célula	Monocristalina
Dimensiones (mm)	207x175x190
Peso (kg)	11,76
Garantía (meses)	24

Tabla 5: Ficha técnica batería

### 4.4. SONDA DE TEMPERTATURA PT1000

Un sensor de temperatura encapsulado con el que poder realizar las mediciones de temperatura que completará al registrador de temperaturas PT-104 que, posteriormente, se especifica.

Temperatura de funcionamiento	-20 °C - +100 °C
Precisión	Clase B
Diámetro de sonda	6 mm
Longitud cable	1,5 m
Instalación	2 cables

Tabla 6: Características sonda PT1000

#### 4.5. PIRANÓMETRO

Se utiliza el modelo CMP 3 del fabricante Kipp & Zonen al tratarse de un modelo para un uso docente que reúne todas aquellas funciones esenciales en la toma de mediciones.

Permite medir la energía solar recibida desde todo el espectro solar gracias a su estructura. Cuenta con un campo de visión de 180 grados.

Permite realizar mediciones de radiación solar de onda corta, (de 300 a 2800 nm) y es capaz de medir hasta un valor de irradiancia de hasta  $2000 \text{ W/m}^2$ , con un tiempo de respuesta inferior a 18 segundos y una sensibilidad de  $1010 \mu\text{V/W/m}^2$  que varía en menos del 5%, desde  $-10^\circ\text{C}$  hasta  $+40^\circ\text{C}$ . Su rango de temperatura de operación es de  $-40^\circ\text{C}$  a  $+80^\circ\text{C}$ .

Cuenta con una visera solar acoplada, un sistema de nivelación integrado, y un conector impermeable; éste viene pre-cableado y con una extensión de cable de señal de 10 m para facilitar la instalación.

Como suele ser común, no requiere alimentación externa, ya que él mismo genera una señal de 0-20 mV en relación a la cantidad de radiación que se capta.



Imagen 19: Piranómetro CMP 3

#### 4.6. REGISTRADOR DE DATOS ADC-24

Debido a las unidades de los componentes, como es el caso del piranómetro, se opta por la presencia del registrador de datos Pico Technology ADC-24.

Se trata de un registrador de datos USB multicanal para usar con un PC. No requiere una alimentación externa y viene equipado con un software, PicoLog, capaz de ofrecer todas las características de un registrador de datos autónomo.

Gracias a su elevada impedancia de entrada y su resolución de 24 bits, se obtiene unas lecturas de hasta un 0,1% de precisión. La versatilidad que brinda el software, hace que la toma de mediciones sea personalizable gracias al periodo de muestreo, como la cantidad de muestras, como el tiempo de conversión y rango de voltaje entre otras posibilidades.



Imagen 20: Registrador de datos Pico Technology ADC-24 & TERM

Como material de apoyo, se adjunta el manual de usuario del dispositivo.

#### 4.7. REGISTRADOR DE DATOS DE TEMPERATURA PT-104

Registrador de datos de medición de temperatura, aunque también puede medir tensión y resistencia, de 4 canales con una resolución de milésimas de grado y una precisión de la centésima de grado.

Utiliza termómetros de resistencia de platino y es compatible con los dos estándares de los sensores PT100 y PT1000 de hasta 4 cables.

Para el caso de las mediciones de resistencias, se utiliza un circuito de 4 hilos con el que se consigue una gran precisión. Existen dos rangos disponibles, 0-375  $\Omega$  y 0-10 k $\Omega$ , siendo la primera la recomendada para realizar mediciones precisas al ser el rango en el que se calibra el dispositivo.

Las mediciones de tensión, cada entrada puede ser tratada como entrada diferencial con tierra o dos entradas de terminación única. Existen dos rangos disponibles, 0-115 mV y 0-2500 mV, siendo preferible el último rango para lecturas precisas.



Imagen 21: Registrador de datos Pico Technology PT-104

#### 4.8. MULTÍMETRO

Caracterizado por su funcionalidad y, especialmente, por su rango de representación en lecturas. (Véase hoja de características en anejo 5).



Imagen 22: Multímetro de mano Meterman 34XR

#### 4.9. BRÚJULA

Utilizada comúnmente en montañismo o excursiones donde la orientación es imprescindible.

Presenta una carcasa metálica y está compuesta por una apertura (ver Imagen 23) con la que se puede realizar un posicionamiento preciso de la posición gracias a su lupa.



Imagen 23: Brújula metálica

#### 4.10. ELEMENTO DE CÁLCULO DEL ÁNGULO DE INCIDENCIA SOLAR

Se trata de un diseño por el cual, se determina el ángulo de incidencia solar sobre la placa fotovoltaica en cada disposición espacial en la que se encuentre el sistema.

Con la proyección de la sombra creada por un elemento vertical sobre un plano calibrado por circunferencias, será posible obtener la medición con un error del 1,59%.



Imagen 24: Dispositivo de incidencia

Su diseño se ha realizado mediante el cálculo trigonométrico sobre el cálculo de sombras que a continuación se precisa. Para ello se ha fijado la longitud del elemento vertical encargado de proyectar su sombra sobre la base calibrada por las circunferencias, los diámetros de las cuales, se recogen en la tabla 7.

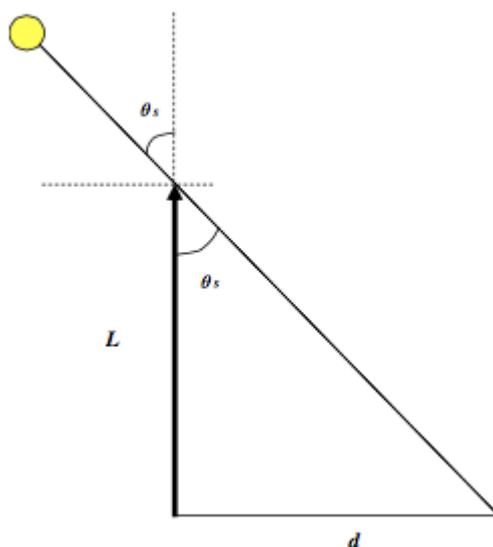


Imagen 25: Cálculo de sombra

Incidencia $\theta$ (°)	Longitud L (mm)	Sombra d (mm)	Circunferencia (mm)
5	50	4,4	8,7
10	50	8,8	17,6
15	50	13,4	26,8
20	50	18,2	36,4
25	50	23,3	46,6
30	50	28,9	57,7
35	50	35	70
40	50	42	83,9
45	50	50	100
50	50	59,6	119,2

Tabla 7: Ficha técnica batería

#### 4.11. RESISTENCIA VARIABLE DE POTENCIA

Con el fin de realizar una caracterización del panel fotovoltaico, se utiliza una resistencia variable de potencia capaz de soportar 280 W de la marca VISHAY. Característica por su elevada disipación y robustas frente a sobrecargas y al estrés térmico. Cuenta con un collarín ajustable por el que se realiza la variabilidad de la propia resistencia.

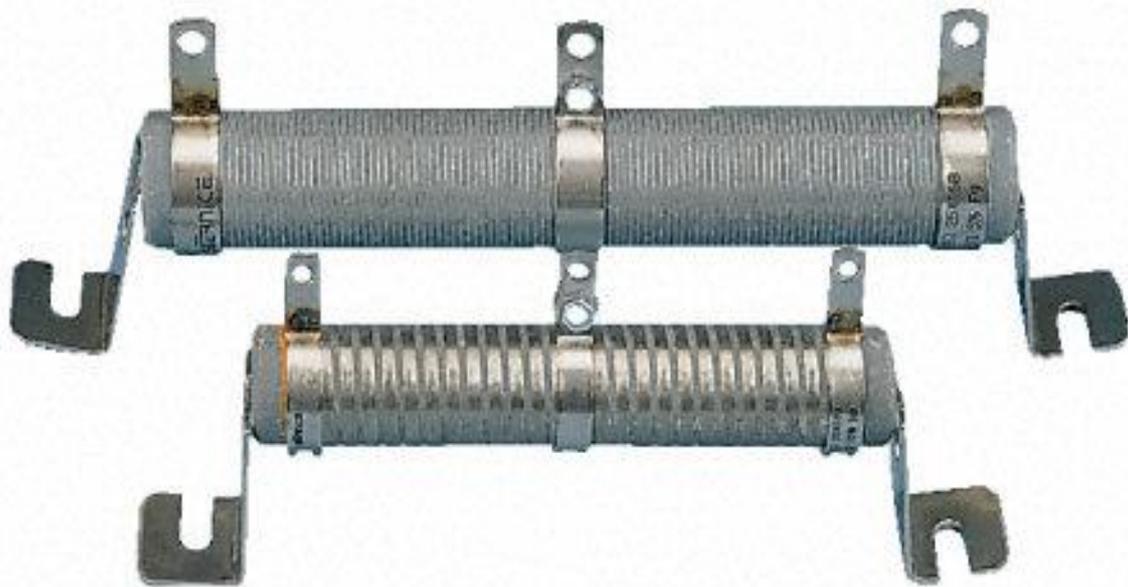


Imagen 26: Resistencia variable de potencia

#### 4.12. MÓDULO DE LABORATORIO CREADO

Se presenta el estado final del módulo de laboratorio diseñado mediante imágenes. En ellas se observan los detalles mencionados anteriormente, como la refrigeración del panel fotovoltaico mediante la aplicación de una película fina de agua tanto al panel como al piranómetro.



Imagen 27: Estado final del módulo de laboratorio diseñado

Los detalles sobre aquellos elementos de medición (piranómetro, elemento de ubicación de la resistencia variable de potencia, cálculo del ángulo de incidencia solar, inclinación del panel fotovoltaico, etc.) se recogen en el anejo 12 de la memoria

## 5. CRITERIOS SOBRE GUIÓN DE PRÁCTICAS

---

A lo largo del presente capítulo, se especifican los criterios seguidos por los que se ha implementado un guion de prácticas, adjuntado como anexo.

La evaluación del aprendizaje de los estudiantes en la asignatura de carácter optativo Energías Renovables (22443) carece de una parte práctica experimental que será posible añadir en un futuro gracias al presente T.F.G.

En el contenido de la asignatura correspondiente a “*TEMA 4. FOTOVOLTAICA*” se introduce un estudio sobre las instalaciones de energía solar y fotovoltaica, siendo un tema esencial el estudio de los paneles fotovoltaico. De acuerdo con lo anterior, se establece un guion de prácticas cuyo objetivo es verificar algunos de los conocimientos adquiridos en el tema anterior.

Durante un periodo de, aproximadamente, 2 horas, se pretende que el alumno pueda realizar una caracterización de un panel fotovoltaico y, al mismo tiempo, verificar la variación de la energía aportada por el panel según las diferentes condiciones climáticas.

La práctica introduce de manera breve y concisa los conceptos teóricos que han sido detallados en la parte teórica de la asignatura con el fin de poder realizar consultas directas sobre los conceptos que se establecerán en el propio guion de prácticas. No obstante, se introduce de manera clara y detallada el funcionamiento de los dispositivos que se utilizarán. Se recomienda que el alumno se estudie detenidamente el guion de prácticas con el fin de adelantar tiempo en la toma de datos, por posibles retrasos que puedan producirse.

La práctica se debe realizar en un ambiente sin alteraciones como puede ser un día nublado y/o con viento. Al mismo tiempo, el lugar no debe tener la posibilidad de producir sombras sobre el módulo, ya que ello invalidaría los resultados. La estación del año es indiferente, por los objetivos marcados en el guion.

La parte práctica puede distribuirse en tres bloques, siendo la primera de ellas la adquisición de los principales parámetros característicos que proporciona el fabricante. Por lo que hace a la segunda parte, se basa en la caracterización del propio panel fotovoltaico y, finalmente, el estudio sobre la variación de la curva característica I-V frente a alteraciones en la irradiancia captada y la temperatura de placa.

El alumno, en todo momento, deberá argumentar los datos obtenidos en un informe final que será una parte de la evaluación de la asignatura.

Sobre el guion de prácticas propuesto, es de mencionar la ausencia de ensayos sobre algunos elementos, como son las baterías y el inversor, debido al tiempo estimado de la práctica propuesta. Sin embargo, desde un inicio, el proyecto fue diseñado con el fin de ser utilizado como parte de otras prácticas futuras.

## 6. MEDICIONES Y ENSAYOS REALIZADOS

---

El presente capítulo recoge las diferentes mediciones y ensayos realizados sobre el módulo de laboratorio implementado. Igualmente, ilustra los resultados obtenidos para el guion de prácticas mencionado en el capítulo anterior.

### 6.1. BATERÍAS

La comprobación de las baterías se realizó mediante las lecturas de la carga, conjuntamente con el inversor, como se observa en la imagen 29.

### 6.2. INVERSOR

La verificación del funcionamiento del inversor se realizó simulando una conexión con las baterías y conectando una carga suficientemente alta como para que el dispositivo se encontrara fuera del sistema “*Standby*”. El Standby es un sistema integrado de economía de energía que desconecta el inversor de forma intermitente cuando no se detecta consumidor. El umbral de fábrica viene establecido en 2W y puede ser ajustado mediante un potenciómetro en el interior del dispositivo (ver imagen 28).



Imagen 28: Variación umbral Standby



Imagen 29: Verificación funcionamiento inversor y baterías

### 6.3. PANEL FOTOVOLTAICO

Las mediciones directas sobre el panel verificaron el correcto funcionamiento, prueba de ello son los resultados obtenidos en el guion de prácticas propuesto.

### 6.4. DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN

Se realizó la comprobación de los registradores de datos ADC-24 y PT-104 mediante el propio software que incorporan y el uso del piranómetro CMP3 y la sonda de temperatura PT1000.

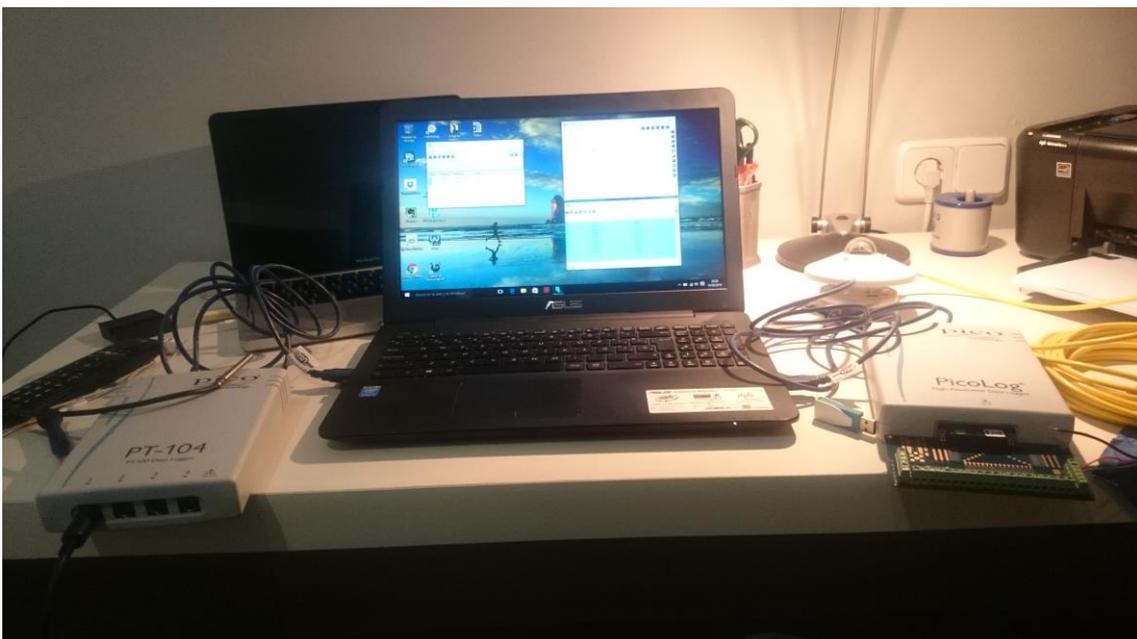


Imagen 30: Verificación funcionamiento dispositivos

## 6.5. DATOS RECOGIDOS DURANTE LA RESOLUCIÓN DE LA PRÁCTICA PROPUESTA

A continuación, se detallan los datos obtenidos con el tratamiento de errores realizado, con el fin de aportar precisión al estudio. Como anexo, se adjuntan los datos obtenidos durante la realización del guion de prácticas propuesto.

El tratamiento de errores se realiza con el análisis sobre la precisión y resolución del equipo utilizado, conjuntamente con las operaciones matemáticas correspondientes.

La tabla 8 presenta las características de interés para este apartado sobre el multímetro utilizado.

Voltaje DC	
Precisión	$\pm (0,5\% \text{ rdg} + 1 \text{ dgt})$
Resolución	100 $\mu\text{V}$
Corriente DC	
Precisión	$\pm (2\% \text{ rdg} + 3 \text{ dgt})$
Resolución	0,1 $\mu\text{A}$
Resistencia	
Precisión	$\pm (1\% \text{ rdg} + 4 \text{ dgt})$
Resolución	100 $\text{m}\Omega$

Tabla 8: Especificaciones multímetro 34XR

Para interpretar lo recogido en la tabla 8, es de conocer que la magnitud del valor expresado en el multímetro se basa en un número determinado de dígitos (dgt). A lo anterior, se aplica una estimación de error debido a la incertidumbre presente en las mediciones.

A continuación, se representa la estimación de error en una medición realizada en el ensayo propuesto como práctica para la asignatura.

Se obtiene una medición directa de valor 4,9 A. Según las especificaciones del multímetro, para ese tipo de medición presenta una precisión de  $\pm (2\% \text{ rdg} + 3\text{dgt})$ , por lo que, mediante cálculo, se realiza lo siguiente:

$$2\% \text{ de } 4,9 + 3\text{dgt} = 0,098 + 3 \text{ dgt}$$

De lo anterior, el término 1dgt representa la resolución del valor obtenido en la pantalla del dispositivo, siendo para este caso una resolución de 0,1  $\mu\text{A}$  con 3 dígitos, según la tabla 8.

$$2\% \text{ de } 4,9 + 3\text{dgt} = 0,098 + 3 \text{ dgt} = 0,098 + 0,0000001 \times 3 \text{ dgt} = 0,098$$

Con lo anterior, es posible representar la medición con la incertidumbre presente, con el error absoluto presente ((4,9  $\pm$  0,098) A). Con el anterior, la representación con el error relativo es directo, siendo el cociente del error absoluto entre la medición realizada expresada en tanto por ciento ((4,9  $\pm$  2%) A).

## 6.6. ESTUDIO DEPENDENCIA TEMPERATURA PLACA Y CURVA I-V

Para el estudio de la variabilidad de los parámetros de la curva I-V del panel fotovoltaico según la temperatura de placa, el módulo fotovoltaico consta de un elemento de refrigeración sobre el panel fotovoltaico. De esta manera, se consigue una disminución de la temperatura de placa. Sin embargo, con lo anterior, existe una disminución de la radiación captada de acuerdo con la reflexión. Por ello, se realiza un estudio con el fin de encasillar la variabilidad producida y, de ese modo, prescindir, o no, del estudio de la curva I-V con radiación constante y temperatura de placa variable.

El estudio comentado en el párrafo anterior, se delimita en observar la evolución de la radiación captada por el piranómetro cuando éste recibe una radiación directa tanto con y sin presencia de agua. Para ello, la imagen 30 ilustra el proceso descrito.

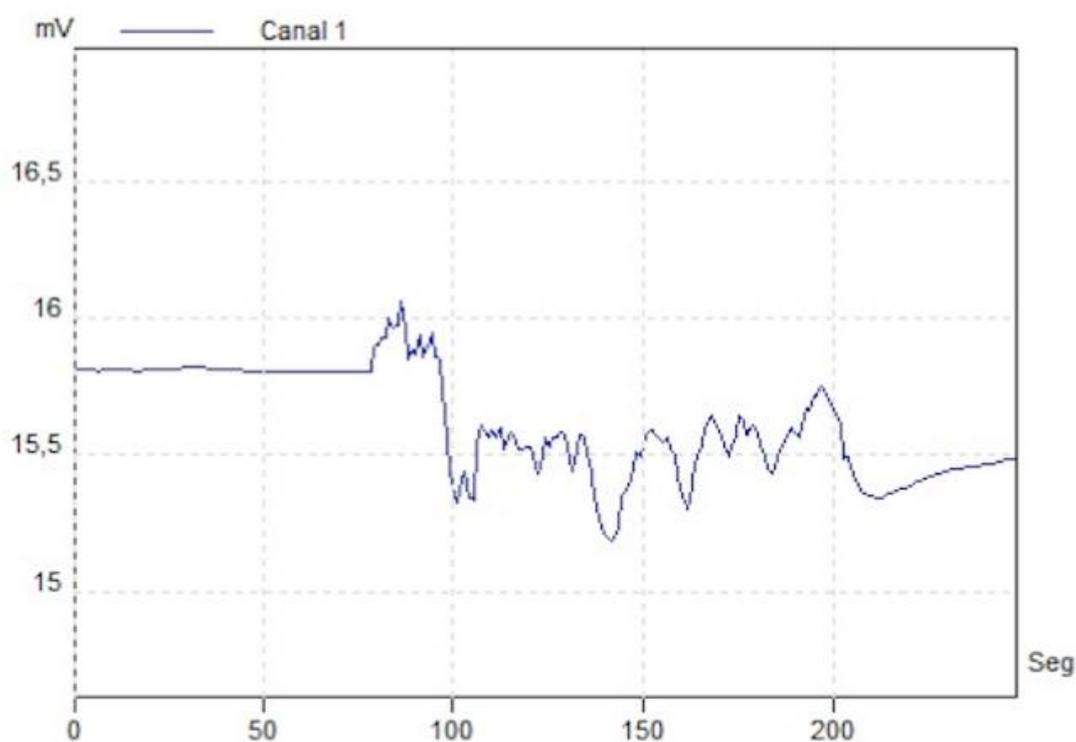


Imagen 31: Evolución radiación captada sin y con presencia de agua sobre panel

En la imagen 30 puede observarse un valor constante de, aproximadamente, 15,75 mV, equivalente a un valor de  $827 \text{ W/m}^2$ . Seguidamente, se observa una alteración debido a la acción de humedecer el piranómetro. El valor promedio durante el proceso anterior, es de aproximadamente 15,5 mV ( $814 \text{ W/m}^2$ ).

De acuerdo con los valores obtenidos, puede definirse una variación del 1,59%, con lo cual, se decide implantar esta parte de estudio en el guion de práctica propuesto.

## 7. ERRORES EVITABLES DURANTE LA PRÁCTICA

---

Este punto refleja aquellos errores que se han intentado evitar a lo largo de las mediciones directas en el guion de prácticas propuesto.

### 7.1. IRRADIANCIA

La irradiancia es un fenómeno variable con el tiempo, debido a la presencia de cualquier cuerpo macro y/o microscópico. De acuerdo con ello, las mediciones realizadas tienen un error a mencionar. Sin embargo, para evitar dentro de lo posible este factor se escoge un día soleado sin presencia de nubes en una zona amplia donde no existan elementos que puedan crear sombras al módulo.

### 7.2. VIENTO

La presencia de viento durante las mediciones provoca unas lecturas no deseadas, ya que tiene un efecto sobre ellos al actuar de refrigerante del panel fotovoltaico, consiguiendo unos datos que difieran con el resto.

Para evitar este efecto, se debe elegir un día en el que el viento sea reducido, o seleccionar un emplazamiento para el módulo para que éste quede resguardado sin que se produzcan alteraciones en la irradiancia captada.

### 7.3. MOVIMIENTO DE LA TIERRA

El movimiento de la tierra, ya sea traslación o rotación, tiene el efecto de la perpendicularidad de los rayos solares sobre el panel fotovoltaico, provocando así una lectura de datos variables.

El módulo dispone de un elemento que permite representar el ángulo de incidencia solar sobre el panel fotovoltaico, por lo que es necesario ser cauto con su lectura durante la toma de mediciones.

A pesar de ello, el guion de práctica propuesto establece como tiempo máximo de operación 2 horas, ya que las medidas del inicio serán comparadas con las siguientes, donde se realiza una comprobación y anotación de los factores como la temperatura de placa, ángulo de incidencia e irradiancia.

## 8. CONCLUSIÓN

---

En el presente documento se ha presentado un módulo de laboratorio para la realización de prácticas en la asignatura de Energías Renovables, impartida en el Grado de Ingeniería Electrónica Industrial y Automática de la Universidad de las Islas Baleares. De este modo, se cumple con los objetivos generales mencionados en el punto 1.2 Objetivos.

A lo largo de la elaboración del presente proyecto, se refleja el material, por el cual, se rige el diseño del módulo de laboratorio, mediante estudios, cálculos y contactos con diferentes proveedores, previos al propio diseño. Únicamente, se ha facilitado al autor el material correspondiente al panel fotovoltaico de 175 Wp, un inversor y dos baterías monoblock de 12 V. Se realizó una búsqueda de la documentación de los materiales facilitados, debido a la no disposición de ellos.

El estudio de los datos obtenidos, refleja un cumplimiento notable de los objetivos específicos marcados al inicio.

Por último, sería interesante realizar la elaboración de un guion de prácticas en el que se puedan estudiar los datos recogidos durante un periodo de tiempo, con el fin de realizar un dimensionado fotovoltaico, entre otras posibilidades.

## **ANEJO 1: PROPUESTA GUIÓN DE PRÁCTICAS**

---

UNIVERSIDAD DE LAS ISLAS BALEARES

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

DEPARTAMENTO DE FÍSICA



# **PRÁCTICAS DE ENERGÍAS RENOVABLES**

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

# PRÁCTICA 1

## CARACTERIZACIÓN DEL PANEL FOTOVOLTAICO Y DEPENDENCIA DE SU SALIDA FRENTE VARIACIONES

### 1. Objetivo

El objetivo de la presente práctica consiste en el estudio y la caracterización de un panel fotovoltaico a través de los conocimientos adquiridos a lo largo de las clases teóricas de la asignatura. Con ello se verificarán la parte teórica mediante ensayos experimentales.

Se calcularán las curvas características I-V y P-V para diferentes condiciones ambientales (temperatura e irradiancia). Para ello, se hará uso del siguiente material:

- Panel fotovoltaico de 175 W.
- Resistencia variable de potencia de 47  $\Omega$ .
- Multímetro.
- Módulo de laboratorio.
- Brújula.
- Sonda de temperatura PT1000.
- Registrador de temperatura PT-104.
- Registrador de datos ADC-24 (OPCIONAL).

### 2. Fundamentos teóricos

#### Principio de funcionamiento

El estudio y análisis en equipos fotovoltaicos nos permitirán mejorar el rendimiento energético de una instalación determinada.

La luz solar está compuesta por fotones de diferentes energías, debido a las diferentes longitudes de ondas del espectro solar. Según la Teoría de Bandas, un material semiconductor se caracteriza por tener dos bandas de valencia y de conducción separadas por una pequeña banda prohibida, en la que los electrones no pueden localizarse.

La unión de un número elevado de átomos y a la pequeña diferencia de energía entre los numerosos niveles de energía más altos, orbitales de valencia, da lugar a que pueda considerarse como si los niveles de energía similar, formen bandas continuas y brechas energéticas entre las bandas.

Las bandas de energía se clasifican en dos grupos conocidos como, banda de valencia, ocupada por los electrones de valencia de los átomos, y banda de conducción, ocupada por los electrones libres, desligados de los átomos pudiendo moverse libremente.

Para que un material sea un buen conductor de la corriente eléctrica, debe tener una separación entre las bandas de conducción y valencia, *banda prohibida*, pequeña o nula, con el fin de que existan electrones que puedan atravesar la banda prohibida.

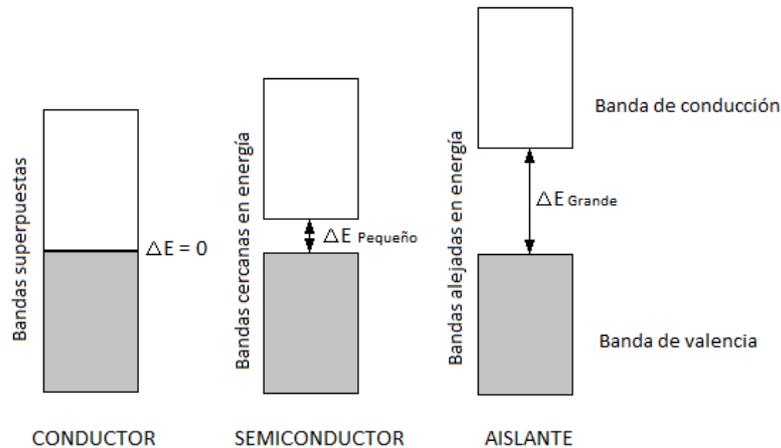


Imagen 1: Clasificación materiales

Cuando un fotón, con la suficiente energía como para pasar la banda prohibida, colisiona con una célula, es absorbido por el material semiconductor presente en la célula y se libera un electrón, quien deja una carga positiva conocida como *hueco*, que después será ocupado por un nuevo electrón.

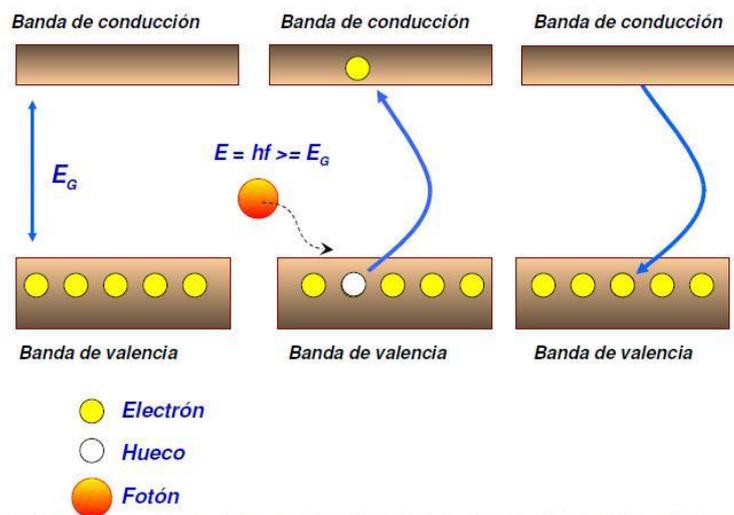


Imagen 2: Representación Teoría de Bandas

De acuerdo con lo anterior, la generación de pares de electrón-hueco, crea un flujo de electrones libres dando lugar a la creación de un campo eléctrico, creando a su vez una corriente eléctrica.

## La célula fotovoltaica

La célula fotovoltaica se encuentra formada por unas delgadas láminas de un material semiconductor, siendo la parte más importante de la célula. Las delgadas láminas, son tratadas especialmente con el fin de conseguir láminas dopadas de manera diferentes. Además de lo anterior, las células están formadas por una malla metálica superior cuyo objetivo es recolectar los electrones del semiconductor y transferirlos a la carga y una malla inferior para completar el circuito eléctrico. Asimismo, en la parte superior existe una capa antirreflejo, encargada de aumentar el número de fotones absorbidos, y una capa de vidrio u otro material, que protege a la célula de las condiciones ambientales.

Las células, suelen tener una forma cuadrada de 10cm de lado y un grosor que oscila entre 0,25 y 0,35mm. Ello viene determinado por el proceso de fabricación.

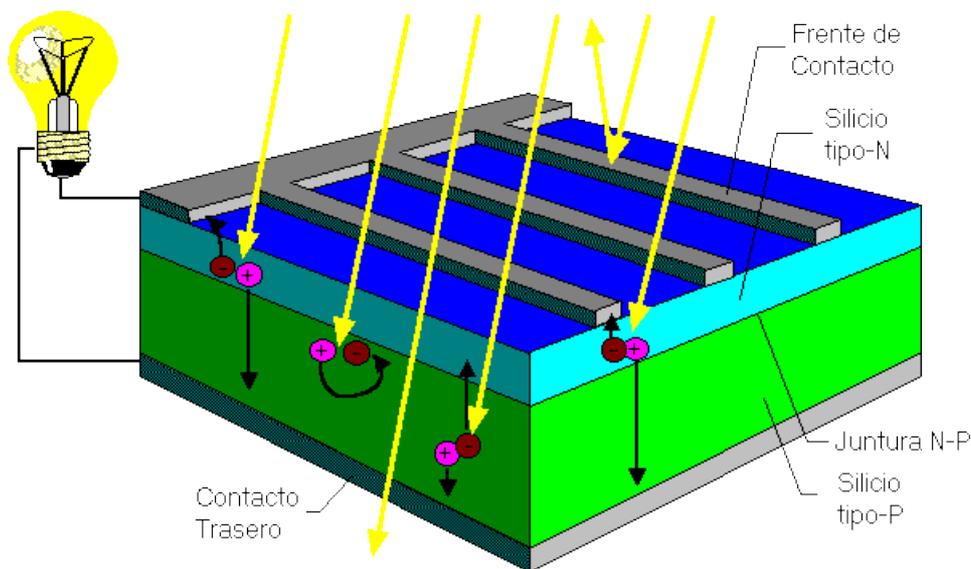


Imagen 3: Composición de una célula fotovoltaica

Actualmente, el mercado numerosos tipos de células, sin embargo, el grupo de mono-cristalinas es el más utilizado gracias a sus prestaciones y durabilidad. Todas las células pertenecen a uno de los grupos de a continuación, diferenciados por la estructura que presenta el material:

- d) Mono-cristalinas
- e) Amorfos
- f) Poli-cristalinas

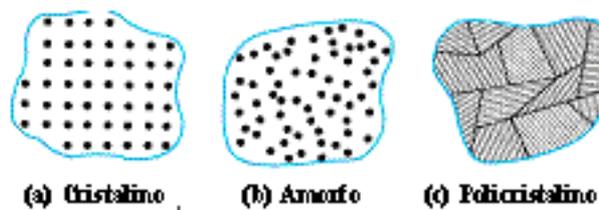


Imagen 4: Diferentes estructuras presentes en el silicio

Las mono-cristalinas fueron las primeras en ser manufacturadas, debido al mismo uso de técnicas para la fabricación de diodos y transistores. Su rendimiento energético llega al 15-17% y se les suelen asignar la abreviatura cSi. El proceso de fabricación del cristal de silicio requiere un alto consumo de energía eléctrica, dando lugar a un encarecimiento de las células.

Las poli-cristalinas, pSi, se obtienen mediante la fundición del silicio de grado industrial para verterlo en moldes de sección cuadrada. Como el coste del material y el procesado se simplifica son más económicas que las anteriores, pero con un rendimiento energético menor, del 12-14%.

Las amorfas, aSi, o de película delgada, se caracterizan por ser mucho más delgadas que las estructuras anteriores al tener un menor uso del material, por lo que su coste de producción se reduce. Sacrifican rendimiento energético, 10%, por el coste.

### **3. Aplicación experimental**

Mediante el análisis y el estudio sobre la caracterización de los paneles fotovoltaicos, se podrá proponer información espacial (ubicación, orientación y desviación) con el fin de maximizar la energía captada, dando lugar a un incremento en eficiencia energética.

Para ello, se llevará a cabo, por un lado, la verificación de los parámetros característicos del panel fotovoltaico y, por otro lado, mediante un análisis del punto de máxima potencia sobre las gráficas obtenidas.

Las relaciones corriente-voltaje (i-V) y potencia-voltaje (P-V) son las principales características que describen a un panel fotovoltaico. De ahí, se extraen varios parámetros característicos del panel, entre ellos destacan:

#### **Corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ )**

Es aquella que se obtiene cuando la carga conectada a la placa es nula y el voltaje en el panel es nulo, es decir, cuando se produce un corto-circuito. Representa el valor máximo de la corriente en la curva I-V.

#### **Voltaje de cortocircuito ( $V_{oc}$ )**

Aquel voltaje que se obtiene cuando la carga conectada al panel es infinita, o en otras palabras, cuando no existe una carga conectada al panel, y la corriente es nula. Representa el valor máximo del voltaje en la curva I-V.

#### **Voltaje y corriente de máxima potencia ( $V_{MP}$ e $I_{MP}$ )**

Voltaje/corriente que generará el panel cuando esté funcionando al máximo de su rendimiento. Cuando los rayos solares sean perpendiculares al panel fotovoltaico. El producto entre estos valores representa la potencia máxima al que el panel puede operar.

### **Factor de forma (FF)**

Es la relación entre la potencia máxima y  $I_{sc}$  y  $V_{oc}$ . Con ello se determina la forma de la curva I-V.

### **Eficiencia ( $\eta$ )**

Relación entre la potencia producida por el panel y la correspondiente a la de la radiación solar incidente.

### **Panel fotovoltaico**

Se trata del modelo *SL175CE-30M* del fabricante GCE Solar con las siguientes características, según fabricante:

Máxima potencia (WP)	175 WP
Intensidad de cortocircuito (ISC)	5,02 A
Corriente máxima de la placa (IMP)	4,69 A
Voltaje circuito abierto (VOC)	44,28 V
Voltaje punto máximo (VMP)	37,29 V
Tolerancia	± 5%
Temperatura de trabajo de la célula	-45 °C +85 °C
Peso	15 Kg
Dimensiones	1580 x 808 x 35 mm
Tecnología de la célula	Monocrystalina
Número de células (PCS)	72 pcs
Tamaño célula (mm)	125 x 125
Marco	Aluminio
Cristal frontal	3,2 mm
FF %	70 - 76
Eficiencia de la célula para 50 W	16,50 %
Máxima capacidad de superficie	1000 V

Tabla 1: Características panel fotovoltaico SL175CE-30M

## Piranómetro

Se trata de un instrumento cuya función es medir la radiación solar incidente sobre una superficie. El modelo a usar, ofrece una salida entre 0 y 20 mV en relación a la cantidad de radiación captada. Su cableado es simple y se recoge en la imagen 4.

Pin Layout (Instrument)  
Steckerbelegung  
Schéma des connexions  
Diagrama de conexiones



Radiometer Connection Anschluss • Raccordement • Conexión		
Wire Kabel Fil Cable	Function Funktion Fonction Función	Connect with Anschluss an Relier à Conectar con
<b>1</b> Red Rot • Rouge • Rojo	+	+ (Hi)
<b>2</b> Blue Blau • Bleu • Azul	-	- (Lo)
 Shield Abschirmung Protection Malla	Housing Gehäuse Boîte Cubierta	 Ground Erde Terre Tierra
<p><b>* Connect to ground if radiometer not grounded</b>            Mit Erde verbinden, wenn das Radiometer nicht geerdet ist            Reliez à la terre si le radiomètre n'est pas connecté            Conectar a tierra si el radiómetro no lo está</p>		

Imagen 4: Conexión del piranómetro

Será necesario conocer la relación existente entre la salida del piranómetro con las unidades de irradiación vistas en clase. Para ello, se nos ofrece tal necesidad siendo ella la siguiente relación:

$$E_{Solar} = \frac{U_{emf}}{S}$$

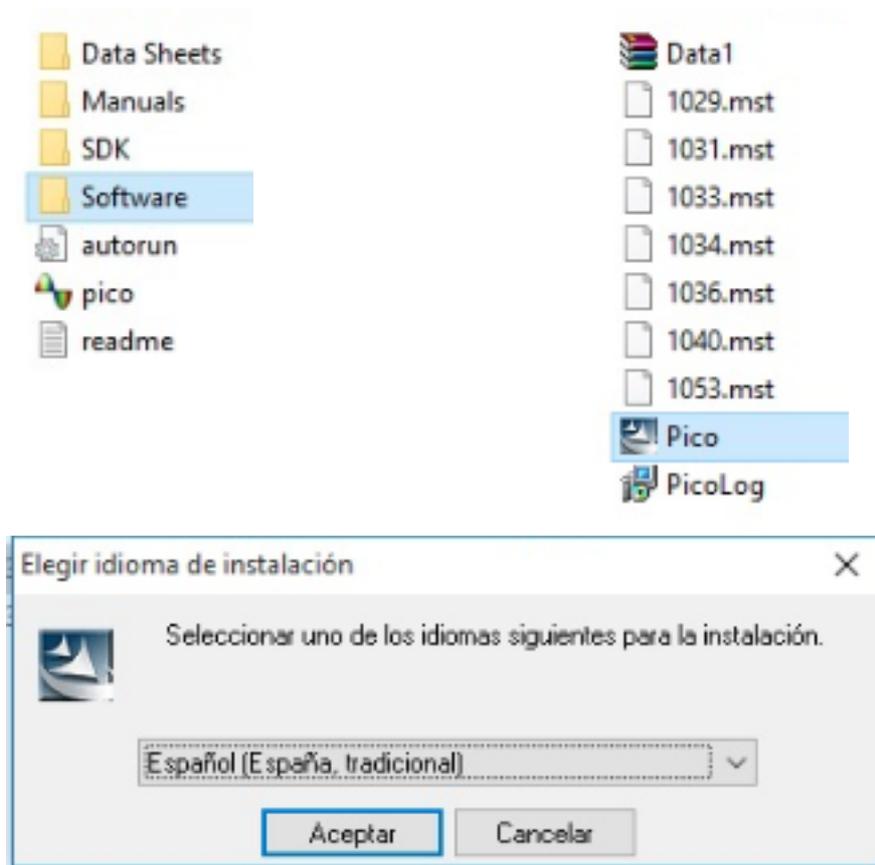
$E_{Solar}$	[W/m <sup>2</sup> ]	= Irradiación solar
$U_{emf}$	[ $\mu$ V]	= Voltaje de salida
$S$	[ $\mu$ V/W/m <sup>2</sup> ]	= Sensibilidad

Donde la sensibilidad se encuentra definida en el propio instrumento al ser un parámetro específico para cada unidad.

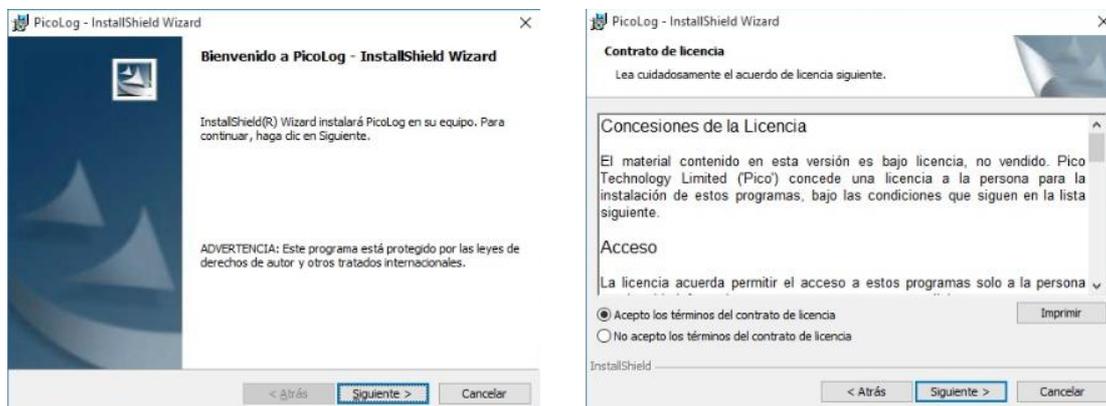
#### 4. Instalación y uso de los registradores de datos

A continuación, se ilustra unas pautas a seguir para la instalación y, posteriormente, el uso sobre el software de Pico Technology que se os facilita. Para ello, se requiere Windows como sistema operativo y un ordenador que disponga de dos puertos USB en los que conectar los dispositivos.

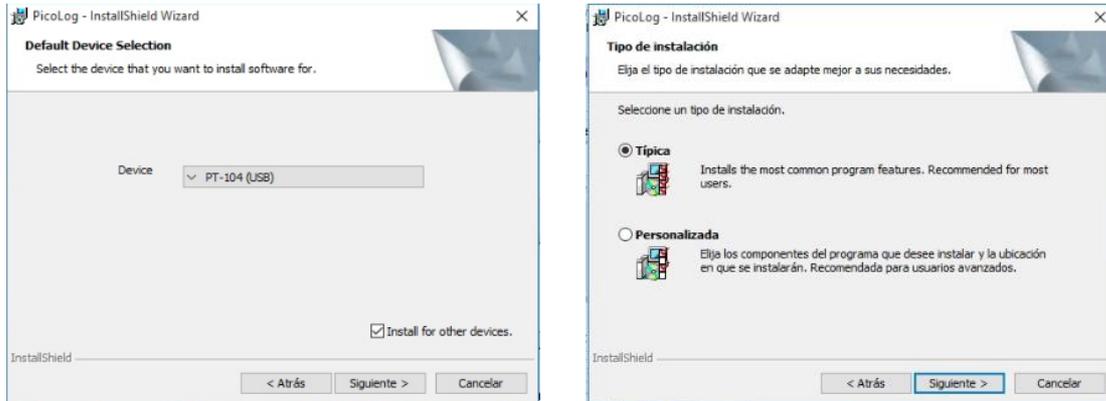
Se debe acceder a *Software* y ejecutar la aplicación con nombre *Pico*.



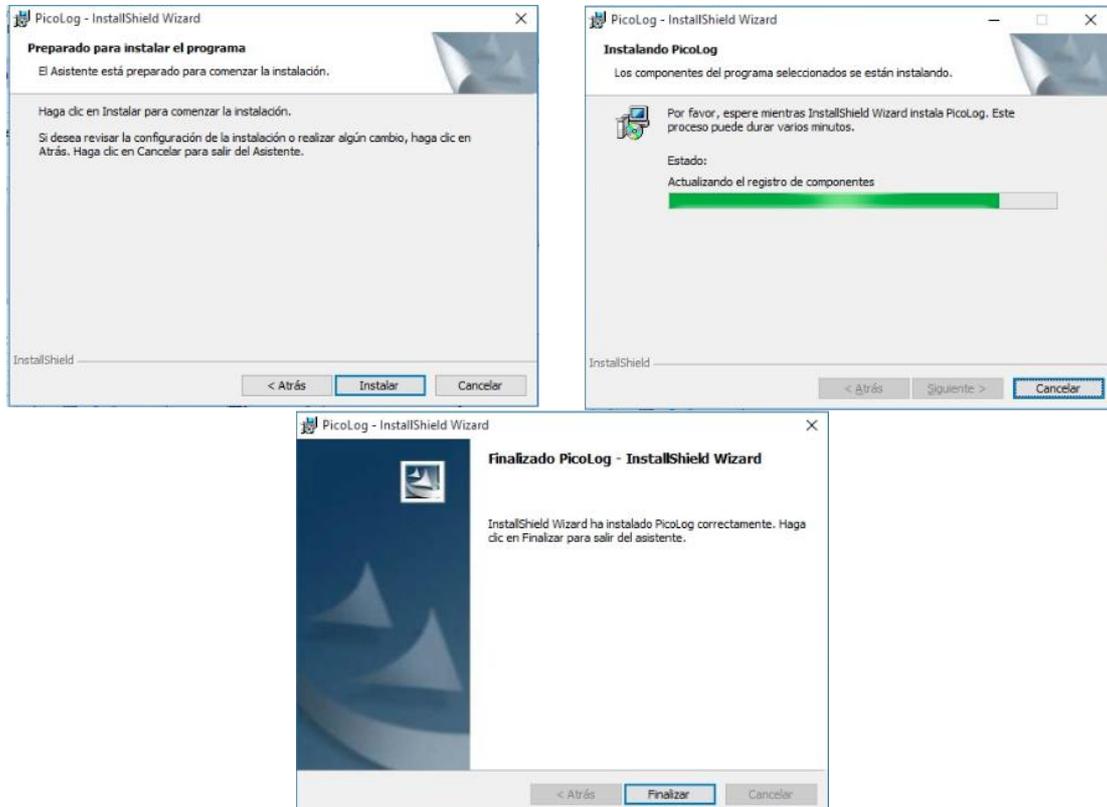
Una vez seleccionado el idioma para la instalación, se lleva a cabo la propia instalación una vez dada la bienvenida al software y aceptado el contrato de licencia.



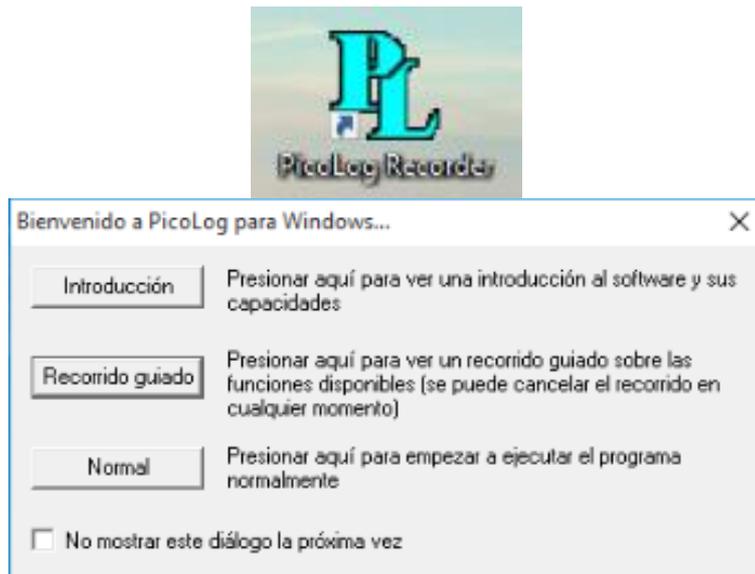
Se debe elegir el dispositivo con el que se recogerán datos. El software permite realizar mediciones con varios dispositivos de manera simultánea, para ello, se debe marcar la casilla *Install for other devices*. Acto seguido, se marca el tipo de instalación deseada. Se recomienda el tipo de instalación *Típica*.



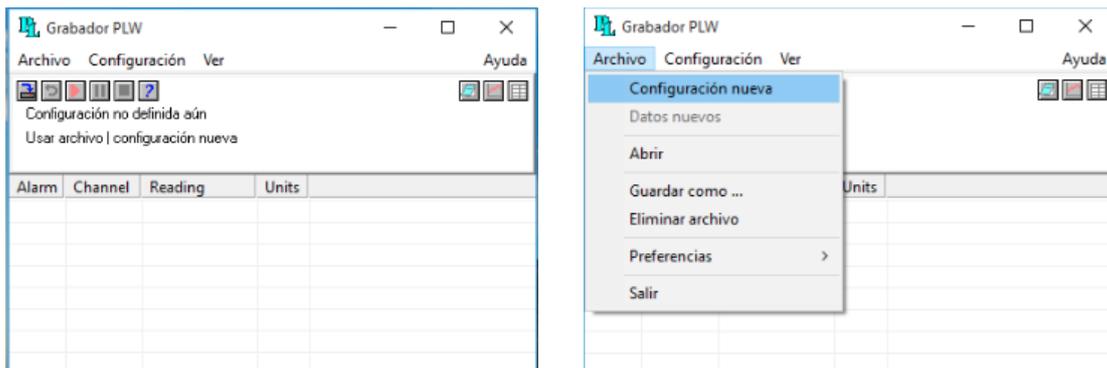
A continuación, se ejecutará el asistente de instalación y, una vez finalizado el proceso, se podrá ejecutar el software.



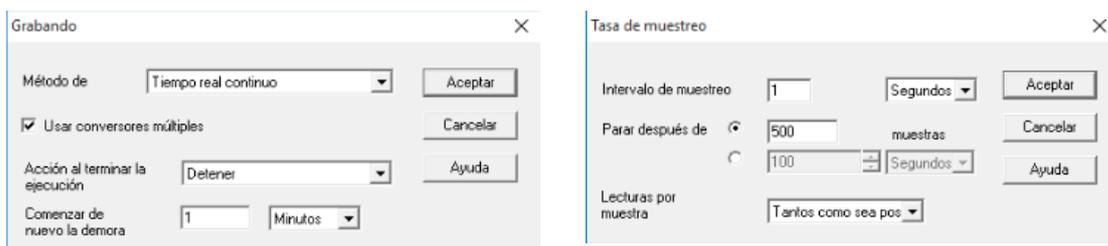
Una vez instalado el software, el siguiente paso es ejecutarlo. La primera ventana que aparece nos da la bienvenida a PicoLog y facilita la posibilidad de realizar una introducción y un recorrido guiado útil para conocer las funciones que se facilitan. En este caso, se debe seleccionar la opción *Normal*.



Acto seguido, aparecerá una ventana en la que se representarán las mediciones de los diferentes dispositivos una vez configurados. Para ello, desde la pestaña *Archivo*, se selecciona *Configuración nueva*.



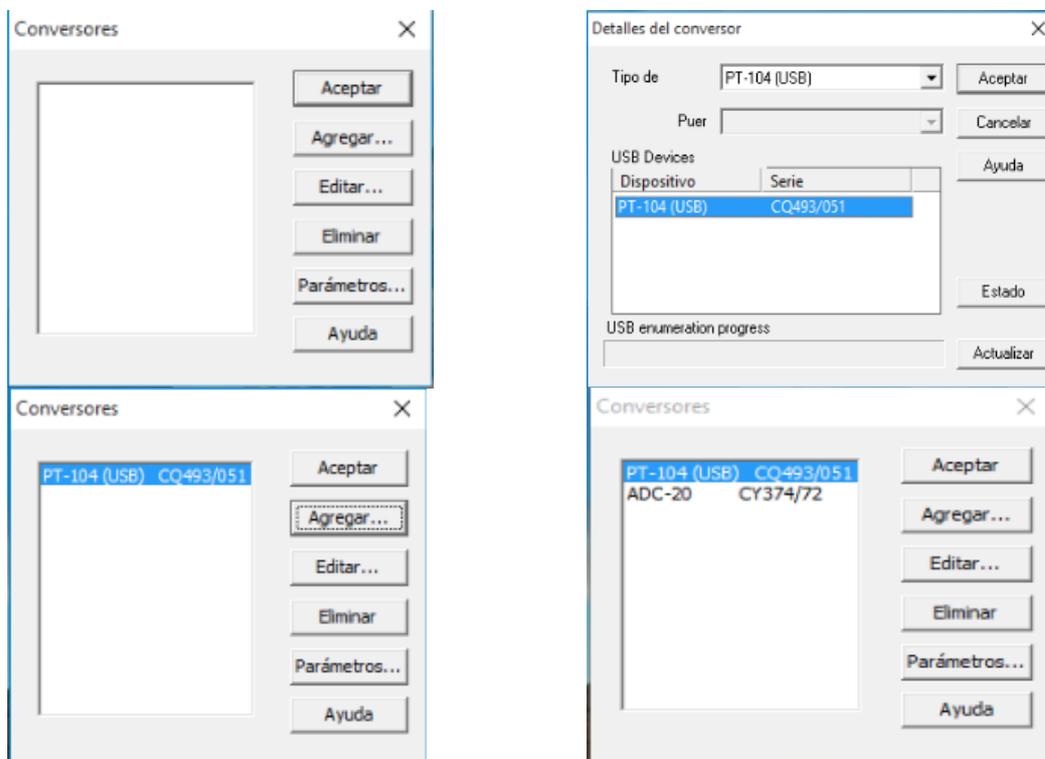
Durante la práctica, bastará con realizar las siguientes configuraciones, aunque es de mencionar que existe un gran abanico de posibilidades con las que realizar diferentes tipos de mediciones. Es de notar la posibilidad de usar varios dispositivos, en caso de usarlos, se debe marcar la casilla.



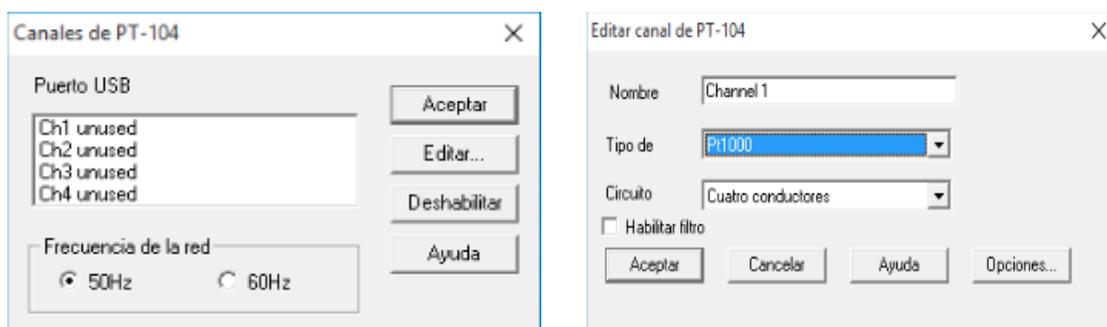
El siguiente paso es realizar la configuración de los dispositivos a utilizar, a continuación, se ilustra los pasos a seguir para el uso de conversores múltiples. El proceso es igual para el uso de cualquier número de dispositivos.

Llegados a este punto, se deberá conectar los conversores deseados con el fin de que el propio software realice la asignación automática del puerto USB utilizado.

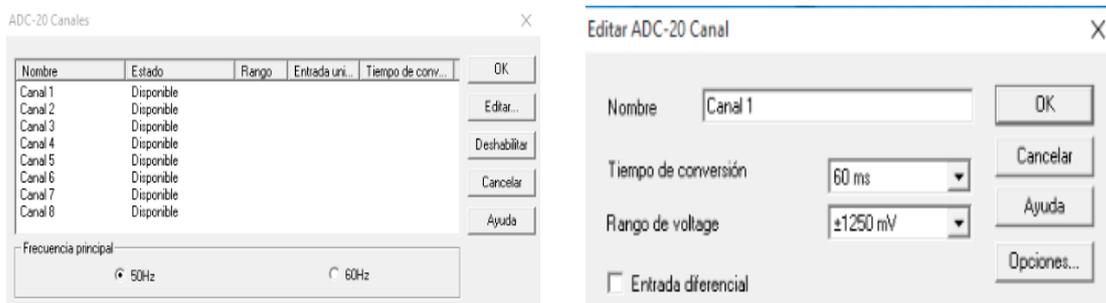
Una vez configurado el grabado y la tasa de muestreo, aparecerá una ventana en la que se recogerán los conversores a configurar. Para ello, se selecciona en la pestaña *Agregar...* y aparecerá otra ventana, donde se debe seleccionar el conversor a utilizar. Elegido el tipo de dispositivo, aparecerá en la ventana *Conversores*. Si fuera necesario utilizar más dispositivos, se debe repetir, tantas veces como dispositivos a utilizar, los pasos comentados en este párrafo.



El siguiente paso es realizar la configuración de los dispositivos seleccionados, para ello se seleccionarán sus parámetros característicos. Para el caso del conversor PT-104, se debe indicar el canal (o canales) a utilizar y el tipo de sonda conectada.

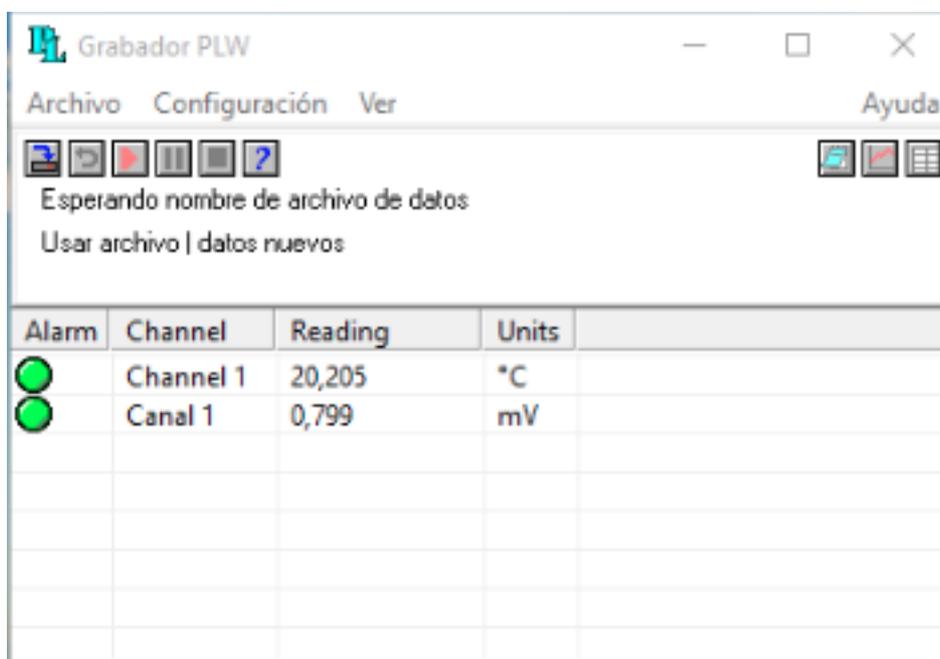


Para el caso del conversor ADC-24 se debe indicar del mismo modo los canales a utilizar, el tiempo de conversión y el rango de voltaje. Durante la práctica, es suficiente con seleccionar los parámetros destacados en las imágenes.

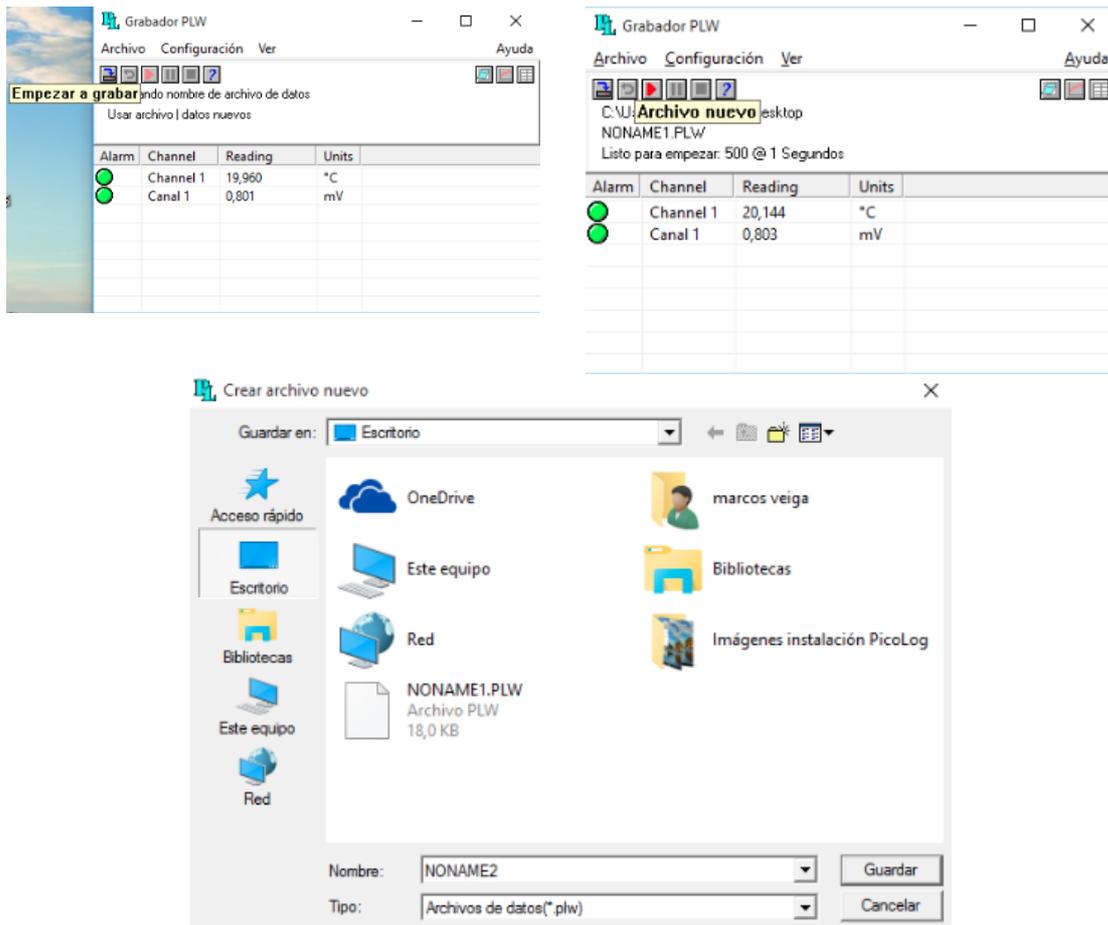


Una vez finalizado la configuración de los diferentes dispositivos deseados, en la ventana principal aparecerán las lecturas que se recogen de los diferentes dispositivos según la configuración seleccionada.

En este caso, se ha conectado la sonda PT1000 en el canal 1 del dispositivo PT-104 y el piranómetro en el canal 1 del conversor ADC-24. El piranómetro, concretamente, se ha conectado el cable azul a un pin AG (*Analogic Ground*) y el cable rojo al pin 1 del conversor.



Ahora es el momento de crear un archivo para poder registrar datos con la configuración realizada previamente. Para ello se hará uso del conjunto de botones que aparecen en la ventana principal. Una vez creado el archivo con formato plw, empezaremos la ejecución presionando el botón rojo de "Play". En cualquier momento, se puede detener y reanudar el proceso de grabado de datos.



Para visualizar los datos y/o obtenerlos para un posterior uso, se debe hacer uso de los tres botones de la izquierda de la ventana superior. Aparecerá unas ventanas nuevas que irán actualizándose a medida que se van tomando mediciones. Cada ventana que aparece, da la opción de realizar modificaciones en la representación como, por ejemplo, ampliar o disminuir los ejes de representación de un gráfico, seleccionando un rango de datos para, posteriormente, tratarlos en un bloc de notas, obtener una imagen sobre la evolución de las gráficas, etc.

The image displays the PLW software interface, which includes two graphical windows and a data table window.

**Gráfico PLW (Top Left):** This window shows two real-time plots. The top plot displays temperature in degrees Celsius (°C) for Channel 1, with values ranging from approximately 20.05 to 20.15. The bottom plot shows mV for Canal 1, with values ranging from 0.796 to 0.802. Both plots have a time axis in seconds (Seg) from 0 to 60.

**Hoja de cálculo PLW (Middle Left):** This is a spreadsheet window showing recorded data for Channel 1. The columns are labeled 'Hora Segundos', 'Channel 1 (°C)', and 'Canal 1 (mV)'. The data points are as follows:

Hora Segundos	Channel 1 (°C)	Canal 1 (mV)
59	20,186	0,799
60	20,185	0,800
61	20,140	0,799
62	20,071	0,799
63	20,068	0,800
64	20,141	0,799
65	20,049	0,800
66	20,142	0,798

**Datos: Bloc de notas (Right):** This window displays a table of data points from 0 to 20 seconds. The columns are 'Hora Segundos', 'Channel 1 °C', and 'Canal 1 mV'.

Hora Segundos	Channel 1 °C	Canal 1 mV
0	20,172	0,801
1	20,091	0,800
2	20,117	0,800
3	20,123	0,801
4	20,103	0,802
5	20,125	0,801
6	20,042	0,800
7	20,061	0,800
8	20,088	0,801
9	20,115	0,801
10	20,119	0,801
11	20,180	0,801
12	20,059	0,801
13	20,167	0,800
14	20,116	0,800
15	20,111	0,800
16	20,180	0,802
17	20,208	0,801
18	20,165	0,801
19	20,175	0,800
20	20,116	0,801

**Gráfico PLW (Bottom Left):** This window shows a zoomed-in view of the data from 0 to 400 seconds. The top plot shows temperature in degrees Celsius (°C) for Channel 1, with a y-axis from 0 to 30. The bottom plot shows mV for Canal 1, with a y-axis from 0.796 to 0.8. The x-axis is labeled 'Seg' and ranges from 0 to 400.

A continuación, se presenta una imagen del módulo de laboratorio sobre el que se realizarán las mediciones experimentales de la presente práctica.



La resistencia variable de potencia se introduce en el elemento tubular que se muestra en la imagen inferior.



Nombre y apellidos:

D.N.I.:

Grupo:

Fecha de realización:

## 5. Procedimiento experimental

### Introducción

El módulo fotovoltaico permite orientar el panel fotovoltaico según los requerimientos a tener en cuenta. Se puede orientar el panel dando a conocer la desviación que se presenta frente al Sur geográfico (Norte magnético) gracias a las ruedas y la brújula que dispone, además, permite realizar una inclinación mediante una rotación de uno de sus elementos. Para conocer tal inclinación, dispone de un transportador de ángulos que facilita la lectura *in situ*. Para finalizar, presenta un dispositivo graduado, con el cual, poder realizar una inclinación determinada según el ángulo de incidencia de los rayos solares sobre el modulo que se requiera.



### Principales valores de un panel fotovoltaico

- Situar el panel fotovoltaico hacia el sur geográfico y con una inclinación tal que el ángulo incidente solar sea inferior a 5°. Es importante situarse en una zona donde no existan sombras que puedan perjudicar las mediciones posteriores.
- Calcular la radiación solar incidente que llega al panel fotovoltaico mediante el uso del piranómetro. Para ello, debéis hallar la sensibilidad del propio piranómetro y el cálculo a realizar para obtener, finalmente, la radiación.

$U_{emf}$ ( $\mu V$ )	Sensibilidad ( $\mu V/W/m^2$ )	$E_{solar}$ ( $W/m^2$ )

- Obtener los valores  $V_{oc}$  e  $I_{sc}$  y anotarlos.

$V_{oc}$ (V)	$I_{sc}$ (A)

### **Caracterización del panel fotovoltaico**

- Manteniendo los requisitos mencionados en el primer punto, realizar un barrido de, al menos, 5 ensayos en la resistencia desde su valor mínimo a su valor máximo. Se deben realizar las mediciones ligeramente, debido al efecto Joule que se produce en la resistencia, aumentando la temperatura de ésta.
- Para cada valor del barrido comentado anteriormente, obtener la intensidad y voltaje que ofrece el panel.

<b>Resistencia (<math>\Omega</math>)</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Intensidad (A)</b>

- Representar las curvas I-V y P-V con los valores obtenidos anteriormente e indicar el punto de máxima eficiencia. Este punto se debe realizar en Excel o un software similar.
- Calcular la resistencia a conectar al panel para obtener los valores de máxima potencia y hallar los valores que se obtienen de voltaje y corriente.

<b><math>V_{MP}</math> (V)</b>	<b><math>I_{MP}</math> (A)</b>

- Calcular el factor de forma y la eficiencia a la que opera el panel.

<b>FF (%)</b>	<b><math>\eta</math> (%)</b>

- Comentar la diferencia entre los valores obtenidos y los marcados en la Tabla 1.

### **Relación radiación solar - curvas IV**

- Repetir TODOS los puntos mencionados en el apartado de “*Caracterización del panel fotovoltaico*” para dos valores diferentes de irradiación. Para ello, será necesario variar la inclinación y/o la desviación del módulo de laboratorio.
- Anotar la temperatura de placa, una vez estabilizada.
- **IMPORTANTE:** una vez acabado el actual punto, **NO VARIAR LAS CONDICIONES ESPACIALES DEL MÓDULO.**

Temperatura de placa (°C)

Desviación respecto al Norte (°)	Inclinación (°)	Esolar (W/m <sup>2</sup> )

Resistencia (Ω)	Voltaje (V)	Intensidad (A)

- Comentar los resultados obtenidos.

### **Relación temperatura placa - curvas IV**

- Repetir TODOS los puntos mencionados en el apartado de “*Caracterización del panel fotovoltaico*” para un único valor de irradiación y una temperatura de placa inferior a la del punto anterior. Para ello, será necesario recrear una lluvia sobre el panel con ayuda del sistema de refrigeración instalado. Para ello, se deberá conectar una manguera al conector Gardena y abrir el flujo del agua mediante la maneta situada en el mismo conector anterior. Este apartado puede ser realizado debido a la ligera diferencia del valor de la radiación, ya que la reflexión de los rayos es presente durante este ensayo.



- Una vez estabilizado el valor de la temperatura de la placa, y siendo éste menor al obtenido en el punto anterior, realizar el mismo procedimiento que en puntos anteriores sin variar el flujo de agua.

Temperatura de placa (°C)

Resistencia ( $\Omega$ )	Voltaje (V)	Intensidad (A)

- Comentar los resultados obtenidos.

## **6. Documentación a entregar**

Se debe elaborar un informe donde aparezcan tantos los datos obtenidos a lo largo de la práctica, como las anotaciones y respuestas a las preguntas de desarrollo. El uso de diagramas de dispersión con los resultados obtenidos, será necesario para comentar las conclusiones que puedan ser extraídas al respecto.

No es necesario adjuntar al informe imágenes tomadas durante la práctica, excepto si el profesor lo especifique.

## ANEJO 2: RESULTADOS PROPUESTA GUIÓN DE PRÁCTICAS

---

Nombre y apellidos:

D.N.I.:

Grupo:

Fecha de realización:

### 7. Procedimiento experimental

#### Introducción

El módulo fotovoltaico permite orientar el panel fotovoltaico según los requerimientos a tener en cuenta. Se puede orientar el panel dando a conocer la desviación que se presenta frente al Sur geográfico (Norte magnético) gracias a las ruedas y la brújula que dispone, además, permite realizar una inclinación mediante una rotación de uno de sus elementos. Para conocer tal inclinación, dispone de un transportador de ángulos que facilita la lectura *in situ*. Para finalizar, presenta un dispositivo graduado, con el cual, poder realizar una inclinación determinada según el ángulo de incidencia de los rayos solares sobre el modulo que se requiera.

#### Principales valores de un panel fotovoltaico

- Situar el panel fotovoltaico hacia el sur geográfico y con una inclinación tal que el ángulo incidente solar sea inferior a 5°. Es importante situarse en una zona donde no existan sombras que puedan perjudicar las mediciones posteriores.
- Calcular la radiación solar incidente que llega al panel fotovoltaico mediante el uso del piranómetro. Para ello, debéis hallar la sensibilidad del propio piranómetro y el cálculo a realizar para obtener, finalmente, la radiación.

$U_{emf}$ ( $\mu V$ )	Sensibilidad ( $\mu V/W/m^2$ )	$E_{solar}$ ( $W/m^2$ )
13.730	19,08	719,6

- Obtener los valores  $V_{oc}$  e  $I_{sc}$  y anotarlos.

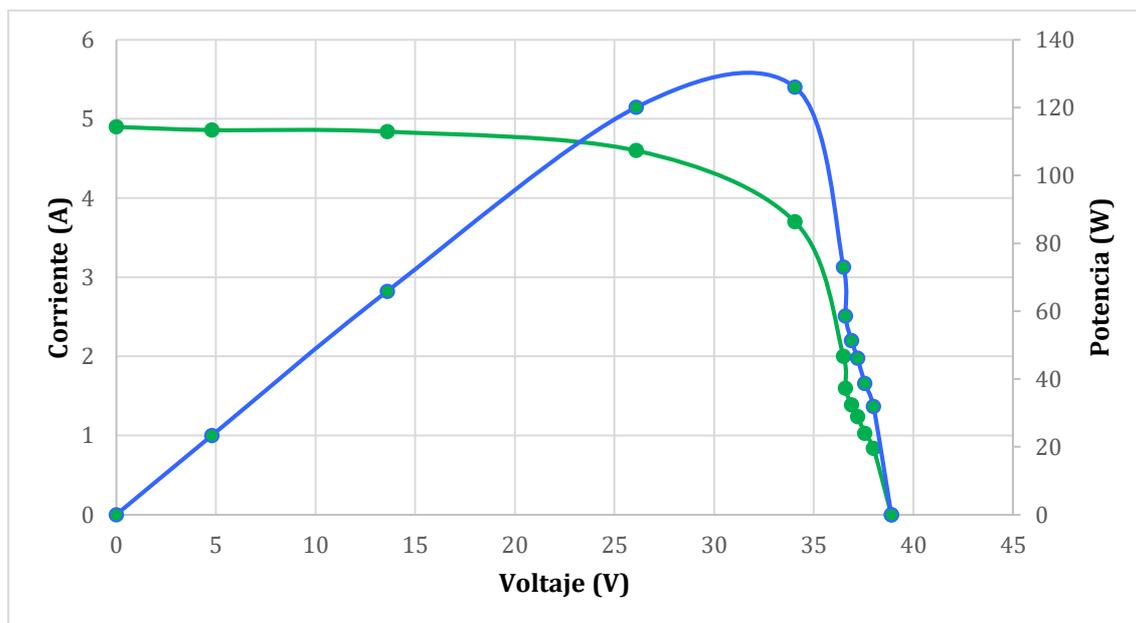
$V_{oc}$ (V)	$I_{sc}$ (A)
38,9	4,9

## Caracterización del panel fotovoltaico

- Manteniendo los requisitos mencionados en el primer punto, realizar un barrido de, al menos, 10 ensayos en la resistencia desde su valor mínimo a su valor máximo.
- Para cada valor del barrido comentado anteriormente, obtener la intensidad y voltaje que ofrece el panel.

Resistencia ( $\Omega$ )	Voltaje (V)	Intensidad (A)
1,7	4,8	4,86
3,7	13,6	4,84
6,2	26,1	4,6
9,2	34,06	3,7
16,2	36,5	2
21	36,6	1,6
25	36,9	1,39
33	37,2	1,24
35,7	37,57	1,03
44,5	38	0,84

- Representar las curvas I-V y P-V con los valores obtenidos anteriormente e indicar el punto de máxima eficiencia. Este punto se debe realizar en Excel o un software similar.



- Obtener los valores de máxima potencia y hallar los valores que se obtienen de voltaje y corriente.

$V_{MP}$ (V)	$I_{MP}$ (A)
32,5	4,1

- Calcular el factor de forma y la eficiencia a la que opera el panel.

<b>FF (%)</b>	<b><math>\eta</math> (%)</b>
83,75	16,46%

- Comentar la diferencia entre los valores obtenidos y los marcados en la Tabla 1.

Los valores que aparecen en la tabla, aunque no lo mencionen, se tratarán de valores en condiciones STC. Los obtenidos pertenecen a una radiación solar incidente de  $719,6 \text{ W/m}^2$  y una temperatura de placa de  $21^\circ\text{C}$ .

### Relación radiación solar - curvas IV

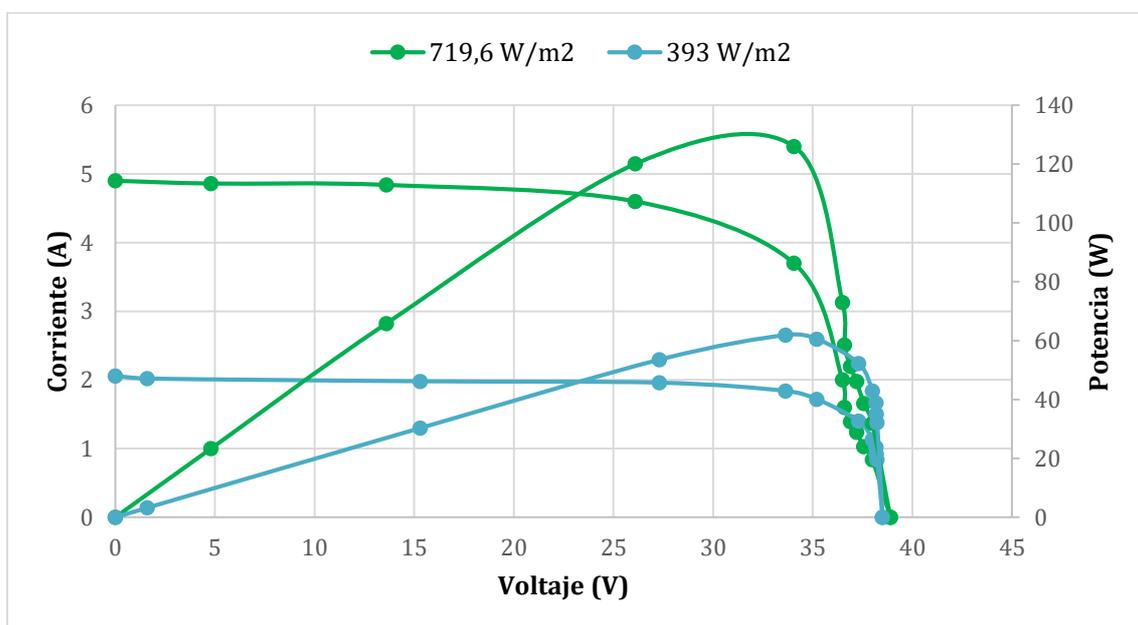
- Repetir TODOS los puntos mencionados en el apartado de “*Caracterización del panel fotovoltaico*” para dos valores diferentes de irradiación. Para ello, será necesario variar la inclinación y/o la desviación del módulo de laboratorio.
- Anotar la temperatura de placa, una vez estabilizada.
- **IMPORTANTE:** una vez acabado el actual punto, NO VARIAR LAS CONDICIONES ESPACIALES DEL MÓDULO.

Temperatura de placa (°C)
29,3

Desviación respecto al Norte (°)	Inclinación (°)	Esolar (W/m <sup>2</sup> )
40	37	393,08

Resistencia (Ω)	Voltaje (V)	Intensidad (A)
2,1	1,6	2,02
8	15,3	1,98
14,2	27,3	1,96
18,6	33,63	1,84
23,1	35,2	1,72
26,2	37,3	1,4
32,5	38	1,13
36,3	38,17	1,02
40,2	38,2	0,92
45,2	38,23	0,84

- Comentar los resultados obtenidos.



### Relación temperatura placa - curvas IV

- Repetir TODOS los puntos mencionados en el apartado de “*Caracterización del panel fotovoltaico*” para un único valor de irradiación y una temperatura de placa inferior a la del punto anterior. Para ello, será necesario recrear una leve lluvia sobre el panel. Este apartado puede ser realizado debido a la ligera diferencia del valor de la radiación, ya que la reflexión de los rayos es presente durante este ensayo.
- Una vez estabilizado el valor de la temperatura de la placa, y siendo éste menor al obtenido en el punto anterior, realizar el mismo procedimiento que en puntos anteriores.
- **NOTA:** A continuación, se presentan unos datos tomados durante un día diferente al conjunto de datos anteriores debido a las condiciones meteorológicas del momento. De ahí, la presencia de dos curvas I-V.

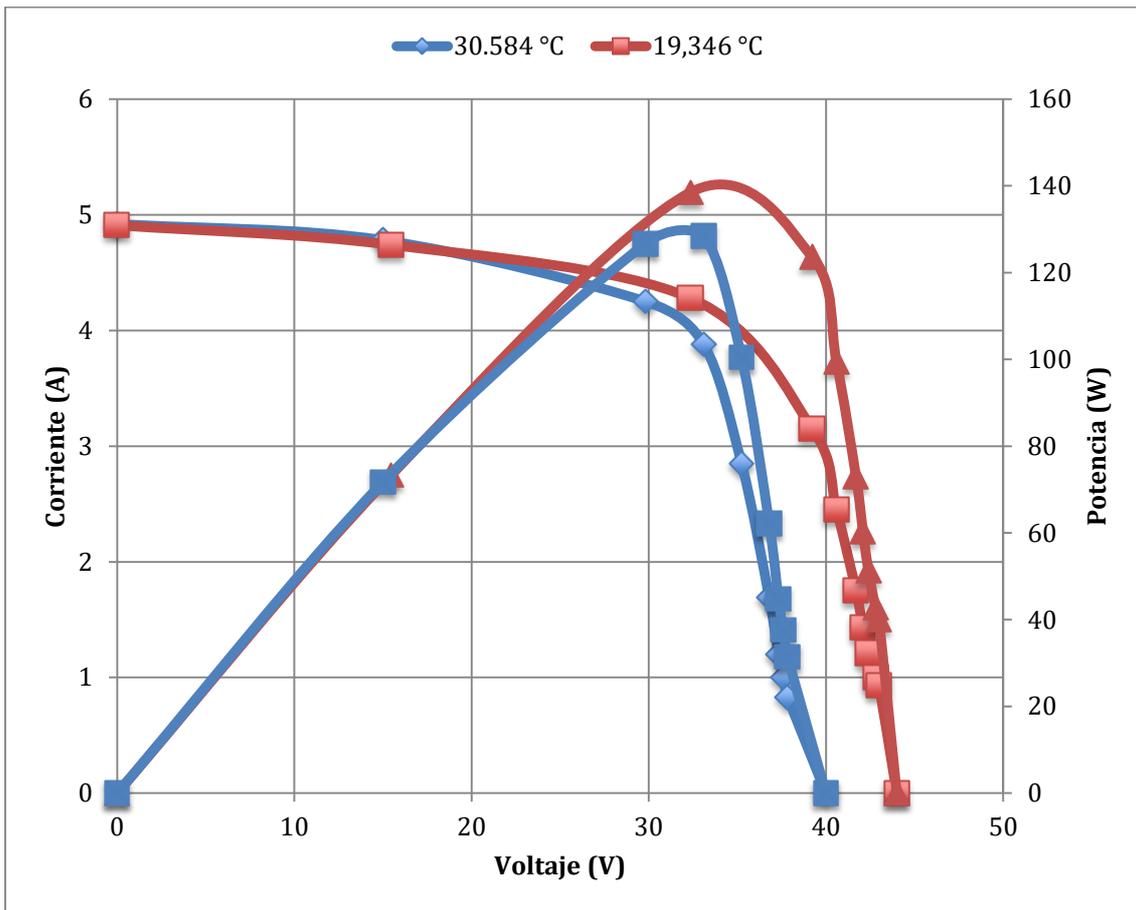
Temperatura de placa (°C)	Radiación (W/m <sup>2</sup> )
30,584	826,51

Resistencia (Ω)	Voltaje (V)	Intensidad (A)
0	0	4,92
3,62	15	4,78
8,15	29,81	4,25
9,1	33,1	3,88
11,6	35,24	2,85
19,84	36,8	1,69
29,2	37,32	1,2
44,3	37,6	1
50,6	37,85	0,83
∞	40	0

Temperatura de placa (°C)	Radiación (W/m <sup>2</sup> )
19,346	826,51

Resistencia (Ω)	Voltaje (V)	Intensidad (A)
0	0	4,91
3,1	15,47	4,74
7,4	32,36	4,28
13,6	39,23	3,15
18,4	40,6	2,45
24,2	41,7	1,75
32,7	42,1	1,43
35	42,4	1,21
43,3	42,8	1
46,9	3	0,93
∞	44	0

- Comentar los resultados obtenidos.



Se observa el efecto de la temperatura del panel fotovoltaico sobre la salida de éste. Se obtiene una mejor salida para una temperatura de panel inferior, ya que aumenta el punto de máxima potencia.

Como se ilustra en la gráfica, la temperatura tiene un efecto inversamente proporcional al voltaje. Por otro lado, la corriente es directamente proporcional a la temperatura, aunque en el conjunto de datos, este aspecto sea poco notable en los primeros puntos de medida.

Sin embargo, es de comentar la influencia del agua sobre la placa. Basándose en la propiedad de la reflexión que se produce en los rayos cuando entran en contacto con otro medio adicional. De acuerdo con lo anterior, la radiación recibida en la propia placa, será menor a la recibida sin la recreación de la lluvia.

### ANEJO 3: DATOS PARTE IRRADIANCIA VARIABLE EN PROPUESTA GUIÓN DE PRÁCTICAS

R ( $\Omega$ )	$\epsilon$ relativo	$\epsilon$ absoluto	I (A)	$\epsilon$ relativo	$\epsilon$ absoluto	V (V)	$\epsilon$ relativo	$\epsilon$ absoluto	P (W)	$\epsilon$ relativo	$\epsilon$ absoluto
0	0%	0	4,9	2,00%	0,0980003	0	0,00%	0	0	2,00%	0
1,7	31%	0,519	4,86	2,00%	0,0972003	4,8	0,50%	0,0241	23,328	2,50%	0,58368744
3,7	18%	0,659	4,84	2,00%	0,0968003	13,6	0,50%	0,0681	65,824	2,50%	1,64608808
6,2	13%	0,834	4,6	2,00%	0,0920003	26,1	0,50%	0,1306	120,06	2,50%	3,00196783
9,2	11%	1,044	3,7	2,00%	0,0740003	34,06	0,50%	0,1704	126,022	2,50%	3,150930218
16,2	9%	1,534	2	2,00%	0,0400003	36,5	0,50%	0,1826	73	2,50%	1,82521095
21	9%	1,87	1,6	2,00%	0,0320003	36,6	0,50%	0,1831	58,56	2,50%	1,46417098
25	9%	2,15	1,39	2,00%	0,0278003	36,9	0,50%	0,1846	51,291	2,50%	1,28242507
33	8%	2,71	1,24	2,00%	0,0248003	37,2	0,50%	0,1861	46,128	2,50%	1,15333516
35,7	8%	2,899	1,03	2,00%	0,0206003	37,57	0,50%	0,1880	38,6971	2,50%	0,967541771
44,5	8%	3,515	0,84	2,00%	0,0168003	38	0,50%	0,1901	31,92	2,50%	0,7980954
$\infty$	0%	0	0	0,00%	0	38,9	0,50%	0,1946	0	0,50%	0
R ( $\Omega$ )			I (A)			V (V)			P (W)		
0	0%	0	2,06	2,00%	0,0412003	0	0,00%	0	0	2,00%	0
2,1	26%	0,547	2,02	2,00%	0,0404003	1,6	0,51%	0,0081	3,232	2,51%	0,08100248
8	12%	0,96	1,98	2,00%	0,0396003	15,3	0,50%	0,0766	30,294	2,50%	0,75755259
14,2	10%	1,394	1,96	2,00%	0,0392003	27,3	0,50%	0,1366	53,508	2,50%	1,33790419
18,6	9%	1,702	1,84	2,00%	0,0368003	33,63	0,50%	0,1683	61,8792	2,50%	1,547174089
23,1	9%	2,017	1,72	2,00%	0,0344003	35,2	0,50%	0,1761	60,544	2,50%	1,51378256
26,2	9%	2,234	1,4	2,00%	0,0280003	37,3	0,50%	0,1866	52,22	2,50%	1,30565119
32,5	8%	2,675	1,13	2,00%	0,0226003	38	0,50%	0,1901	42,94	2,50%	1,0736244
36,3	8%	2,941	1,02	2,00%	0,0204003	38,17	0,50%	0,1910	38,9334	2,50%	0,973448451
40,2	8%	3,214	0,92	2,00%	0,0184003	38,2	0,50%	0,1911	35,144	2,50%	0,87870346
45,2	8%	3,564	0,84	2,00%	0,0168003	38,23	0,50%	0,1913	32,1132	2,50%	0,802925469
$\infty$	0%	0	0	0,00%	0	38,5	0,50%	0,1926	0	0,50%	0

## ANEJO 4: DATOS PARTE IRRADIANCIA CONSTANTE EN PROPUESTA GUIÓN DE PRÁCTICAS

**Tª placa** 30,5 ± 0,3 (±1%) °C

**Radiación** 826 (±0,2%) W/m<sup>2</sup>

R (Ω)	ε relativo	ε absoluto	I (A)	ε relativo	ε absoluto	V (V)	ε relativo	ε absoluto	P (W)	ε relativo	ε absoluto
0	0,00%	0	4,92	2,00%	0,0984003	0	0,00%	0	0	2,00%	0,020000061
3,62	18,05%	0,6534	4,78	2,00%	0,0956003	15	0,50%	0,0751	71,7	2,50%	71,72500673
8,15	11,91%	0,9705	4,25	2,00%	0,0850003	29,81	0,50%	0,14915	126,6925	2,50%	126,7175034
9,1	11,40%	1,037	3,88	2,00%	0,0776003	33,1	0,50%	0,1656	128,428	2,50%	128,4530031
11,6	10,45%	1,212	2,85	2,00%	0,0570003	35,24	0,50%	0,1763	100,434	2,50%	100,4590029
19,84	9,02%	1,7888	1,69	2,00%	0,0338003	36,8	0,50%	0,1841	62,192	2,50%	62,21700289
29,2	8,37%	2,444	1,2	2,00%	0,0240003	37,32	0,50%	0,1867	44,784	2,50%	44,80900293
44,3	7,90%	3,501	1	2,00%	0,0200003	37,6	0,50%	0,1881	37,6	2,50%	37,62500296
45,8	7,87%	3,606	0,83	2,00%	0,0166003	37,85	0,50%	0,18935	31,4155	2,50%	31,440503
∞	0,00%	0	0	0,00%	0,0000003	40	0,50%	0,2001	0	0,50%	0,0050025

**Tª placa** 19,34 ± 0,19 (±1%) °C

**Radiación** 813 (±0,2%) W/m<sup>2</sup>

R (Ω)	ε relativo	ε absoluto	I (A)	ε relativo	ε absoluto	V (V)	ε relativo	ε absoluto	P (W)	ε relativo	ε absoluto
0	0,00%	0	4,91	2,00%	0,0982003	0	0,00%	0	0	2,00%	0,020000061
3,1	19,90%	0,617	4,74	2,00%	0,0948003	15,47	0,50%	0,07745	73,3278	2,50%	73,35280653
7,4	12,41%	0,918	4,28	2,00%	0,0856003	32,36	0,50%	0,1619	138,5008	2,50%	138,5258032
13,6	9,94%	1,352	3,15	2,00%	0,0630003	39,23	0,50%	0,19625	123,5745	2,50%	123,5995026
18,4	9,17%	1,688	2,45	2,00%	0,0490003	40,6	0,50%	0,2031	99,47	2,50%	99,49500259
24,2	8,65%	2,094	1,75	2,00%	0,0350003	41,7	0,50%	0,2086	72,975	2,50%	73,00000257
32,7	8,22%	2,689	1,43	2,00%	0,0286003	42,1	0,50%	0,2106	60,203	2,50%	60,22800259
35	8,14%	2,85	1,21	2,00%	0,0242003	42,4	0,50%	0,2121	51,304	2,50%	51,32900261
43,3	7,92%	3,431	1	2,00%	0,0200003	42,8	0,50%	0,2141	42,8	2,50%	42,82500264
46,9	7,85%	3,683	0,93	2,00%	0,0186003	43	0,50%	0,2151	39,99	2,50%	40,01500265
∞	0,00%	0	0	0,00%	0,0000003	44	0,50%	0,2201	0	0,50%	0,005002273

# ANEJO 5: ESPECIFICACIONES MULTÍMETRO METERMAN 34XR

**TRANSCAT**

▶ Visit us at [Transcat.com!](http://Transcat.com!)

**WAVETEK®  
Meterman®**

**34XR**

35 Vantage Point Drive // Rochester, NY 14624 // Call 1.800.800.5001

True RMS digital multimeter with temperature and backlight for contractors and field service technicians.



- Frequency to 40 MHz, temperature to 1832 °F, capacitance to 4000 µF
- Input warning tone when test leads are in wrong jack
- 1000 V/750 V dc/ac
- 10 Amps ac/dc, fully safety fused
- Resistance to 40 MΩ
- Continuity beeper
- Min/Max, Data Hold and Range Lock
- Auto power off to save battery life
- Separate door for easy battery and fuse access
- Magne-Grip™ Holster with magnetic hanging strap
- CAT III 600 V, CAT II 1000 V rated
- UL (cULus) listed
- Three-year warranty

### 34XR Specifications (at 23 °C ± 5 °C, <75 % R.H. non-condensing)

<b>DC Voltage</b>	
Ranges	400 mV, 4 V, 40 V, 400 V, 1000 V
Accuracy	all ranges: ± (0.5 % rdg + 1 dgt)
Resolution	100 µV
<b>AC Voltage (45 Hz to 2 kHz) True RMS</b>	
Ranges	400 mV, 4 V, 40 V, 400 V, 750 V
Accuracy	400 mV range, 45 to 100 Hz: ± (1.2 % rdg + 8 dgts) 750 V range: 45 to 1 kHz: ± (2.0 % rdg + 8 dgts) All other ranges, 45 to 500 Hz: ± (1.2 % rdg + 8 dgts) All other ranges, 500 to 2 kHz: ± (2.0 % rdg + 8 dgts)
Resolution	100 µV
AC coupled True RMS specified from 5 % to 100 % of range	
<b>DC Current</b>	
Ranges	400 µA, 4 mA, 40 mA, 300 mA, 10 A
Accuracy	400 µA to 300 mA ranges: ± (1.0 % rdg + 1 dgt) 10 A range: ± (2.0 % rdg + 3 dgts)
Resolution	0.1 µA
<b>AC Current (45 Hz to 1 kHz) True RMS</b>	
Ranges	400 µA, 4 mA, 40 mA, 300 mA, 10 A
Accuracy	400 µA to 300 mA ranges: ± (1.5 % rdg + 8 dgts) 10 A range: ± (2.5 % rdg + 10 dgts)
Resolution	0.1 µA
<b>Resistance</b>	
Ranges	400 Ω, 4 kΩ, 40 kΩ, 400 kΩ, 4 MΩ, 40 MΩ
Accuracy	400, 4 k, 40 k, 400 k, 4 MΩ ranges: ± (1.0 % rdg + 4 dgts) 40 MΩ range: ± (2.0 % rdg + 5 dgts)
Resolution	100 mΩ
<b>Capacitance</b>	
Ranges	4 µF, 40 µF, 400 µF, 4000 µF
Accuracy	4 µF range: ± (5.0 % rdg + 10 dgts) 40 µF, 400 µF ranges: ± (5.0 % rdg + 5 dgts) 4000 µF range: ± (5.0 % rdg + 15 dgts)
Resolution	1 nF
<b>Temperature</b>	
Ranges	-20 °C to 1000 °C, -4 °F to 1832 °F
Accuracy	-20 °C to 10 °C: ± (2.0 % rdg + 4 °C) 10 °C to 200 °C: ± (1.0 % rdg + 3 °C) 200 °C to 1000 °C: ± (3.0 % rdg + 2 °C) -4 °F to 50 °F: ± (2.0 % rdg + 8 °F) 50 °F to 400 °F: ± (1.0 % rdg + 6 °F) 400 °F to 1832 °F: ± (3.0 % rdg + 4 °F)
Resolution	1 °C, 1 °F
<b>Frequency</b>	
Ranges	4 kHz, 40 kHz, 400 kHz, 4 MHz, 40MHz
Accuracy	all ranges: ± (0.1 % rdg + 3 dgts)
Resolution	1 Hz
<b>Duty Cycle</b>	
Ranges	0 to 90 %
Accuracy	5 V logic: ± (2.0 % rdg + 5 dgts)
Frequency Range	40 Hz to 20 kHz
<b>Continuity</b>	
Audible Indication	< 35 Ω

Digital Multimeter



# 34XR

True RMS digital multimeter with temperature and backlight for contractors and field service technicians.

Digital Multimeter

### 34XR Specifications (at 23 °C ± 5 °C, <75 % R.H. non-condensing)

Diode Test	
Test Current	1.2 mA (approximate)
Open Circuit Volts	3.0 V dc typical
Overload Protection	
AC/DC Voltage	All ranges 1000 V dc or 750 V ac rms
AC/DC Current	µA/mA input: 0.315 A /1000 V fast-blow ceramic (6.3 x 32 mm) 10 A input: 10 A /1000 V fast-blow ceramic 10 x 38 mm (10 A for 4 minutes maximum followed by a 12 minute cooling period)

### General Specifications

**Autoranging; Display:** 3-3/4 digit LCD, 3999 counts with 41-segment analog bar graph; **Display Update Rate:** 2/sec, nominal; **Power Battery:** 9 V NEDA 1604, JIS 006P, IEC 6F22; **Battery Life:** 200 hrs typical (alkaline) frequent use of backlight will decrease battery life; **Operating Temperature:** 0 °C to 45 °C at < 70 % R.H.; **Storage Temperature:** -20 °C to 60 °C, 0 to 80 % R.H. with battery removed from meter; **Dimensions:** 7.75" x 3.55" x 2.4" (196 x 92 x 60mm); **Weight (without holster, including battery):** 1 lb (400 gr)

### Included Accessories

Test leads with threaded alligator clips (TL36), 9 V battery (installed), Magne-Grip™ Holster with magnetic hanging strap (H2-XR), Temperature adapter (XR-TA), Type K thermocouple probe (TP255), spare fuse, operators manual

### Features

Input lead warning; analog bar graph; Data Hold; Min/Max; Range Lock; auto power off after 30 minutes typical; low battery indication; backlight; overrange indication; easy access fuse and battery door; three-year warranty

### Optional Accessories

VC221A Padded Vinyl Carry Case, DL248C Deluxe Test Lead Kit, DC205B Heavy Duty Case, HV231-10 High Voltage Probe, TP254 High Temperature Probe



Wavetek Meterman®  
The right tool for the job.™

## TRANSCAT

35 Vantage Point Drive  
Rochester, NY 14624  
1.800.800.5001

▶ Visit us at [Transcat.com](http://Transcat.com)!

©2002 Wavetek Meterman Test Tools. All rights reserved.  
Printed in U.S.A. 12/2002 2062665 D-ENG-N Rev A

# ANEJO 6: HOJA DE CARACTERÍSTICAS SONDA PT-1000

RS Stock No. 547-7297

## Data sheet PS

<b>PT100 THERMIC ELEMENT WITH CABLE AND OVERMOULDED TIP</b>															
<b>RANGE :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>-20°C / +100°C</li> </ul>															
<b>USE :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Universal</li> </ul>															
<b>KEY POINT :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Flexible</li> </ul>															
<b>SPECIFICATIONS :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>PT100Ω thermic element A Class – 1x2 wires</li> <li>Overmoulded tip</li> <li>Cable 2 conductors, section 0.22mm<sup>2</sup>, isolated PVC/PVC</li> </ul>															
<b>DIMENSIONS:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tip length = 35mm</li> <li>Tip diameter = 6mm</li> <li>Total length (tip + cable) = 2020mm</li> </ul>															
<b>METROLOGICAL DATA :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>As per IEC 751</li> <li><i>Standard tolerance PT100 A class</i>: ±0.15 + 0.002. [t°C]</li> </ul>															
<p><b><u>Other dimensions:</u></b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">TIP Diameter</th> <th style="text-align: center;">6mm</th> <th style="text-align: center;">8mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Sensing element</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">PT100Ω</td> <td style="text-align: center;">370-6587</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">PT1000Ω</td> <td style="text-align: center;">547-7297</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Thermistance</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">370-6133</td> </tr> </tbody> </table>	TIP Diameter	6mm	8mm	Sensing element			PT100Ω	370-6587		PT1000Ω	547-7297		Thermistance	-	370-6133
TIP Diameter	6mm	8mm													
Sensing element															
PT100Ω	370-6587														
PT1000Ω	547-7297														
Thermistance	-	370-6133													

CORREGE/ FC12-049/0-547-7297-PS



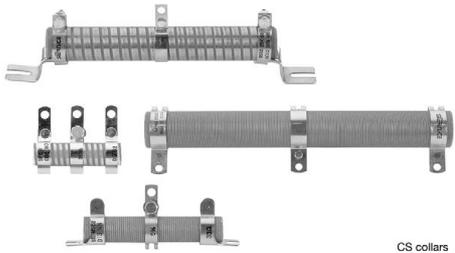
# ANEJO 7: HOJA DE CARACTERÍSTICAS RESISTENCIA VARIABLE



**RSSD**

Vishay Sfernice

## Adjustable Wirewound Vitreous Resistors Low Ohmic Values (0.10 Ω available)



CS collars

**FEATURES**

- High power rating: 16 W to 600 W at 25 °C
- Heavy overloads 10 P<sub>n</sub> 15 s ≤ 1 %
- Low ohmic values 0.10 Ω available
- High long term stability drift < 1.5 % after 1000 h
- Excellent withstanding of thermal shock
- Mechanical strength
- Fire proof
- Material categorization: for definitions of compliance please see [www.vishay.com/doc?99912](http://www.vishay.com/doc?99912)

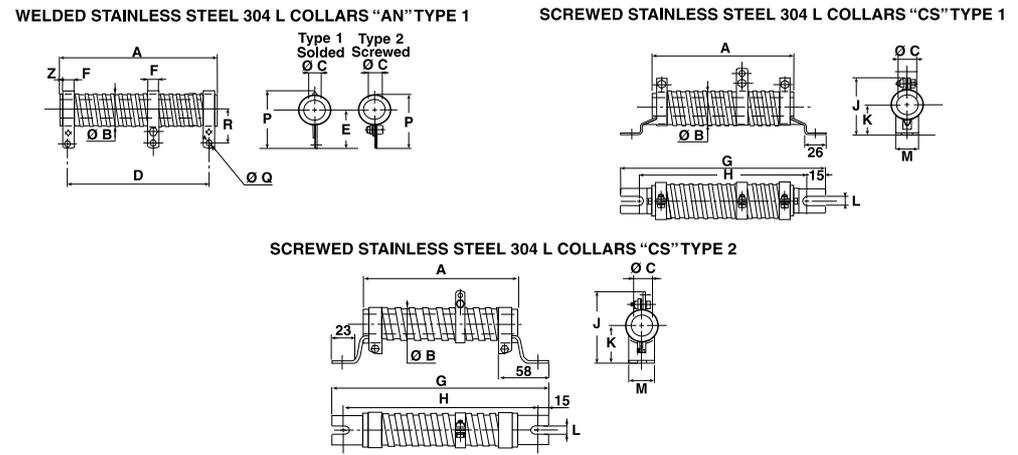


**RoHS**  
COMPLIANT

RSSD medium and high power resistors are noted for their ability to withstand heavy transient and severe shock and vibration conditions. They complement the ohmic range of Vishay styles RW, RWST and RA in the low value area, and can be tapped by means of adjustable collars. Standard RSSD resistors have a single adjustable collar.

NF F 16101, 10/1988 and 16102, 04/1992: Not applicable (our parts are made of metallic and refractory materials).

**DIMENSIONS** in millimeters



RSSD SERIES	CONNECTION	A ± 2	Ø B MAX.	Ø C MIN.	D	E	F + 0.5 + 0	P	Ø Q	R	Z APPROX.	AVERAGE UNIT WEIGHT IN g
8 x 34	AN type1	34	10	4.1	27 ± 2	20 ± 0.5	5	28 ± 1	3.2	16 ± 0.5	1	10
10 x 50	AN type1	50	11.5	5	40 ± 2	22 ± 0.5	6.35	31 ± 1	4.2	18 ± 0.5	1.5	22
13 x 70	AN type1 CS <sup>(1)</sup>	70	14.5	6.7	56 ± 2	24 ± 0.5	6.35	34 ± 1	4.2	20 ± 0.5	3.5	38
16 x 94	AN type1	94	18	9.2	78 ± 2	26.5 ± 0.5	6.35	38 ± 1	4.2	21 ± 0.5	4	55
20 x 117	AN type1	117	22	12.6	98 ± 2	31 ± 0.7	6.35	42 ± 1	4.2	24 ± 0.7	5	80

**Note**

<sup>(1)</sup> CS connections on request.



DIMENSIONS in millimeters											
RSSD SERIES	CONNECTIONS		A ± 2	Ø B MAX.	Ø C MIN.	D	E	F + 0,5 + 0	G - 4 - 0	H - 4 - 0	J
25 x 138	AN type1	cs type1	138	27	16.4	117 ± 2	33.5 ± 1	9	199	169	50 ± 1.5
25 x 168	AN type1	cs type1	168	27	16.4	147 ± 2	33.5 ± 1	9	229	199	50 ± 1.5
30 x 250	AN type1	cs type1	250	32	21.3	227 ± 2.5	36 ± 1	13	317	287	60 ± 1.5
40 x 370	AN type2	cs type2	370	43	22.3	332 ± 3	57 ± 1.5	18	432	405	69 max.
50 x 373	AN type2	cs type2	373	53	27.1	332 ± 3	63 ± 1.5	18	432	405	80 max.
RSSD SERIES	CONNECTIONS		K	L ± 0.5	M ± 0.5	P	Ø Q	R	Z APPROX.	AVERAGE UNIT WEIGHT IN g	
25 x 138	AN type1	cs type1	27 ± 1	6.5	24	51 ± 1.5	5.7	28.5 ± 1	6	AN	CS
25 x 168	AN type1	cs type1	27 ± 1	6.5	24	51 ± 1.5	5.7	28.5 ± 1	6	90	135
30 x 250	AN type1	cs type1	30 ± 1	9	25	55 ± 1.5	5.7	31 ± 1	5	115	160
40 x 370	AN type2	cs type2	45 ± 1	9	30	81.5 max.	9.2	45 ± 1.5	10	240	290
50 x 373	AN type2	cs type2	51 ± 1.5	9	30	92.5 max.	9.2	51 ± 1.5	11.5	845	925
										1270	1350

STANDARD ELECTRICAL SPECIFICATIONS				
MODEL	SIZE	RESISTANCE RANGE Ω	RATED POWER P <sub>25 °C</sub> W	TOLERANCE ± %
RSSD 8 x 34	0834	0.12 to 10	16	5, 10, 20
RSSD 10 x 50	1050	0.12 to 22	25	5, 10, 20
RSSD 13 x 70	1370	0.12 to 43	42	5, 10, 20
RSSD 16 x 94	1694	0.33 to 75	70	5, 10, 20
RSSD 20 x 117	20117	0.22 to 100	100	5, 10, 20
RSSD 25 x 138	25138	0.10 to 150	140	5, 10, 20
RSSD 25 x 168	25168	0.12 to 220	200	5, 10, 20
RSSD 30 x 250	30250	0.22 to 360	280	5, 10, 20
RSSD 40 x 370	40370	0.47 to 470	450	5, 10, 20
RSSD 50 x 373	50373	0.68 to 560	600	5, 10, 20

MECHANICAL SPECIFICATIONS	
Mechanical Protection	Vishay Sfernice special cement
Resistive Element	Nickel alloy wire
Connections	AN collars CS supporting collars
Average Unit Weight	10 g to 1350 g

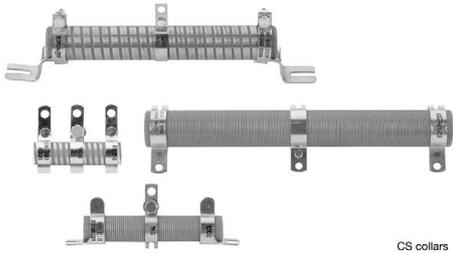
TECHNICAL SPECIFICATIONS	
Resistance Range	0.12 Ω to 560 Ω (E12 series)
Standard Tolerance	R ≥ 10 Ω ± 5 % <sup>(1)</sup> 1 Ω ≤ R < 10 Ω ± 10 % 0.1 Ω ≤ R < 1 Ω ± 20 %
Power Rating	14 W to 600 W at 25 °C

Note  
<sup>(1)</sup> 10 % for RSSD 8 x 34 only.

ENVIRONMENTAL SPECIFICATIONS	
Temperature Range	-55 °C +450 °C
Climatic Category	-55 °C / +200 °C / 56 days

PERFORMANCE			
TESTS	CONDITIONS	REQUIREMENTS	TYPICAL VALUES AND DRIFTS
Short Time Overload	10 P <sub>r</sub> during 5 s	2 %	1 %
Climatic Sequence	-55 °C +200 °C 5 cycles	3 %	1 %
Thermal Shock	Load at 100 % P <sub>r</sub> followed by cold -55 °C / 15	2 % or 0.05 Ω	1 %
Load Life	90 / 30 cycle 1000 h at P <sub>r</sub> at +25 °C	5 %	1.5 %

## Adjustable Wirewound Vitreous Resistors Low Ohmic Values (0.10 Ω available)



CS collars

**FEATURES**

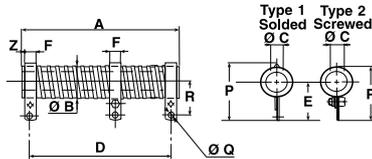
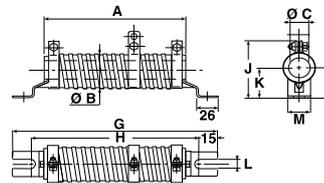
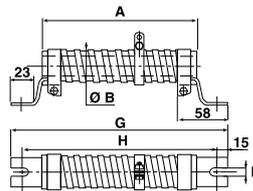
- High power rating: 16 W to 600 W at 25 °C
- Heavy overloads 10 P<sub>n</sub> 15 s ≤ 1 %
- Low ohmic values 0.10 Ω available
- High long term stability drift < 1.5 % after 1000 h
- Excellent withstanding of thermal shock
- Mechanical strength
- Fire proof
- Material categorization: for definitions of compliance please see [www.vishay.com/doc?99912](http://www.vishay.com/doc?99912)


**RoHS  
COMPLIANT**

RSSD medium and high power resistors are noted for their ability to withstand heavy transient and severe shock and vibration conditions. They complement the ohmic range of Vishay styles RW, RWST and RA in the low value area, and can be tapped by means of adjustable collars. Standard RSSD resistors have a single adjustable collar.

NF F 16101, 10/1988 and 16102, 04/1992: Not applicable (our parts are made of metallic and refractory materials).

**DIMENSIONS** in millimeters

**WELDED STAINLESS STEEL 304 L COLLARS "AN" TYPE 1**

**SCREWED STAINLESS STEEL 304 L COLLARS "CS" TYPE 1**

**SCREWED STAINLESS STEEL 304 L COLLARS "CS" TYPE 2**


RSSD SERIES	CONNECTION	A ± 2	Ø B MAX.	Ø C MIN.	D	E	F + 0.5 + 0	P	Ø Q	R	Z APPROX.	AVERAGE UNIT WEIGHT IN g
8 x 34	AN type1	34	10	4.1	27 ± 2	20 ± 0.5	5	28 ± 1	3.2	16 ± 0.5	1	10
10 x 50	AN type1	50	11.5	5	40 ± 2	22 ± 0.5	6.35	31 ± 1	4.2	18 ± 0.5	1.5	22
13 x 70	AN type1 CS <sup>(1)</sup>	70	14.5	6.7	56 ± 2	24 ± 0.5	6.35	34 ± 1	4.2	20 ± 0.5	3.5	38
16 x 94	AN type1	94	18	9.2	78 ± 2	26.5 ± 0.5	6.35	38 ± 1	4.2	21 ± 0.5	4	55
20 x 117	AN type1	117	22	12.6	98 ± 2	31 ± 0.7	6.35	42 ± 1	4.2	24 ± 0.7	5	80

**Note**

<sup>(1)</sup> CS connections on request.

## ANEJO 8: ESPECIFICACIONES PIRANÓMETRO CMP-3



Especificaciones	CMP 3	CMP 6	CMP10 & CMP 11	CMP 21	CMP 22
Clasificación ISO 9060:1990	Segunda clase	Primera clase	Patrón secundario	Patrón secundario	Patrón secundario
Rango espectral (50% punto)	300 a 2800 nm	285 a 2800 nm	285 a 2800 nm	285 a 2800 nm	200 a 3600 nm
Sensibilidad	5 a 20 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$	5 a 20 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$	7 a 14 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$	7 a 14 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$	7 a 14 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$
Impedancia	20 a 200 $\Omega$	20 a 200 $\Omega$	10 a 100 $\Omega$	10 a 100 $\Omega$	10 a 100 $\Omega$
Rango de salida prevista (0 a 1500 $\text{W}/\text{m}^2$ )	0 a 30 mV	0 a 30 mV	0 a 20 mV	0 a 20 mV	0 a 20 mV
Radiación máxima	2000 $\text{W}/\text{m}^2$	2000 $\text{W}/\text{m}^2$	4000 $\text{W}/\text{m}^2$	4000 $\text{W}/\text{m}^2$	4000 $\text{W}/\text{m}^2$
Tiempo de respuesta (63%)	< 6 s	< 6 s	< 1,7 s	< 1,7 s	< 1,7 s
Tiempo de respuesta (95%)	< 18 s	< 18 s	< 5 s	< 5 s	< 5 s
Offset cero					
(a) radiación térmica (200 $\text{W}/\text{m}^2$ )	< 15 $\text{W}/\text{m}^2$	< 12 $\text{W}/\text{m}^2$	< 7 $\text{W}/\text{m}^2$	< 7 $\text{W}/\text{m}^2$	< 3 $\text{W}/\text{m}^2$
(b) cambio de temperatura (5 K/h)	< 5 $\text{W}/\text{m}^2$	< 4 $\text{W}/\text{m}^2$	< 2 $\text{W}/\text{m}^2$	< 2 $\text{W}/\text{m}^2$	< 1 $\text{W}/\text{m}^2$
No estabilidad (cambio/año)	< 1%	< 1%	< 0,5%	< 0,5%	< 0,5%
No linealidad (300 a 1000 $\text{W}/\text{m}^2$ )	< 1%	< 1%	< 0,2%	< 0,2%	< 0,2%
Respuesta direccional (a 80° a la rayo de 1000 $\text{W}/\text{m}^2$ )	< 20 $\text{W}/\text{m}^2$	< 20 $\text{W}/\text{m}^2$	< 10 $\text{W}/\text{m}^2$	< 10 $\text{W}/\text{m}^2$	< 5 $\text{W}/\text{m}^2$
Selectividad espectral (350 a 1500 nm)	< 3%	< 3%	< 3%	< 3%	< 3%
Respuesta temperatura	< 5% (-20°C a +40°C)	< 4% (-20°C a +40°C)	< 1% (-20°C a +40°C)	< 1% (-20°C a +50°C)	< 0,5% (-20°C a +50°C)
Respuesta de inclinación (0° a 90° a 1000 $\text{W}/\text{m}^2$ )	< 1%	< 1%	< 0,2%	< 0,2%	< 0,2%
Campo de visión	180°	180°	180°	180°	180°
Precisión de nivel de burbuja	< 0,2°	< 0,1°	< 0,1°	< 0,1°	< 0,1°
Salida del sensor de temperatura				Termistor 10 K (opcional Pt 100)	Termistor 10 K (opcional Pt 100)
Tipo de detector	Termopila	Termopila	Termopila	Termopila	Termopila
Temperatura de funcionamiento	-40°C a +80°C	-40°C a +80°C	-40°C a +80°C	-40°C a +80°C	-40°C a +80°C
Temperatura de almacenamiento	-40°C a +80°C	-40°C a +80°C	-40°C a +80°C	-40°C a +80°C	-40°C a +80°C
Rango de humedad	0 a 100% sin condensación	0 a 100% sin condensación	0 a 100% sin condensación	0 a 100% sin condensación	0 a 100% sin condensación
Grado de protección IP	67	67	67	67	67
Aplicaciones recomendadas	Estaciones meteorológicas y medidas en campo	Medida de calidad para redes hidrológicas, y control climático del efecto invernadero	Fotovoltaicas y termosolares, test de materiales	Redes meteorológicas	Investigación y aplicaciones con exigentes requisitos

Nota: Las especificaciones de rendimiento indicadas son para el peor caso y/o valores máximos.  
Termistor 10 K opcional con CMP6 y CMP 11, Termistor 10 K estándar o Pt 100 opcional con CMP 21 y CMP 22.  
Los sensores CMP 21 y CMP 22 incluyen tests individuales de respuesta direccional y de dependencia de la temperatura.



Visita [www.kippzonen.com](http://www.kippzonen.com) para encontrar su distribuidor local

### OFICINA CENTRAL

**Kipp & Zonen B.V.**  
 Delftechpark 36, 2628 XH Delft  
 P.O. Box 507, 2600 AM Delft  
 The Netherlands  
 T: +31 (0) 15 2755 210  
 F: +31 (0) 15 2620 351  
 info@kippzonen.com

Kipp & Zonen B.V. se reserva el derecho de cambiar las especificaciones de este documento sin notificación

4014470-V1317f5

## ANEJO 9: DATOS TÉCNICOS INVERSOR AJ 350-24-S

**STUDER Innotec SA**

**AJ**

### DATOS TÉCNICOS

Modelo	AJ 275-12	AJ 350-24	AJ400-48	AJ 500-12	AJ 600-24	AJ 700-48	
<b>Inversor</b>							
Tension nominal de batería	12Vdc	24Vdc	48Vdc	12Vdc	24Vdc	48Vdc	
Campo de tension de entrada	10,5 – 16Vdc (24Vdc max.)	21 – 32Vdc (44Vdc max.)	42 – 64Vdc (24Vdc max.)	10,5 – 16Vdc (20Vdc max.)	21 – 32Vdc (40Vdc max.)	42 – 64Vdc (24Vdc max.)	
Potencia continua a 25°C	200VA	300VA	300VA	400VA	500VA	500VA	
Potencia 30 min. a 25°C	275VA	350VA	400VA	500VA	600VA	700VA	
Potencia 5 min. a 25°C	350VA	500VA	600VA	575VA	675VA	900VA	
Potencia 5 sec. a 25°C	450VA	650VA	1000VA	1000VA	1200VA	1400VA	
Carga asimétrica máxima	150VA	150VA	200VA	250VA	300VA	300VA	
Rendimiento máximo (%)	93%	94%	94%	93%	94%	94%	
Cos φ max.	0,1 – 1 hasta 200VA	0,1 – 1 hasta 300VA	0,1 – 1 hasta 300VA	0,1 – 1 hasta 400VA	0,1 – 1 hasta 500VA	0,1 – 1 hasta 500VA	
Detección de carga	2W (únicamente con la opción solar –S)			Adjustable: 1 → 20W			
Corriente de corto circuito 2 seg. (exit)	2,3Aac (4,6Aac*)	3,2Aac (6,4Aac*)	4,6Aac (9,2Aac*)	5,2Aac (10Aac*)	5,7Aac (11,4Aac*)	7Aac (14Aac*)	
Tension de salida	Onda sinusoidal 230Vac (120Vac*) ±5%						
Frecuencia	50Hz (60Hz*) ±0,05% (controlado por cuarzo)						
Distorsión THD (carga resistiva)	< 5% (a Pnom. & Uin nom.)						
Consumo Stand-by	0,3W**	0,5W**	1,1W**	0,4W	0,6W	1,5W	
Consumption „ON“ sin carga	2,4W	3,5W	5,2W	4,6W	7,2W	12W	
Proteccion de sobre temperatura (±5°C)	Apagado a 75°C, reinicio automático a 70°C						
Proteccion de sobre temperatura y corto circuito	Desconexion automática con 2 intentos de reinicio						
Proteccion polarizacion inversa con fusible interno	60A	40A	25A	120A	90A	60A	
Proteccion contra descargas excesivas protection	Apagado a 0,87 x Unom, reinicio automático a Unom.						
Corte sobretension	Apagado a >1,33 x Unom, reinicio automático < Umax						
Alarma acústica	Desconexion antes de batería baja o sobre temperatura						
<b>Datos generales</b>							
Peso	2,4 kg	2,6 kg		4,5 kg			
Dimensiones AxaxL (mm)	142x163x84			142x240x84			
Índice de proteccion IP	IP 30 conforme con DIN 40050						
Certificación ECE-R 10 (E24)	•	•	No disponible	•	•	No disponible	
Conformidad EC	EN 61000-6-1, EN 61000-6-3, EN 55014, EN 55022, EN 60950-1						
Temperatura de trabajo	-20°C a +50°C						
Humedad relativa de funcionamiento	95% sin condensacion						
Ventilacion forzada	A partir de 45°C ±5°C						
Nivel acústico	< 45 dB (con ventilacion)						
Garantía	5 años						
Correccion aproximada de Pnom	-1,5%/°C a partir +25°C						
Capacidad de batería recomendada	> 5 x Pnom/Unom (valor recomendado en Ah)						
Longitud de cables (Batería/salida AC)	1,2m /1m			1,5m / 1m			
<b>Opciones</b>							
Regulador Solar	Tension max	25Vdc	45Vdc	90Vdc	25 Vdc	45Vdc	90Vdc
	Corriente max.	10Aac			15Aac		
	Principio	Mantenimiento 3 niveles (I/U/UO)					
	Tension de absorcion	14,4Vdc	28,8Vdc	57,6Vdc	14,4Vdc	28,8Vdc	57,6Vdc
	Tension flotacion	13,6Vdc	27,2Vdc	54,4Vdc	13,6Vdc	27,2Vdc	54,4Vdc
Enchufe para control remoto (RCM)	•	•	•	•	•	•	

Modelo	AJ 1000-12	AJ 1300-24	AJ2100-12	AJ 2400-24	
<b>Inversor</b>					
Tension nominal de batería	12Vdc	24Vdc	12Vdc	24Vdc	
Campo de tension de entrada	10.5 – 16Vdc (24Vdc max.)	21 – 32Vdc (44Vdc max.)	10.5 – 16Vdc (20Vdc max.)	21 – 32Vdc (40Vdc max)	
Potencia continua a 25°C	800VA	1000VA	2000VA	2000VA	
Potencia 30 min. a 25°C	1000VA	1300VA	2100VA	2400VA	
Potencia 5 min. a 25°C	1200VA	2000VA	2450VA	2800VA	
Potencia 5 sec. a 25°C	2200VA	2800VA	5000VA	5200VA	
Carga asimétrica máxima	500VA	600VA	1000VA	1200VA	
Rendimiento máximo (%)	93%	94%	92%	94%	
Cos φ max.	0.1 – 1 hasta 800VA	0.1 – 1 hasta 1000VA	0.1 – 1 hasta 2000VA	0.1 – 1 hasta 2000VA	
Detección de carga	Adjustable: 1 → 20W				
Corriente de corto circuito 2 seg. (exit)	10Aac (20Aac*)	13Aac (26Aac*)	26Aac (52Aac*)	30Aac (60Aac*)	
Tension de salida	Onda sinusoidal 230Vac (120Vac*) ±5%				
Frecuencia	50Hz (60Hz*) ±0.05% (controlado por cuarzo)				
Distorsión THD (carga resistiva)	< 5% (a Pnom. & Uin nom.)			< 3% (a Pnom. & Uin nom.)	
Consumo Stand-by	0.7W	1.2W	0.7W	1.2W	
Consumption „ON“ sin carga	10W	13W	16W	16W	
Protección de sobre temperatura (±5°C)	Apagado a 75°C, reinicio automático a 70°C				
Protección de sobre temperatura y corto circuito	Desconexión automática con 2 intentos de reinicio				
Protección polarización inversa con fusible interno	125A	100A	Sin protección	150A	
Protección contra descargas excesivas protección	Apagado a 0.87 x Unom, reinicio automático a Unom.				
Corte sobretension	Apagado a >1.33 x Unom, reinicio automático < Umax				
Alarma acústica	Desconexión antes de batería baja o sobre temperatura				
<b>Datos generales</b>					
Peso	8.5 kg		19 kg	18 kg	
Dimensiones AxaxL (mm)	142x428x84		273x399x117		
Índice de protección IP	IP 30 conforme con DIN 40050		IP 20 conforme con DIN 40050		
Certificación ECE-R 10 (E24)	•	•	•	•	
Conformidad EC	EN 61000-6-1, EN 61000-6-3, EN 55014, EN 55022, EN 60950-1				
Temperatura de trabajo	-20°C a +50°C				
Humedad relativa de funcionamiento	95% sin condensación				
Ventilación forzada	A partir de 45°C ±5°C				
Nivel acústico	< 45 dB (con ventilación)				
Garantía	5 años				
Corrección aproximada de Pnom	-1.5%/°C a partir +25°C				
Capacidad de batería recomendada	> 5 x Pnom/Unom (valor recomendado en Ah)				
Longitud de cables (Batería/salida AC)	1.5m /1m		1.7m / 1m		
<b>Opciones</b>					
Regulador Solar	Tensión max	AJ 1000-12 25Vdc	AJ 1300-24 45Vdc	AJ2100-12 25Vdc	AJ 2400-24 45 Vdc
	Corriente max.	25Aac		30Aac	
	Principio	Mantenimiento 3 niveles (I/U/UO)			
	Tensión de absorción	14.4Vdc	28.8Vdc	14.4Vdc	28.8Vdc
	Tensión flotación	13.6Vdc	27.2Vdc	13.6Vdc	27.2Vdc
Control remoto JT8 entregado con 5 m de cable	•	•	•	•	

## 4 Acerca de la unidad

### 4.1 Introducción

Los registradores de datos de alta resolución ADC-20 y ADC-24 ofrecen los máximos niveles de exactitud y precisión en las lecturas. Características tales como entradas diferenciales verdaderas, aislamiento galvánico y frecuencias de muestreo seleccionables por software, contribuyen a lograr una resolución libre de ruido de calidad superior. El ADC-20 está equipado con un convertor A/D de 20 bits y puede mantener un error de ganancia del 0,2%. Las cuatro entradas diferenciales verdaderas se pueden configurar como ocho entradas de terminación simple o cualquier combinación intermedia, tal como dos diferenciales y cuatro de terminación simple. El ADC-24 está equipado con un convertor A/D de 24 bits y puede mantener un error de ganancia del 0,1%. Las ocho entradas diferenciales verdaderas se pueden configurar como 16 entradas de terminación simple o cualquier combinación intermedia. La alimentación eléctrica y la conexión a un PC u ordenador portátil se realiza mediante un puerto USB 1.1 o USB 2.0. Con el software PicoLog incluido con el producto, es posible registrar, monitorizar y analizar los datos recolectados, e incluso exportar los datos a aplicaciones de terceros, tales como Microsoft Excel.

### 4.2 Especificaciones

	ADC-20	ADC-24
<b>Canales de entrada</b> Diferenciales Terminación simple	Configurables hasta 4 Configurables hasta 8	Configurables hasta 8 Configurables hasta 16
<b>Tiempo de conversión por canal</b>	60 ms, 100 ms, 180 ms, 340 ms, 660 ms	
<b>Rangos de tensión de entrada</b>	2 rangos ±1250 mV y ±2500 mV	7 rangos de ±39 mV a ±2500 mV
<b>Resolución</b>	20 bits	24 bits
<b>Resolución libre de ruido</b>	Vea la <a href="#">tabla</a> de abajo	
<b>Protección contra sobretensión</b>	±30 V entre cualquier entrada y común	
<b>Tensión de modo común</b> Canal a común Canal a común Común a toma de tierra	±1,9 V (rangos de ±39 mV a ±1250 mV) ±3,0 V (rango de ±2500 mV) ±30 V	
<b>Relación de rechazo de modo común</b> Canal a común Común a toma de tierra	95 dB (c.c. a 60 Hz) >125 dB (c.c. a 60 Hz)	
<b>Rechazo de ruido</b>	120 dB típica de 50 a 60 Hz	
<b>Impedancia de entrada</b>	2 MΩ (diferencial) 1 MΩ (terminación simple)	
<b>Error de ganancia de la impedancia de fuente</b>	0,5 ppm por ohmio de impedancia de fuente debido a la impedancia de entrada	
<b>Error de ganancia</b>	0,2%	0,1% (0,2% a ±2500 mV)

	ADC-20	ADC-24
<b>Error de desplazamiento</b>	6 $\mu$ V (rango de $\pm 39$ mV) 7 $\mu$ V (rango de $\pm 78$ mV) 9 $\mu$ V (rango de $\pm 156$ mV) 13 $\mu$ V (rango de $\pm 313$ mV) 20 $\mu$ V (rango de $\pm 625$ mV) 36 $\mu$ V (rango de $\pm 1250$ mV) 400 $\mu$ V (rango de $\pm 2500$ mV)	
<b>E/S digitales</b>	Ninguna	4
Nivel de salida alto		> 2,40 V
Nivel de salida bajo		< 0,40 V
Nivel de entrada alto		> 2,20 V
Nivel de entrada bajo		< 0,88 V
<b>Aislamiento (entre entradas)</b>	Ninguno	
<b>Aislamiento (entrada a tierra)</b>	Galvánico, hasta +/- 30 V Aislamiento de tierra digital y analógica	
<b>Salida de referencia</b>	+2.5 V $\pm$ 2.5 mV a 2 mA	
<b>Salidas de potencia</b>	+5 V $\pm$ 1,0 V a 2 mA -5 V $\pm$ 1,5 V a 2 mA	
<b>Condiciones ambientales</b>	Temperatura de operación Para la precisión de entrada indicada Temperatura de almacenamiento Humedad de operación Humedad de almacenamiento	
	0°C a 45°C 20°C a 30°C -20°C a 60°C 5% a 80% de HR, sin condensación 5% a 95% de HR, sin condensación	
<b>Intervalo de calibración recomendado</b>	1 año	
<b>Conexión a PC</b>	USB 1.1 (compatible con USB 2.0) Longitud aprox. del cable 4,4 m	
<b>Conector de entrada</b>	DB25 hembra	
<b>Fuente de alimentación</b>	100 mA (máx.) del puerto USB	
<b>Dimensiones</b>	13,5 x 18,4 x 3,6 cm	
<b>Peso</b>	Aprox. 505 g	

### 4.3 Conector analógico

Las entradas analógicas están conectadas al ADC-20 y ADC-24 mediante el conector DB25 hembra. Las conexiones son las siguientes:

Clavija	Función	Term	Función
1	Canal 2 (Canal 1-)	14	Canal 1
2	Canal 4 (Canal 3-)	15	Canal 3
3	Canal 6 (Canal 5-)	16	Canal 5
4	Canal 8 (Canal 7-)	17	Canal 7
5	Canal 10 (Canal 9-)	18	Canal 9
6	Canal 12 (Canal 11-)	19	Canal 11
7	Canal 14 (Canal 13-)	20	Canal 13
8	Canal 16 (Canal 15-)	21	Canal 15
9	Tierra analógica	22	Tierra digital
10	+5 voltios	23	E/S digital 1
11	-5 voltios	24	E/S digital 2
12	+2,5 voltios	25	E/S digital 3
13	E/S digital 4		

Nota 1: Los números de canales entre paréntesis corresponden a cuando la entrada se configura al modo diferencial.

Nota 2: Los canales del 9 al 16 existen sólo en el ADC-24.

Nota 3: Las E/S digitales de 1 a 4 existen sólo en el ADC-24.

Nota 4: Los terminales 10 y 11 son salidas de baja corriente para alimentar sensores pequeños. No se deben exceder los límites de corriente indicados en la tabla de [Especificaciones](#).

Nota 5: Las tierras analógica y digital no están conectadas entre sí en el interior de la unidad. No debe conectarlas externamente, puesto que podría degradarse la precisión de la unidad.

Nota 6: Para facilitar la conexión al conector DB25, recomendamos usar la [placa de terminales ADC-20/ADC-24](#).

### 4.4 Resolución libre de ruido y tiempo de conversión

La tabla siguiente muestra la cantidad de bits de resolución libres de ruido para todo el rango de tiempos de conversión.

Tiempo de conversión por canal	Rango de tensión y resolución libre de ruido (bits)						
	±39 mV	±78 mV	±156 mV	±313 mV	±625 mV	±1250 mV	±2500 mV
	Sólo ADC-24					ADC-20 y ADC-24	
660 ms	17	18	19	20	20	20	20
340 ms	17	18	19	19	19	20	20
180 ms	16	17	18	19	19	19	19
100 ms	16	17	18	18	18	19	19
60 ms	15	16	17	18	18	18	18

# ANEJO 11: ESPECIFICACIONES USB PT-104 DATA LOGGER

## USB PT-104 PRT Data Logger



**Flexible:** Measures temperatures with either PT100 or PT1000 sensors, as well as resistance and voltage.

**Adaptable:** Can measure and record temperatures ranging from -200 °C to +800 °C.

**Stable:** Instead of voltage references, which tend to drift with temperature, the PT-104 uses high-precision reference resistors.

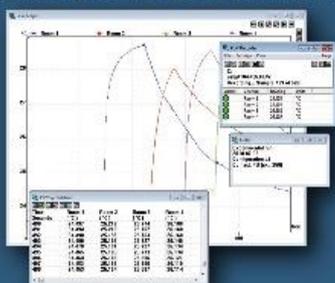
**Expandable:** Up to 20 units can be used simultaneously on one PC.

**Portable:** The PT-104 obtains its power from either the USB port or Power-over-Ethernet (PoE), so no additional power cable is needed.



## PicoLog®

PicoLog is a powerful and flexible data acquisition program designed for collecting, analyzing and displaying data over long or short periods of time. Data can be viewed both during and after data collection in spreadsheet or graphical format. If required, the data can also be easily exported to other applications.



In addition to the monitor view, PicoLog can also display a graph, a spreadsheet and user notes. It can display them all at once, as shown here, or individually in any combination.

## Software drivers

For users who wish to write their own software or use our products with third-party software, we provide, free of charge, a range of software drivers and examples. Drivers are included for Windows XP (SP3), Windows Vista and Windows 7, 8 and 10. The software development kit supports all C-compatible languages and programming examples are supplied for C, Visual Basic for Applications (Microsoft Excel) and National Instruments LabVIEW.

## Specifications

	Temperature	Resistance	Voltage
<b>Sensor</b>	PT100, PT1000	N/A	N/A
<b>Ranges</b>	-200 to +800 °C	0 to 375 Ω 0 to 10 kΩ	0 to 115 mV 0 to 2.5 V
<b>Accuracy (unit at 23 ±2 °C)</b>	0.015 °C + 0.01% of reading	20 ppm @ 100 Ω	0.4%
<b>Temp. coeff. (unit)</b>	N/A	5 ppm/°C	100 ppm/°C
<b>RMS noise with filter</b>	0.01 °C	10 ppm	10 ppm
<b>Resolution</b>	0.001 °C	1 μΩ	0.156 μV
<b>Overload protection</b>		±30 V	
<b>Number of inputs</b>		4	
<b>Converter resolution</b>		24 bits	
<b>Conversion time</b>		720 ms per channel	
<b>Input connectors</b>		4-pin mini DIN	
<b>Input impedance</b>		>> 1 MΩ	
<b>Output connectors</b>		USB and Ethernet	
<b>Power supply</b>		USB or Ethernet	
<b>Temperature range</b>	20 °C to 30 °C for stated accuracy 0 °C to 70 °C operating -20 °C to +80 °C storage		
<b>Humidity range</b>	20% to 90% RH, non-condensing, operating 5% to 95% RH, non-condensing, storage		
<b>Dimensions</b>	184 x 135 x 36 mm (5.31 x 7.24 x 1.42 in.)		

## Screw-terminal adapter



Connects discrete wires to the PT-104 without soldering. Suitable for wire-ended sensors and custom circuits.

## PRTs



SE011  
General-purpose probe  
Many other types available!

Pico Technology offers a range of platinum resistance thermometers (PRTs) for use with the PT-104. The PT-104 is compatible with all standard PT100 and PT1000 PRTs, which offer high accuracy, resolution and stability. All our probes have a stainless steel body and a 1 m long cable.

For full information on PRT specifications, characteristics and prices, go to :

[accessories.picotech.com](http://accessories.picotech.com)

and click "Sensors".

## ORDER CODES and PRICES

CODE	DESCRIPTION	GBP*	USD*	EUR*
PP682	PT-104 Data Logger	399	659	559
PP660	Screw Terminal Adapter	6	10	9
SE011	PT-100 Temperature Sensor	23	38	33

\* Prices correct at the time of publication. VAT not included. For latest prices see our website or contact us at the address below. PicoLog is a registered trade mark of Pico Technology Ltd. Windows and Excel are registered trademarks of Microsoft Corporation. LabVIEW is a registered trademark of National Instruments Corporation.



Pico Technology James House  
T: +44 (0) 1480 396 395

Colmworth Business Park St Neots Cambridgeshire PE19 8YP  
F: +44 (0) 1480 396 296 E: sales@picotech.com

[www.picotech.com](http://www.picotech.com)

MM000-4. Copyright © 2016 Pico Technology Ltd.

## ANEJO 12: EVOLUCIÓN FOTOGRÁFICA

---

El presente anexo se encarga de exponer mediante fotografías, acompañadas de una breve explicación en su inferior.



Imagen 1: Ubicación del sargento de obra



Imagen 2: Proceso soldado del sargento de obra



Imagen 3: Ubicación y soldado de bisagras



Imagen 4: Ubicación y soldado de rodamiento izquierdo en parte inclinable



Imagen 5: Ubicación y soldado de rodamiento central en parte inclinable



Imagen 6: Ubicación y soldado de rodamiento derecho en parte inclinable



Imagen 7: Elección de ruedas delanteras (izquierda) y traseras (derecha) para estructura



Imagen 8: Soldado de ruedas en estructura



Imagen 9: Estructura una semana después al inicio del proceso



Imagen 10: Ubicación y emplazamiento de chapa laminada en parte inclinable



Imagen 11: Proceso de imprimación en chapas laminadas



Imagen 12: Proceso de imprimación en estructura desnuda



Imagen 13: Proceso de pintado en chapa laminada



Imagen 14: Proceso de pintado en estructura desnuda



Imagen 15: Ubicación, sellado y remachado de chapas laminadas



Imagen 16: Sellado de regleta para ocultar elementos de transmisión y cableado de placa FV



Imagen 17: Ubicación, sellado y remachado de chapa laminada inferior



Imagen 18: Armario GCE Solar con estantes de separación a medida



Imagen 19: Interior armario e instalación interruptor GCE Solar



Imagen 20: Base para cálculo ángulo de incidencia



Imagen 21: Elemento cálculo ángulo de incidencia

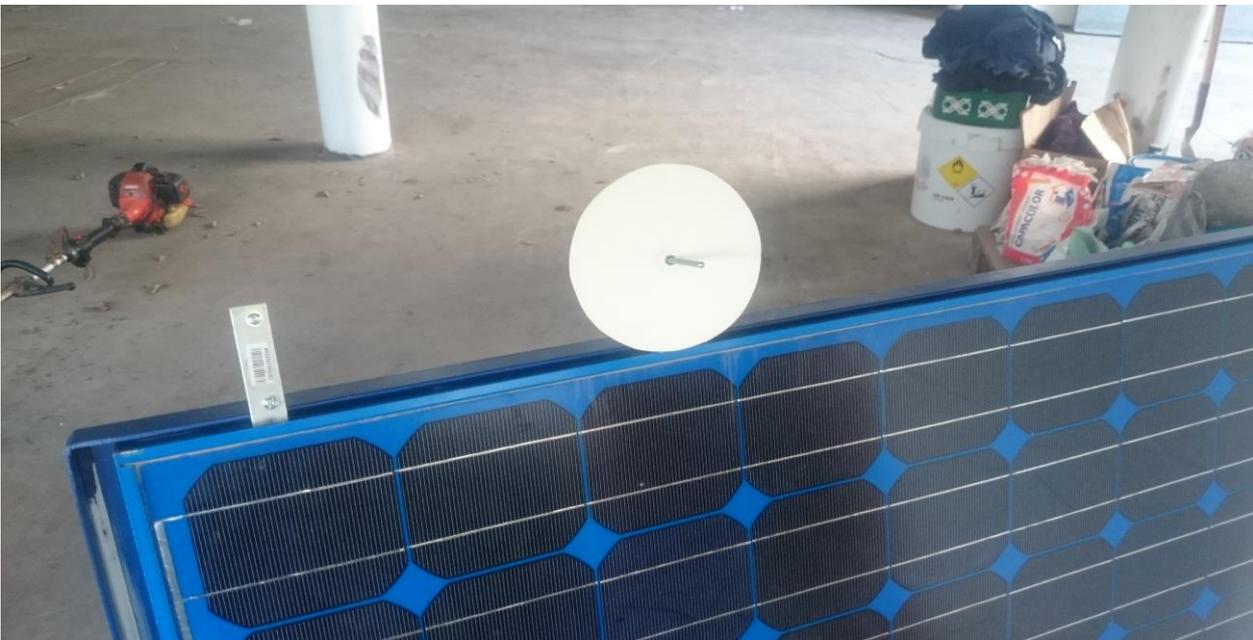


Imagen 22: Ubicación de apoyos para piranómetro y dispositivo de incidencia



Imagen 23: Ubicación transportador para conocer inclinación placa FV



Imagen 24: Conexión para manguera



Imagen 25: Soporte para resistencia variable de potencia

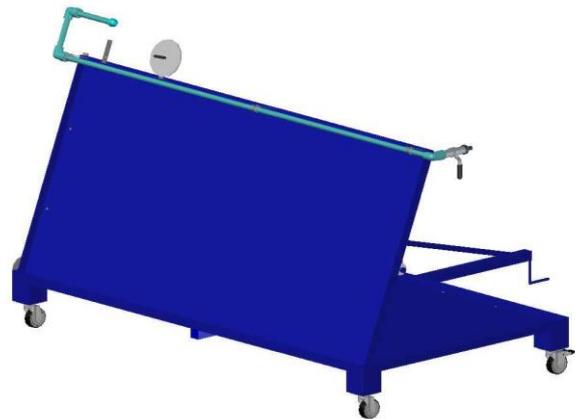
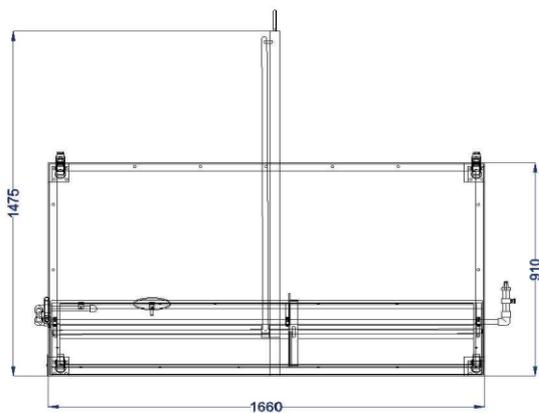
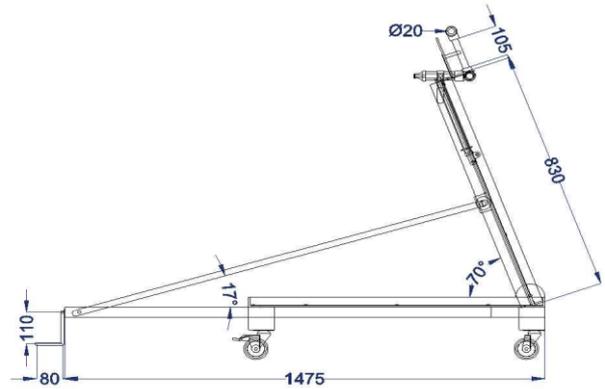
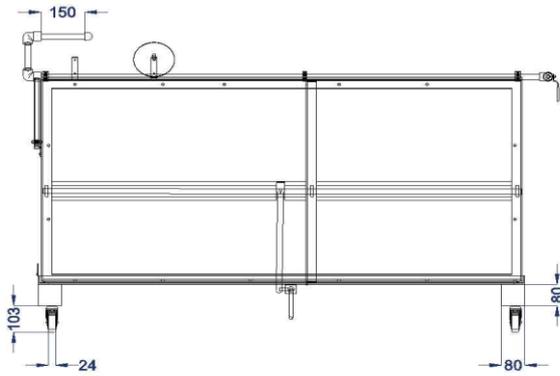


Imagen 26: Sistema de refrigeración por agua



Imagen 27: Estado final estructura con el flujo de agua activo

## ANEJO 13: MEDIDAS MÓDULO FOTOVOLTAICO



UNIVERSIDAD DE LAS ISLAS BALEARES

Autor T.F.G.: Bernardo Jesús Pérez de la O

D.N.I. autor T.F.G.: 41515451-Z

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Escuela Politécnica Superior



Título T.F.G.: Diseño de un módulo fotovoltaico para su aplicación en prácticas de la asignatura Energías Renovables

Código T.F.G.: EPSU0406

## BIBLIOGRAFÍA

---

1. Energía solar fotovoltaica. (2015, 18 de octubre). *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Fecha de consulta: 20:29, octubre 20, 2015 desde [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Energ%C3%ADa\\_solar\\_fotovoltaica&oldid=85909735](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Energ%C3%ADa_solar_fotovoltaica&oldid=85909735).
2. Radiación solar. (2015, 28 de julio). *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Fecha de consulta: 20:59, marzo 3, 2015 desde [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Radiaci%C3%B3n\\_solar&oldid=84053411](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Radiaci%C3%B3n_solar&oldid=84053411).
3. La historia de la energía solar fotovoltaica. *Sitiosolar.com portal de energías renovables*; 18:31, marzo 3, 2015 desde <http://www.sitiosolar.com/la-historia-de-la-energia-solar-fotovoltaica/>
4. Energía solar en España. (2015, 21 de agosto). *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Fecha de consulta: 20:24, octubre 20, 2015 desde [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Energ%C3%ADa\\_solar\\_en\\_Espa%C3%B1a&oldid=84582821](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Energ%C3%ADa_solar_en_Espa%C3%B1a&oldid=84582821).

## **IMÁGENES**

### **Imagen 1: Composición de una célula fotovoltaica:**

<http://users.dcc.uchile.cl/~roseguel/celdasolar.html>

### **Imagen 2: Diferentes estructuras presente en el silicio:**

<http://www.monografias.com/trabajos81/perspectivas-desarrollo-obtencion-silicio/perspectivas-desarrollo-obtencion-silicio2.shtml>

### **Imagen 3: Espectro electromagnético:**

<http://redes-sequeraa.blogspot.com.es/2011/11/espectro-electromagnetico.html>

### **Imagen 4: Precio célula fotovoltaica de Si cristalino:**

Panel fotovoltaico. (2015, 18 de octubre). *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Fecha de consulta: 21:58, octubre 20, 2015 desde

[https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Panel\\_fotovoltaico&oldid=85919308](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Panel_fotovoltaico&oldid=85919308).

### **Satélite Vanguard I:**

Vanguard 1. (2015, September 29). In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved 21:58, October 20, 2015, desde

[https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Vanguard\\_1&oldid=683276770](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Vanguard_1&oldid=683276770)

### **Satélite Telstar:**

<http://blogthinkbig.com/telstar-1-historia/>

### **Satélite Nimbus:**

<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/education-and-outreach/additional/science-focus/space>

### **Satélite Skylab:**

Skylab. (2015, 16 de octubre). In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved 21:59, October 20, 2015, desde

<https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Skylab&oldid=686032787>

### **Imagen 5: Capacidad fotovoltaica acumulada mundial:**

<http://www.sitiosolar.com/la-historia-de-la-energia-solar-fotovoltaica/>

### **Imagen 6: Capacidad fotovoltaica acumulada en el mundo:**

Energía solar fotovoltaica. (2015, 18 de octubre). *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Fecha de consulta: 22:01, octubre 20, 2015 desde

[https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Energ%C3%ADa\\_solar\\_fotovoltaica&oldid=85909735](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Energ%C3%ADa_solar_fotovoltaica&oldid=85909735).

### **Imagen 7: Ejemplo de la flexibilidad de los nuevos avances:**

La historia de la energía solar fotovoltaica. *Sitiosolar.com portal de energías renovables*; 18:31, marzo 3, 2015 desde <http://www.sitiosolar.com/la-historia-de-la-energia-solar-fotovoltaica/>

**Imagen 8: Esquema instalación solar fotovoltaica:**

[https://www.google.es/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0CAcQjRxqFQoTCJGBvqT90cgCFQIDGgod984OwA&url=http%3A%2F%2Fdailypromos.science%2Fesquema%2Fesquema-de-placas-solares.html&psig=AFQjCNEMyyFGXAbONHd\\_52qkNmCz0wFxQw&ust=1445462379609184](https://www.google.es/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0CAcQjRxqFQoTCJGBvqT90cgCFQIDGgod984OwA&url=http%3A%2F%2Fdailypromos.science%2Fesquema%2Fesquema-de-placas-solares.html&psig=AFQjCNEMyyFGXAbONHd_52qkNmCz0wFxQw&ust=1445462379609184)

**Imagen 9: Curva I-V:**

Diapositivas asignatura Energías Renovables; EPS, Universidad de las Islas Baleares.

**Imagen 10: Curva P-V:**

Diapositivas asignatura Energías Renovables; EPS, Universidad de las Islas Baleares.

**Imagen 11: Radiación constante:**

Diapositivas asignatura Energías Renovables; EPS, Universidad de las Islas Baleares.

**Imagen 12: Temperatura de célula constante:**

Diapositivas asignatura Energías Renovables; EPS, Universidad de las Islas Baleares.

**Imagen 13: Vida estimada de la batería en función de la profundidad de descarga:**

[http://www.tecsol24h.net/index.php?page=shop.browse&category\\_id=53&option=com\\_virtuemart&Itemid=2](http://www.tecsol24h.net/index.php?page=shop.browse&category_id=53&option=com_virtuemart&Itemid=2)

**Batería tipo tubular estacionaria:**

[https://autosolar.es/baterias/acumuladores-2v/bateria-estacionaria-bae-2v-496ah\\_precio](https://autosolar.es/baterias/acumuladores-2v/bateria-estacionaria-bae-2v-496ah_precio)

**Batería tipo arranque:**

<http://www.osirmandinos.es/es/2490138-baterias-baterias-bosch>

**Batería tipo solar:**

<http://www.electricidad-gratuita.com/bateria-solar.html>

**Batería tipo gel:**

<http://www.bateriascartella.com/moto1.html>

**Imagen 14: Sistema de Entrenamiento en Energía Solar/Eólica**

EDUTELSA S.A. tecnología para la educación (2015, 5 de noviembre) en Productos, Laboratorios, Laboratorios de Energías Renovables desde <http://edutelsa.com/laboratorios-de-energias-renovables/?added-to-cart=1687>

**Imagen 15: Entrenador didáctico solar FV - EDISOLAR**

Instituto Tecnológico de Canarias (2015, 5 de noviembre) en Tecnologías, Energías desde <http://www.itccanarias.org/web/tecnologias/eerr/EDISOLAR.jsp?lang=es>

**Imagen 16: Equipo de energía fotovoltaica controlado desde PC -EDIPON**

EDIBON, equipo didáctico técnico (2016, 20 de noviembre) en Productos, Gama de productos, 5-Energía desde

<http://www.edibon.com/products/?area=energy&subarea=alternativeenergies&lang=es>

**Imagen 19: Piranómetro CMP 3**

Kipp & Zonen (2015, 1 de noviembre) en Products, Solar Instruments, Pyranometers, CMP3 Pyranometer desde

<http://www.kippzonen.com/Product/11/CMP3-Pyranometer#.VpvMHTbhjeA>

**Imagen 20: Registrador de datos Pico Technology ADC-20 & TERM**

Pico Technology (2015, 2 de noviembre) en Products, Data loggers, High-resolution data acquisition desde

<https://www.picotech.com/data-logger/adc-20-adc-24/precision-data-acquisition>

**Imagen 21: Registrador de datos Pico Technology PT-104**

Pico Technology (2015, 2 de noviembre) en Products, Data loggers, PT-104 Platinum Resistance Data Logger desde

<https://www.picotech.com/data-logger/pt-104/high-accuracy-temperature-daq>

**Imagen 22: Multímetro de mano Meterman 34XR**

TESSCO TECHNOLOGIES (2015, 2 de noviembre) en Installation, Test & Maintenance > Test Equipment > General Purpose Test Equipment > Digital Multimeters > SKU# 461451

**Imagen 23: Brújula metálica**

Imagen sacada de eBay tras su posterior compra (2015, 11 marzo).

<http://www.ebay.es/itm/Brujula-Compass-Militar-ABS-Deporte-Camping-Montana-Caza-con-Lupa-/281260306647?hash=item417c6bb0d7>

**Imagen 25: Cálculo de sombra**

Diapositivas asignatura Energías Renovables; EPS, Universidad de las Islas Baleares.

**Imagen 26: Resistencia variable de potencia**

RS online (2015, 10 de noviembre), en Componentes Pasivos, Resistencias Fijas, Resistencias Ajustables desde

<http://es.rs-online.com/web/p/resistencias-ajustables/7887790/>