



industriales  
etsii

Escuela Técnica  
Superior  
de Ingeniería  
Industrial

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

## FABRICACIÓN DE UN CARGADOR USB SOLAR

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER EN ENERGÍAS RENOVABLES



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena

**Autor:** Francisco José Mercader Rubio  
**Director:** José Abad López  
**Codirector:** Javier Padilla Martínez

Cartagena, diciembre 2020

## Agradecimientos

Todo lo que soy capaz de agradecer va para todos los que siempre han creído en mí, los que no me permitieron rendirme por duro que fuese el camino.

En primer lugar, estás tú. La que lo ha sufrido en primera línea conmigo día tras día. La que por duro que sea el viaje, siempre me acompaña y me alienta. Sólo se llega antes, pero juntos llegamos más lejos.

Agradezco a toda mi familia el apoyo incondicional ofrecido durante todo este tiempo. A mis padres por poner todos sus esfuerzos en convertirme en lo que soy hoy en día y a mi hermana por tener la valentía y el arrojo de entrar en el difícil mundo de la ingeniería para labrarse su propio camino.

Agradezco también infinitamente a otros miembros de mi familia que, aunque no hayan podido hablar realmente conmigo, siempre estarán ahí. Gracias Paul por hacerme más valiente; A ti, Ulises, por entrenar mi paciencia hasta límites insospechados. Gracias a Rufi por estar a mis pies apoyándome siempre que los cálculos se volvían tediosos.

Todo mi agradecimiento y admiración a mis directores de proyecto D. José Abad López y D. Javier Padilla Martínez, por hacer posible este proyecto y ayudarme a ver siempre más allá.

Por último, quisiera agradecer a todo el personal del ETSIT de la UPCT por cederme las instalaciones del laboratorio de nanotecnología para realizar los experimentos. Gracias por vuestra paciencia y comprensión en estos tiempos tan difíciles.

Autor: Francisco José Mercader Rubio

“Nada en la vida es para ser temido, es sólo para ser comprendido. Ahora es el momento de entender más, de modo que podamos temer menos”.

Marie Curie

## Índice

1. Introducción y objetivos .....	1
1.2. Problemática energética mundial .....	2
1.3. Retos actuales de la energía solar fotovoltaica .....	7
1.3.1. Futuro potencial de las aplicaciones portátiles de la solar fotovoltaica .....	9
1.4. Objetivos .....	16
2. Apartado Experimental: Equipos.....	17
3. Resultados.....	21
3.1. Caracterizaciones previas.....	21
3.1.1 Calibración del simulador solar. Recta de calibrado de irradiancia .....	25
3.1.2 Obtención curvas I-V, P-V y parámetros de la célula en función de la irradiancia.....	27
3.2. Componentes del prototipo .....	31
3.2.1. Sistema de acumulación .....	32
3.2.2. Sistema electrónico de regulación de carga y nivel de salida .....	32
3.2.3. Módulo de captación solar .....	35
3.2.4. Otros .....	35
3.3. Configuración del captador solar del prototipo .....	37
3.3.1. Diseño configuración 1 .....	37
3.3.2. Diseño configuración 2 .....	38
3.4. Construcción del prototipo final. Ensamblaje.....	39
3.4.1. Ensamblaje módulo solar. Configuración 1 .....	40
3.4.2. Ensamblaje módulo solar. Configuración 2 .....	42
3.4.3. Ensamblaje cuerpo central del prototipo. Electrónica y conexiones del dispositivo .....	42
3.5. Caracterización del prototipo final .....	47
3.5.1. Caracterización del módulo solar .....	48
Parámetros del módulo para la configuración 1 en función de la irradiancia .....	48
Obtención del valor de irradiancia umbral para la configuración 1 .....	48
Parámetros del módulo para la configuración 2 en función de la irradiancia .....	49
Obtención del valor de irradiancia umbral para la configuración 2 .....	49
3.5.2. Calculo de capacidades y tiempos de carga .....	49
Mediciones en exteriores .....	50
Mediciones en interiores.....	53
3.5.3. Tensión de salida del sistema en función de la irradiancia .....	55

Autor: Francisco José Mercader Rubio

4. Conclusiones.....	59
5. Anexos:.....	61
6. Bibliografía:.....	109

## **1. Introducción y objetivos**

Es notorio como, hoy en día, tanto a nivel social como político y económico, las energías renovables han pasado a ocupar el primer plano en cuanto a renovación del sector energético se refiere.

Espoleados por la sombra del cambio climático u otros motivos menos loables como el encarecimiento de los combustibles tradicionales y sanciones derivadas de su uso (Kiss 2013), Gobiernos de todo el mundo establecen como indudable la implementación y desarrollo de nuevas tecnologías energéticas cuya fuente sea renovable. Aunque durante los últimos años este hecho les ha granjeado, a este tipo de energías, una gran porción del mix energético mundial (Ritchie 2019), el gran daño acumulado generado por parte de la contaminación procedente de las emisiones de partículas y gases contaminantes expulsados al ambiente durante el procesamiento de combustibles fósiles, ha propiciado que los principales países responsables de estas emisiones tomen cartas en el asunto.

Con todas las esperanzas puestas en la cooperación mundial como panacea a este problema, surge a finales del 2015 el conocido como “acuerdo de París” (también conocido como COP21), en el cual se revisaron medidas y tratados ya establecidos desde el año 1997 en Kioto, Japón. Además, se acordó la intensificación y la aceleración de dichas medidas con carácter de urgencia debido a las últimas observaciones medioambientales como el creciente ritmo de deshielo de los polos y el preocupante aumento paulatino de la temperatura media mundial, cuyos datos fueron ofrecidos por la OMM (*Organización Meteorológica Mundial*).

Todas estas medidas, con mayor o menor fortuna por el momento, han sabido fijarse en el potencial de algunas de las energías renovables cuya madurez energética están permitiendo lograr increíbles avances en la actualidad. En concreto, las dos que se hayan más cerca de conseguirlo son la energía eólica y la solar fotovoltaica (Blakers y Stocks 2018).

El presente trabajo de fin de estudios busca precisamente eso, el aprovechar los aspectos más interesantes de dichas energías renovables (en concreto de la solar fotovoltaica) entre los cuales podemos destacar:

- Reducidas emisiones invernadero (directas e indirectas)
- Facilidad para su producción en masa
- Bajo coste
- Materias primas en abundancia
- Alto nivel de reciclaje
- Facilidad para su utilización en dispositivos portátiles y en zonas remotas sin posibilidad de conexión a la red eléctrica

En cuanto a este último punto, la flexibilidad del empleo de las nuevas tecnologías fotovoltaicas en el entorno del desarrollo de dispositivos portátiles, será el centro de la investigación que conforma la piedra angular de este proyecto.

## 1.2. Problemática energética mundial

Como mencionábamos antes, la sociedad actual trabaja constantemente persiguiendo el objetivo de un medioambiente más limpio sin fuentes de energía contaminantes. Aunque este hecho es innegable, queda mucho trabajo por hacer puesto que según las últimas previsiones no seremos capaces de llegar a los objetivos impuestos durante la COP21; como contrapunto, estos datos también nos dicen que el total aportado por las renovables al mix energético puede llegar al 50% (Angulo 2020).

Todas las políticas adoptadas han derivado en un aumento repentino durante los últimos años de la cantidad de energía primaria aportada a partir de fuentes de energía renovables, con la consecuente disminución de otras fuentes de energía tradicionales como la biomasa y el carbón (Smil 2016).

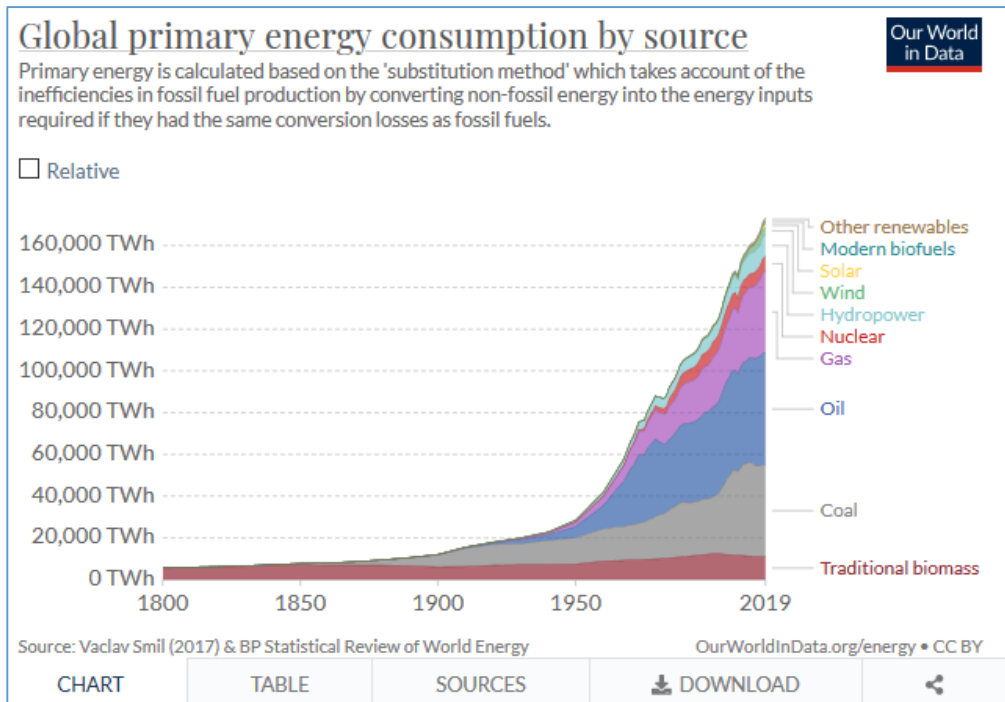


Ilustración 1: Energía primaria aportada por diferentes fuentes.

Otro de los factores que dan lugar a las predicciones más esperanzadoras es el hecho de nos encontramos actualmente en el punto máximo de consumo de combustibles fósiles para la producción de energía, lo que implica que en los próximos años se espera un importante ascenso de otras fuentes de energía emergentes.

Este máximo o “pico” de consumo es lo que se conoce como pico de Hubbert o cénit del petróleo, a partir del cual se produce una disminución como consecuencia del desequilibrio entre los cada vez menos abundantes yacimientos de combustibles fósiles y su futuro encarecimiento debido a dicha escasez (Hemmingsen 2010).



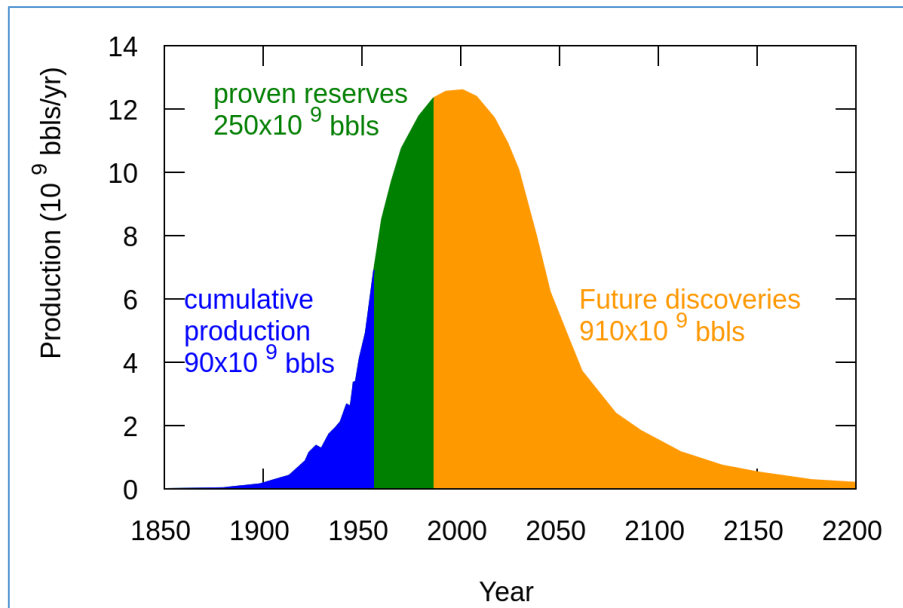


Ilustración 2: Gráfico del pico de Hubbert.

La necesidad de que las energías limpias avancen va mucho más allá que el simple plano medioambiental. Otro de los grandes problemas del mundo moderno sigue presente, aunque de forma silenciosa para los países más desarrollados.

Cuando se analizan los datos de energía generada globalmente vemos como el nivel de esta es suficiente como para satisfacer las necesidades energéticas mínimas de toda la población mundial, pero la realidad es muy distinta.

El creciente consumo energético en los países más ricos es consecuencia directa del aumento de la calidad de vida, lo que provoca que otros países no tan dotados se queden atrás y sigan sin poder asegurar a muchos de sus habitantes un suministro mínimo de energía que les permita vivir una vida digna. Este fenómeno es el que se conoce como pobreza energética.

Este serio problema, cuyo alcance llegaría a los 50 millones de personas solamente en Europa (Bouzarovski, Petrova, y Sarlamanov 2012), podría ser cosa del pasado si fuésemos capaces de producir energía barata a partir de fuentes naturales (sol, viento, etc.)

En el presente proyecto se persigue el aprovechamiento eficiente de la radiación solar para dar un punto de suministro eléctrico allá donde más se necesite y no se disponga de

acceso a la red eléctrica. Esta misma tecnología es idónea para la alimentación de dispositivos portátiles, de comunicación, sistemas de riego y bombeo e iluminación.

Visto el potencial de la fotovoltaica en este tipo de aplicaciones, no son pocos los estudios e investigaciones que han ido proliferando rápidamente en los últimos tiempos.

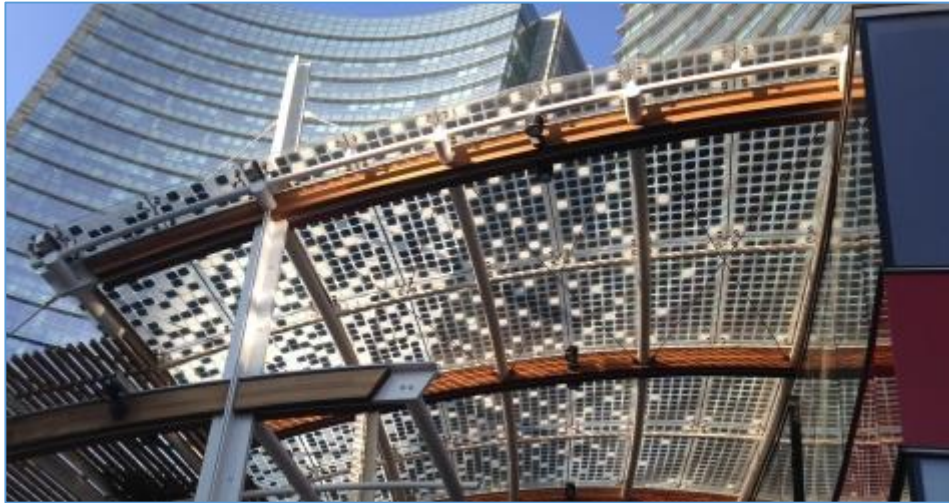
A continuación, veremos algunos ejemplos ilustrativos:

- **Lighting África:** Proyecto basado en el empleo de células solares para la alimentación de pequeños dispositivos portátiles y que persigue la creación de pequeños sistemas de iluminación led con un pequeño acumulador, así como una red de pública de iluminación. La iniciativa busca acercar la electricidad a las zonas más deprimidas del continente africano (Jensen et al. 2012).



Ilustración 3: Alumbrado público alimentado con energía solar. PV magazine (2016).

- **BIPV:** Los proyectos relacionados con la BIPV (*del inglés **Building Integrated Photovoltaics***) son los que presentan un mayor auge en los últimos años gracias a la mejora de la tecnología en materia de paneles solares semitransparentes y flexibles. Persigue la integración de la energía solar en el entorno urbano con el objetivo de acercar el punto de consumo al de generación y, por lo tanto, mejorar la eficiencia energética de los edificios.



*Ilustración 4: Ejemplo de BIPV.*

- **Sistemas de generación portátil:** Cada vez son más los que ven en la fotovoltaica la única energía renovable capaz de hacerse un hueco en nuestro día a día. Numerosos estudios se centran en el desarrollo de dispositivos portátiles de generación para la alimentación de dispositivos de poco consumo eléctrico (Liou y Yang 2019), mejoras en la eficiencia de estos (Garcia-Valverde et al. 2016) e incluso en los nuevos prototipos basados en células solares sobre polímero flexible, las cuales pueden ser directamente acopladas en prendas de ropa y accesorios textiles (Krebs et al. 2006).



*Ilustración 5: Paneles solares sobre polímero flexible PET. (Krebs et al. 2006).*

### 1.3. Retos actuales de la energía solar fotovoltaica

Según el informe de la agencia BloombergNEF publicado en el 2020, uno de los principales retos que tiene por delante la fotovoltaica es el de continuar reduciendo su precio por kWh de generación energética para que, sin tener en cuenta subvenciones del estado, ofrezca un precio competitivo frente a los combustibles fósiles. Los actuales 6 cts/kWh obtenidos mediante combustibles como el gas natural siguen haciendo difícil un pleno desarrollo de la transición energética (se estima en unos 8 cts/kWh el precio de generación actual mediante energía solar fotovoltaica).

Se estima que el precio de generación mediante el empleo de energía solar alcance los 4 cts/kWh en los próximos 20 años y para mediados de siglo, de seguir la tendencia exponencial actual, bajar del 1cts/kWh.

Otro de los principales aspectos que limitan la expansión de este tipo de energía es el alto coste de los dispositivos de almacenamiento. Un acumulador es, en definitiva, lo que permite a la fotovoltaica ser una fuente segura de suministro.

Los puntos clave más destacables en un sistema de acumulación son:

- Coste de adquisición
- Coste de mantenimiento
- Capacidad de acumulación
- Tasa de reciclaje
- Eficiencia

Actualmente, los elevados costes de estos dispositivos repercuten seriamente en el precio final de la energía obtenida. El camino para reducirlos pasa inevitablemente por la mejora de los niveles de eficiencia de las baterías (lo que nos permitiría evitar pérdidas en la energía acumulada), el aumento de la tasa de reciclaje (sistemas de acumulación elaborados a partir de otros previamente reciclados pueden reducir sustancialmente su precio) y el descubrimiento e implementación de nuevos materiales y tecnología que nos permitan aumentar la capacidad de almacenamiento.

Es más, según un reciente estudio de Greenpeace, para el año 2030 se podrían reciclar un nivel tal de baterías usadas procedentes del transporte eléctrico que sería posible emplear dichos acumuladores como sistemas de apoyo a nivel mundial para energías como la fotovoltaica y la eólica.

Si hablamos del reto primordial de la fotovoltaica, el escollo que más esfuerzo y dedicación ha demandado desde sus inicios, no podemos dejar de lado un aspecto tan importante como la eficiencia de los paneles o captadores solares.

Hemos de distinguir diferentes tipos de tecnologías como las clásicas basadas en silicio (monocristalino o policristalino) o las tecnologías de capa delgada (thin film) entre otras. Las principales investigaciones llevadas a cabo se centran principalmente en cómo aumentar la eficiencia de los captadores y de qué forma pueden ser producidos de forma barata y masiva.

En estos aspectos destacan lo que se conoce actualmente como células solares de tercera generación, de las que podemos destacar:

- Células solares de alta eficiencia III-V
- Células solares de banda intermedia
- Células solares de pozo cuántico
- Células solares basadas en portadores calientes
- Células solares orgánicas

A continuación, podemos ver los distintos niveles de eficiencia alcanzados en la actualidad por los diferentes tipos de tecnologías:

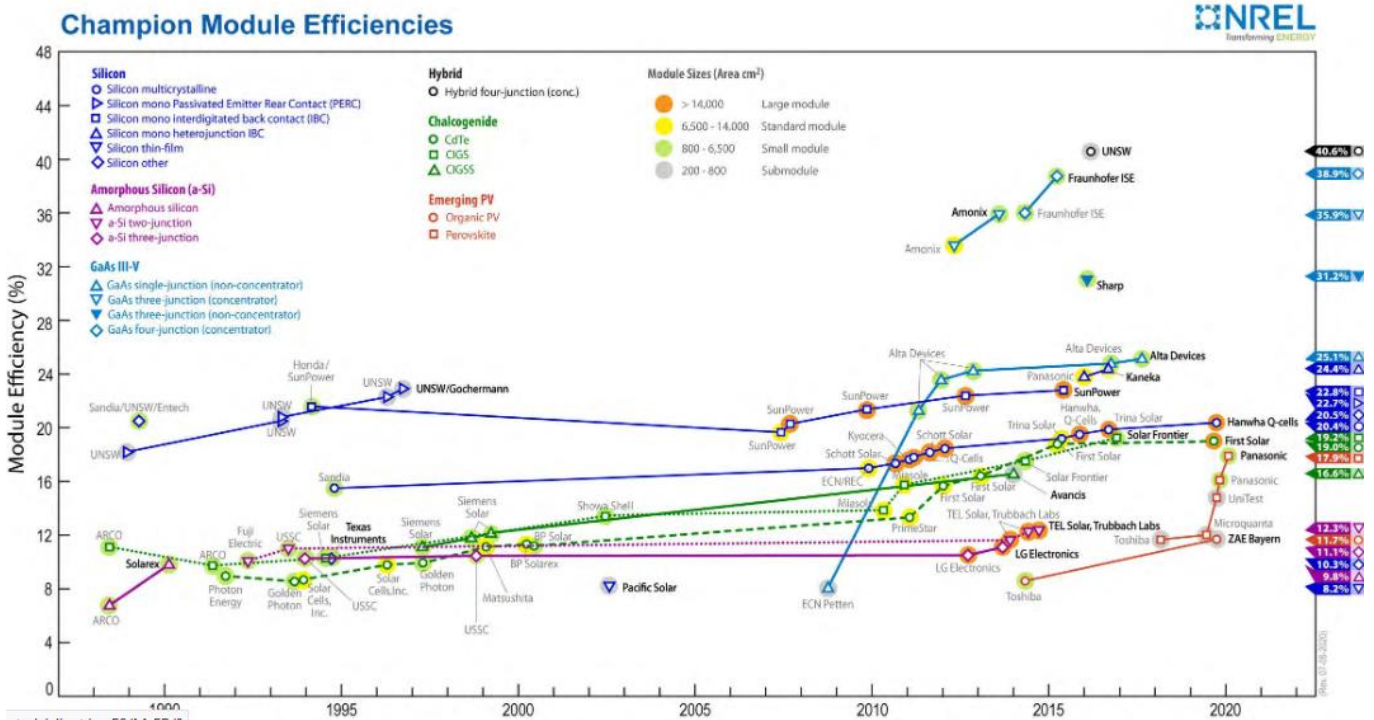


Ilustración 6: Datos de eficiencia de las diferentes tecnologías fotovoltaicas, NREL (2020).

Finalmente, otro de los retos que se plantea frente al desarrollo de la fotovoltaica es el del incompatible modelo del mercado eléctrico actual. Según la UNEF (*Unión Española Fotovoltaica*) una fuente de energía renovable como la fotovoltaica posee un dinamismo y una serie de particularidades completamente diferentes al del antiguo mercado eléctrico, desarrollado hace años, en una época en la que los combustibles fósiles se presentaban como la única alternativa (Bueno 2020).

Se hace patente la necesidad de rediseñar completamente el sistema para facilitar el proceso de transición energética a partir del cual, energías como la fotovoltaica y la eólica, van en cabeza en la lucha por ir penetrando gradualmente cada vez en mayor porcentaje en el mix energético en un futuro cercano.

**1.3.1. Futuro potencial de las aplicaciones portátiles de la solar fotovoltaica**  
 Tras haber hecho referencia a la importancia del uso de la fotovoltaica y los retos que se le presentan por delante en los próximos años, hemos de hacer hincapié en una de las aplicaciones que confieren a dicha fuente de energía de una gran versatilidad.

Más allá del simple suministro eléctrico en viviendas, edificios e industrias, el empleo de paneles solares destinados a aplicaciones portátiles es uno de los temas relacionados con la transición energética que más peso está ganando actualmente en la comunidad científica.

Con el objetivo de ilustrar este hecho, y con la ayuda de la Web Of Science (WOS), se realizó una búsqueda bibliográfica el 16 de noviembre de 2020. La consulta se centró en los siguientes términos de búsqueda.

- Photovoltaic\*
  - Portable
  - Global warming
  - Energy\*
  - Poverty
  - Silicon
  - Fossil fuels

Con estos términos primarios de búsqueda se pretenden encontrar artículos que traten acerca del papel de la fotovoltaica en la lucha contra la dependencia de combustibles tradicionales, lucha por la equidad energética y cambio climático, desarrollo de aplicaciones portátiles, etc.

Cabe decir que los términos con “\*” mostrarán como resultado artículos que contengan tanto la palabra en sí como las diferentes palabras derivadas de esta. Por ejemplo, para el caso de “*Energy\**”, se obtendrá como resultado textos que contengan palabras como: Energetic, Energetics, etc.

Como términos de búsqueda secundarios también se incluyeron:

- Device
- Recycling

De esta forma, se podrán refinar los resultados y así encontrar artículos donde se mencione el desarrollo de dispositivos portátiles y se trate el tema del reciclaje de captadores y acumuladores.

Una vez realizada la búsqueda en la base de datos de *Web of Science* (la cual posee una gran cantidad de artículos publicados por la comunidad científica entre los años 1899 y 2020 aproximadamente), se obtuvieron 227.242 resultados que mencionan el empleo de la energía fotovoltaica. Dichos resultados hacen referencia a diferentes áreas de conocimiento, las cuales se distribuyen tal cual se puede ver a continuación:

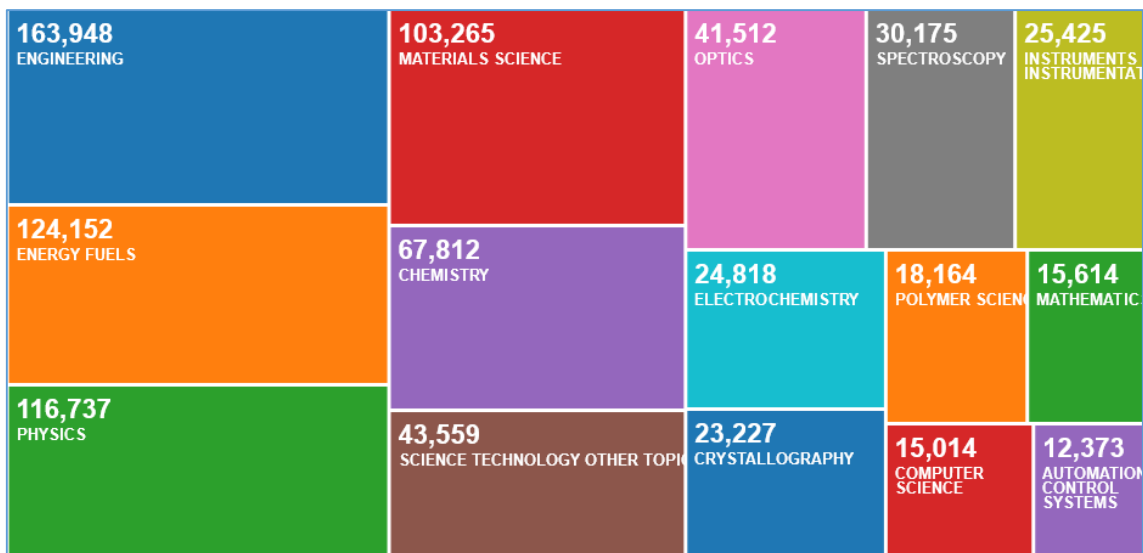


Ilustración 7: Distribución de investigaciones relativas a la fotovoltaica en función del área de conocimiento a la que pertenecen (WOS, 2020).

Para la búsqueda de los términos primarios y secundarios, se obtuvieron las siguientes coincidencias:



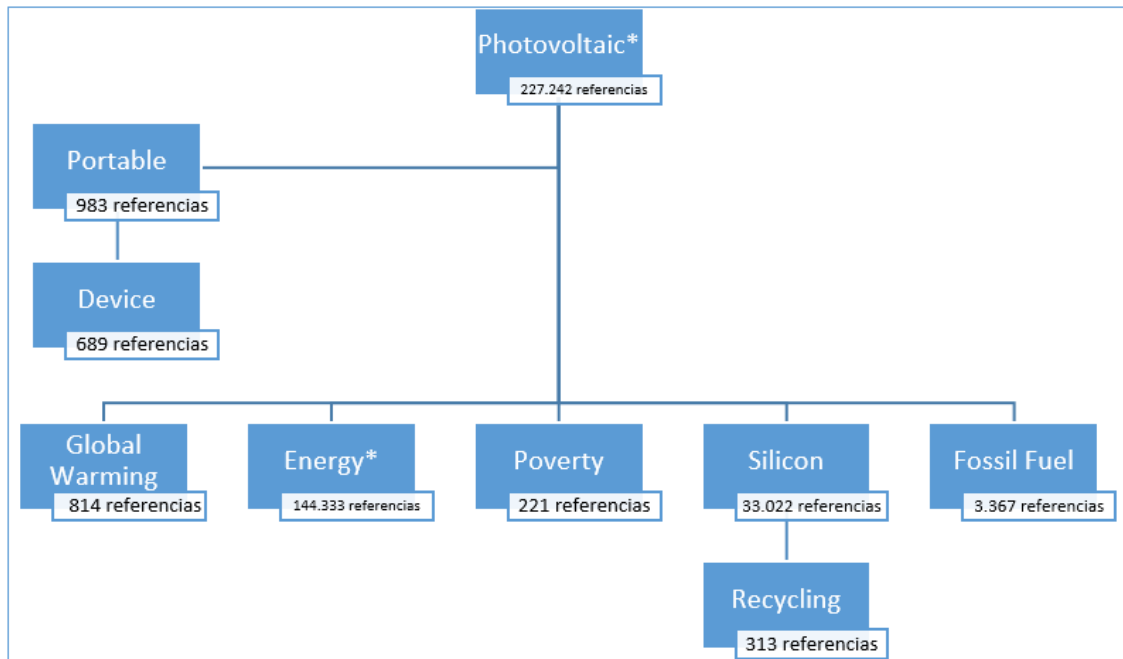


Ilustración 8: Resultados obtenidos en función de las combinaciones de los términos de búsqueda (WOS, 2020).

A primera vista, podemos observar que la gran mayoría de referencias encontradas en la base de datos para artículos basados en el tema de la fotovoltaica están relacionados con los términos de Energía (144.333/227.242), Silicio (33.022/227.242) y combustibles fósiles (3.367/227.242). Otros términos que presentan bastante relevancia son los términos como Portátil (983/227.242) y cambio climático (814/227.242).

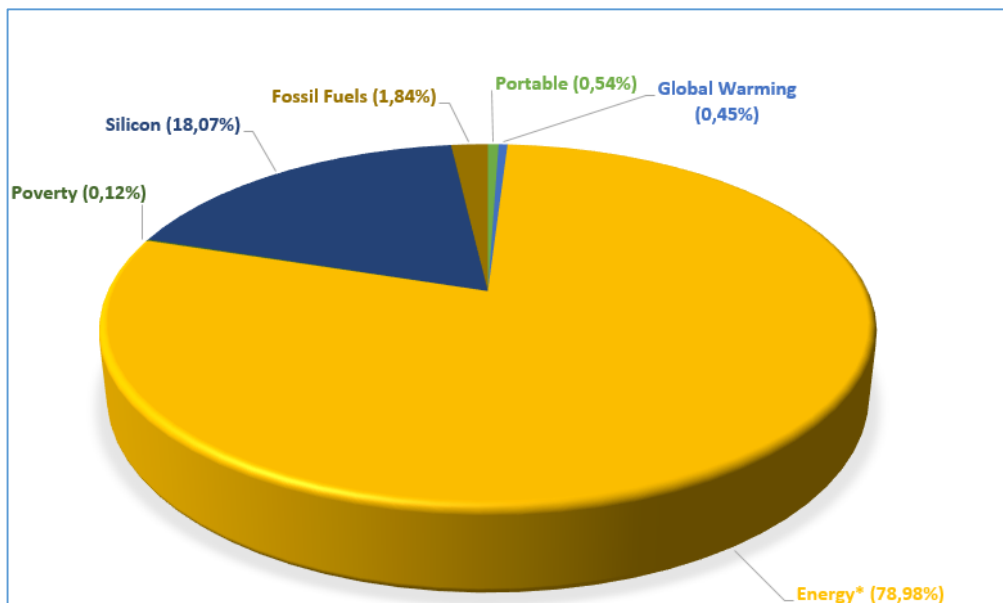


Ilustración 9: Proporción de los resultados encontrados para los diferentes términos.

Hay que tener en cuenta que ciertos aspectos de la fotovoltaica, como las aplicaciones portátiles y desarrollo de dispositivos acumuladores adecuados, no arrojan tantos resultados en comparación con otros términos de búsqueda puesto que ciertos aspectos apenas llevan unas pocas décadas de investigación.

Para analizar los datos, teniendo en cuenta esta peculiaridad, es necesario observar la tendencia de las investigaciones durante los últimos años. Para ello, recurrimos a otra de las herramientas que nos ofrece la base de datos de la WOS.

Esta herramienta nos ofrece la posibilidad de representar gráficamente tanto el número de publicaciones como la cantidad de veces que se han hecho referencia a los términos clave. Como se podrá ver en las siguientes ilustraciones, se observa un claro interés creciente de la comunidad científica durante las últimas décadas en encontrar nuevas vías de aprovechamiento de la fotovoltaica, desarrollo de nuevas tecnologías y mejora de la eficiencia.



Ilustración 10: Nº de publicaciones para el término clave *Photovoltaic\**. (WOS, 2020)



Ilustración 11: Nº de publicaciones al año para términos clave Photovoltaic\* AND Portable. (WOS, 2020)

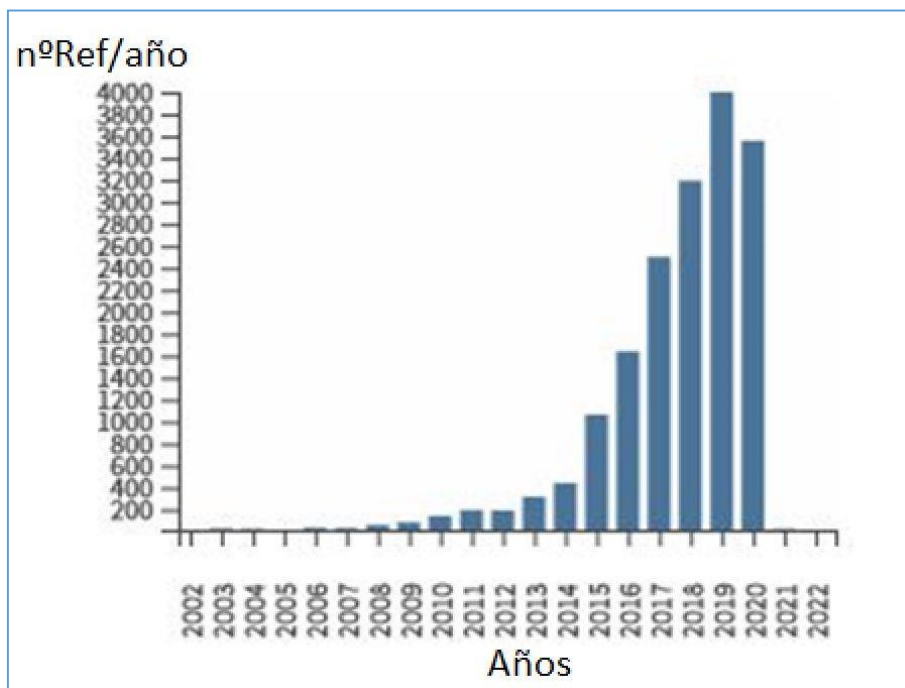


Ilustración 12: Nº de Citas al año para términos clave Photovoltaic\* AND Portable. (WOS, 2020)



Ilustración 13: Nº de publicaciones al año para términos clave Photovoltaic\* AND Silicon AND Recycling. (WOS, 2020)

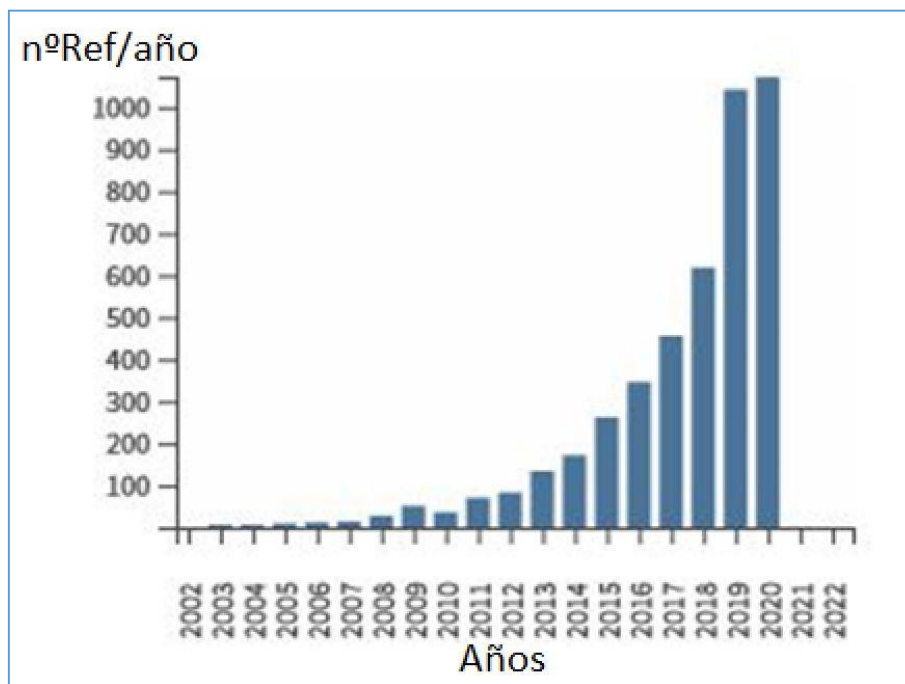


Ilustración 14: Nº de citas al año para términos clave Photovoltaic\* AND Silicon AND Recycling. (WOS, 2020)

A la luz de los resultados obtenidos, podemos ver como el desarrollo de una fotovoltaica más eficiente, barata y con elevada tasa de reciclaje marca la hoja de ruta de numerosos equipos científicos a lo largo del mundo.

Algunos ejemplos de estos son las investigaciones realizadas acerca de nuevos procedimientos más efectivos para el reciclaje de captadores solares (Dias et al. 2021),

aumento de eficiencia en la electrónica de potencia (Reinoso et al. 2012) y aumento en la eficiencia de los paneles a partir del desarrollo de nuevos sistemas de refrigeración en localizaciones con elevadas temperaturas (Boutelhig, Hanini, y Hadj Arab 2017).

En relación al desarrollo de aplicaciones portátiles tenemos las investigaciones relacionadas con el desarrollo de sistemas de acumulación cada vez más eficientes y de menor tamaño (Liou y Yang 2019), elaboración de sistemas de iluminación en zonas con fuerte dependencia energética de combustibles fósiles (McHenry et al. 2014) e integración de la fotovoltaica en nuestro día a día mediante su incorporación en prendas de ropa y otros soportes flexibles o textiles (Krebs et al. 2006).

#### 1.4. Objetivos

Para analizar todas las posibilidades que la fotovoltaica actual nos ofrece en este ámbito y, a fin obtener un prototipo con las mejores prestaciones posibles, se ha decidido estructurar y desglosar el trabajo conforme a los siguientes objetivos específicos:

- Estado del arte de la actualidad de la energía solar fotovoltaica como tecnología y sus aplicaciones portátiles en particular
- Caracterización de las células fotovoltaicas empleadas
- Dimensionado de las células fotovoltaicas necesarias para el funcionamiento del prototipo
- Ensamblaje de las placas junto con el dispositivo de almacenamiento y la electrónica
- Test del sistema en condiciones reales de trabajo
- Recopilar los datos obtenidos para analizarlos y así poder extraer las conclusiones pertinentes.
- Exposición de las conclusiones pertinentes

## 2. Apartado Experimental: Equipos

Tanto para la realización de la toma de datos provenientes del comportamiento del prototipo creado como para las caracterizaciones previas de sus diferentes componentes, se dispuso de una serie de equipos para llevar a cabo diferentes cometidos durante la fase de laboratorio y la fase de pruebas posterior. Dicho sistema experimental estaba compuesto principalmente por:

- Simulador solar Abet technologies ® Sun 2000



*Ilustración 15: Simulador solar Abet technologies.*

El empleo de un simulador de solar es esencial cuando se necesita una fuente de radiación solar constante con una intensidad determinada, lo que confiere a los experimentos de independencia a la climatología.

- Potenciostato/Galvanostato BioLogic ® SP-50



*Ilustración 16: Potenciostato/Galvanostato SP-50.*

Dispositivo empleado para llevar a cabo las diferentes medidas de intensidad de corriente y potencial eléctrico de forma simultánea, con mayor precisión y más cómodamente que empleando varios multímetros y ayudándonos de su conexión mediante USB para el registro automático de resultados gracias al software integrado del equipo.

- Piranómetro Kipp & Zonen ® SP Lite 2



*Ilustración 17: Piranómetro Kipp & Zonen.*

El piranómetro o “solarímetro” es un instrumento meteorológico que nos permite medir la irradiancia solar a partir del potencial generado en un sensor acoplado en su seno como consecuencia del efecto fotoeléctrico.

Para el desarrollo de los ensayos, elaboración del prototipo y toma de datos puntuales también se utilizaron otros equipos secundarios, aunque también muy importantes como:

- Multímetro



*Ilustración 18: Multímetro empleado para los ensayos.*

Empleado para mediciones puntuales de corriente y potencial durante las pruebas en exteriores y comprobador de continuidad durante la elaboración de los diferentes componentes electrónicos del prototipo.

- Soldador de estaño



*Ilustración 19: Soldador empleado.*

- Elementos de protección individual
  - Guantes
  - Gafas
  - Mascarilla



- Herramientas de corte
  - Alicates
  - Cúter

### 3. Resultados

En este apartado se expondrán los diferentes resultados obtenidos para cada ensayo en laboratorio y las pruebas realizadas al aire libre. Los datos obtenidos proceden del análisis de los diferentes valores de potencial e intensidad de corriente generadas por los paneles fotovoltaicos del prototipo al ser expuestos a una determinada radiación solar (artificial o natural dependiendo del ensayo).

Los resultados son desglosados en diferentes secciones, las cuales se mostrarán a continuación.

#### 3.1. Caracterizaciones previas

Para conocer el comportamiento de las diferentes placas solares de las que disponíamos se llevó a cabo una caracterización previa que consistió en la obtención de la curva I-V correspondiente a los paneles, a partir de la cual se obtuvo información importante acerca de su funcionamiento. Algunos de los parámetros obtenidos fueron:

- Potencial de circuito abierto (**Voc**): Tensión máxima capaz de aportar la célula fotovoltaica sin conexión a carga.

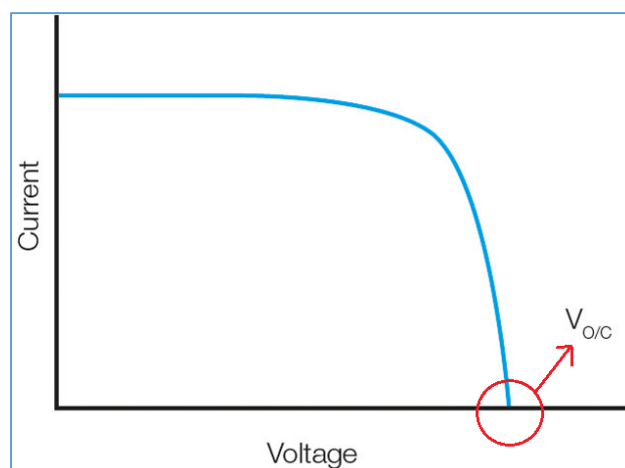


Ilustración 20: Localización del Voc en curva I-V.

- Corriente de cortocircuito (**Isc**): Valor máximo de intensidad que la célula puede aportar bajo condición de cortocircuito (a potencial nulo).

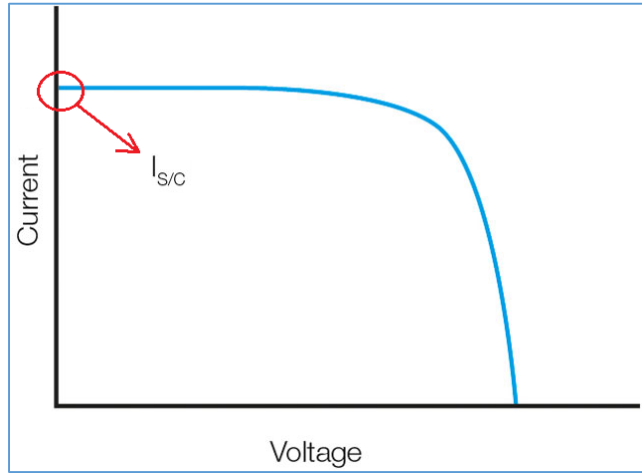


Ilustración 21: Localización del Isc en curva I-V.

- Punto de máxima potencia (**Mpp ó Pmáx**): Máxima potencia que la célula es capaz de ofrecer, el cual aparece cuando el producto entre la corriente fotogenerada y el potencial de la célula es máximo.

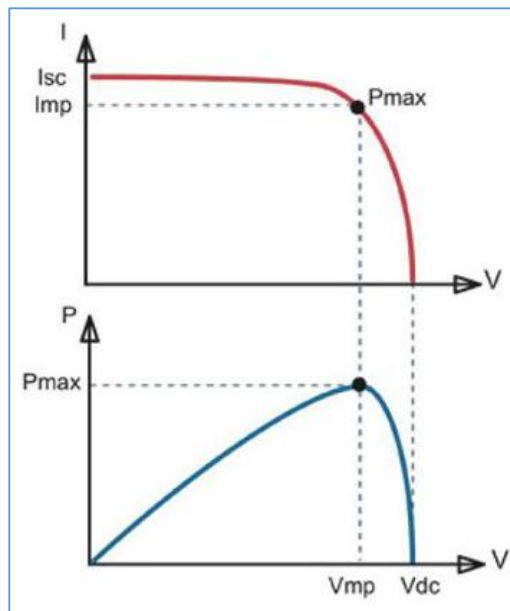


Ilustración 22: Localización del Mpp ( $P_{máx}$ ) en las curvas I-V y P-V.

- Factor de forma (**FF**): También conocido como “factor de llenado”, es un parámetro que nos indica la relación entre el producto de I-V en circuito abierto y cortocircuito frente al producto I-V en el punto de máxima potencia. Normalmente expresado en %, es una medida indirecta de la de la célula solar; Viene a indicar cuanto se acerca el comportamiento de la célula solar al de un diodo ideal. A continuación, podemos ver su expresión y su representación gráfica para apreciarlo de forma más visual:

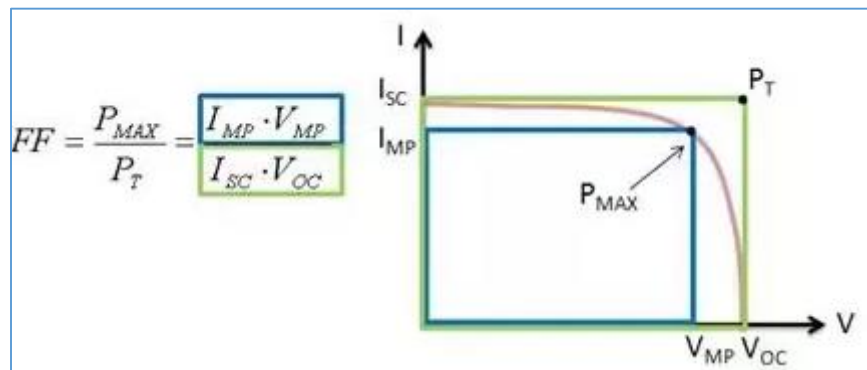
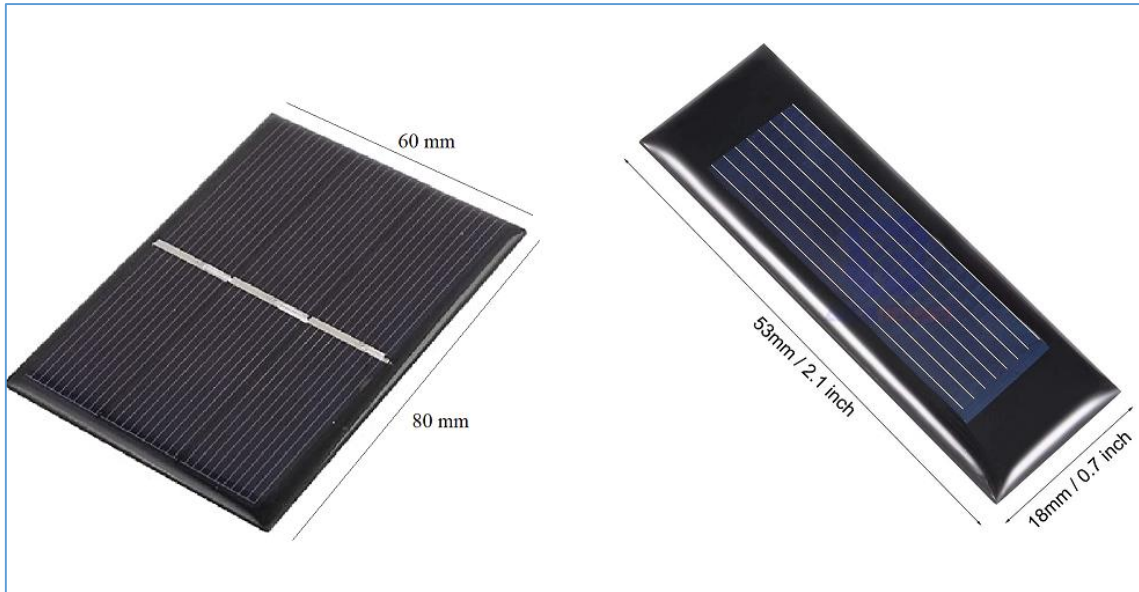


Ilustración 23: Representación gráfica del FF relacionada con su expresión.

- Eficiencia (**E**): Expresa lo capaz que es la célula fotovoltaica de convertir en energía eléctrica la radiación que le llega. Expresa en % la relación entre el Mpp y la irradiancia solar que recibe el captador.

Con el objetivo de, una vez realizadas las caracterizaciones previas, dotar a nuestro prototipo de una mayor flexibilidad, se realizaron las caracterizaciones con dos modelos de captadores distintos para poder diseñar al menos dos configuraciones diferentes más tarde.



*Ilustración 24: Dos tipos de células disponibles. Tipo 1 (izq) y Tipo 2 (dcha).*

Cabe mencionar que ambos paneles están compuestos por Silicio multicristalino siendo sus dimensiones las mostradas a continuación:

- Célula tipo 1:
  - Dimensiones: 80 mm x 60 mm
  - Área de captación útil: 32,4 cm<sup>2</sup>
  - Unidades disponibles: 4
  
- Célula tipo 2:
  - Dimensiones: 53 mm x 18 mm
  - Área de captación útil: 4,56 cm<sup>2</sup>
  - Unidades disponibles: 28

### 3.1.1 Calibración del simulador solar. Recta de calibrado de irradiancia

Puesto que para realizar las captaciones previas que hemos mencionado al principio de esta sección se va a evaluar el comportamiento de los diferentes paneles frente a la irradiancia, es necesario poder generar en el laboratorio una determinada irradiancia con fiabilidad y precisión.

Para ello se utilizó el piranómetro que, a partir de la tensión fotogenerada, nos permitió ir calculando los diferentes valores de irradiancia. Para ello, simplemente se tuvo en cuenta el factor de conversión de este modelo de pirómetro. Dicho factor nos establecía que por cada  $1 \text{ W/m}^2$  captado, se generaban  $71,1 \mu\text{V}$  de potencial.

Es importante mencionar que la regulación de la irradiancia se realizó de dos formas:

- **Distancia del piranómetro al foco del simulador solar:** Cuanto más lejos se encuentra el sensor de la fuente de luz, menor es el valor de la irradiancia.
- **Intensidad de corriente de la lámpara del simulador:** Cuando fue físicamente imposible seguir separando el piranómetro del foco, se fue disminuyendo el valor de la intensidad que alimentaba a la lámpara para ir reduciendo el nivel de irradiancia.



*Ilustración 25: Regulador de Intensidad de lámpara.*

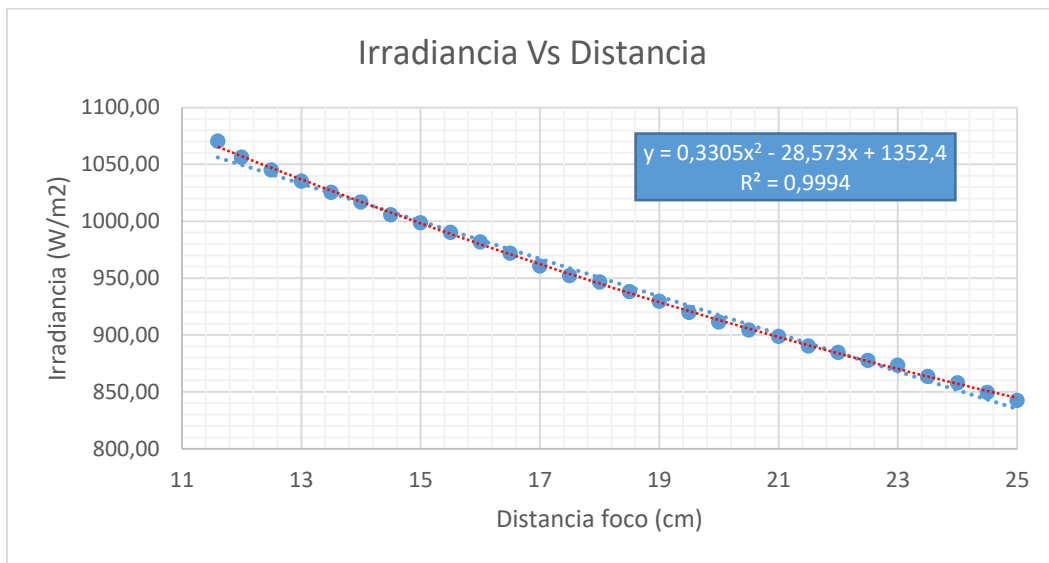
A continuación, se muestran los datos para la recta de calibración para la elaboración de un rango de valores de irradiancia lo suficientemente amplio:

<b>Factor conversión (<math>\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2</math>)</b>	71,1
---	------

<b>Distancia al foco (cm)</b>	<b>V (mV)</b>	<b>Irradiancia (W/m<sup>2</sup>)</b>
11,6	76,1	1070,32
12,0	75,1	1056,26
12,5	74,3	1045,01
13,0	73,6	1035,16
13,5	72,9	1025,32
14,0	72,3	1016,88
14,5	71,5	1005,63
15,0	71	998,59
15,5	70,4	990,15
16,0	69,8	981,72
16,5	69,1	971,87
17,0	68,3	960,62
17,5	67,7	952,18
18,0	67,3	946,55
18,5	66,7	938,12
19,0	66,1	929,68
19,5	65,4	919,83
20,0	64,8	911,39
20,5	64,3	904,36
21,0	63,9	898,73
21,5	63,3	890,30
22,0	62,9	884,67
22,5	62,4	877,64
23,0	62,1	873,42
23,5	61,4	863,57
24,0	61	857,95
24,5	60,4	849,51
25,0	59,9	842,48
-	56,88	800,00
-	42,66	600,00
-	21,33	300,00
-	11,6	160,00

Como añadido, se elaboró una regresión cuadrática para el rango de valores de irradiancia 1070,32 – 842.48 W/m<sup>2</sup> con el fin de poder obtener un valor de irradiancia dentro de dicho rango de forma rápida y sencilla simplemente variando la distancia al foco. La ventaja de esto es que al no tener que estar tocando el valor de intensidad de la lámpara (para el rango de irradiancias antes descrito) podemos alargar la vida útil de la lámpara.

La representación gráfica de dicho ajuste se muestra a continuación:



### 3.1.2 Obtención curvas I-V, P-V y parámetros de la célula en función de la irradiancia

En primer lugar, se realizó el ensayo con los paneles tipo 1 que, al ser los de mayor superficie de captación, se contemplaron como la mejor opción para el funcionamiento satisfactorio del prototipo.

Las curvas I-V y P-V que se muestran a continuación pertenecen al panel 1 del Tipo 1 (de los 4 disponibles) bajo condiciones STC (irradiancia de  $1000 \text{ W/m}^2$  AM 1,5).



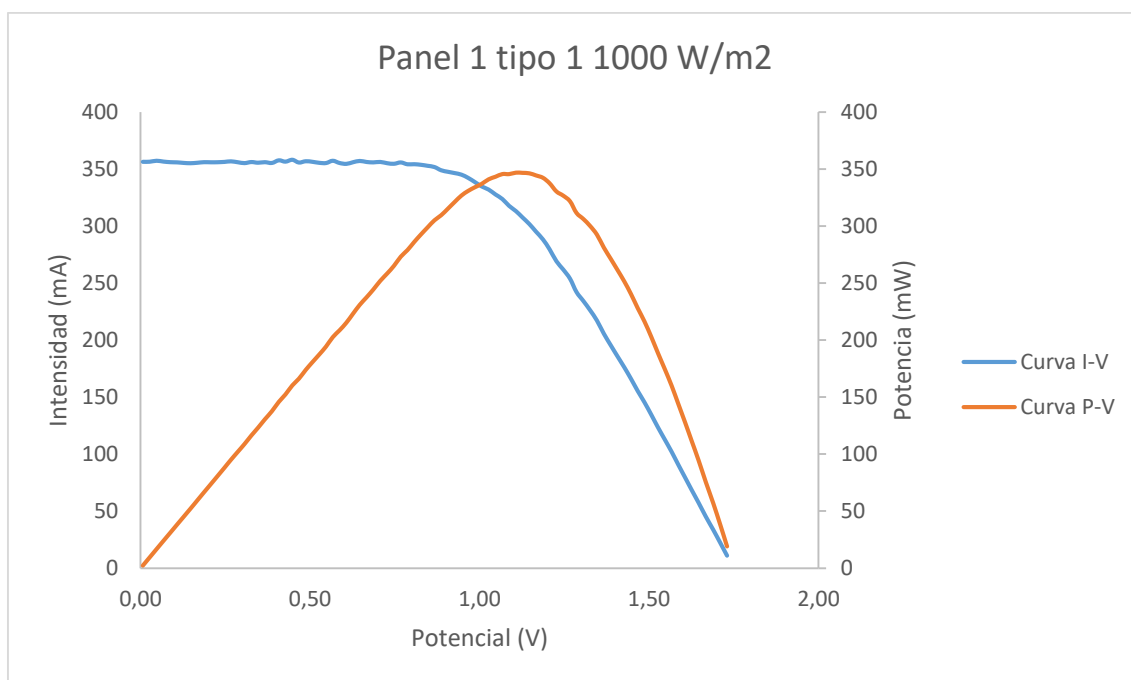


Ilustración 26: Curvas I-V y P-V del Panel 1 del tipo 1 bajo STC.

Debido al gran número de graficas obtenidas, estas quedan incluidas, junto a otros datos de interés para este tipo de paneles, en el Apéndice a) del anexo.

A continuación, se muestran los resultados numéricos obtenidos para los cuatro paneles disponibles del tipo 1:

**Panel 1 tipo 1**

Exp nº	Irradiancia (W/m2)	Voc (V)	Isc (mA)	MPP (mW)	FF (%)	Eficiencia (%)
1	1000,00	1,710	313,927	348,245	64,87%	10,75%
2	966,00	1,731	315,035	296,015	54,28%	9,46%
3	913,40	1,730	311,798	350,589	64,99%	11,85%
4	837,00	1,760	295,381	307,343	59,12%	11,33%
5	800,00	1,685	277,572	276,253	59,07%	10,66%
6	600,00	1,735	205,834	239,835	67,16%	12,34%
7	300,00	1,686	107,463	128,097	70,70%	13,18%
8	160,00	1,652	58,008	65,333	68,18%	12,60%

**Panel 2 tipo 1**

Exp nº	Irradiancia (W/m2)	Voc (V)	Isc (mA)	MPP (mW)	FF (%)	Eficiencia (%)
1	1000,00	1,750	345,118	375,138	62,11%	11,58%
2	966,00	1,731	328,541	333,750	58,51%	10,63%
3	913,40	1,739	301,335	317,680	57,50%	10,18%
4	837,00	1,740	290,755	294,829	58,28%	10,87%
5	800,00	1,775	267,448	301,718	63,56%	11,64%
6	600,00	1,756	228,735	263,768	65,67%	13,57%
7	300,00	1,718	113,726	141,337	72,36%	14,54%
8	160,00	1,663	61,888	76,294	74,13%	14,72%

**Panel 3 tipo 1**

Exp nº	Irradiancia (W/m <sup>2</sup> )	Voc (V)	Isc (mA)	MPP (mW)	FF (%)	Eficiencia (%)
1	1000,00	1,790	361,463	374,795	57,93%	11,57%
2	966,00	1,771	340,347	376,218	62,42%	12,02%
3	913,40	1,760	297,064	340,032	65,04%	11,49%
4	837,00	1,799	301,914	337,240	62,09%	12,44%
5	800,00	1,756	297,777	307,855	58,87%	11,88%
6	600,00	1,746	229,912	260,413	64,87%	13,40%
7	300,00	1,702	109,759	111,267	59,56%	11,45%
8	160,00	1,652	61,001	69,152	68,62%	13,34%

**Panel 4 tipo 4**

Exp nº	Irradiancia (W/m <sup>2</sup> )	Voc (V)	Isc (mA)	MPP (mW)	FF (%)	Eficiencia (%)
1	1000,00	1,771	354,037	386,651	61,67%	11,93%
2	966,00	1,731	336,641	346,185	59,41%	11,06%
3	913,40	1,759	317,162	346,620	62,13%	11,71%
4	837,00	1,799	302,193	335,654	62,43%	12,52%
5	800,00	1,745	282,982	298,505	60,45%	11,52%
6	600,00	1,735	214,320	236,244	63,53%	12,15%
7	300,00	1,684	106,209	128,280	71,72%	13,20%
8	160,00	1,642	57,628	71,963	76,05%	13,88%

Como podemos ver, todos los paneles del tipo 1 muestran un comportamiento parecido pudiéndose, además, observar como factores como la potencia máxima y el voltaje e intensidad disminuyen con la intensidad de la luz captada. También es llamativo el hecho de cómo, a medida que la irradiancia disminuye, parámetros como el factor de llenado y la eficiencia (al estar relacionados entre sí) van aumentando ligeramente su valor.

Para continuar con la caracterización previa de los paneles se procedió a evaluar el comportamiento de las células de tipo 2. De las 28 disponibles solo una parte de ellas serán usadas finalmente para una de las configuraciones del prototipo final.

Por este motivo, se obtuvieron los diferentes parámetros y curvas para las 28 bajo condiciones STC para así poder ver si los resultados eran homogéneos y, de no serlo, escoger las que mejor y más parecido rendimiento presentasen a fin de evitar cuellos de botella y mejorar el rendimiento final del sistema.

A continuación, se muestran los resultados promedio de dichas células, así como más tarde aparecen listados en la tabla los resultados de forma individual:

C

Voc (mV)		Isc (mA)		Pmax (mW)	
Media	Desv. Típica (Error)	Media	Desv. Típica (Error)	Media	Desv. Típica (Error)
0,581	0,01	147,191	4	43,898	6

FF (%)		Eficiencia (%)	
Media	Desv. Típica (Error)	Media	Desv. Típica (Error)
51,25%	6%	8,99%	1%

Célula Si nº	Voc (mV)	Isc (mA)	Pmax (mW)	FF (%)	Eficiencia (%)
1	0,550	139,689	39,272	51,10%	8,05%
2	0,559	150,129	42,562	50,68%	8,72%
3	0,594	143,566	45,154	52,92%	9,25%
4	0,577	147,977	38,257	44,81%	7,84%
5	0,585	145,030	39,697	46,81%	8,13%
6	0,566	142,923	31,287	38,68%	6,41%
7	0,580	147,895	37,902	44,22%	7,77%
8	0,566	149,851	33,126	39,05%	6,79%
9	0,580	152,533	38,111	43,12%	7,81%
10	0,565	153,527	44,326	51,14%	9,08%
11	0,604	146,590	43,781	49,46%	8,97%
12	0,565	147,991	35,743	42,78%	7,32%
13	0,594	151,905	47,219	52,30%	9,67%
14	0,575	151,101	40,990	47,22%	8,40%
15	0,560	149,593	45,817	54,73%	9,39%
16	0,570	149,572	45,295	53,15%	9,28%
17	0,584	136,694	38,478	48,20%	7,88%
18	0,585	147,083	43,680	50,77%	8,95%
19	0,590	147,609	48,498	55,69%	9,94%
20	0,590	149,049	50,623	57,57%	10,37%
21	0,595	147,787	50,338	57,28%	10,31%
22	0,595	149,806	51,569	57,89%	10,57%
23	0,595	143,979	43,979	51,37%	9,01%
24	0,589	147,042	49,976	57,72%	10,24%
25	0,595	147,323	50,161	57,26%	10,28%
26	0,590	146,357	49,685	57,53%	10,18%
27	0,599	148,488	51,567	58,01%	10,57%
28	0,585	140,265	52,059	63,44%	10,67%

La curva I-V y P-V mostrada a continuación pertenece a la célula de tipo 2 número uno bajo condiciones STC:

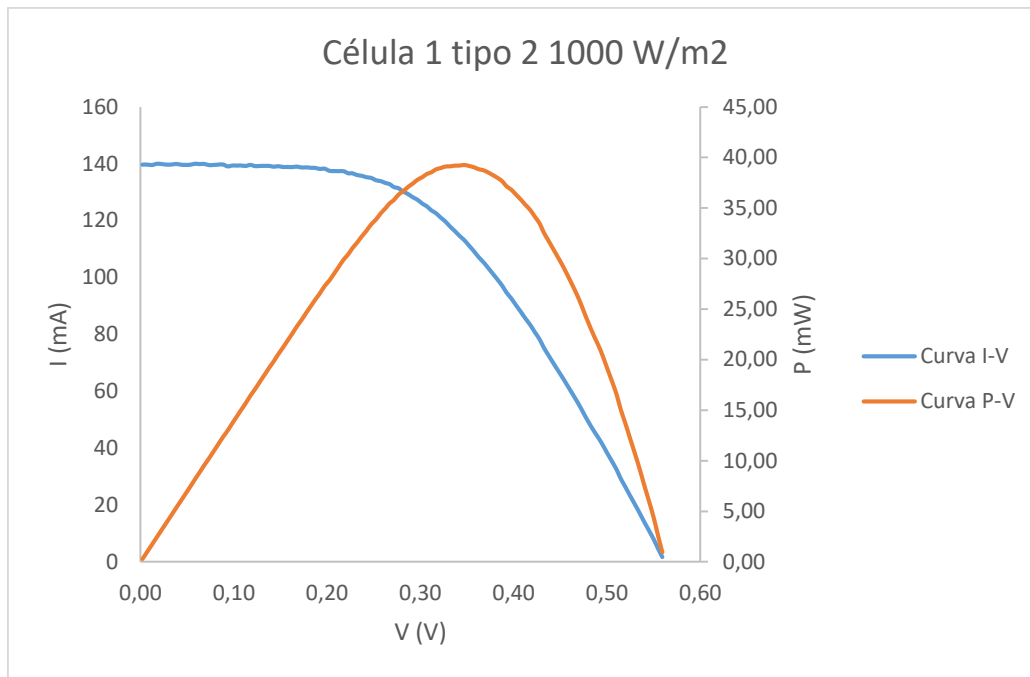


Ilustración 27: Curvas I-V y P-V obtenidas para la célula 1 tipo 2 bajo STC.

El resto de gráficas que se obtuvieron, junto a otros datos relacionados, quedan recogidas en el Apéndice a) del anexo.

Como podemos ver, las células del tipo 2 presentan en torno a 0,5 V de potencial de circuito abierto y unos 145 mA de corriente de cortocircuito con eficiencias abarcadas entre el 7% y el 11%. Por esta razón, a la luz de los resultados, en futuros apartados escogeremos las últimas células ya que estas presentan un rendimiento más alto y homogéneo (entre la nº15 y la nº28 aproximadamente).

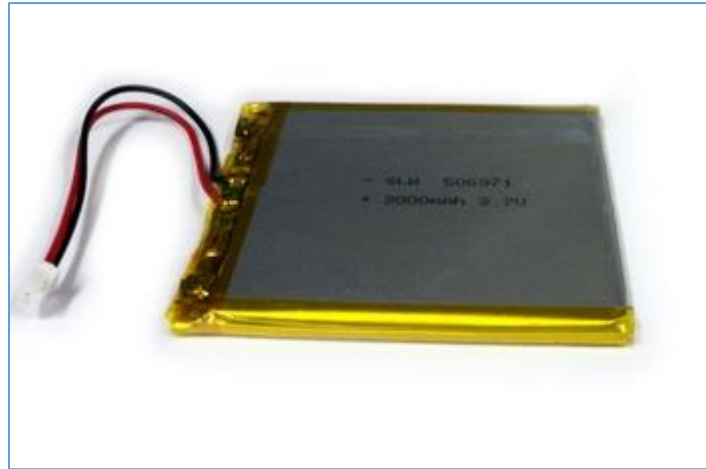
En próximos apartados, y una vez escogida la configuración a la que darán lugar, se evaluará su comportamiento como en conjunto frente a la irradiancia.

### 3.2. Componentes del prototipo

En este apartado abordaremos las diferentes partes que el prototipo será fabricado. Se pueden diferenciar los siguientes componentes

### 3.2.1. Sistema de acumulación

El sistema de almacenamiento de energía se basará en una batería tipo LiPo (polímero de Litio) ultra delgada tal y como se muestra a continuación:



*Ilustración 28: Batería tipo LiPo empleada en el prototipo.*

Sus características son las siguientes:

- Capacidad: 2200 mAh
- Voltaje de salida: 3.7 V
- Dimensiones: 58 mm x 82 mm x 11 mm

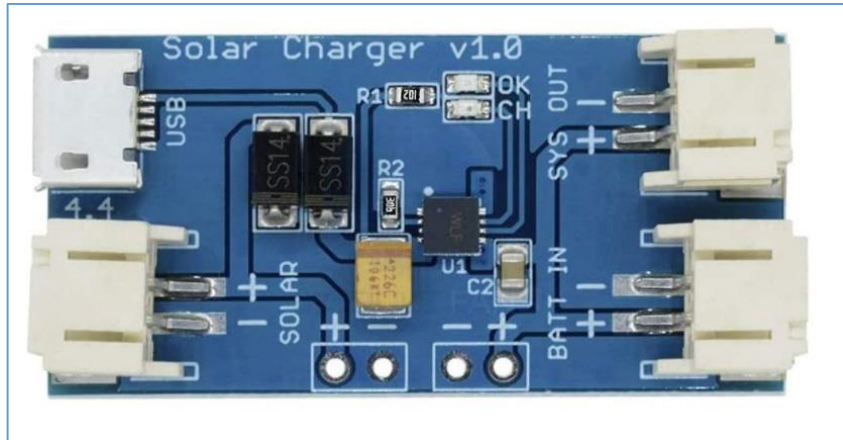
Esta batería fue la escogida por sus reducidas dimensiones con pequeño grosor, su elevada capacidad de acumulación y su reducido peso. Se optó por la tecnología del polímero de litio debido a su buena densidad energética y su capacidad para mantener constante durante mayor tiempo su carga nominal.

### 3.2.2. Sistema electrónico de regulación de carga y nivel de salida

El prototipo que se va fabricar tiene la misión de recibir la radiación solar para generar electricidad que acumular en la batería, que entregar la carga que se conecte o bien dejar de cargar la batería cuando esta llegue al máximo de su capacidad para no sobrecargarla.

Por este motivo es necesario, como piedra angular de la fabricación, que partamos de un sistema electrónico que gestione de forma automática el flujo de electricidad en el

sistema según la ocasión así lo requiera; Para ello se recurrió al regulador de carga solar de la marca HiLetGo que se muestra a continuación:



*Ilustración 29: Regulador de carga electrónico empleado.*

Sus características son:

- Marca/Modelo: HiLetGo Solar charger v1.0
- Dimensiones: 11 cm x 7 cm x 0,3 cm
- Tensión regulada de salida: 4 V
- Máxima corriente de salida: 1 A
- Indicador led de carga solar y carga completa
- Limitaciones: Por debajo de los 4 V de entrada generados por el captador solar el sistema abre el circuito y deja de cargar la batería para protegerla.

Para conocer a fondo el funcionamiento de dicho circuito es necesario analizar los diferentes elementos que lo componen.

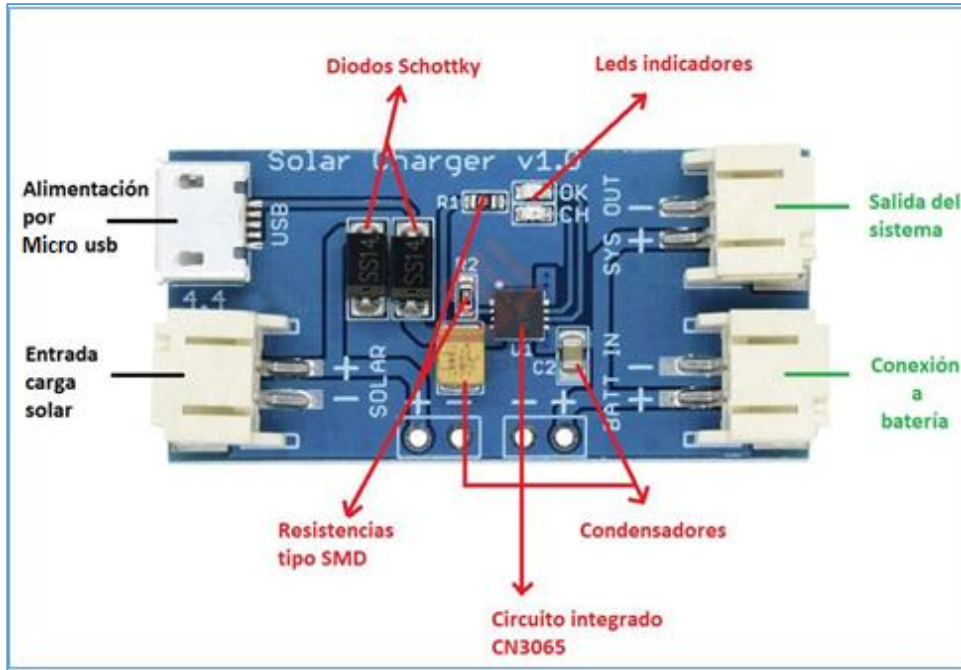


Ilustración 30: Componentes del circuito del regulador.

El diagrama eléctrico de las conexiones será el siguiente:

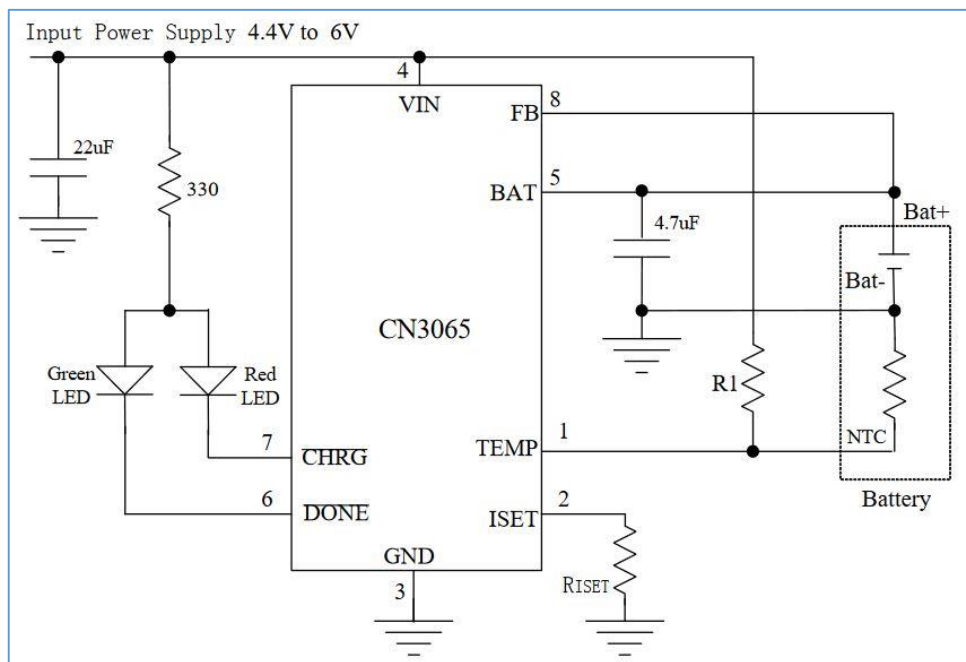


Ilustración 31: Diagrama esquemático de conexiones en el PCB.

Podemos diferenciar los siguientes elementos en el circuito:

- Conexiones de entrada (2)
  - Entrada de electricidad procedente del panel solar
  - Entrada de electricidad de fuente energía externa mediante micro USB (en caso extremos, el sistema puede ser conectado a red para cargar la batería)
- Conexión de salida (donde se conectará el punto de consumo)
- Conexiones del sistema de acumulación
- Diodos Schottky (actúan de barrera entre el panel y la batería para evitar sobrecargas)
- Leds indicadores (uno rojo para indicar que el sistema está funcionando obteniendo energía mediante el sol o a partir de la red y otro verde para indicar cuando la carga de la batería ha llegado a su máximo)
- Resistencias tipo SMD
- Condensadores
- Integrado CN3065 (el corazón del sistema de regulación)

### 3.2.3. Módulo de captación solar

Este apartado hace referencia al propio captador solar que conectaremos al prototipo y será encargado de abastecerlo eléctricamente. En secciones posteriores de este proyecto profundizaremos más en este asunto para buscar varias configuraciones de las diferentes células disponibles, con las que podamos hacer funcionar el dispositivo de la forma más eficiente posible.

### 3.2.4. Otros

Aquí se recogen elementos utilizados para la fabricación del prototipo como la caja donde toda la electrónica irá contenida.





*Ilustración 32: Caja del prototipo.*

**Características:**

- Marca/Modelo: Supertronics/PP18N
- Dimensiones: 102 mm x 60 mm x 26 mm
- Material: Plástico ABS

Finalmente se muestran otros pequeños elementos utilizados:



### 3.3. Configuración del captador solar del prototipo

Como ya se mencionó anteriormente, con el fin de dotar al prototipo de una mayor versatilidad, se idearon dos configuraciones para el módulo de captación solar:

- **Configuración 1:** Formada por los paneles de tipo 1. Ofrece un elevado valor de tensión y corriente. Posee una elevada superficie de captación por lo que se acoplara a un diseño flexible que responde a la necesidad de que, aunque no sea de tamaño muy reducido, sea lo más portátil posible.
- **Configuración 2:** Compuesta por los paneles del tipo 2. Al estar formada por paneles de Si mucho menores posee un reducido tamaño y es fácilmente transportable. Por el contrario, al verse reducida su área de captación ofrece una menor intensidad de carga, solamente es útil como fuente eléctrica de apoyo de baja intensidad.

A continuación, veremos cuál fue el criterio de diseño aplicado a la hora de realizar dichas configuraciones antes mencionadas.

#### 3.3.1. Diseño configuración 1

Para la configuración 1 se analizaron los datos de las caracterizaciones previas en los que se obtuvo que cada panel del tipo 1, ofrecía en torno a 1,75 V ( $V_{oc}$ ) y 340 mA ( $I_{sc}$ ) bajo condiciones STC AM 1.5.

Teniendo en cuenta que el regulador necesita como mínimo un voltaje de 4V para comenzar el proceso de carga, se decidió conectar en serie los 4 paneles del tipo 1 disponibles.

Mediante la conexión en serie conseguimos que la intensidad sea aproximadamente la misma (340 mA, al estar todos los paneles situados dentro de la misma rama), y el voltaje se eleve sumándose los potenciales de cada uno de ellos hasta alcanzar aproximadamente los 6-7 V.



*Ilustración 33: Configuración 1 formada por los 4 subpaneles tipo 1.*

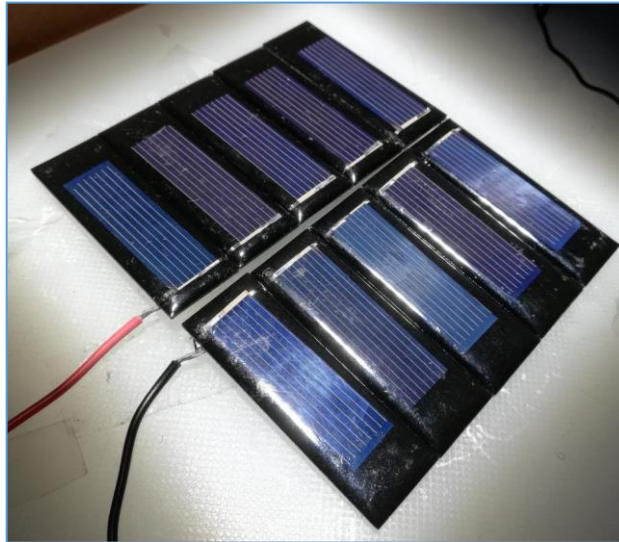
### 3.3.2. Diseño configuración 2

De forma idéntica a la configuración 1, se analizaron los datos previos, en donde se observa que las células de tipo 2 ofrecían aproximadamente 0,58 V (Voc) y 145 mA (Isc) bajo condiciones STC AM 1.5.

Se sopesó la opción de elaborar varias ristras de células conectadas en serie para, posteriormente, ser conectadas en paralelo entre sí (las ristras). La ventaja es que nos permitiría tener un valor de tensión lo suficientemente alto, además de una intensidad suficiente para cargar rápidamente el dispositivo.

Esta opción fue descartada ya que rompía con la filosofía de la configuración 2 que era la de dar prioridad a la movilidad frente a la funcionalidad, de forma que se limite el dispositivo a un uso como apoyo eléctrico puntual.

Por esta razón, Se decidió elaborar una única ristra de 10 células del tipo 2 que nos aportaría unos 145 mA al estar conectadas en serie, y un voltaje total combinado aproximado de 5,5-6 V (suficiente para superar el límite de 4V del regulador).



*Ilustración 34: Configuración 2 a partir de 10 células de tipo 2 en serie.*

Como se mencionó en el apartado de caracterizaciones previas, con el fin de evitar combinar células con comportamientos muy dispares los cuales podrían provocar cuellos de botella que resultarían en un funcionamiento deficiente del sistema, se seleccionaron las células con un mejor y más semejante valor de eficiencia. Concretamente las células nº18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 y 28.

### 3.4. Construcción del prototipo final. Ensamblaje

En esta sección del proyecto obtendremos el prototipo final ya plenamente funcional, para ello dividiremos este apartado en tres secciones diferenciadas:

- Ensamblaje módulo solar. Configuración 1
- Ensamblaje módulo solar. Configuración 2
- Ensamblaje cuerpo central del prototipo. Electrónica y conexiones del dispositivo

### 3.4.1. Ensamblaje módulo solar. Configuración 1

Para el ensamblado de la primera configuración se procedió simplemente a soldar los terminales de los 4 subpaneles uno detrás de otro (serie). Una vez realizamos esto se analizaron los diferentes materiales de los que se disponían para dotar a los cuatro subpaneles de una base que hiciera las veces de soporte y bisagra flexible.

Teniendo en cuenta que necesitábamos un material duradero, capaz de doblarse indefinidamente y que fuese aislante para no cortocircuitar los terminales, se optó por una lona de caucho negro flexible.



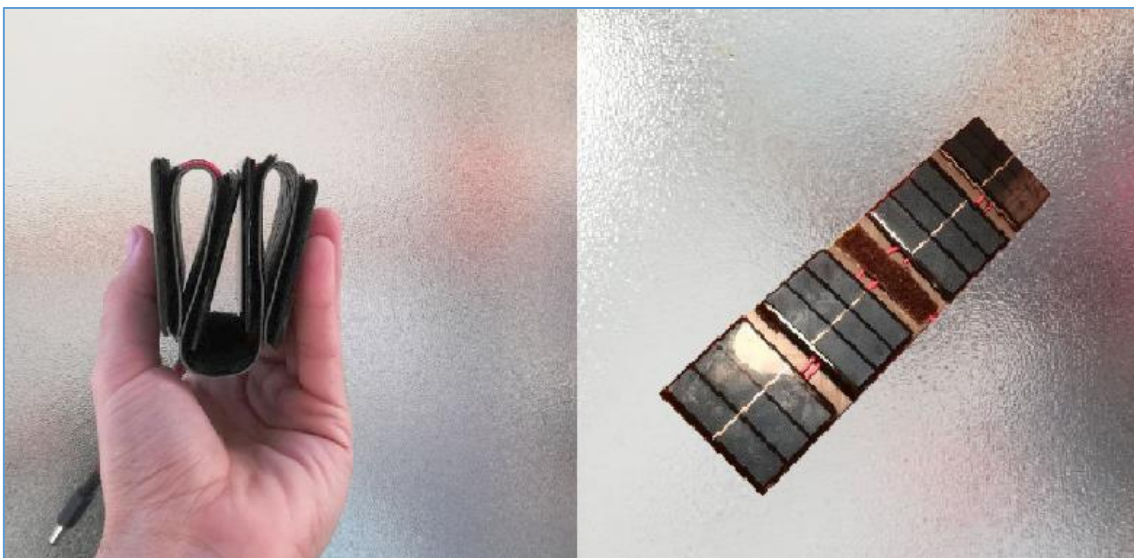
*Ilustración 35: Material soporte empleado en la configuración 1.*

Los paneles fueron unidos al material soporte mediante cinta de velcro de doble cara puesto que, al estar en prototipo en fase de pruebas, fue necesario en repetidas ocasiones acceder a los terminales para realizar medidas, soldar/desoldar, etc.



*Ilustración 36: Paneles ya interconectados antes de ser fijados al material base.*

Finalmente, Se procedió a encapsular lo cables de salida y acoplarlos a un Jack de alimentación estándar.



*Ilustración 37: Panel configuración 1. Aspecto final.*

Como podemos ver, el soporte dota al sistema de una flexibilidad suficiente como para ser plegado y transportado con facilidad.

### 3.4.2. Ensamblaje módulo solar. Configuración 2

Para esta configuración, como ya mencionamos antes, al no ser necesario un formato plegable es mucho más simple.

Únicamente se soldaron los terminales en serie y se adhirieron las células mediante cinta velcro de doble cara al material de soporte (exactamente como en la configuración 1).

Cabe decir que el material soporte usado en esta configuración fue el mismo que en la 1 ya que, al disponer de material suficiente y aportar solidez al montaje, se consideró una solución adecuada.



*Ilustración 38: Panel configuración 2, aspecto final.*

Para terminar, igual que antes, se procedió a la encapsulación del cable y su acoplamiento al Jack estándar de alimentación.

### 3.4.3. Ensamblaje cuerpo central del prototipo. Electrónica y conexiones del dispositivo

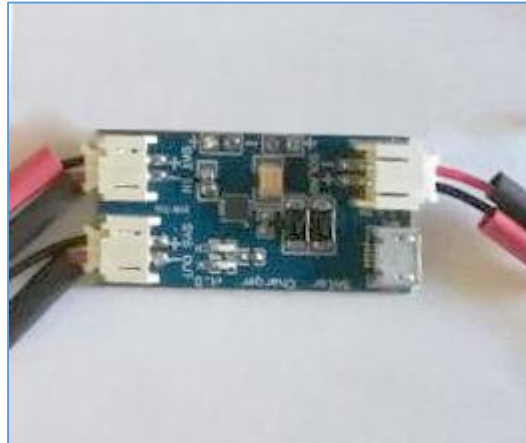
En esta sección se recoge el proceso de ensamblado e inserción de los componentes dentro de la caja del prototipo. Dentro de esta encontraremos el sistema de acumulación, la placa del circuito regulador y los puertos de conexión al exterior.

En la siguiente ilustración podemos ver como la batería encaja en el interior de la tapa inferior del cuerpo central:



*Ilustración 39: Introducción del sistema de almacenamiento en el cuerpo central del prototipo.*

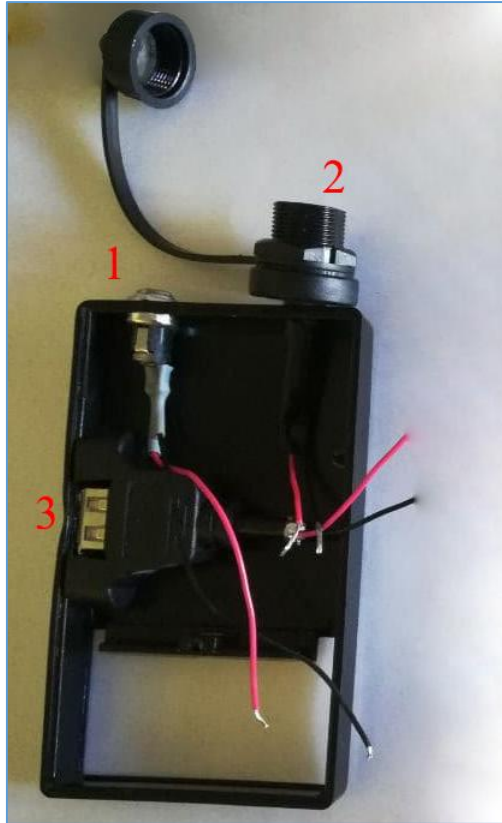
Paralelamente, vamos introduciendo los conectores de alimentación tipo *PH 2.0* para poder realizar las conexiones con la placa del regulador:



*Ilustración 40: Cableado del PCB del regulador electrónico de carga.*

Llegado a este punto, se practicaron diferentes orificios en la tapa superior de la caja del prototipo con el objetivo de poder instalar los puertos de conexión al exterior tal y como podemos ver en la imagen:





*Ilustración 41: Instalación de los puertos de conexión en el cuerpo central del prototipo.*

Donde:

- **1:** Jack de alimentación para la conexión al captador
- **2:** Toma micro USB de carga impermeable bajo norma IP68, lo que evita la entrada de humedad al sistema (Carga del batería mediante conexión a red en caso de urgencia puntual).
- **3:** Toma USB de salida impermeable bajo norma IP68. Constituye el punto de conexión del dispositivo al que queramos abastecer eléctricamente.

Cabe mencionar que la abertura que se aprecia en la tapa superior justo en la zona del regulador nos permite en un momento dado, deslizando la tapa sobre dicha abertura, realizar una inspección visual de los leds indicadores de la placa para confirmar que el prototipo está funcionando correctamente.



*Ilustración 42: Led rojo indicador de funcionamiento.*

Para finalizar con el ensamblaje, unimos las dos mitades y las ensamblamos mediante los tornillos de fijación, obteniendo el siguiente resultado:



*Ilustración 43: Resultado final del ensamblaje del cuerpo central.*

Antes de concluir la sección de ensamblaje cabe mencionar que, con la mirada puesta en la versatilidad del modelo, se decidió no soldar directamente los paneles a la placa por un motivo muy importante: De esta forma, mediante el uso de conectores de alimentación, el prototipo podría funcionar con la configuración deseada según nuestras necesidades.



Ilustración 44: Vista del puerto de alimentación al cual se conectan los diferentes paneles.

Por ejemplo, si disponemos de espacio suficiente y necesitamos una potente fuente de carga, optaremos por la configuración 1 la cual estaba basada en un diseño plegable compuesto por subpaneles del tipo 1.

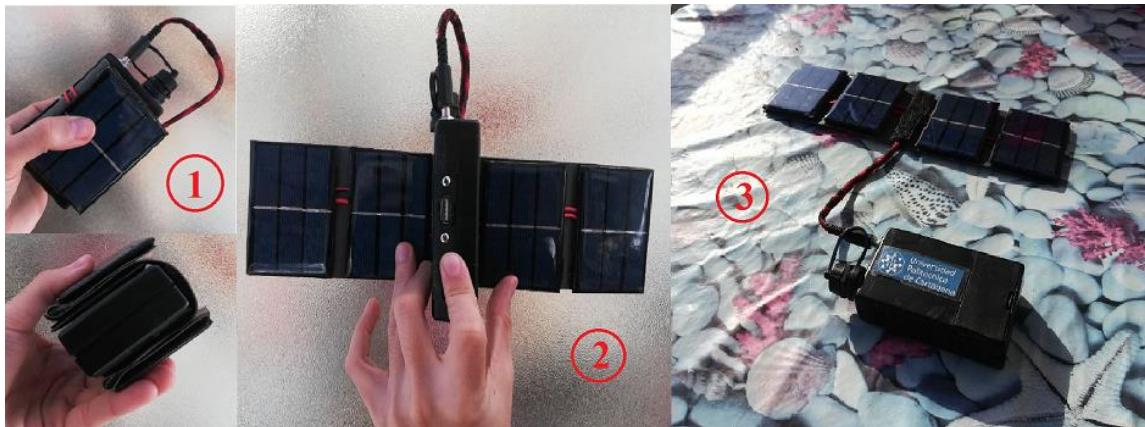


Ilustración 45: Ejemplo de desplegado y uso configuración 1.

Si, por el contrario, más tarde necesitamos llevar el dispositivo con nosotros y nuestro espacio para transportarlo es reducido, desconectaremos el módulo 1 y conectaremos el módulo basado en la configuración 2. Con esto conseguimos, a costa de una intensidad de carga menor, una mayor portabilidad del prototipo.



*Ilustración 46: Ejemplo de uso configuración 2.*

Como podemos ver, mediante la implementación de las conexiones pertinentes, la posibilidad de intercambiar entre ambas configuraciones nos permite una mayor libertad de uso que, junto al hecho de que posee un sistema de acumulación, convierten al prototipo en un dispositivo capaz de adaptarse a prácticamente cualquier situación.

### 3.5. Caracterización del prototipo final

Para concluir la fase de resultados es necesario llevar a cabo la caracterización del dispositivo bajo condiciones reales de uso. Para ello, esta sección se desglosará en 3 apartados: Las pruebas realizadas en el simulador solar para conocer las prestaciones de las ambas configuraciones, un apartado donde realizaremos una serie de cálculos aproximados con los que se intentará estimar el tiempo de carga del dispositivo bajo diferentes condiciones y, finalmente, un estudio del potencial de salida del sistema en función de la irradiancia recibida, con el que averiguaremos si variaciones bruscas de iluminación pueden afectar a la salida del sistema.

### 3.5.1. Caracterización del módulo solar

#### Parámetros del módulo para la configuración 1 en función de la irradiancia

Cabe decir que, para la realización de esta caracterización, los paneles no estaban conectados al dispositivo, con el fin de obtener parámetros como el Voc y el Isc entre otros. Los resultados obtenidos fueron:

**Configuración 1**

Exp nº	Irradiancia (W/m <sup>2</sup> )	Voc (V)	Isc (mA)	MPP (mW)	FF (%)	Eficiencia (%)
1	1000,00	7,120	302,215	1535,651	71,37%	11,85%
2	800,00	7,221	262,543	1334,063	70,37%	12,87%
3	600,00	7,164	195,673	994,277	70,93%	12,79%
4	300,00	7,095	94,798	481,700	71,62%	12,39%
5	160,00	6,895	47,758	242,674	73,70%	11,70%

Como podemos ver, se obtienen para la mayor parte de los valores del rango de irradiancias unos niveles de tensión, intensidad y, por lo tanto, potencia más que suficientes para nuestro dispositivo con unos niveles aceptables de eficiencia y factor de relleno.

Es evidente como, a partir de cierto valor de irradiancia (entre los 300 y 600 W/m<sup>2</sup>), la corriente fotogenerada cae de manera abrupta.

#### Obtención del valor de irradiancia umbral para la configuración 1

Entendemos el concepto de “irradiancia umbral” como el valor mínimo de irradiancia sobre el captador que proporciona la energía suficiente al sistema como para comenzar a funcionar. En nuestro caso, el ensayo se realizó situando el panel en el simulador y se fue variando la intensidad de la iluminación hasta que la tensión de salida del panel era de 4 V ya que, como se mencionó anteriormente, este es el potencial mínimo necesario para que funcione el circuito electrónico de regulación de carga.

Una vez la salida obtenida era de 4V, manteniendo las mismas condiciones de iluminación, se empleaba el piranómetro para obtener el valor de la irradiancia. El valor de dicha irradiancia fue:

V piranómetro (mV)	Irradiancia umbral (W/m <sup>2</sup> )	Voltaje umbral para carga (V)
0,30	4,22	4,00

### Parámetros del módulo para la configuración 2 en función de la irradiancia

De la misma forma que para la configuración 1, los ensayos realizados para la configuración 2 arrojaron los siguientes resultados:

**Configuración 2**

Exp nº	Irradiancia (W/m <sup>2</sup> )	Voc (V)	Isc (mA)	MPP (mW)	FF (%)	Eficiencia (%)
1	1000,00	5,607	126,354	500,688	70,67%	10,98%
2	800,00	5,667	107,303	432,531	71,13%	11,86%
3	600,00	5,510	80,093	311,330	70,55%	11,38%
4	300,00	5,412	38,904	150,887	71,66%	11,03%
5	160,00	5,258	21,842	80,563	70,15%	11,04%

Como podemos ver, dentro de los valores esperados para esta configuración, ambos paneles presentan comportamientos semejantes frente a la disminución de intensidad de luz. Parámetros como el Voc, el FF o la eficiencia permanecen relativamente constantes, mientras que la Isc y el MPP (al estar relacionadas) disminuyen rápidamente a partir de cierto valor.

Podemos destacar que este valor frontera a partir del cual comienza a disminuir rápidamente la Isc, parece situarse algo más arriba que para la primera configuración. Mientras que antes la caída se producía entre los 600-300 W/m<sup>2</sup>, ahora parece encontrarse entre los 800-600 W/m<sup>2</sup>.

### Obtención del valor de irradiancia umbral para la configuración 2

Llevando a cabo los experimentos de la misma forma que en con el otro panel, los resultados obtenidos fueron:

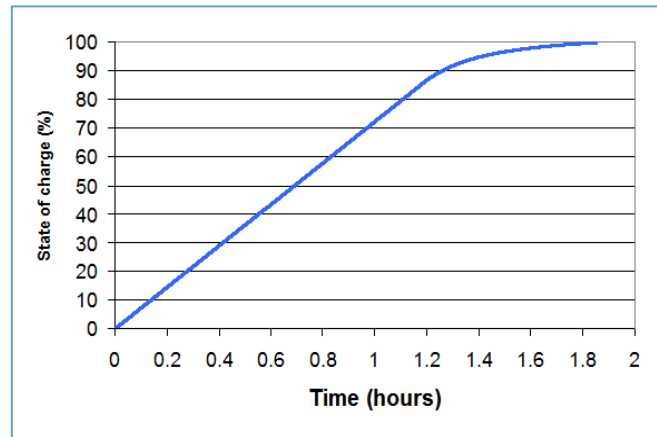
V piranómetro (mV)	Irradiancia umbral (W/m <sup>2</sup> )	Voltaje umbral para carga (V)
0,92	12,94	4,00

Como era de esperar, al tener una menor superficie de captación solar, la irradiancia necesaria para obtener una salida de 4 V ha de ser algo mayor.

### 3.5.2. Calculo de capacidades y tiempos de carga

En este apartado se pretende llevar a cabo una serie de ensayos que permitan, bajo condiciones reales de uso, la determinación aproximada del tiempo de carga necesario para la carga un dispositivo.

Para la realización de los cálculos se ha considerado un Smartphone actual con una batería de 2000 mAh de capacidad. Se ha tenido en cuenta para los cálculos que el rango de carga para el cual el paso del tiempo es proporcional se encuentra entre el 0-80% de la carga total de la batería, tal y como podemos ver a continuación:



Se hizo de esta manera porque para cargar el último tramo de batería se hubiese necesitado demasiado tiempo, lo cual no era práctico teniendo en cuenta que solo se ganaba un 20% más de carga.

Es importante mencionar que se realizaron mediciones tanto en interiores (flexo halógeno) como al aire libre, es por esto que, ya que nos sería imposible repetir los ensayos con ambos paneles bajo los mismos niveles de irradiancia (al depender de las condiciones climatológicas) se simplificaron los experimentos realizándose solo con el panel desplegable de la configuración 1. Se tomó esta decisión ya que, al ser el de mayor superficie, es el más indicado para desplegar en exteriores y aprovechar las condiciones de iluminación natural.

### **Mediciones en exteriores**

Se realizaron las mediciones en exteriores en un día nublado (radiación mayoritariamente difusa), donde la variación de irradiancia era muy rápida por lo que, además de la medición de referencia en el simulador solar bajo STC, se obtuvieron 3 valores diferentes de irradiancia.

Cabe mencionar que los datos obtenidos se obtuvieron, lógicamente, con el panel conectado al dispositivo.

<b>Condiciones prueba 1</b>		(84,39 W/m <sup>2</sup> )
<b>I (mA)</b>	24,6	
<b>V (V)</b>	4,77	

<b>Condiciones prueba 2</b>		(227,85 W/m <sup>2</sup> )
<b>I (mA)</b>	84,4	
<b>V (V)</b>	5,19	

<b>Condiciones prueba 3</b>		(675,11 W/m <sup>2</sup> )
<b>I (mA)</b>	245	
<b>V (V)</b>	5,42	

<b>Condiciones estándar</b>		(1000 W/m <sup>2</sup> )
<b>I (mA)</b>	312,15	
<b>V (V)</b>	7,02	

Con estos resultados se procedió al cálculo del tiempo de carga del Smartphone antes mencionado suponiendo que este se encontraba apagado (Consumo nulo), su batería se encontraba a 0% en el momento de comenzar a cargar y que se cargaría hasta un máximo del 80% para mantener la linealidad como se comentó antes.

Sabiendo que, por ejemplo, para los 1600 mAh de capacidad a rellenar (80% de 2000 mAh) se necesitaría 1 hora de carga a una intensidad de 1,6 A, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

<b>Condiciones prueba 1</b>		(84,39 W/m <sup>2</sup> )	<b>Condiciones prueba 2</b>		(227,85 W/m <sup>2</sup> )
<b>I (mA)</b>	24,6		<b>I (mA)</b>	84,4	
<b>V (V)</b>	4,77		<b>V (V)</b>	5,19	
<b>Tiempo de carga (h)</b>	65,04		<b>Tiempo de carga (h)</b>	18,96	



Condiciones prueba 3 (675,11 W/m <sup>2</sup> )		Condiciones estándar (1000 W/m <sup>2</sup> )	
I (mA)	245	I (mA)	312,15
V (V)	5,42	V (V)	7,02
Tiempo de carga (h)	6,53	Tiempo de carga (h)	5,13

Como podemos observar, para irradiancias cercanas a las condiciones SCT el dispositivo supone una interesante fuente de energía con la que alimentar al dispositivo, mientras que bajo condiciones de menor intensidad luminosa (pruebas 1 y 2) solamente es interesante como apoyo energético puntual.

Tras esto, se consideró realizar los mismos cálculos, pero bajo la suposición de que el dispositivo que se estuviese alimentando (Smartphone) se encontrase conectado y siendo utilizado con normalidad.

Para ello, fue necesario calcular el consumo de corriente de dicho dispositivo con el objetivo de restárselo a la intensidad proveniente del prototipo. Suponiendo que un Smartphone promedio, bajo uso normal, consume el 100% de su batería en un día (2000 mAh), obtenemos que el consumo de este será de unos 83 mA de batería cada hora.

Teniendo en cuenta el consumo estimado, se volvieron a realizar los cálculos para los tiempos de carga:

Condiciones prueba 1 (84,39 W/m <sup>2</sup> )		Condiciones prueba 2 (227,85 W/m <sup>2</sup> )	
Tiempo de carga (h)	-27,24	Tiempo de carga (h)	1500,00
Condiciones prueba 3 (675,11 W/m <sup>2</sup> )		Condiciones estándar (1000 W/m <sup>2</sup> )	
Tiempo de carga (h)	9,90	Tiempo de carga (h)	6,99

De nuevo, es evidente como, aun con el dispositivo en uso, los niveles de irradiancia más altos de las pruebas permiten la carga del dispositivo de forma relativamente rápida mientras que para la prueba 2, solo nos serviría para mantener constante el nivel de carga de la batería puesto que se necesitaría demasiado tiempo de carga.

En el caso de la prueba a menor irradiancia, podemos ver como el tiempo de carga estimado es negativo, esto se debe a que la intensidad de carga es incluso menor que la de consumo por lo que, aun utilizando el prototipo, el nivel de carga iría disminuyendo.

Para determinar, en este caso, cuanto aumentaría la autonomía del dispositivo, no hay más que hallar la diferencia entre el consumo medio y la intensidad aportada por los paneles del prototipo. Esta diferencia nos indica que, bajo esos niveles de irradiancia, el consumo pasa de 83 mA por cada hora a unos 58,4 mA de consumo.

De esta forma, y suponiendo una batería de 2000 mAh que parte de carga completa, el dispositivo nos permitiría alargar la autonomía desde las 24 horas estimadas hasta unas 34,2 horas, es decir, la duración de la batería del Smartphone utilizando como apoyo nuestro prototipo bajo las condiciones de iluminación de la prueba 1, se incrementaría en torno a un 40%.

### **Mediciones en interiores**

Una de las opciones más interesante contempladas para el prototipo fue el aprovechamiento de la iluminación excedente en interiores. Iluminación empleada en el hogar normalmente podría ser aprovechada para cargar pequeños dispositivos.

En este apartado se pone de manifiesto la importancia de haber solo realizado las pruebas con el panel de la configuración 1 ya que al ser el más grande, era el único capaz de aprovechar estas fuentes más tenues de luz.

Los ensayos fueron realizados con la ayuda de un flexo dotado de una bombilla halógena de 12V y 20W de potencia, similar al que se aprecia a continuación:



Ilustración 47: Prueba de carga con iluminación en interiores.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

<b>Condiciones prueba</b>		(94,23 W/m <sup>2</sup> )
<b>I (mA)</b>		79
<b>V (V)</b>		4,93

Para el cálculo de los tiempos de carga con Smartphone apagado y conectado se tuvo en cuenta el mismo consumo estimado en el apartado de las pruebas en exteriores. Los tiempos obtenidos fueron:

**Para smartphone apagado:**

Tiempo de carga (h)	20,25
---------------------	-------

**Para smartphone con uso moderado:**

Tiempo de carga (h)	-369,23
---------------------	---------

Para uso en interiores podemos ver cómo, siempre y cuando el dispositivo se encuentre apagado, es posible ir obteniendo carga lentamente. En caso de que este se encontrase encendido, el prototipo solo podría ofrecer un apoyo auxiliar que permitiese a la batería ir perdiendo carga más lentamente.

De la misma forma que en las mediciones en exteriores, podemos cuantificar fácilmente el papel del prototipo como dispositivo de apoyo aprovechando la iluminación en interiores. El consumo final del Smartphone planteado utilizando el prototipo, teniendo en cuenta los 83 mA a la hora de consumo y el aporte de los paneles de 79 mA bajo estas condiciones, se reduce hasta los 4 mA a la hora.

Teniendo este dato, para un Smartphone de 2000 mAh de capacidad que parte de carga completa, teóricamente se conseguiría alargar su autonomía hasta las 500 horas. En este caso, podría usarse prácticamente de forma indefinida sin que se apreciase una disminución de carga en la batería.

### 3.5.3. Tensión de salida del sistema en función de la irradiancia

Aunque cuando se mencionó, en el apartado de componentes del prototipo, que el circuito electrónico de regulación es capaz regular y estabilizar el nivel de salida, se consideró oportuno hasta qué punto era capaz de mantener constante el voltaje de salida en función de la cantidad de irradiancia recibida.

Para ello, en el laboratorio, se hizo uso del simulador solar para generar diferentes valores de irradiancia y el galvanostato para realizar un seguimiento de la salida del prototipo. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

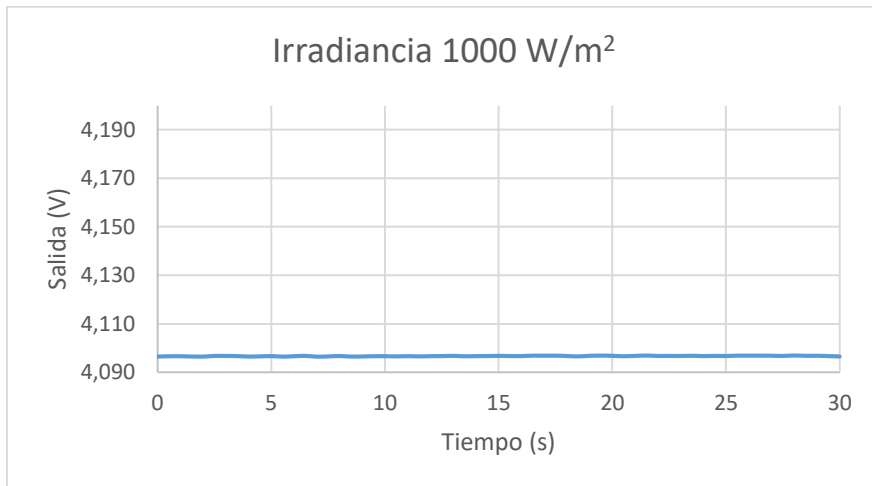


Ilustración 48: Salida del sistema para una irradiancia de 1000 W/m<sup>2</sup>.

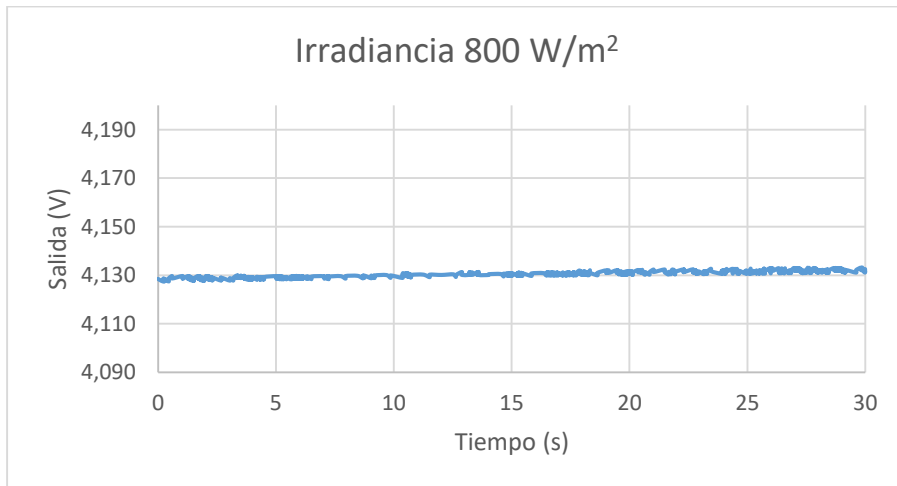


Ilustración 49: Salida del sistema para una irradiancia de 800 W/m<sup>2</sup>.

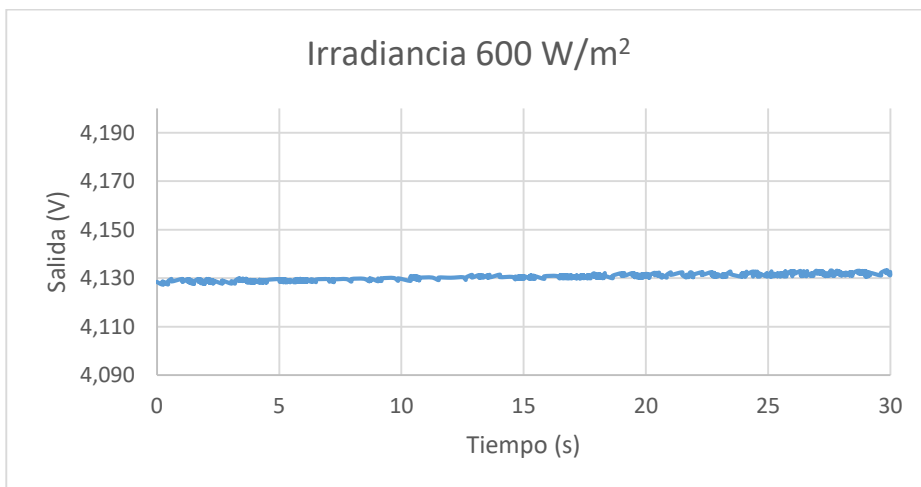


Ilustración 50: Salida del sistema para una irradiancia de 600 W/m<sup>2</sup>.

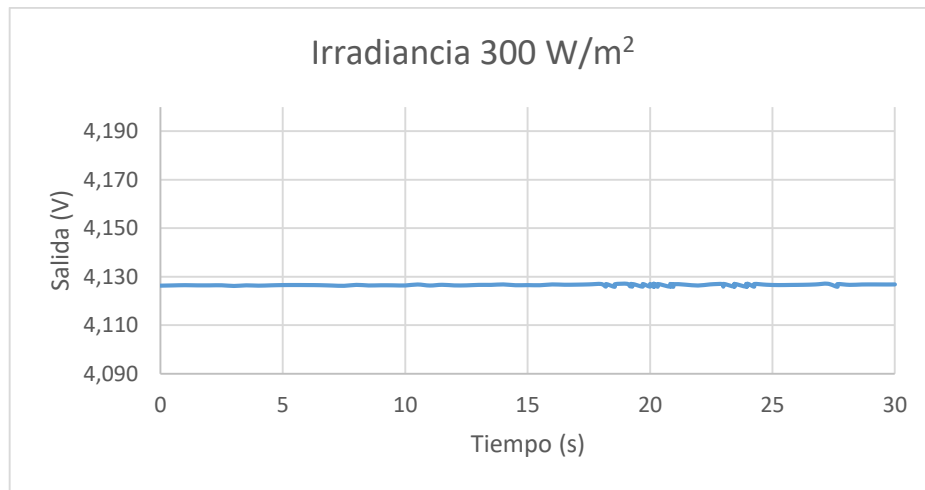


Ilustración 51: Salida del sistema para una irradiancia de 300 W/m<sup>2</sup>.



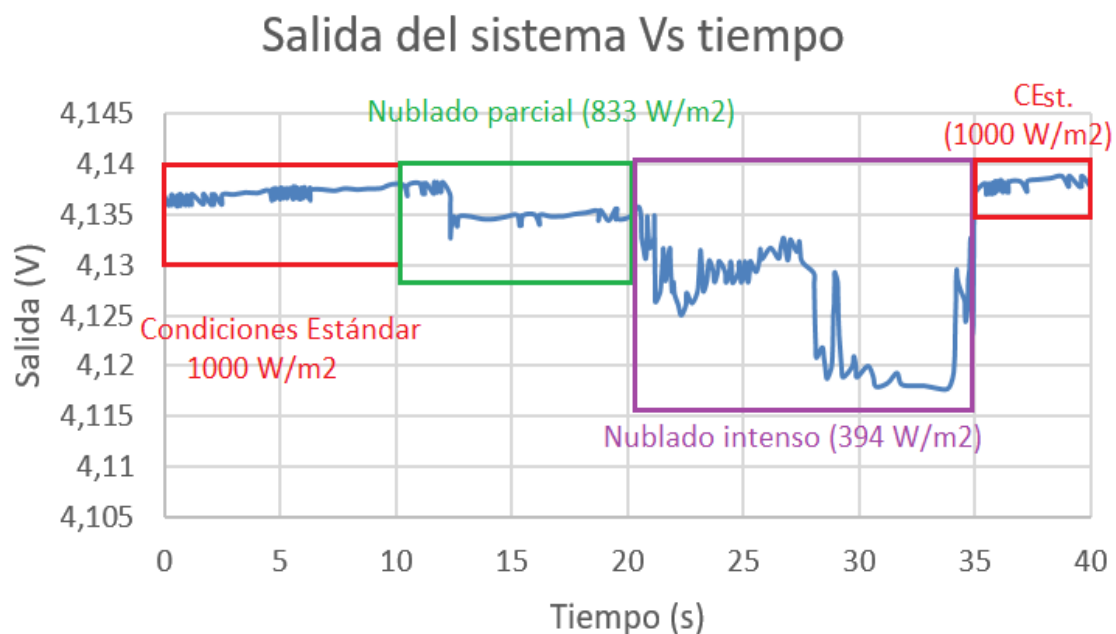
Ilustración 52: Salida del sistema para una irradiancia de 160 W/m<sup>2</sup>.

Pese a que visualmente se aprecian variaciones, podemos ver que, realmente, apenas hay variaciones. Podemos concluir que, independientemente de la irradiancia captada por el prototipo, éste fija la salida de forma bastante eficiente en torno a los 4V. Las gráficas detalladas, en donde podemos observar mejor dichas variaciones, quedan reflejadas en el Apéndice d) del anexo.

Para finalizar con los ensayos, se diseñó un experimento que pretendía ver si, mediante la variación brusca de la irradiancia, se apreciaba alguna variación en el nivel de salida. El experimento, con una duración de 40 segundos, se dividió en 4 tramos con irradiancias claramente diferenciadas con los que se buscaba simular condiciones climáticas variables:

- Primer tramo (0-10 s) – Irradiancia STC 1000 W/m<sup>2</sup>
- Segundo tramo (10-20 s) – Irradiancia 833 W/m<sup>2</sup> (Nublado parcial)
- Tercer tramo (20-35 s) – Irradiancia 394 W/m<sup>2</sup> (Nublado intenso)
- Cuarto tramo (35-40 s) – Irradiancia STC 1000 W/m<sup>2</sup>

Los resultados fueron:



*Ilustración 53: Salida del sistema bajo condiciones variables de irradiancia.*

Se observan pequeñas alteraciones en el nivel de salida que responden a las variaciones de irradiancia. Se ve claramente en la gráfica superior como en los tramos donde menor luminosidad llega la tensión de salida disminuye.

De nuevo, como ya se mencionó antes, si observamos la escala del eje de ordenadas de la representación gráfica, podemos ver cómo, en términos prácticos, la salida del sistema permanece constante. Esto quiere decir que el regulador/nivelador electrónico realiza correctamente su función eliminando, de esta manera, la necesidad de repetir dicho experimento con el panel de configuración 2, ya que obtendríamos resultados semejantes.

## **4. Conclusiones**

A continuación, tras el análisis de los datos obtenidos, se han obtenido las siguientes conclusiones:

1. Se ha llevado a cabo un estudio del estado del arte del papel de la fotovoltaica en el mundo actual, concluyendo su enorme potencial independientemente de la escala.
2. Se elaboró el diseño del cuerpo central del prototipo con el objetivo de reducir el tamaño al máximo sin comprometer las prestaciones del dispositivo y aumentar su versatilidad.
3. Se diseñaron dos configuraciones para el captador solar del dispositivo que permitiesen satisfacer las necesidades energéticas puntuales en dos situaciones diferentes.
4. Mediante las mediciones realizadas en el laboratorio con ambas configuraciones, bajo condiciones de irradiancia controladas, se conoció el comportamiento de ambas, así como el desempeño a la hora de convertir la radiación en electricidad,
5. Mediciones posteriores en exteriores, bajo 3 niveles de irradiancia distintos, permitieron conocer el comportamiento del sistema en condiciones de trabajo reales.
6. Con los datos obtenidos se realizaron cálculos aproximados para saber los tiempos de carga del prototipo para diferentes irradiancias.
7. A la luz de los resultados obtenidos y teniendo en cuenta la reducida área de captación del prototipo, la potencia fotogenerada por ambas configuraciones era suficiente para alimentar dispositivos de poco consumo.
8. El cálculo de los tiempos de carga a partir de los datos obtenidos en las mediciones nos indica que, siempre y cuando los niveles de irradiancia sean moderadamente altos, el dispositivo es capaz de cargar relativamente rápido pequeños dispositivos, tanto apagados como encendidos con un consumo medio. Sin embargo, para situaciones de baja iluminación, el análisis de los resultados



establece que los tiempos de carga pueden ser extremadamente largos por lo que el sistema solo puede usarse como apoyo, especialmente con los dispositivos en stand by.

9. De las mediciones realizadas en interiores con reducida iluminación se concluye que el uso de este tipo de dispositivos puede representar una alternativa muy interesante para el aprovechamiento de iluminación residual en interiores.

## 5. Anexos:

Apéndice a): Caracterizaciones previas

Paneles tipo 1: Tablas de datos

Panel 1 tipo 1						
Exp nº	Irradiancia (W/m <sup>2</sup> )	Voc (V)	Isc (mA)	MPP (mW)	FF (%)	Eficiencia (%)
1	1000,00	1,710	313,927	348,245	64,87%	10,75%
2	966,00	1,731	315,035	296,015	54,28%	9,46%
3	913,40	1,730	311,798	350,589	64,99%	11,85%
4	837,00	1,760	295,381	307,343	59,12%	11,33%
5	800,00	1,685	277,572	276,253	59,07%	10,66%
6	600,00	1,735	205,834	239,835	67,16%	12,34%
7	300,00	1,686	107,463	128,097	70,70%	13,18%
8	160,00	1,652	58,008	65,333	68,18%	12,60%

Figura A 1

Panel 2 tipo 1						
Exp nº	Irradiancia (W/m <sup>2</sup> )	Voc (V)	Isc (mA)	MPP (mW)	FF (%)	Eficiencia (%)
1	1000,00	1,750	345,118	375,138	62,11%	11,58%
2	966,00	1,731	328,541	333,750	58,51%	10,63%
3	913,40	1,739	301,335	317,680	57,50%	10,18%
4	837,00	1,740	290,755	294,829	58,28%	10,87%
5	800,00	1,775	267,448	301,718	63,56%	11,64%
6	600,00	1,756	228,735	263,768	65,67%	13,57%
7	300,00	1,718	113,726	141,337	72,36%	14,54%
8	160,00	1,663	61,888	76,294	74,13%	14,72%

Figura A 2

Panel 3 tipo 1						
Exp nº	Irradiancia (W/m <sup>2</sup> )	Voc (V)	Isc (mA)	MPP (mW)	FF (%)	Eficiencia (%)
1	1000,00	1,790	361,463	374,795	57,93%	11,57%
2	966,00	1,771	340,347	376,218	62,42%	12,02%
3	913,40	1,760	297,064	340,032	65,04%	11,49%
4	837,00	1,799	301,914	337,240	62,09%	12,44%
5	800,00	1,756	297,777	307,855	58,87%	11,88%
6	600,00	1,746	229,912	260,413	64,87%	13,40%
7	300,00	1,702	109,759	111,267	59,56%	11,45%
8	160,00	1,652	61,001	69,152	68,62%	13,34%

Figura A 3

Panel 4 tipo 4						
Exp nº	Irradiancia (W/m <sup>2</sup> )	Voc (V)	Isc (mA)	MPP (mW)	FF (%)	Eficiencia (%)
1	1000,00	1,771	354,037	386,651	61,67%	11,93%
2	966,00	1,731	336,641	346,185	59,41%	11,06%
3	913,40	1,759	317,162	346,620	62,13%	11,71%
4	837,00	1,799	302,193	335,654	62,43%	12,52%
5	800,00	1,745	282,982	298,505	60,45%	11,52%
6	600,00	1,735	214,320	236,244	63,53%	12,15%
7	300,00	1,684	106,209	128,280	71,72%	13,20%
8	160,00	1,642	57,628	71,963	76,05%	13,88%

Figura A 4

Paneles tipo 1: Datos gráficos

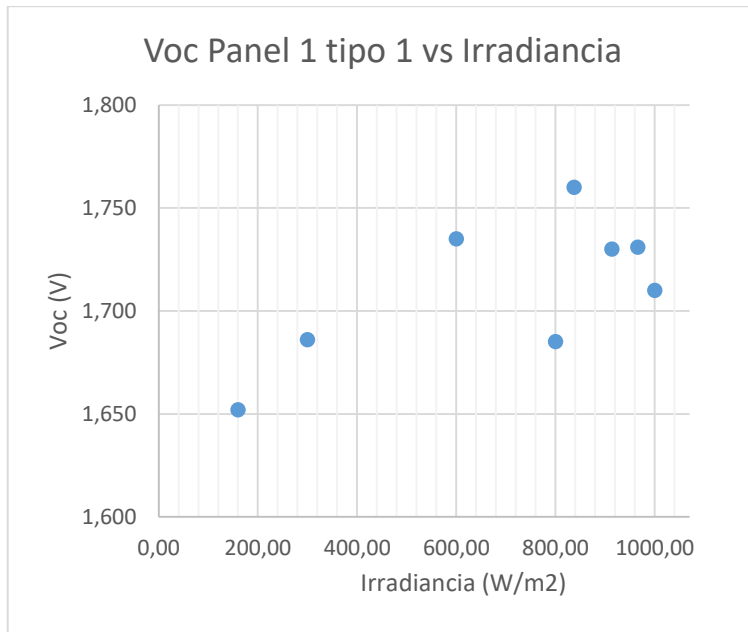


Figura A 5

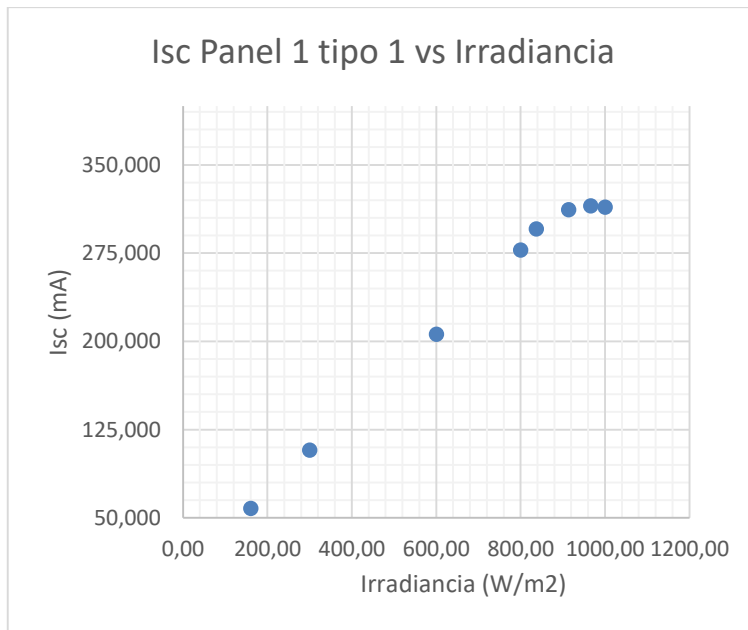


Figura A 6

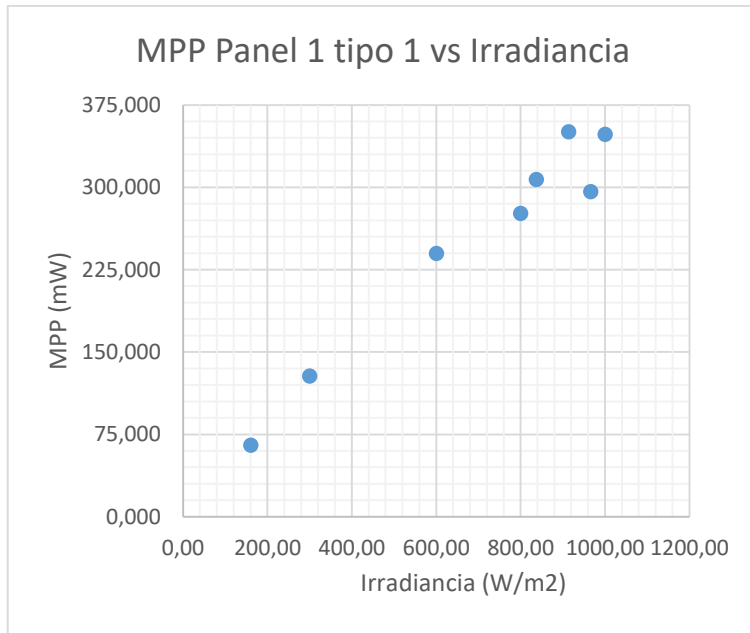


Figura A 7

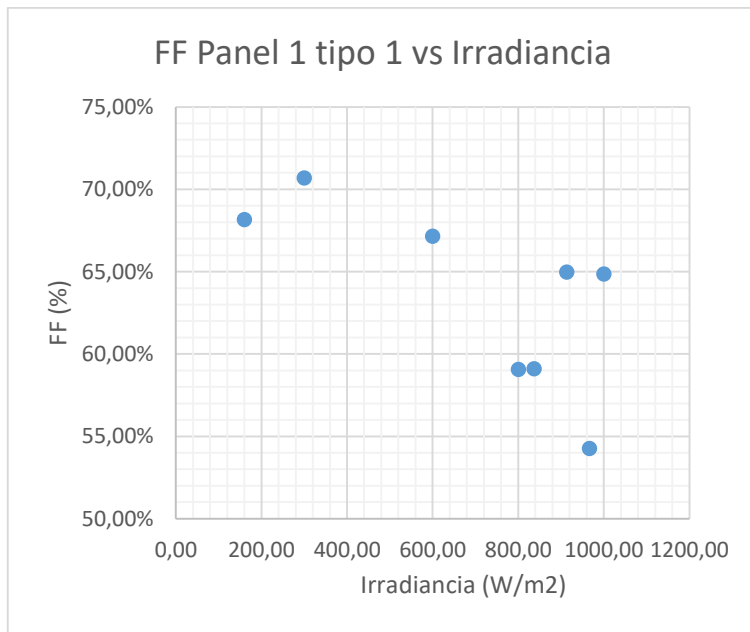


Figura A 8

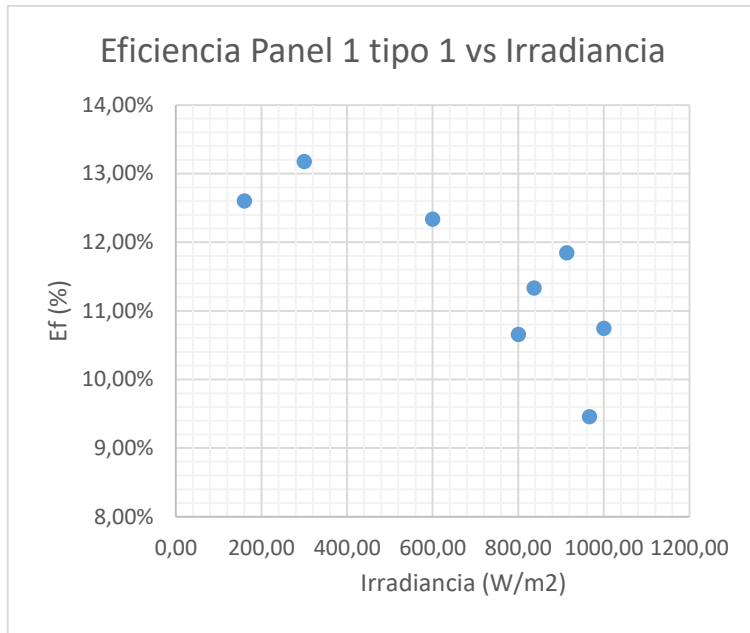


Figura A 9

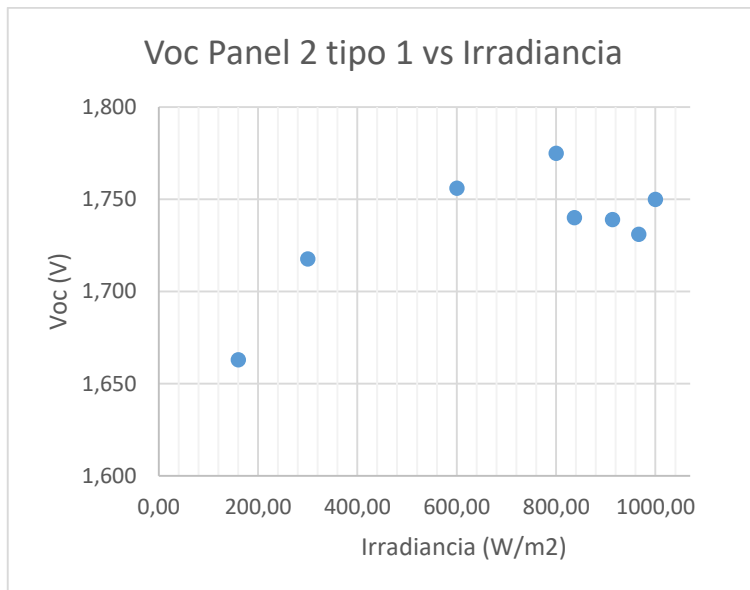


Figura A 10

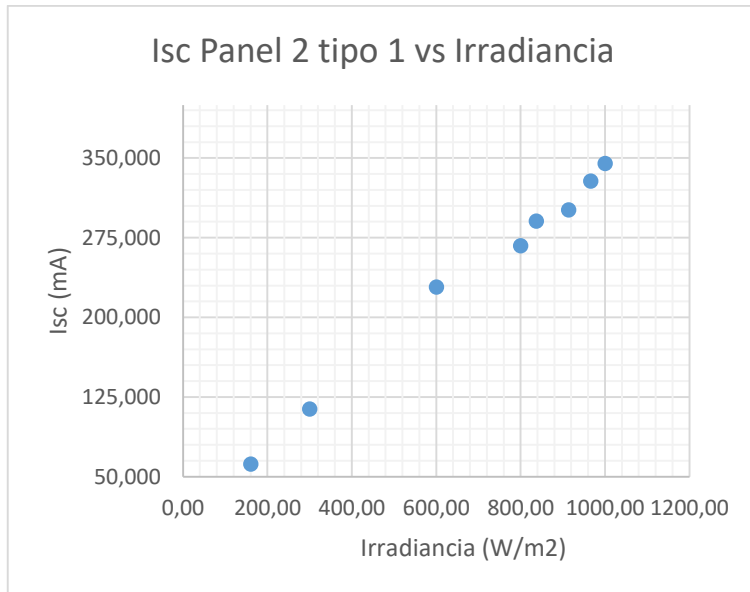


Figura A 11

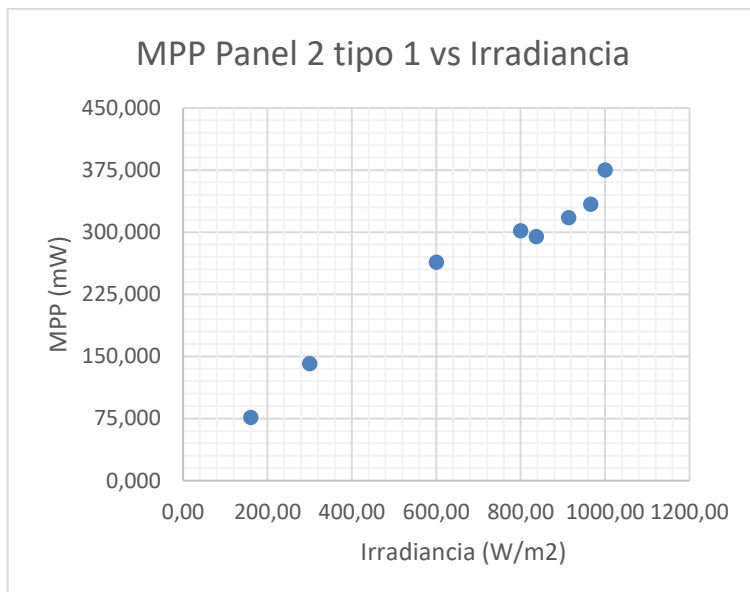


Figura A 12

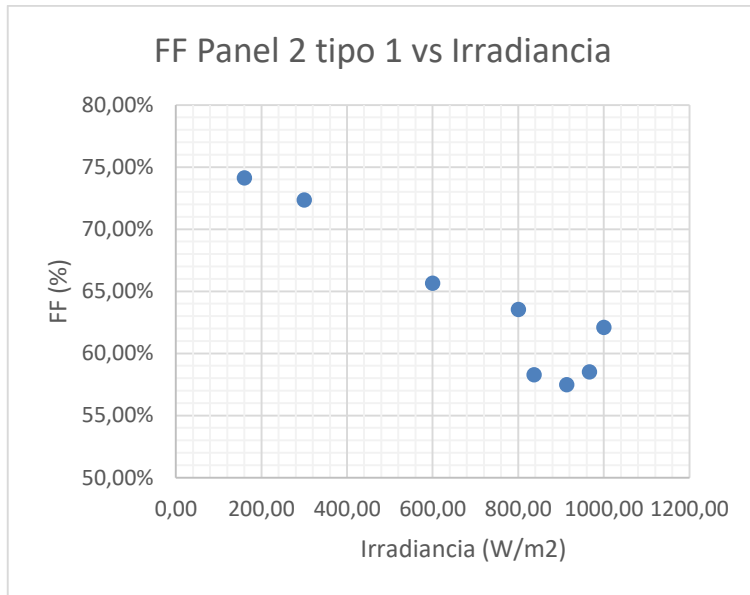


Figura A 13

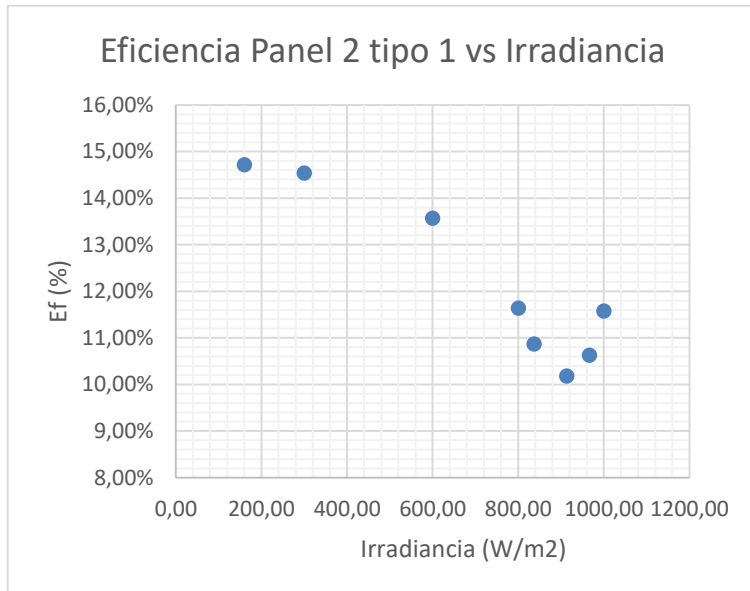


Figura A 14



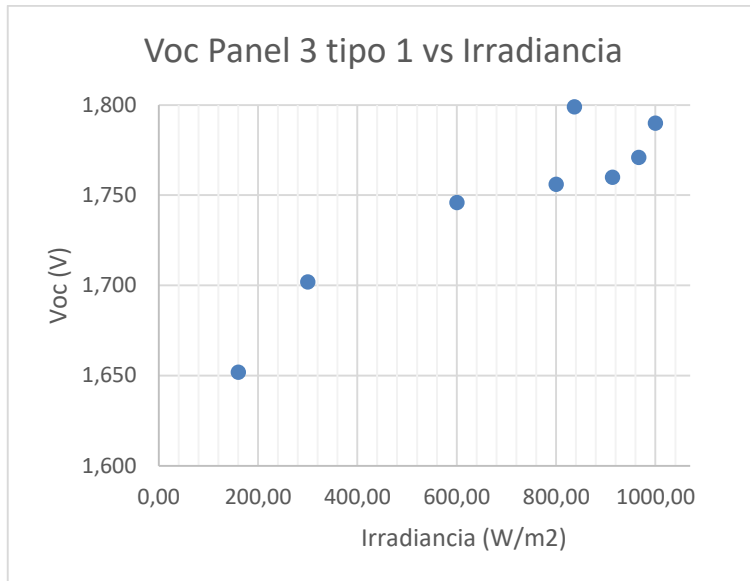


Figura A 15

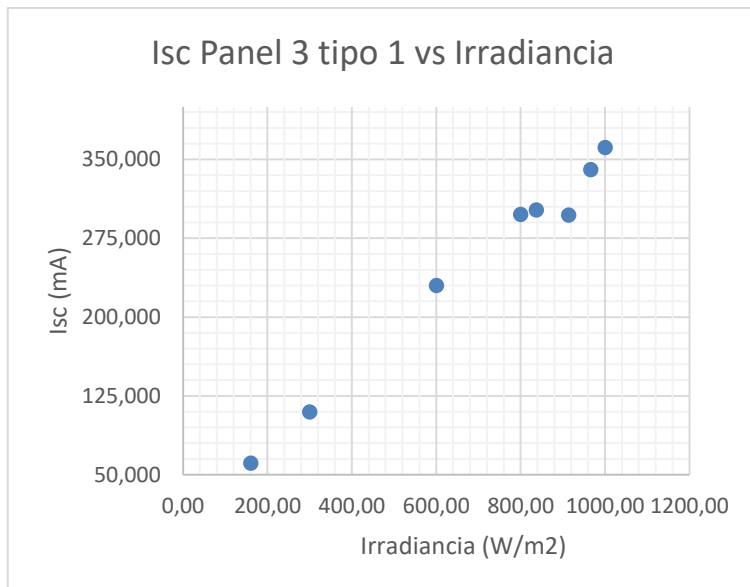


Figura A 16

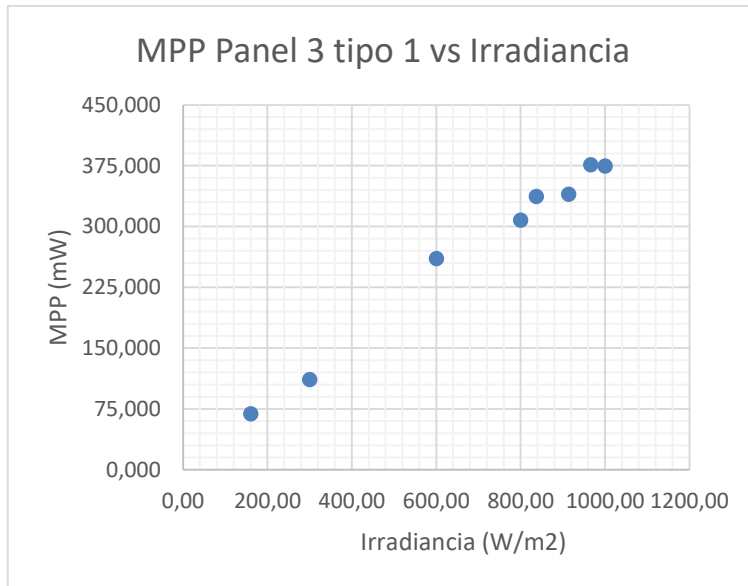


Figura A 17

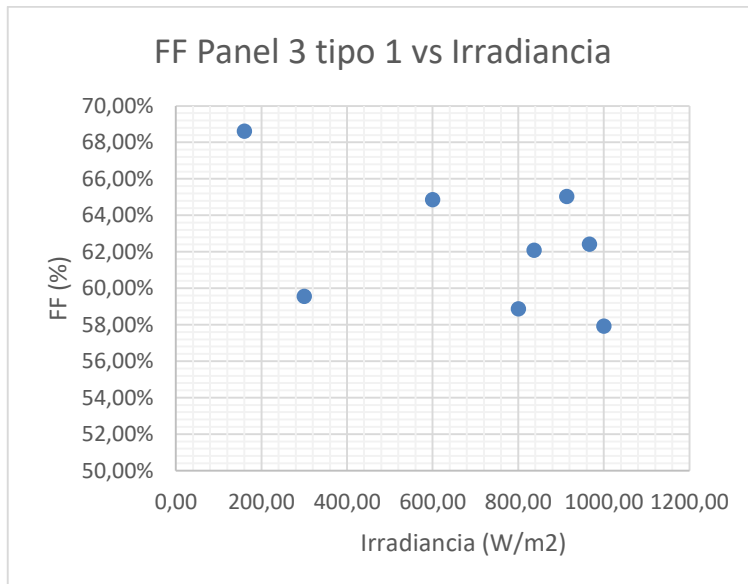


Figura A 18

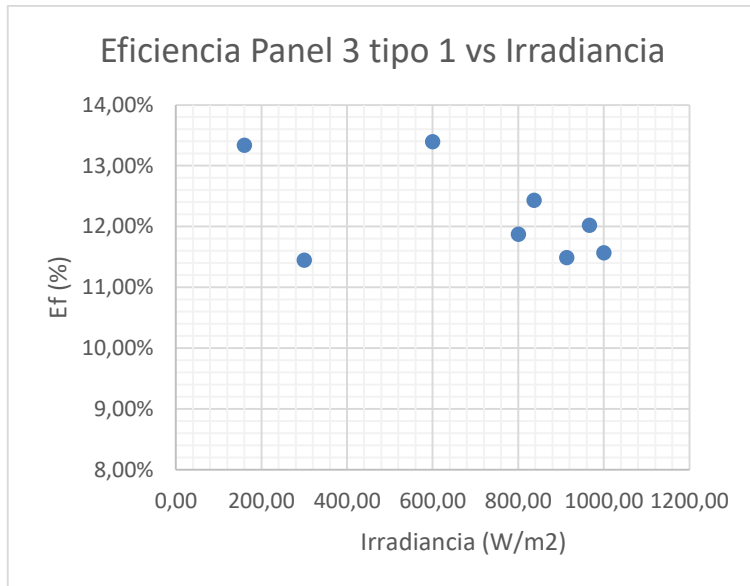


Figura A 19

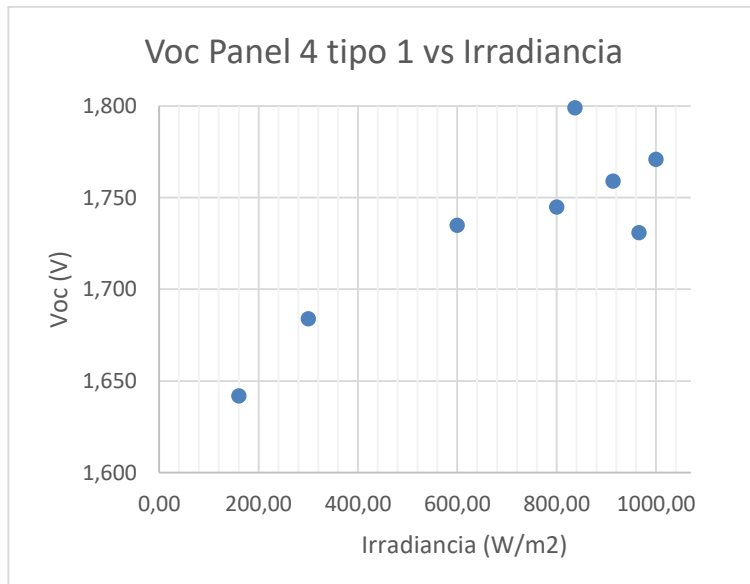


Figura A 20

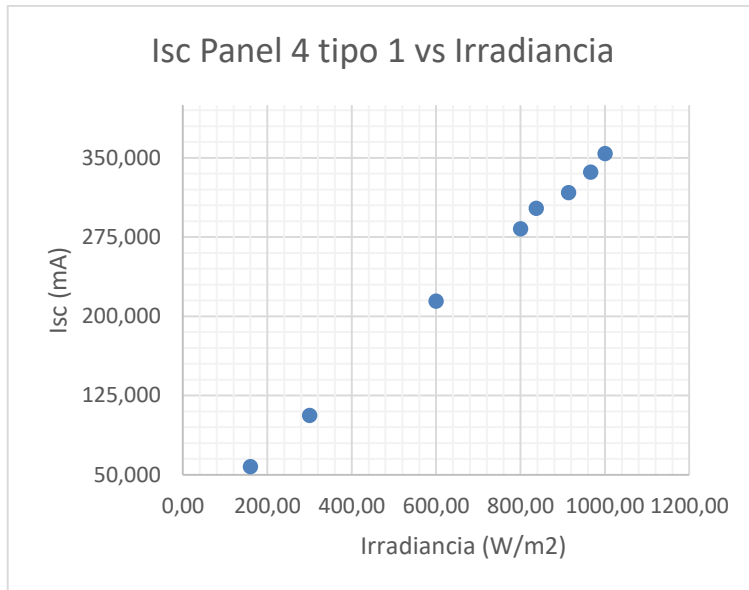


Figura A 21

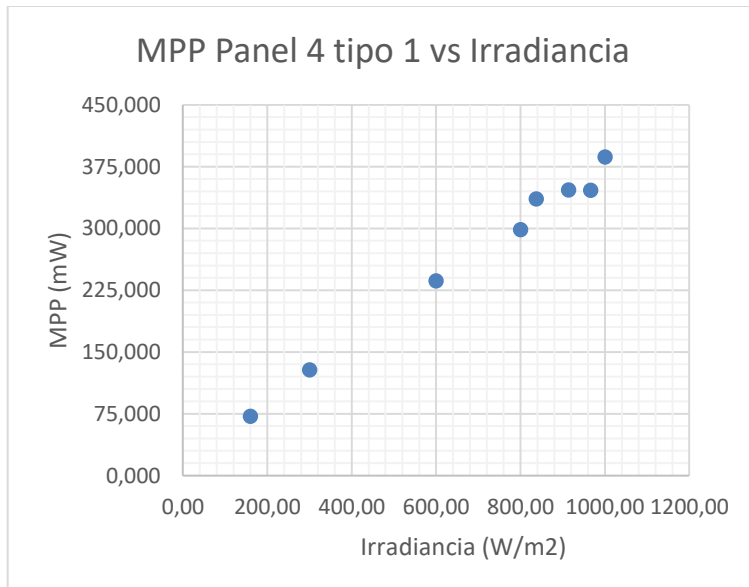


Figura A 22

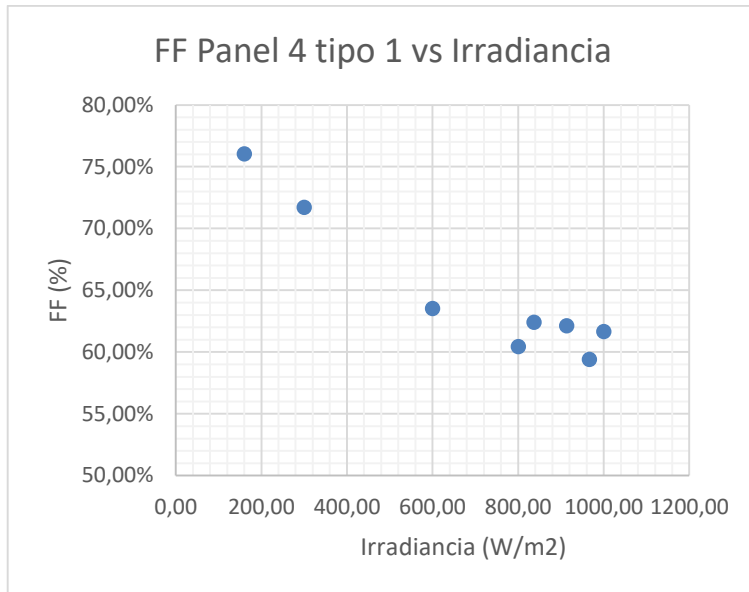


Figura A 23

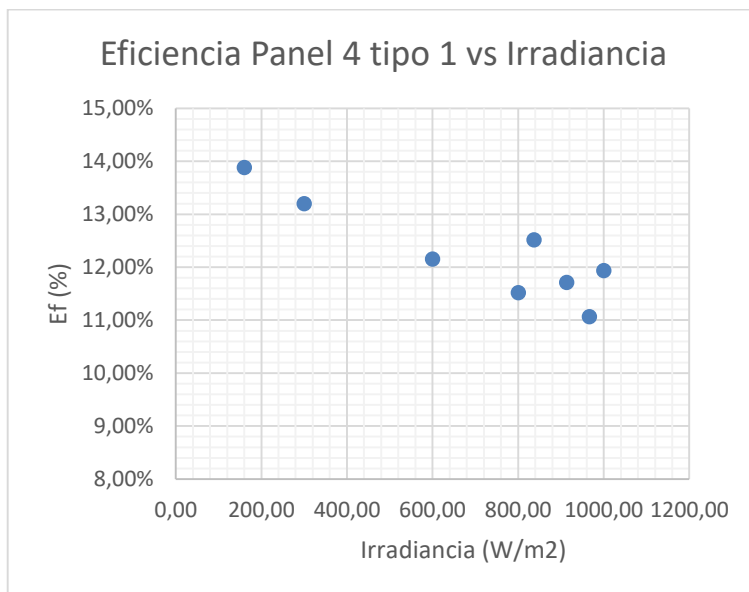


Figura A 24

Paneles tipo 1: Curvas I-V y P-V

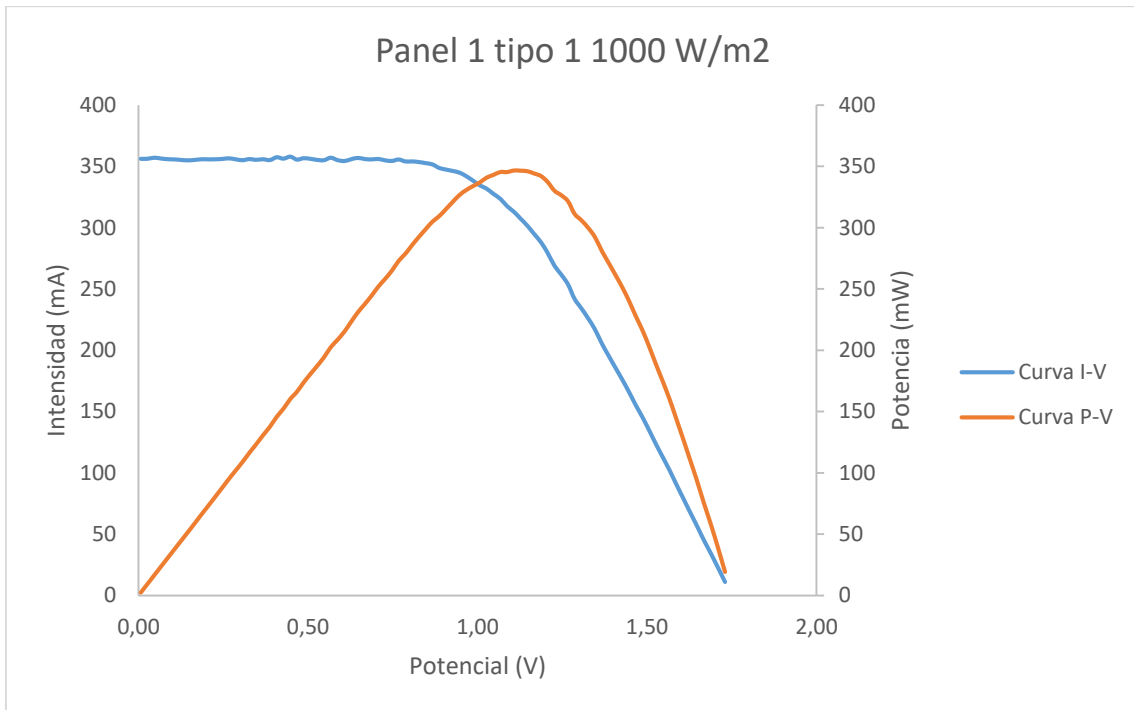


Figura A 25

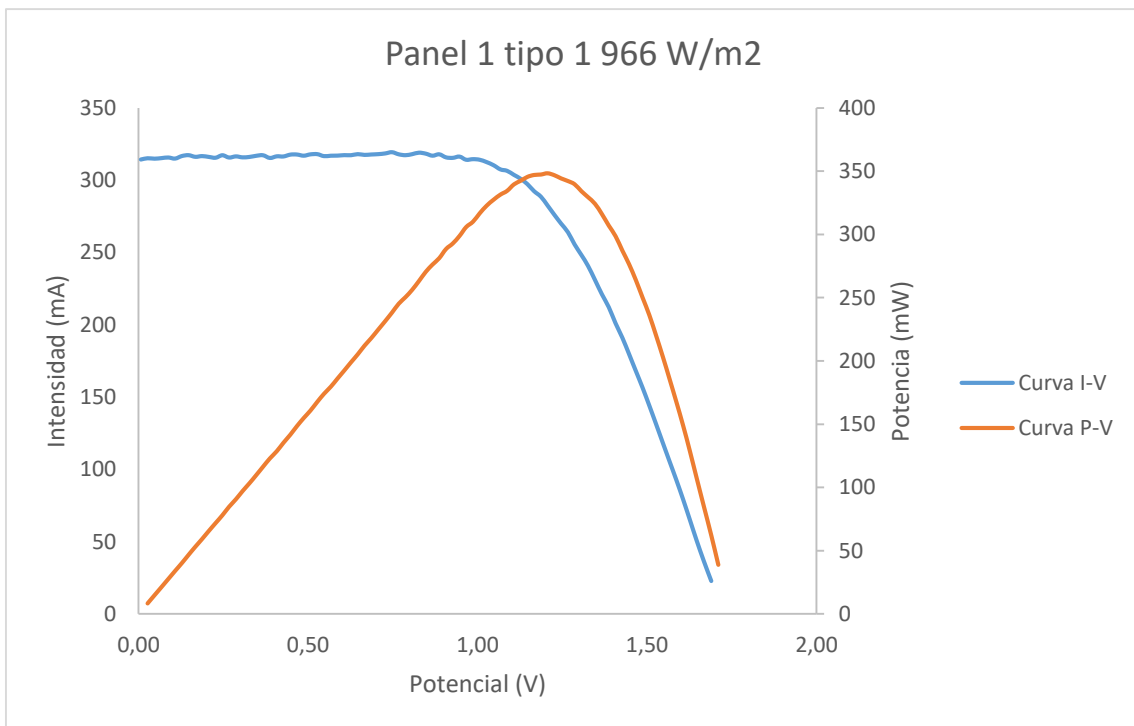


Figura A 26

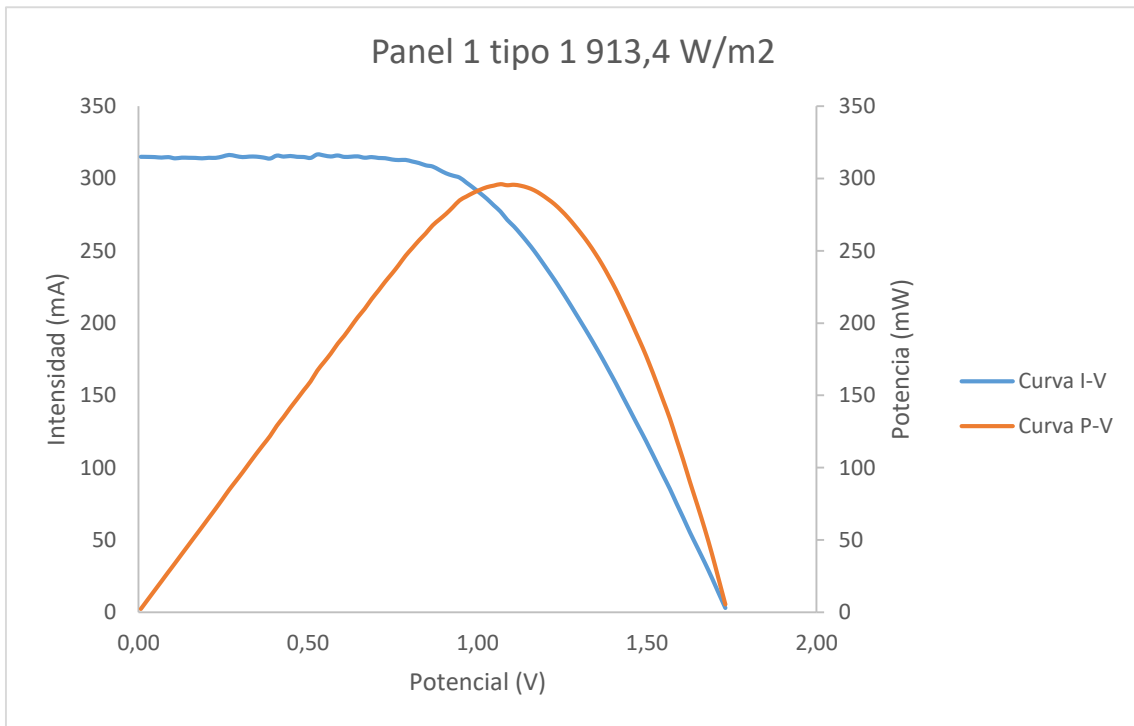


Figura A 27

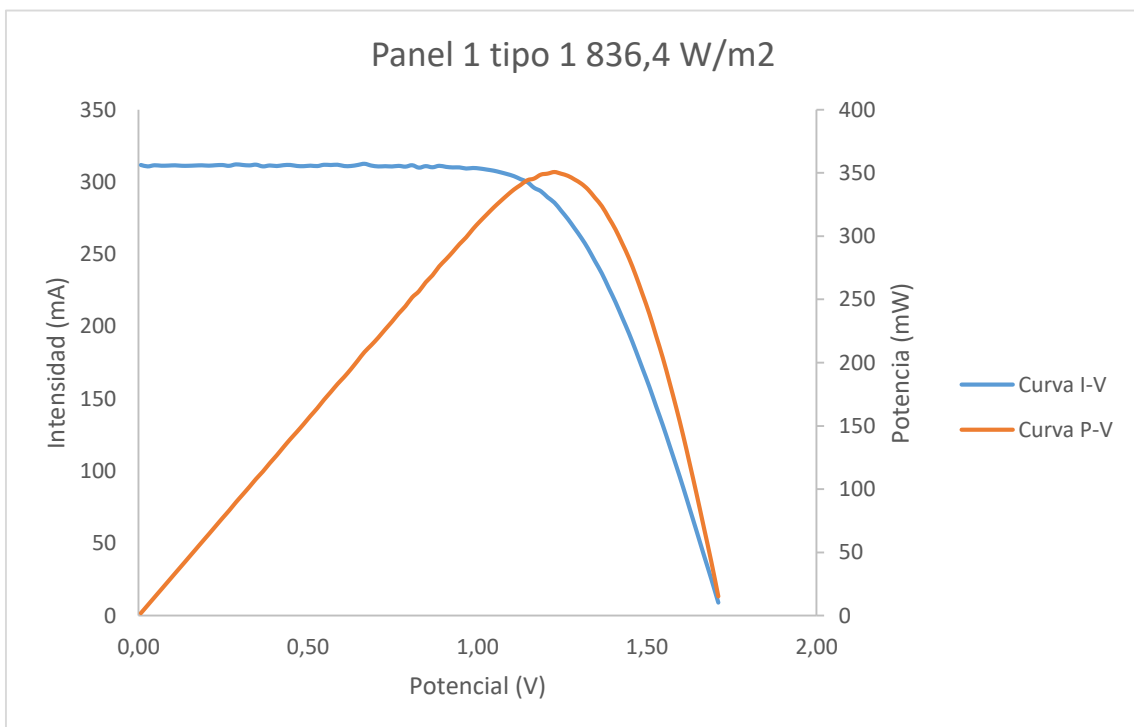


Figura A 28

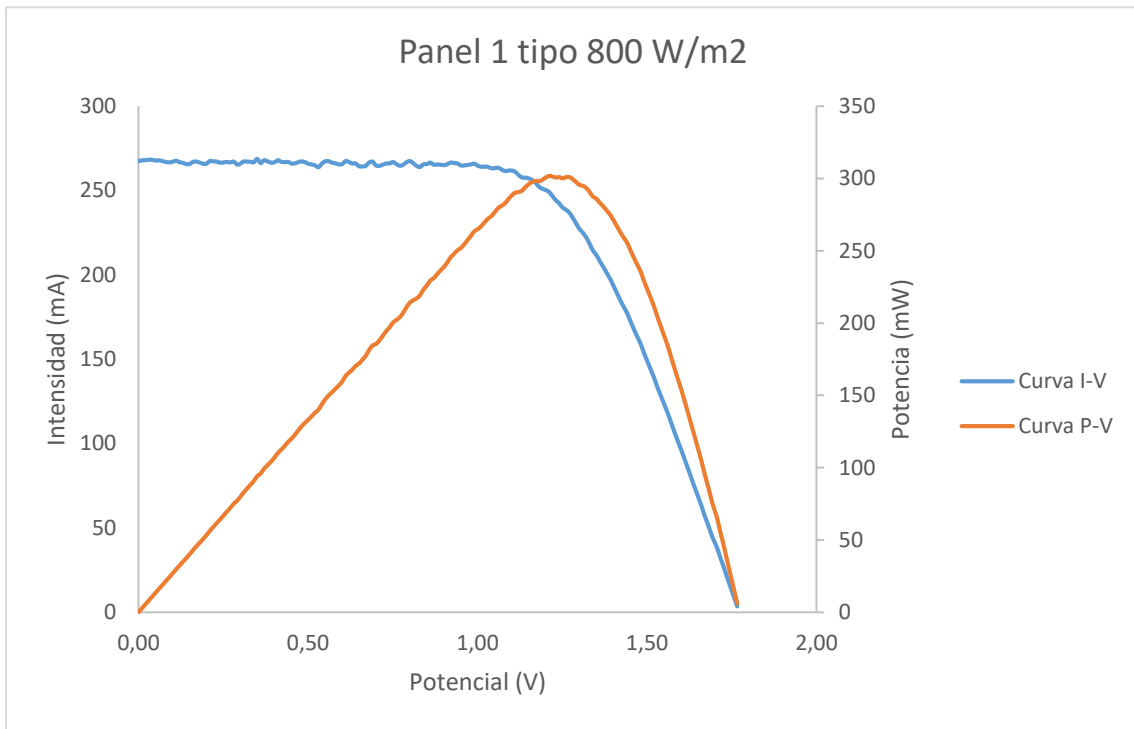


Figura A 29

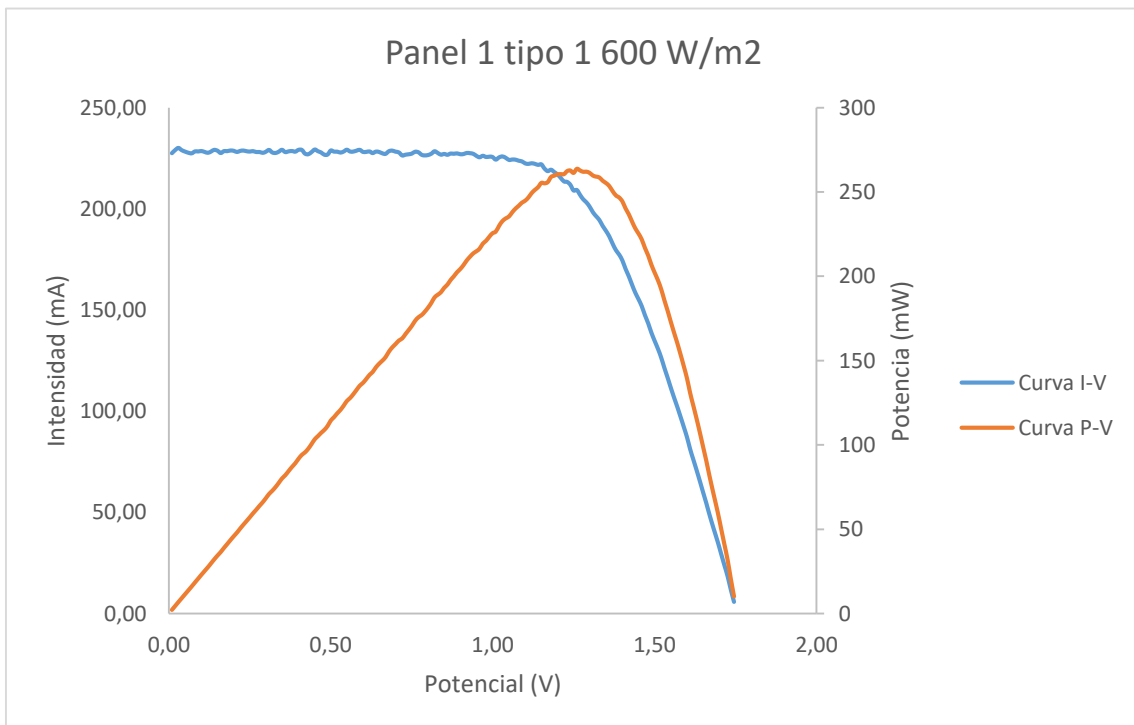


Figura A 30



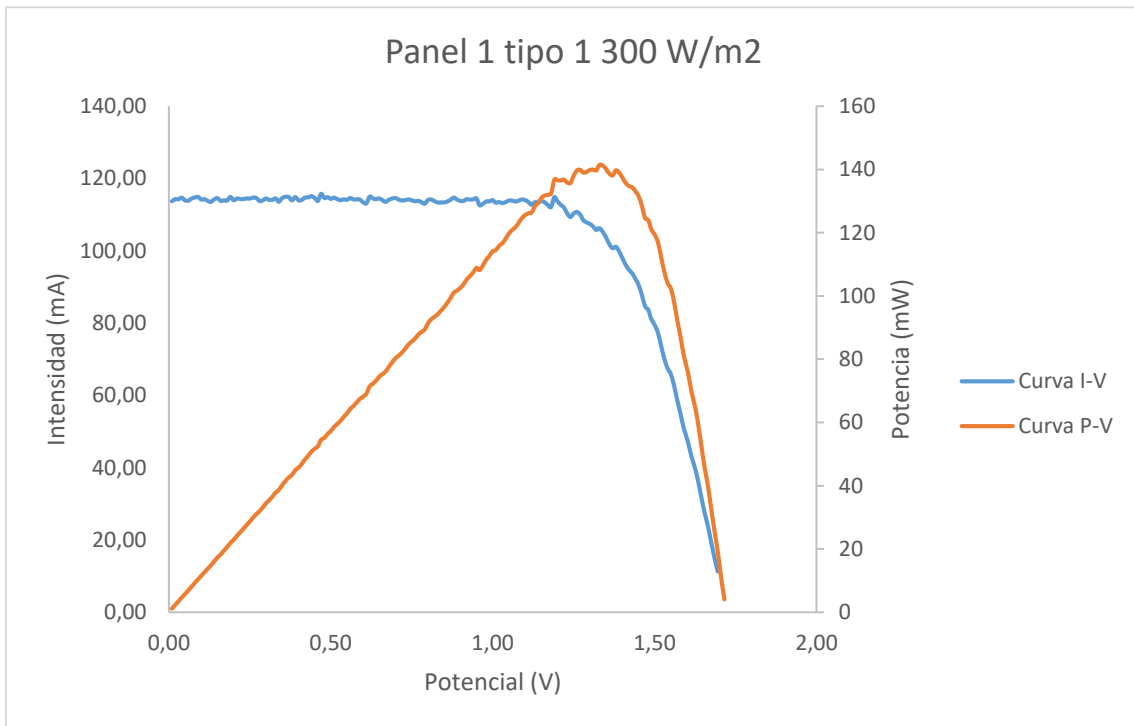


Figura A 31

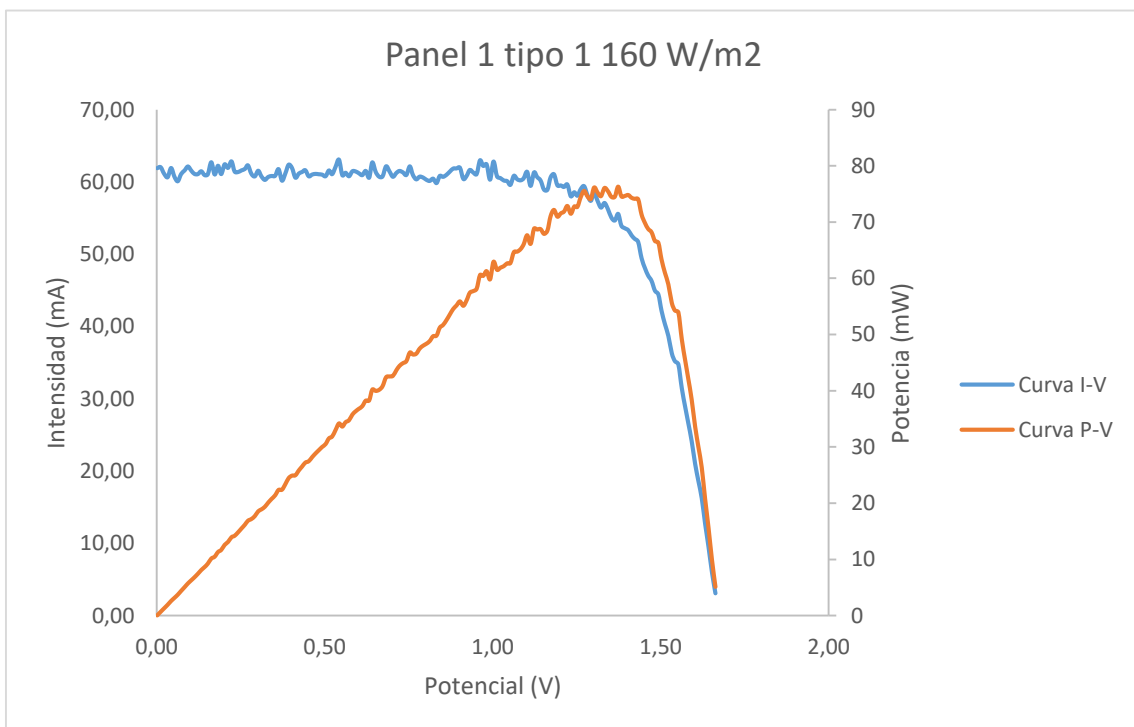


Figura A 32

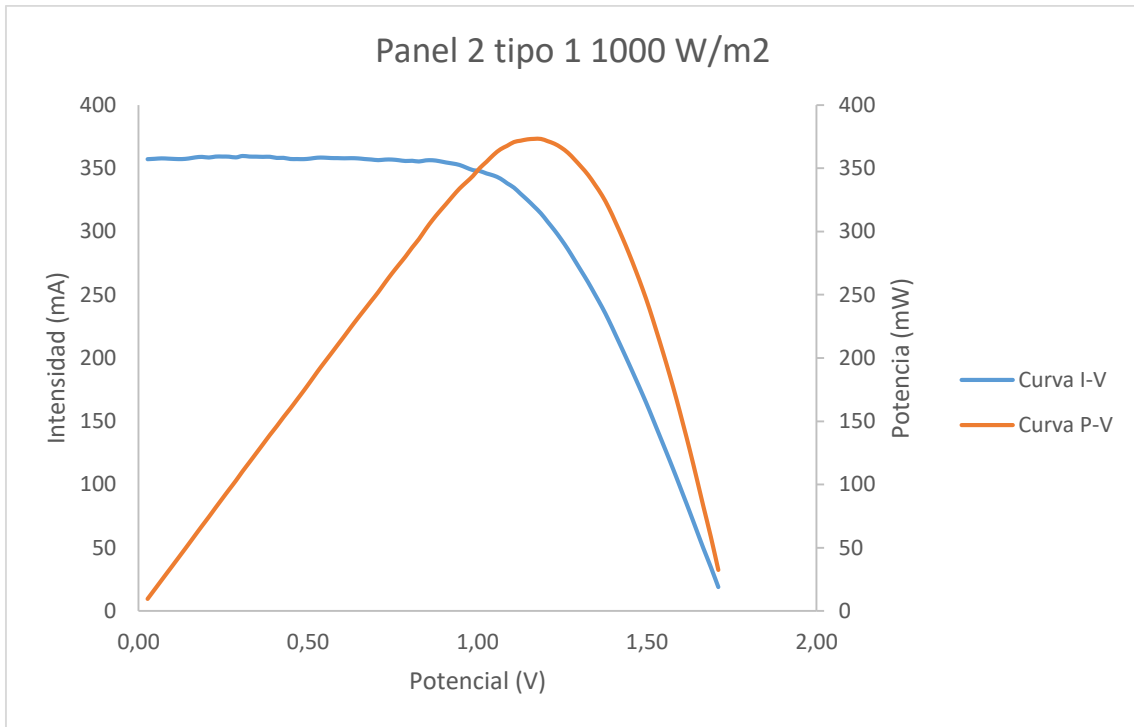


Figura A 33

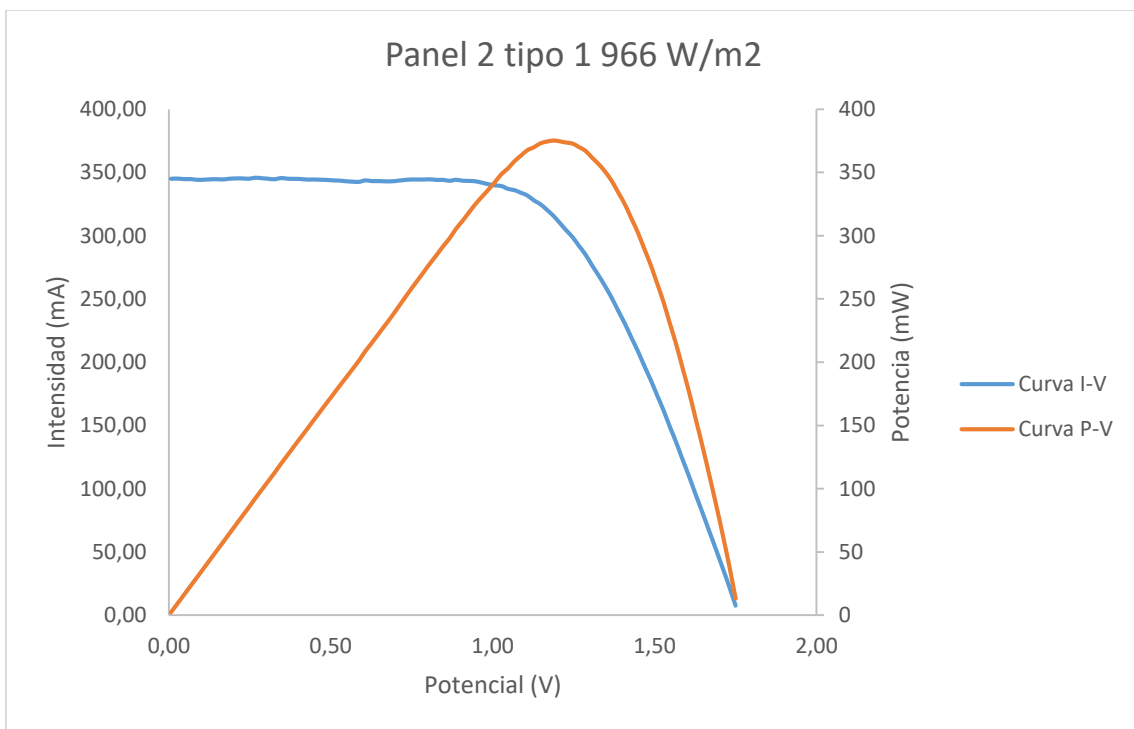


Figura A 34

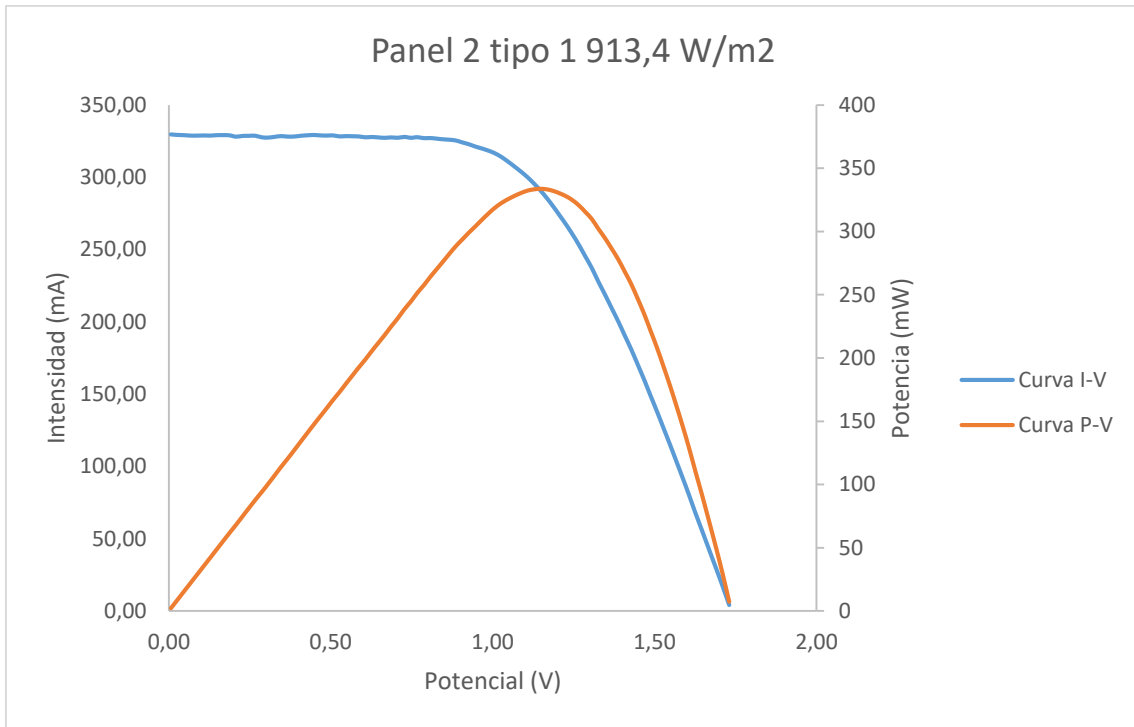


Figura A 35

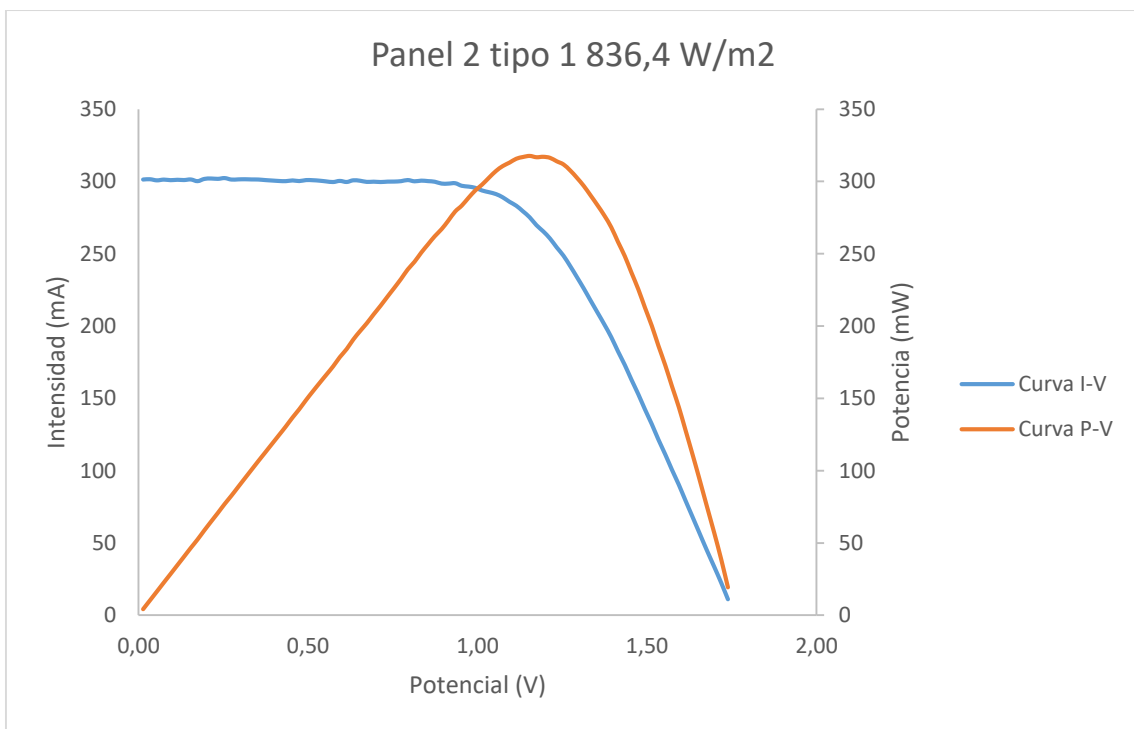


Figura A 36

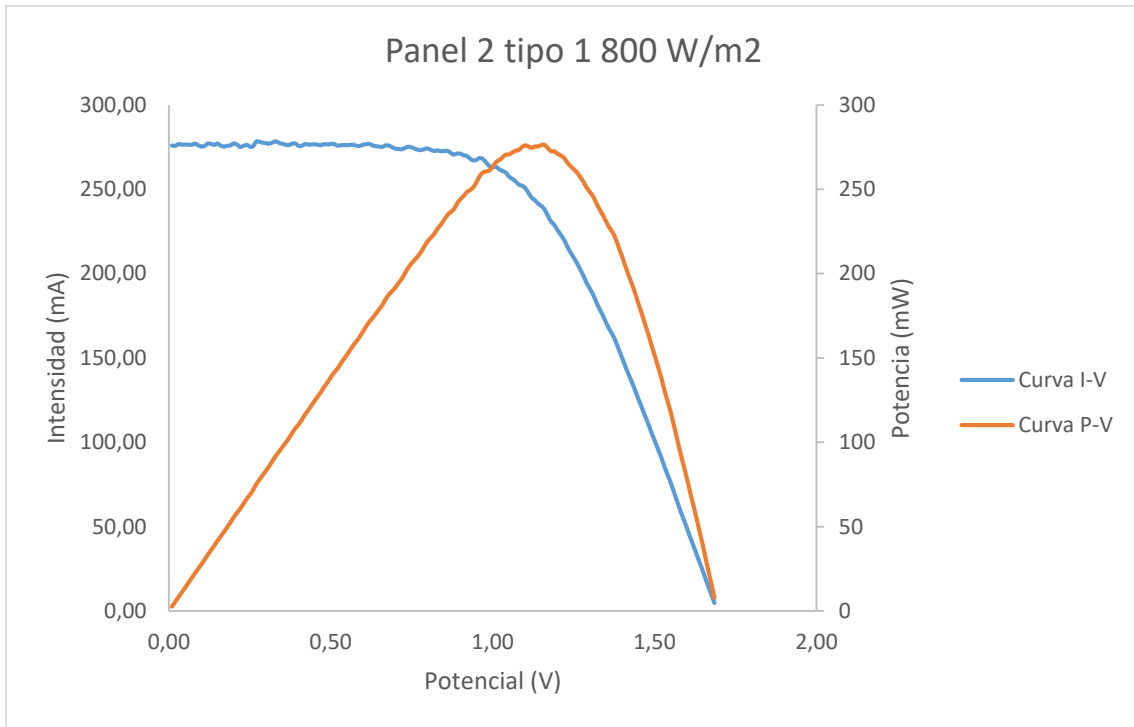


Figura A 37

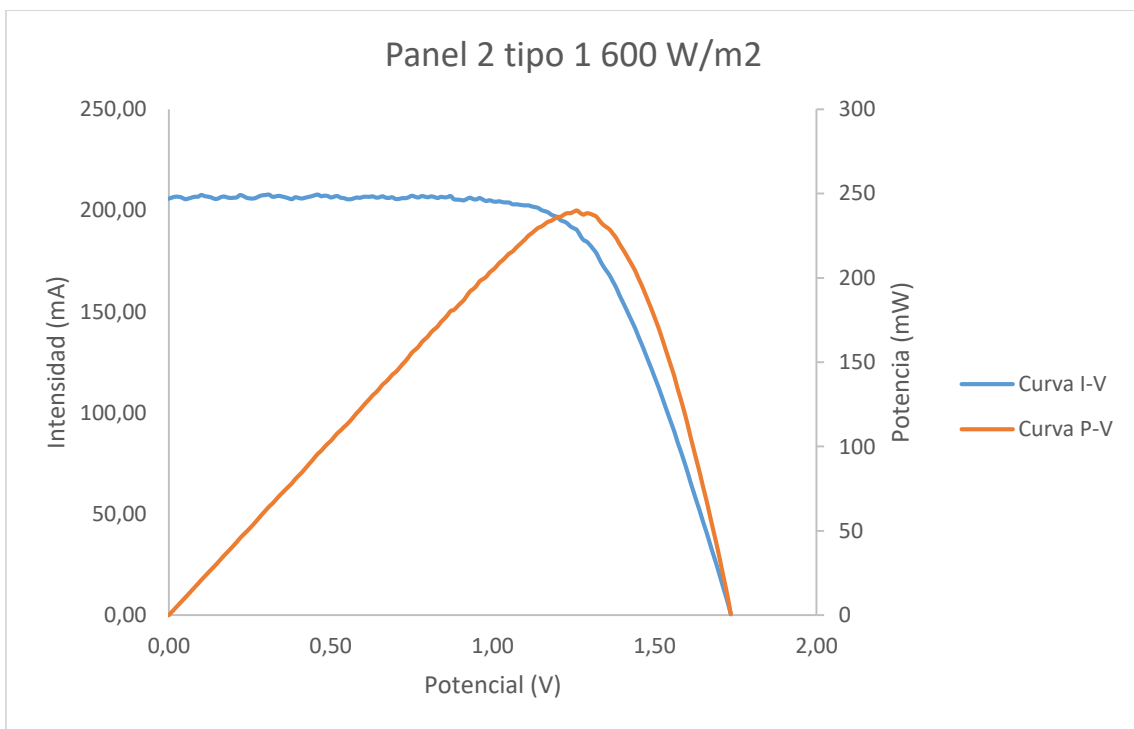


Figura A 38

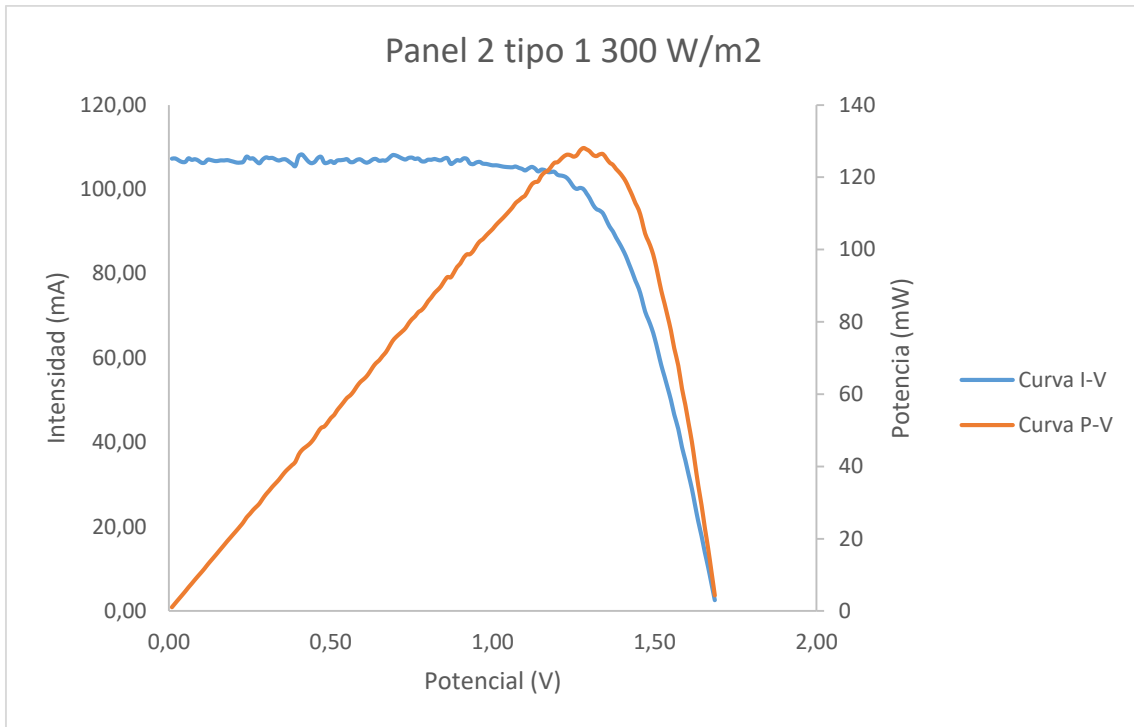


Figura A 39

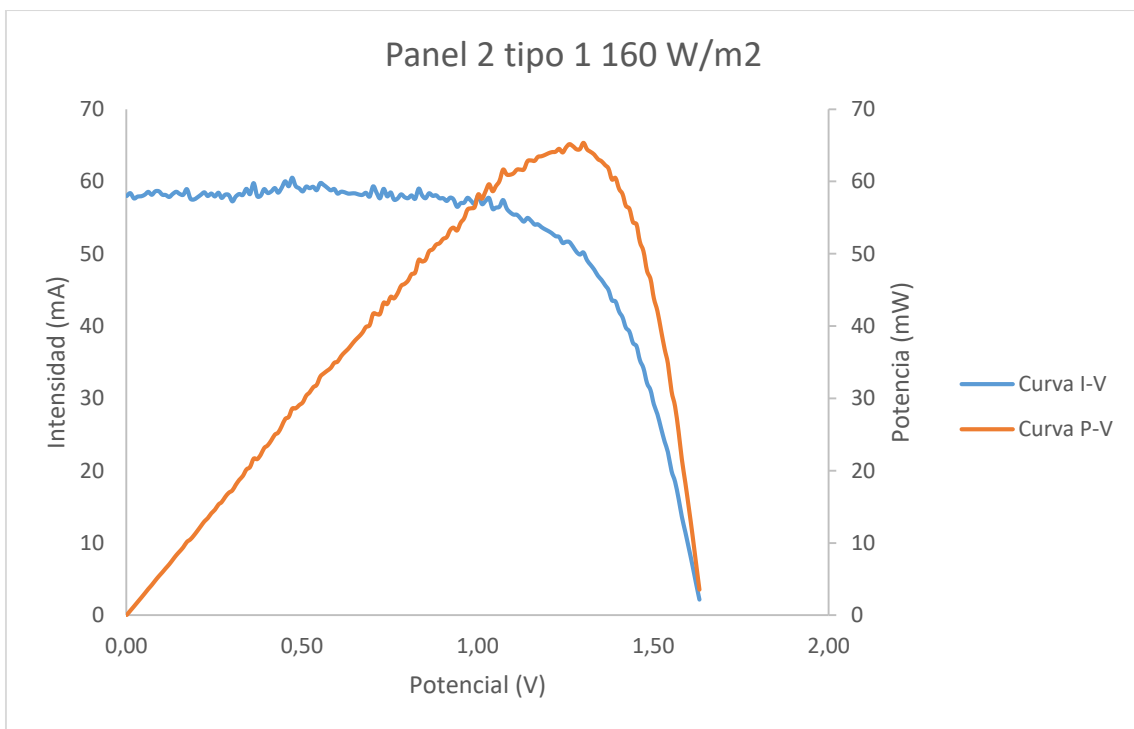


Figura A 40

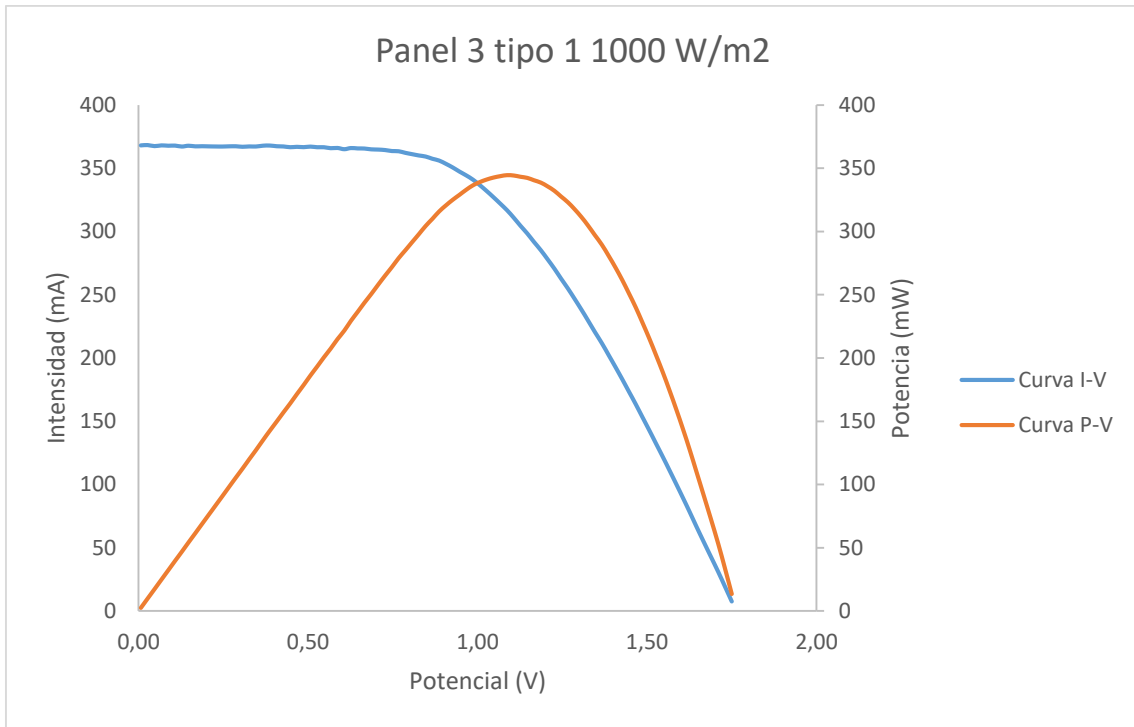


Figura A 41

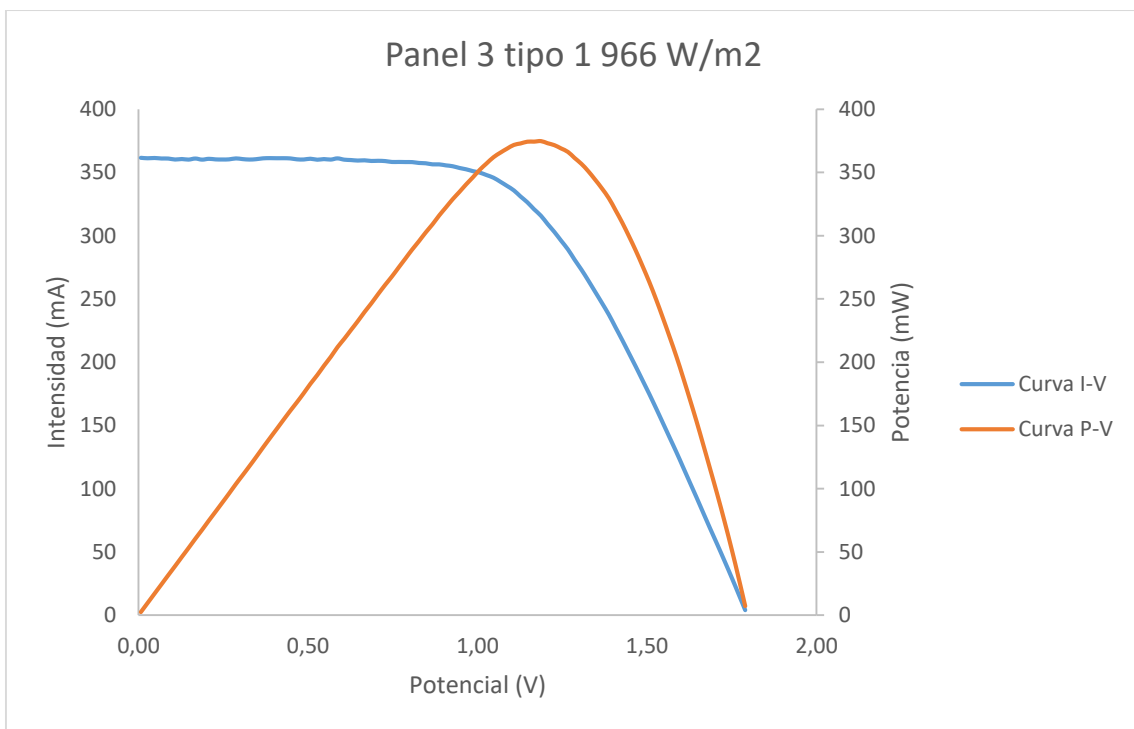


Figura A 42

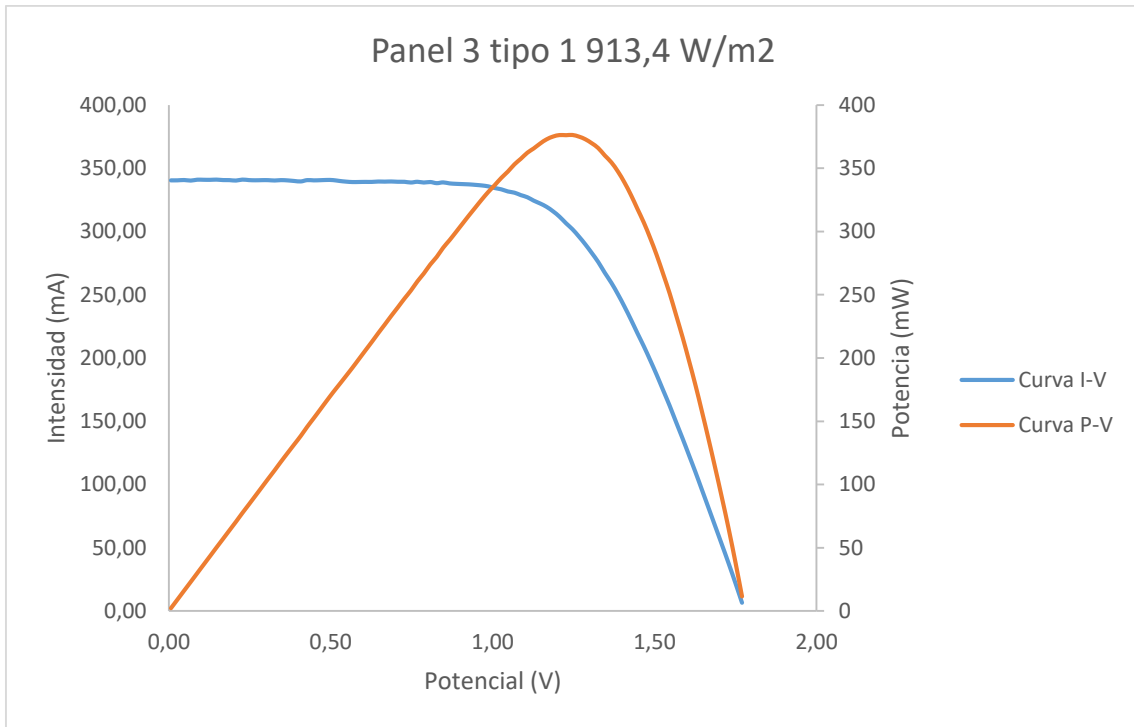


Figura A 43

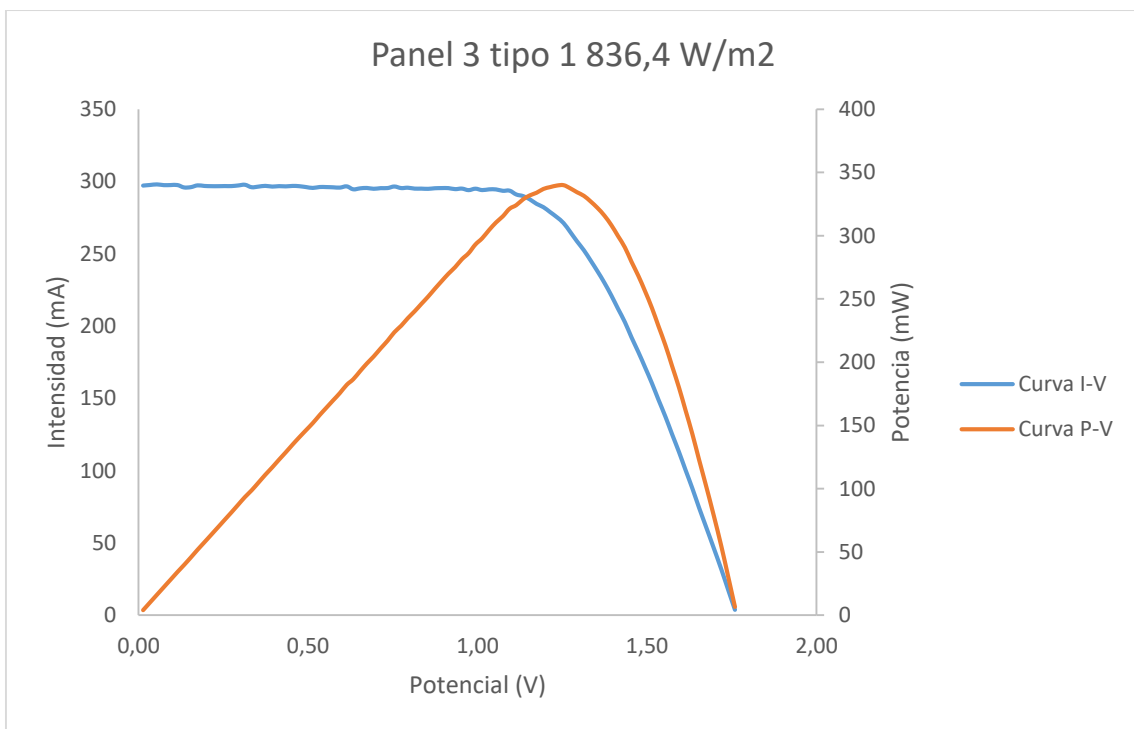


Figura A 44

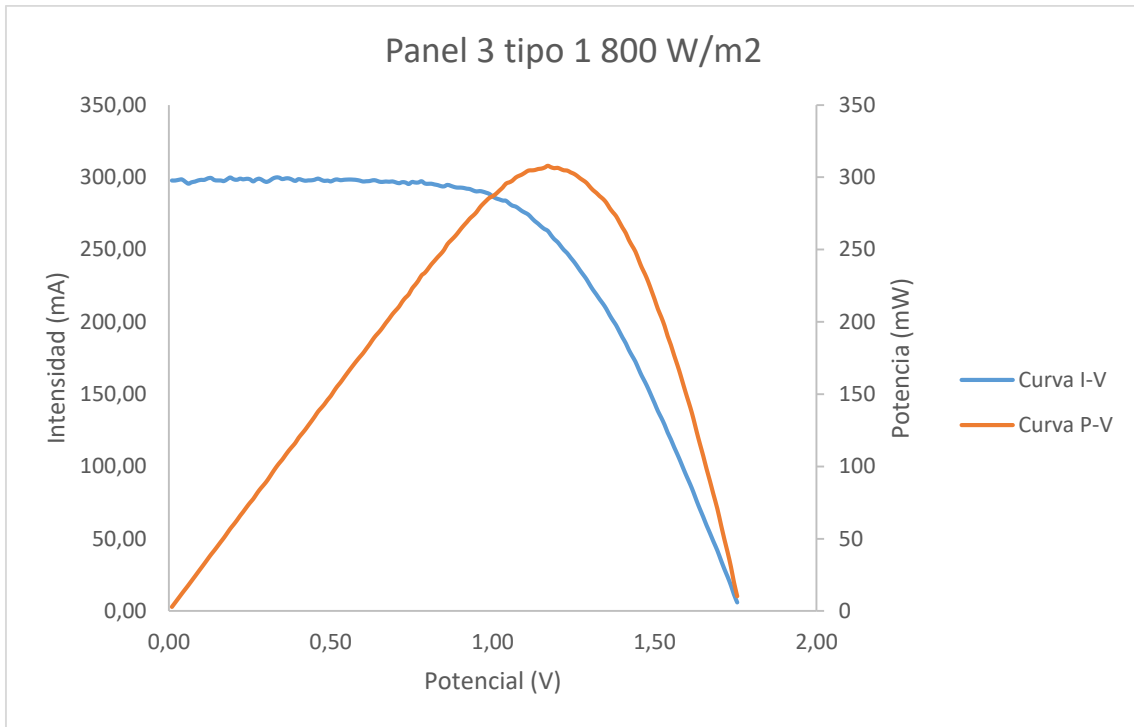


Figura A 45

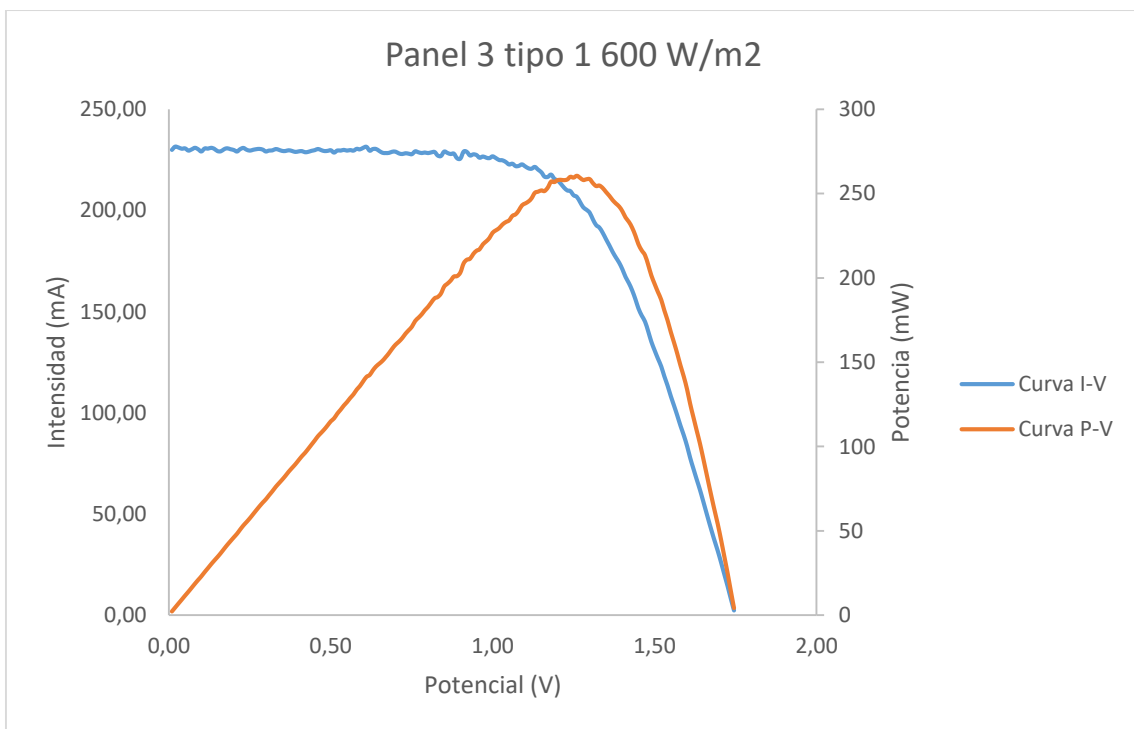


Figura A 46



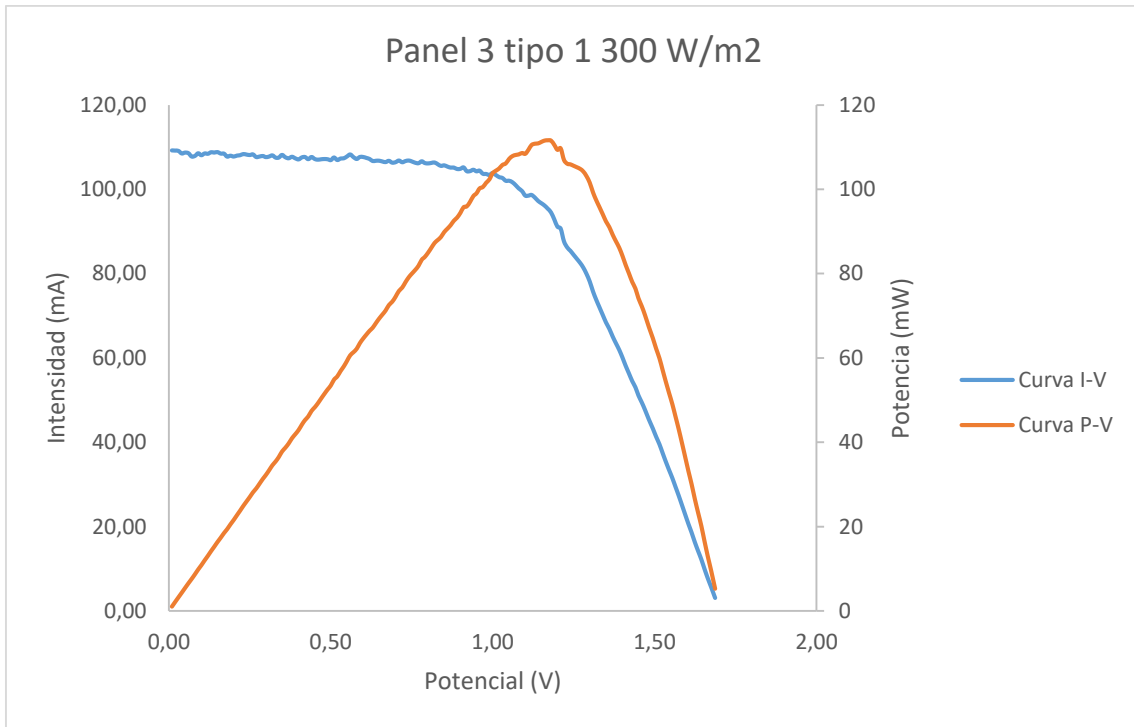


Figura A 47

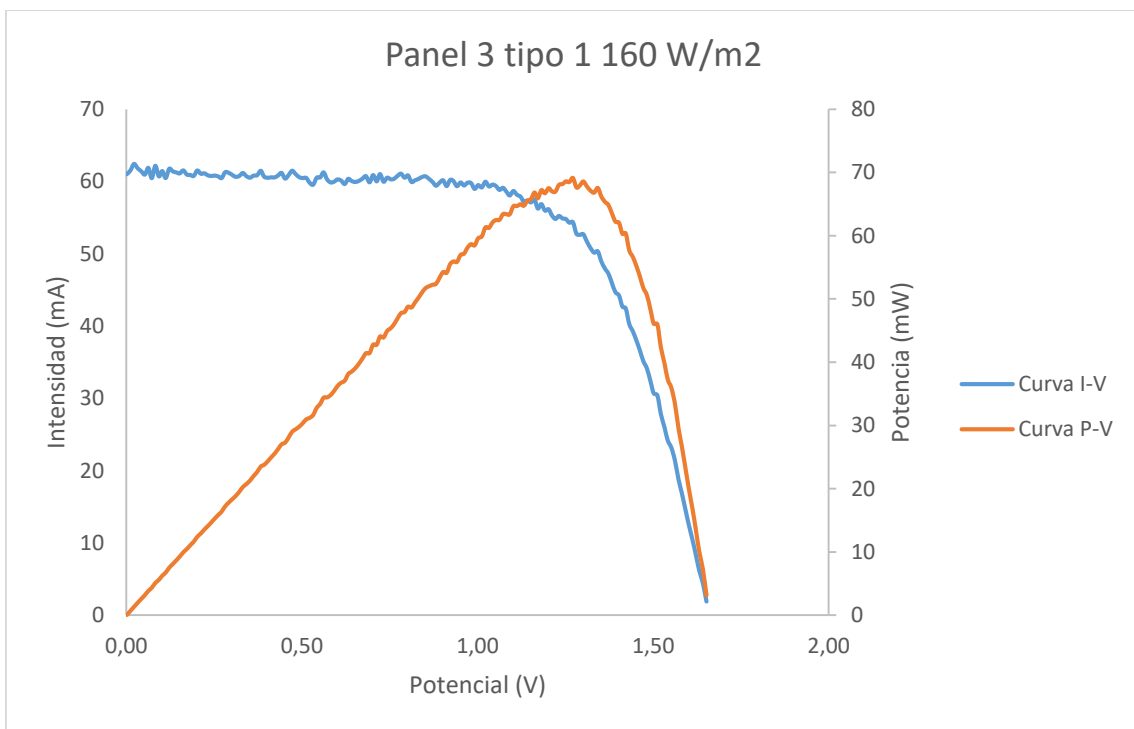


Figura A 48

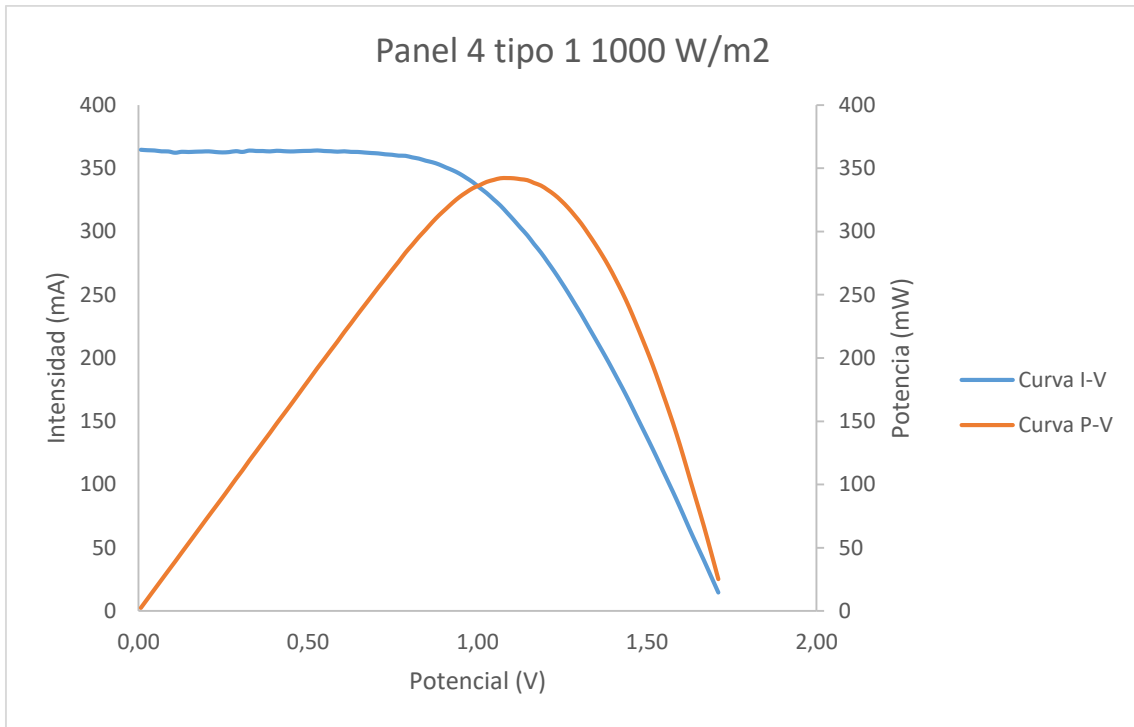


Figura A 49

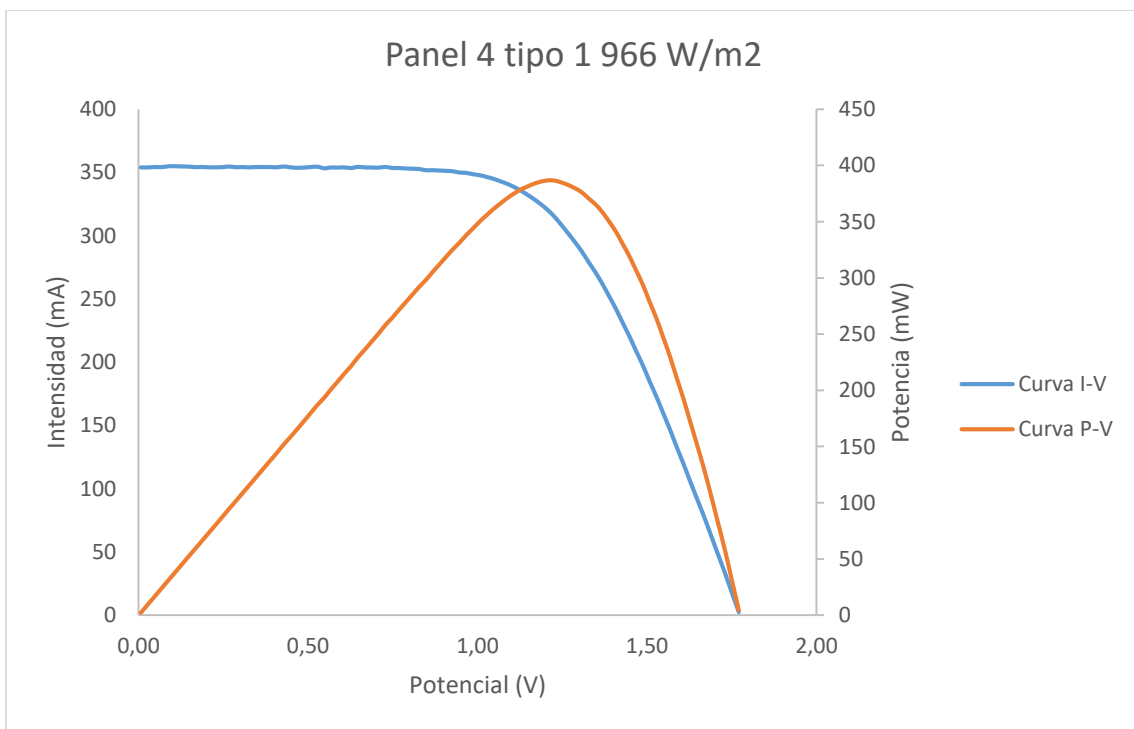


Figura A 50

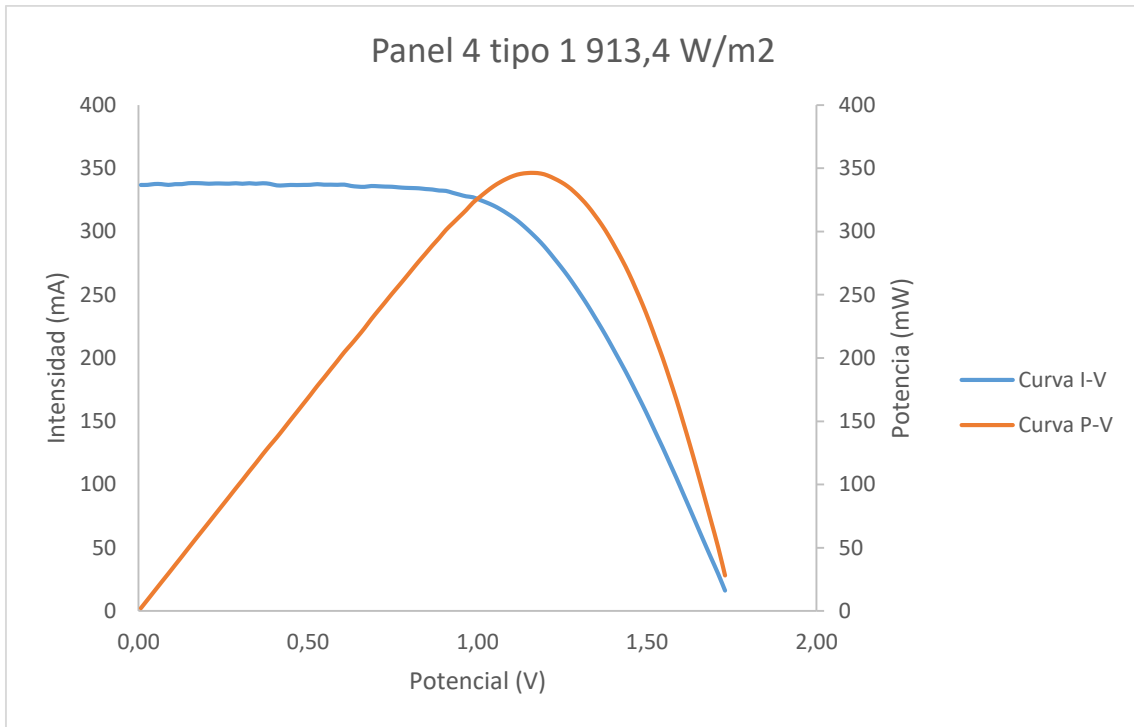


Figura A 51

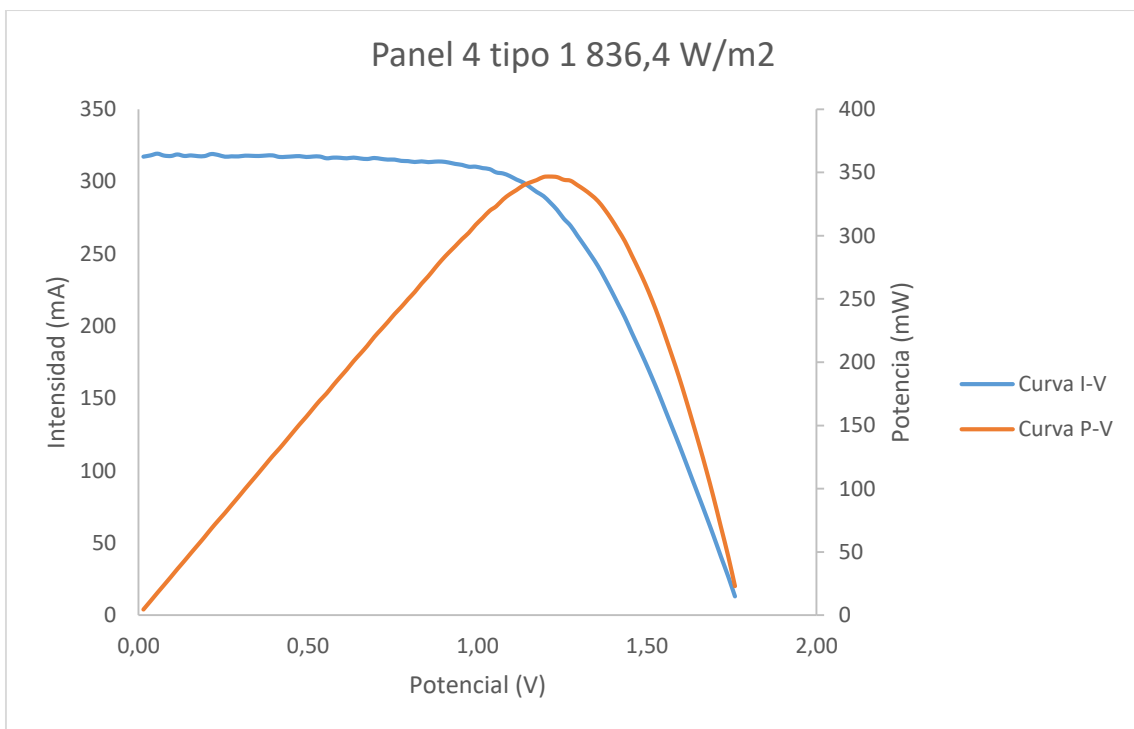


Figura A 52

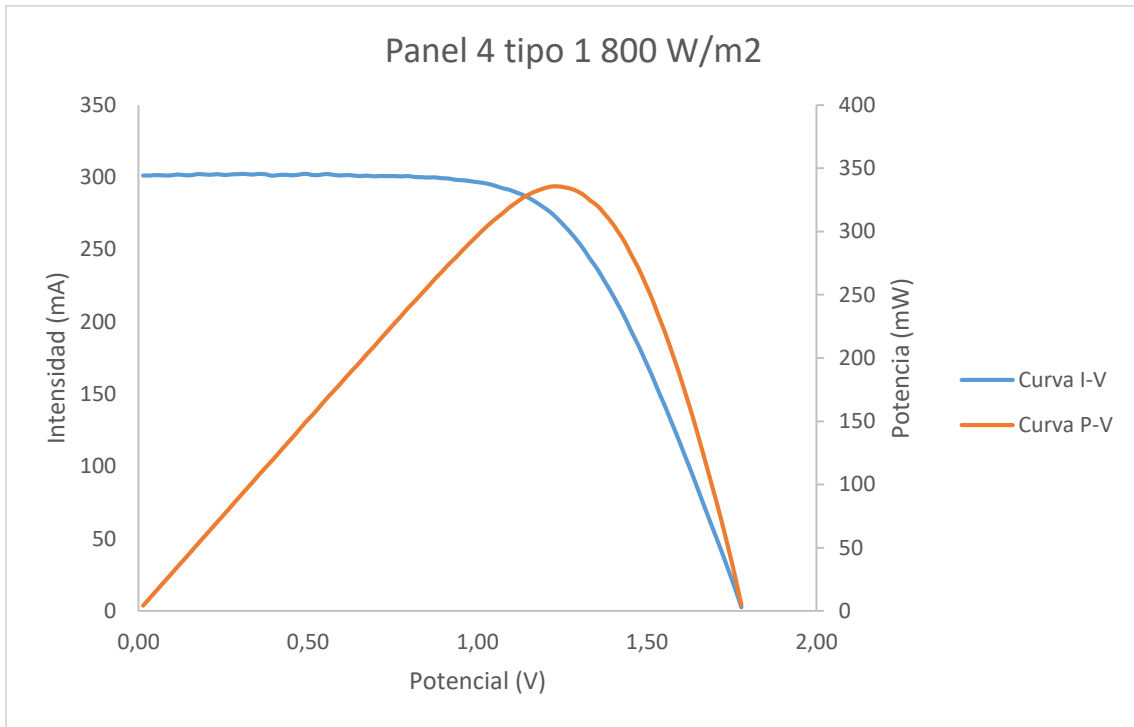


Figura A 53

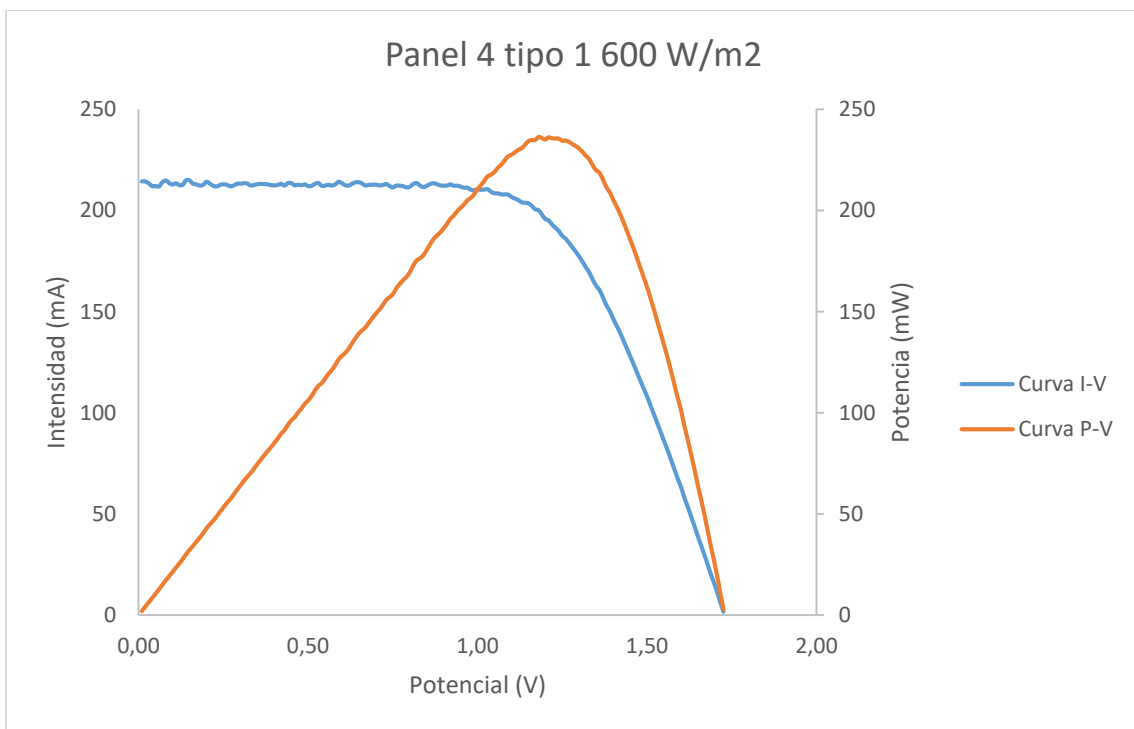


Figura A 54

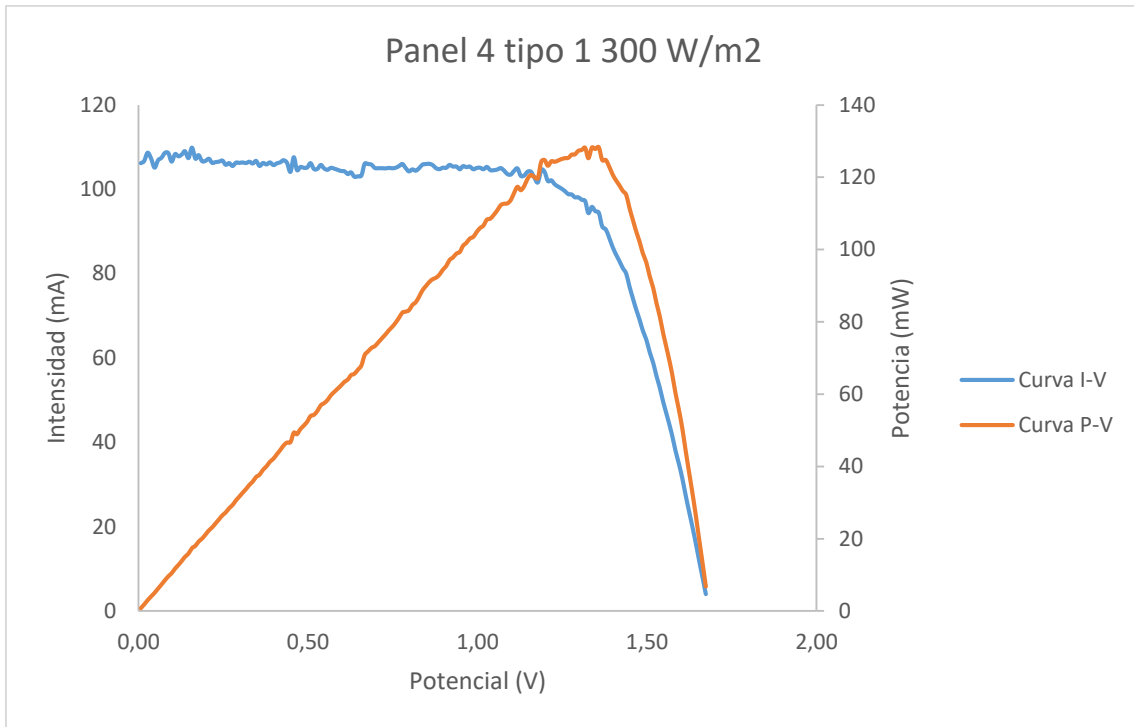


Figura A 55

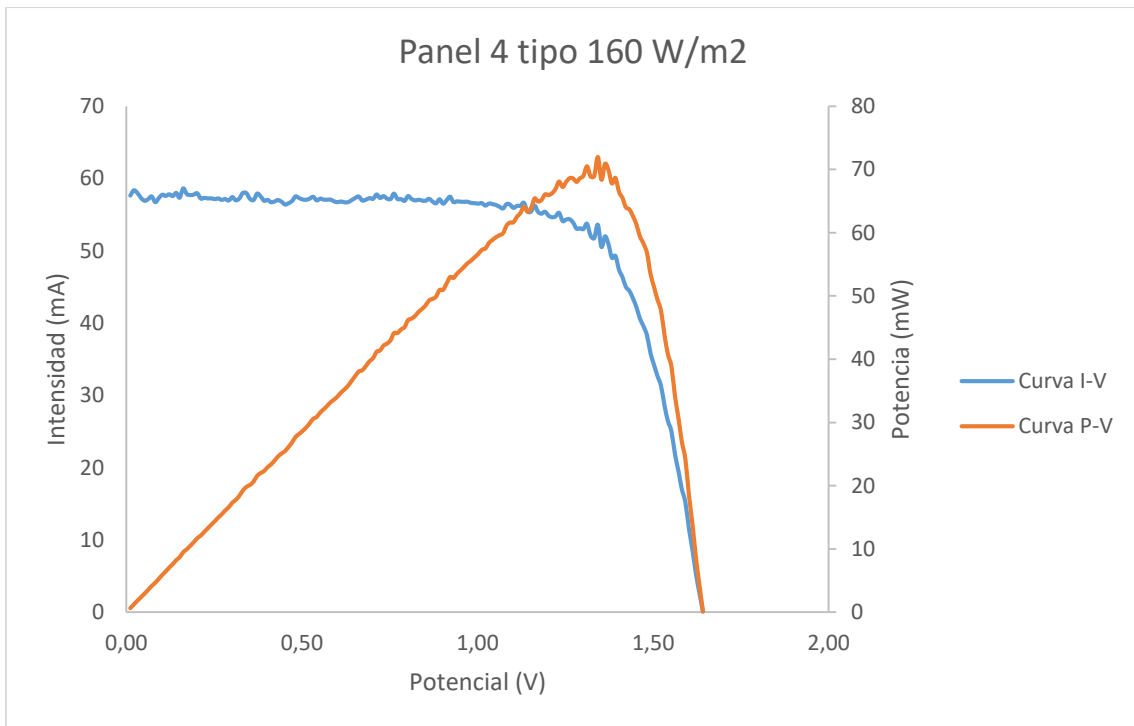


Figura A 56

Paneles tipo 2: Datos gráficos

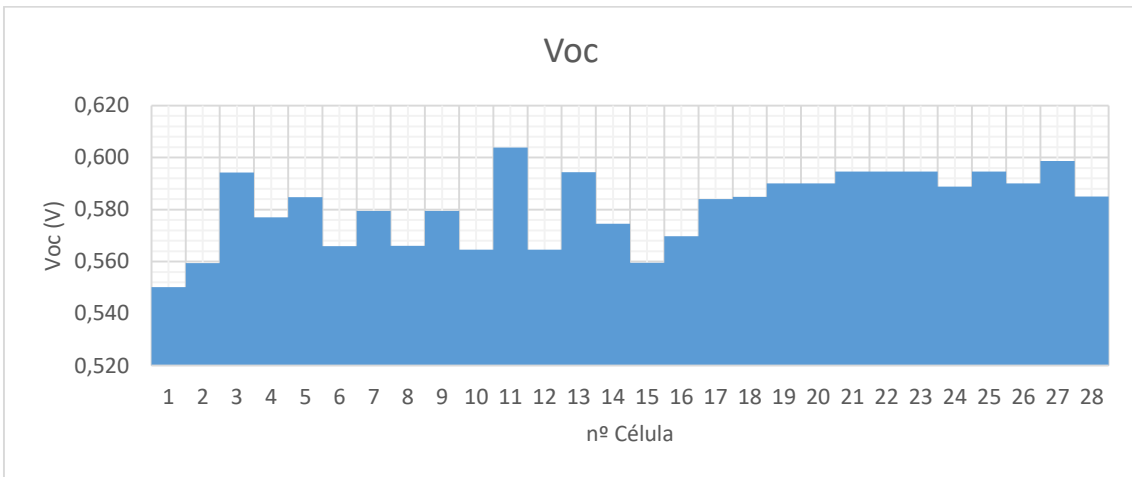


Figura A 57

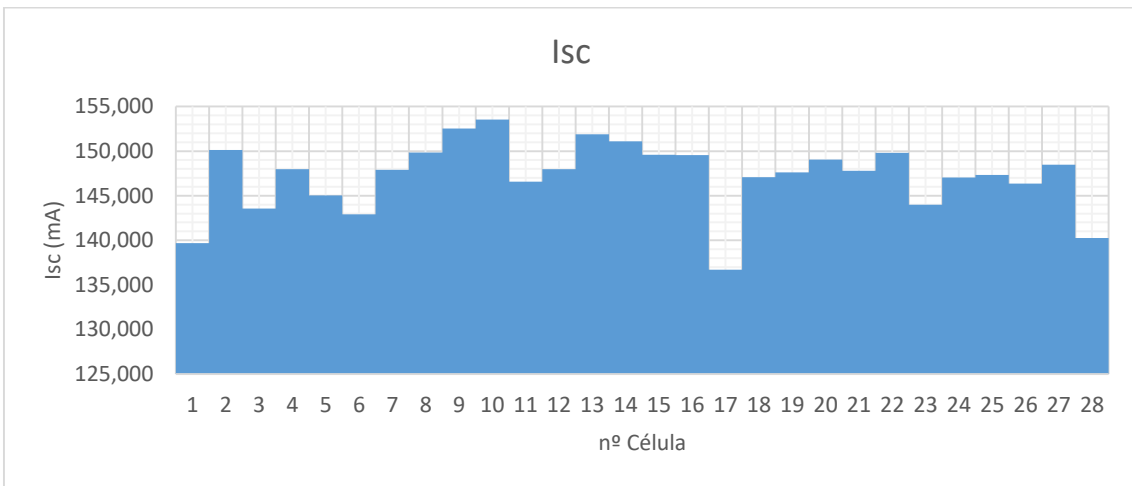


Figura A 58

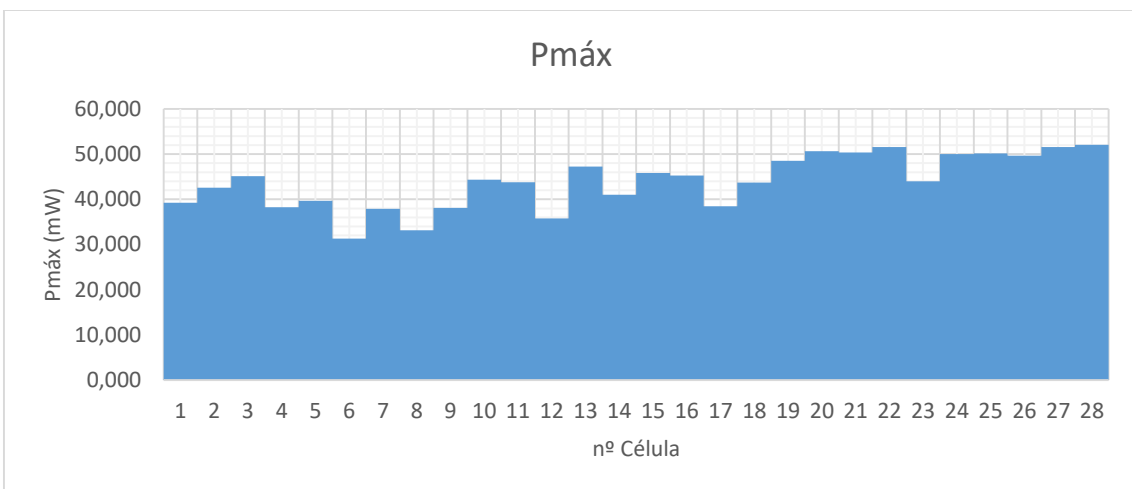


Figura A 59

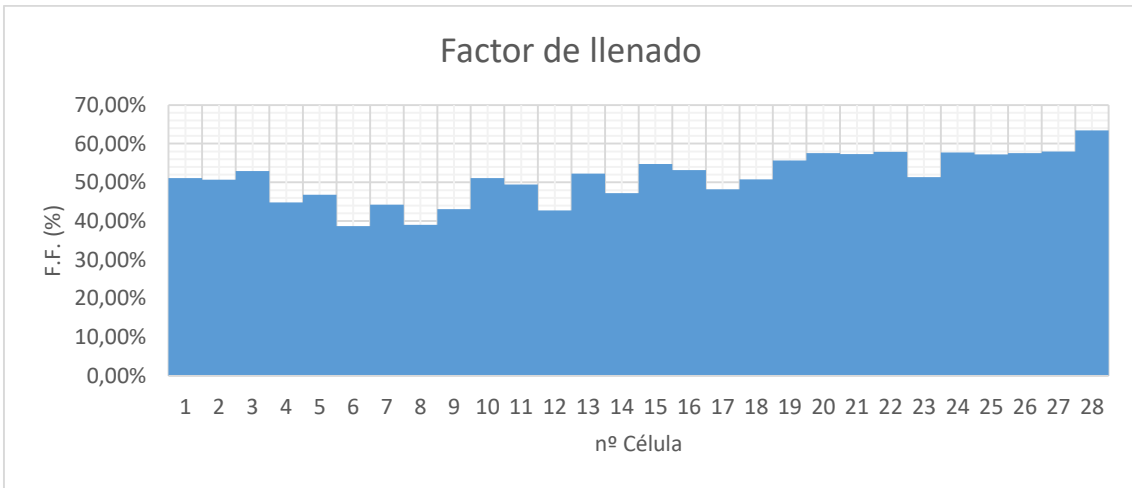


Figura A 60

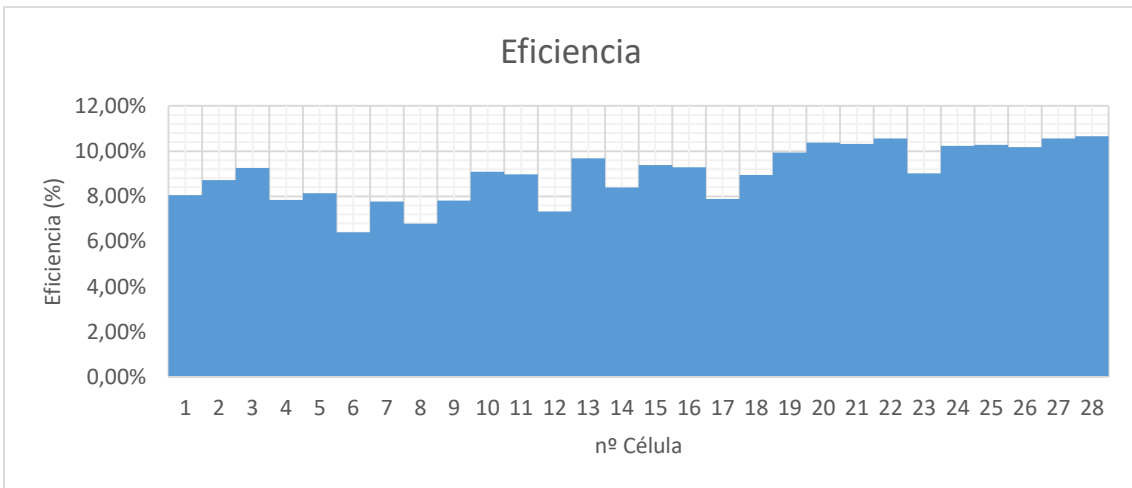


Figura A 61

Paneles tipo 2: Curvas I-V

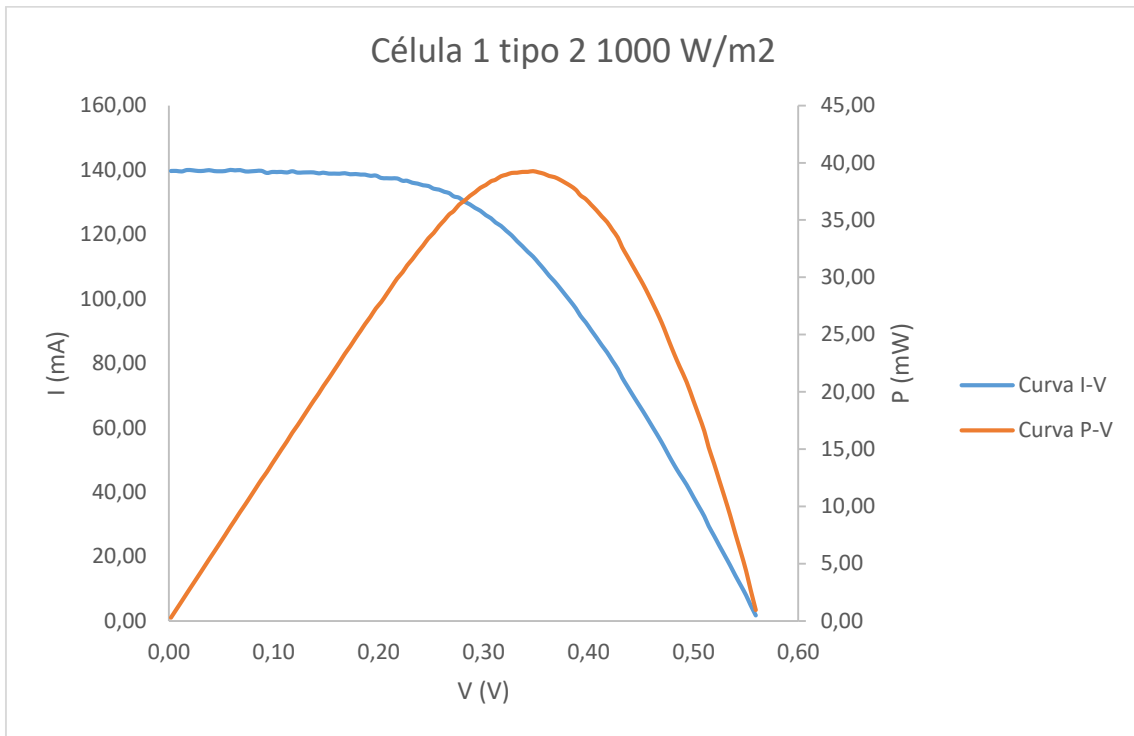


Figura A 62

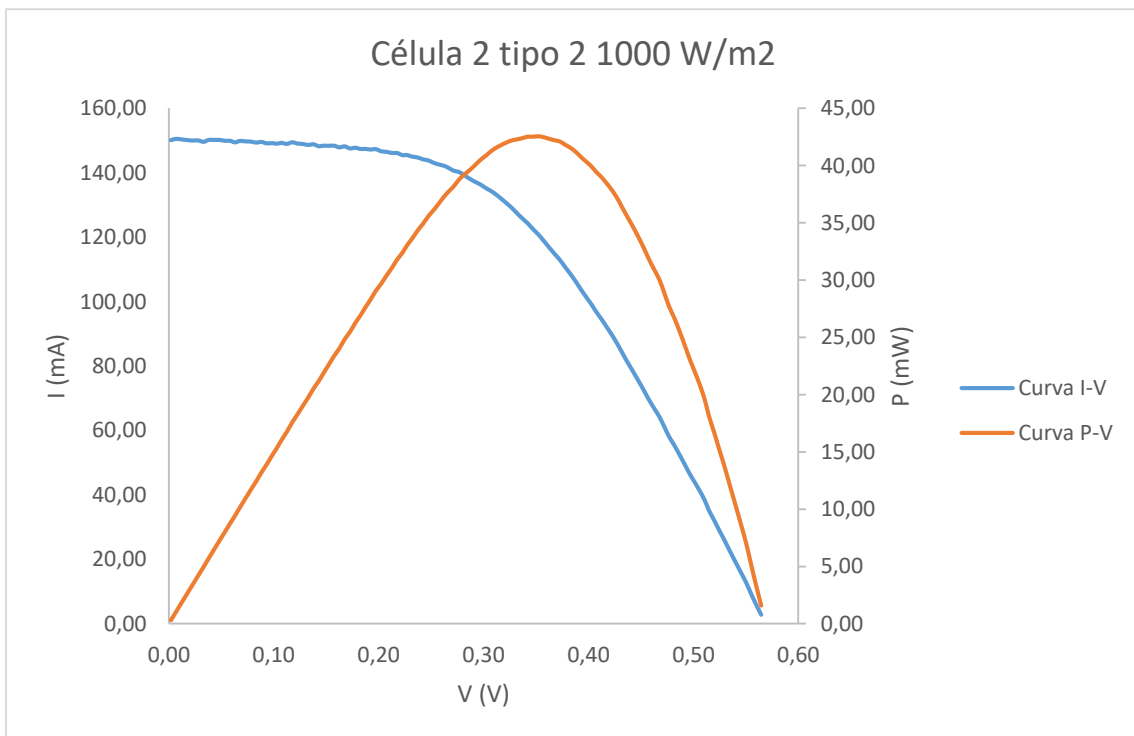


Figura A 63



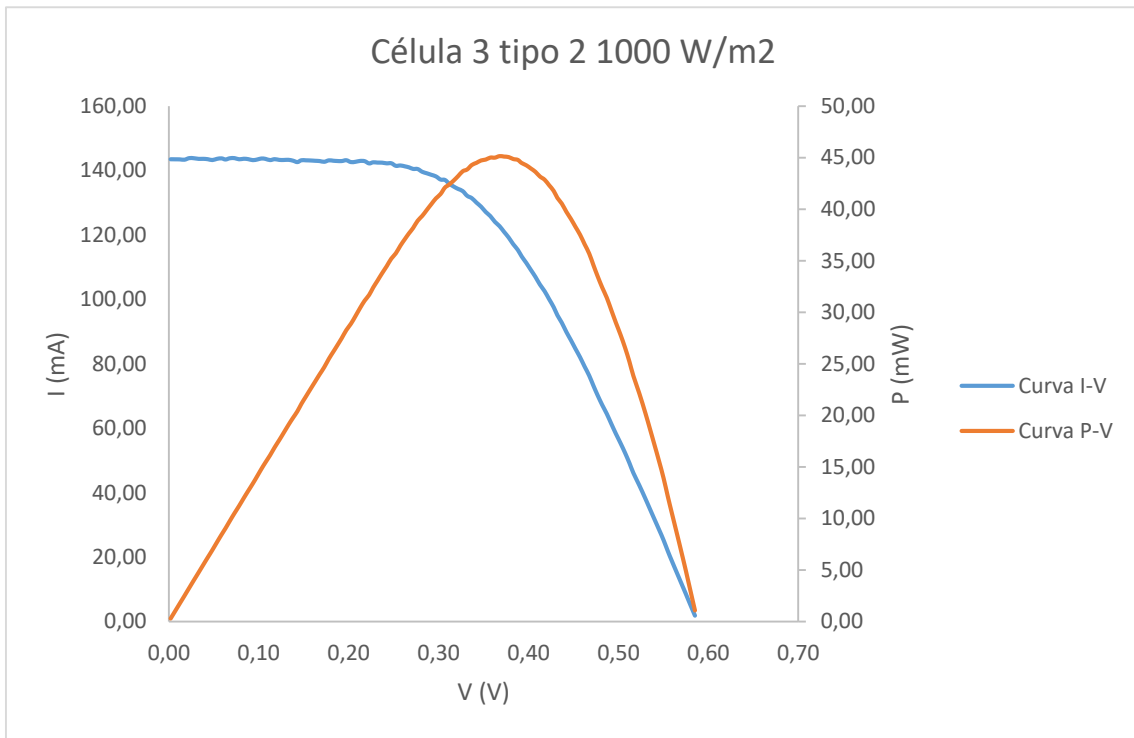


Figura A 64

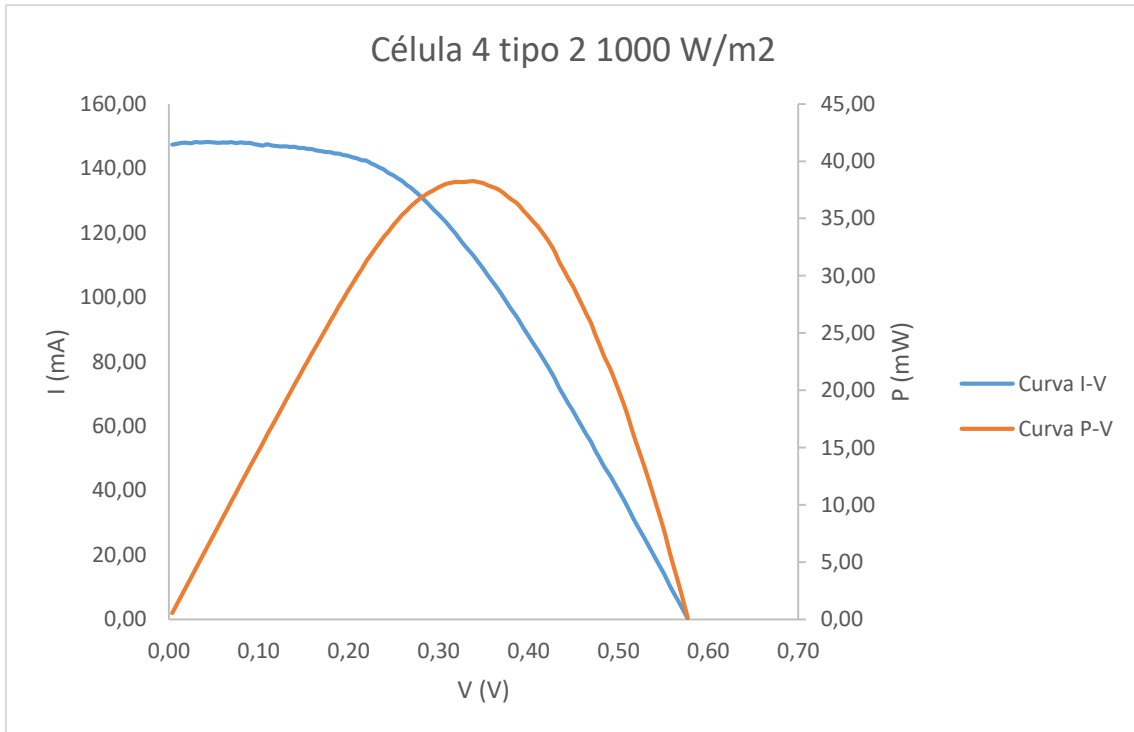


Figura A 65

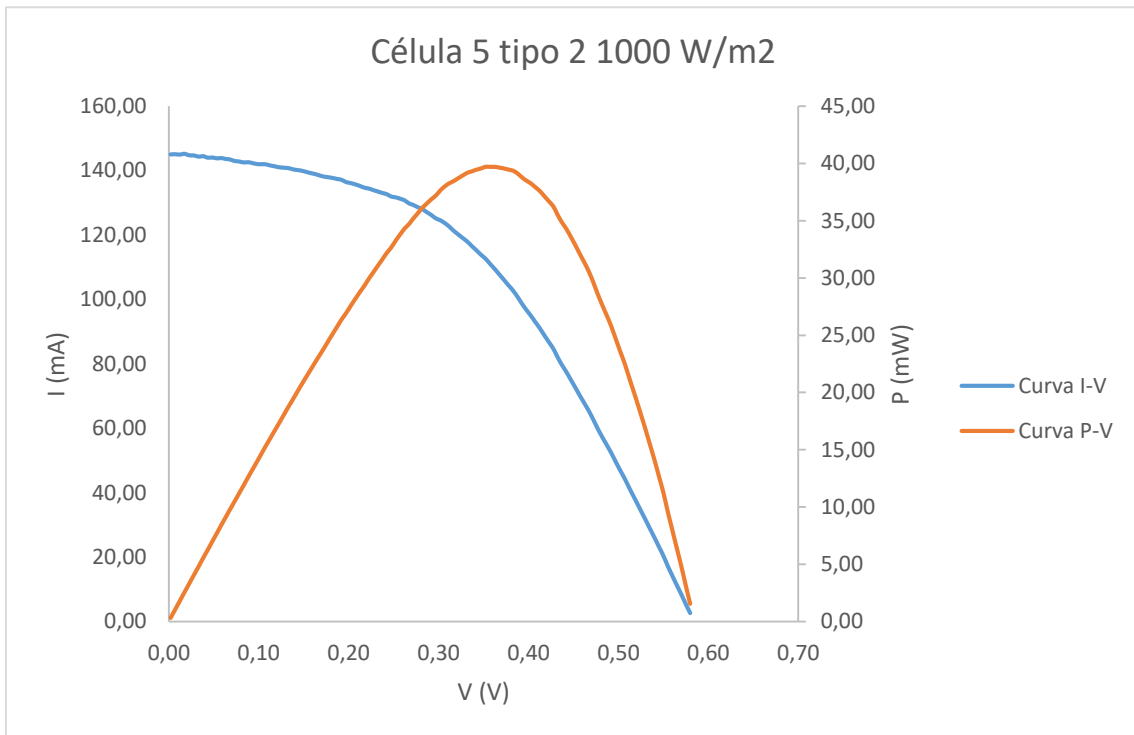


Figura A 66

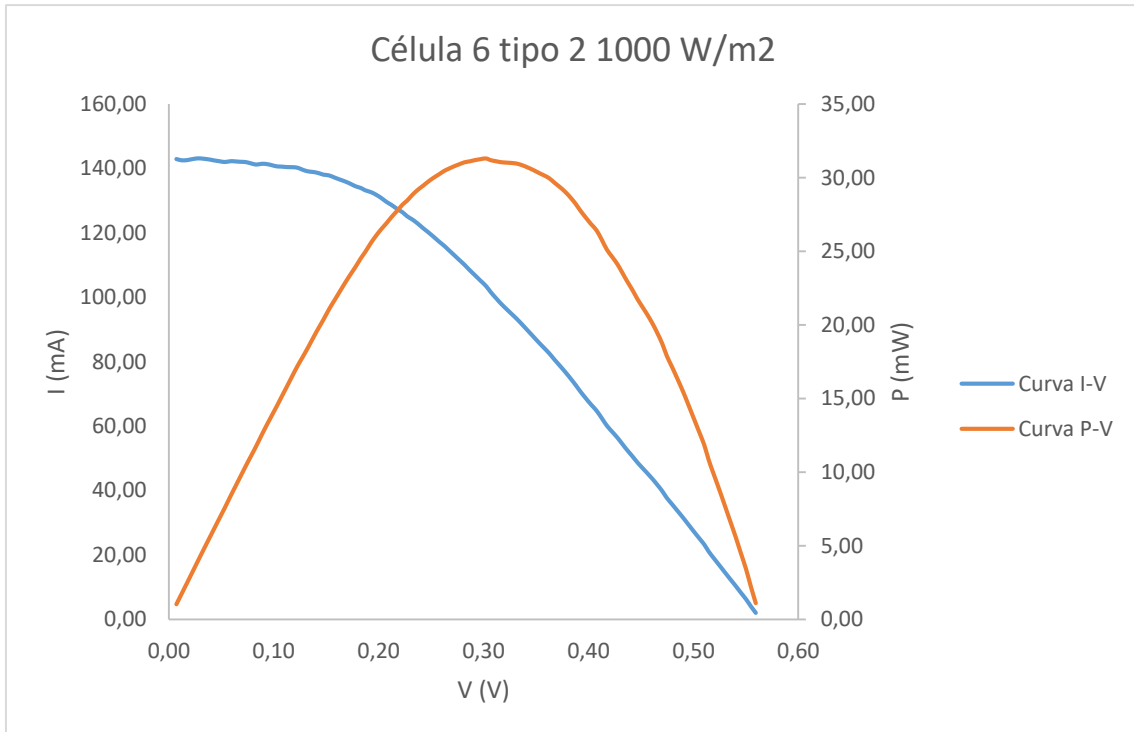


Figura A 67

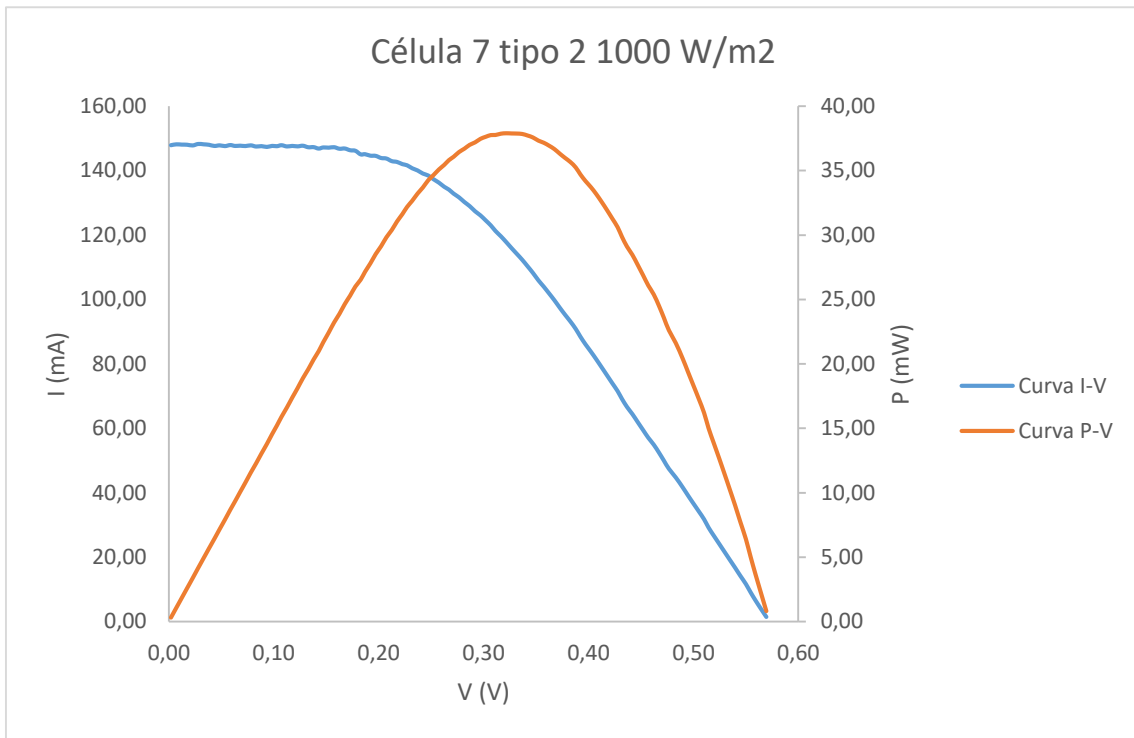


Figura A 68

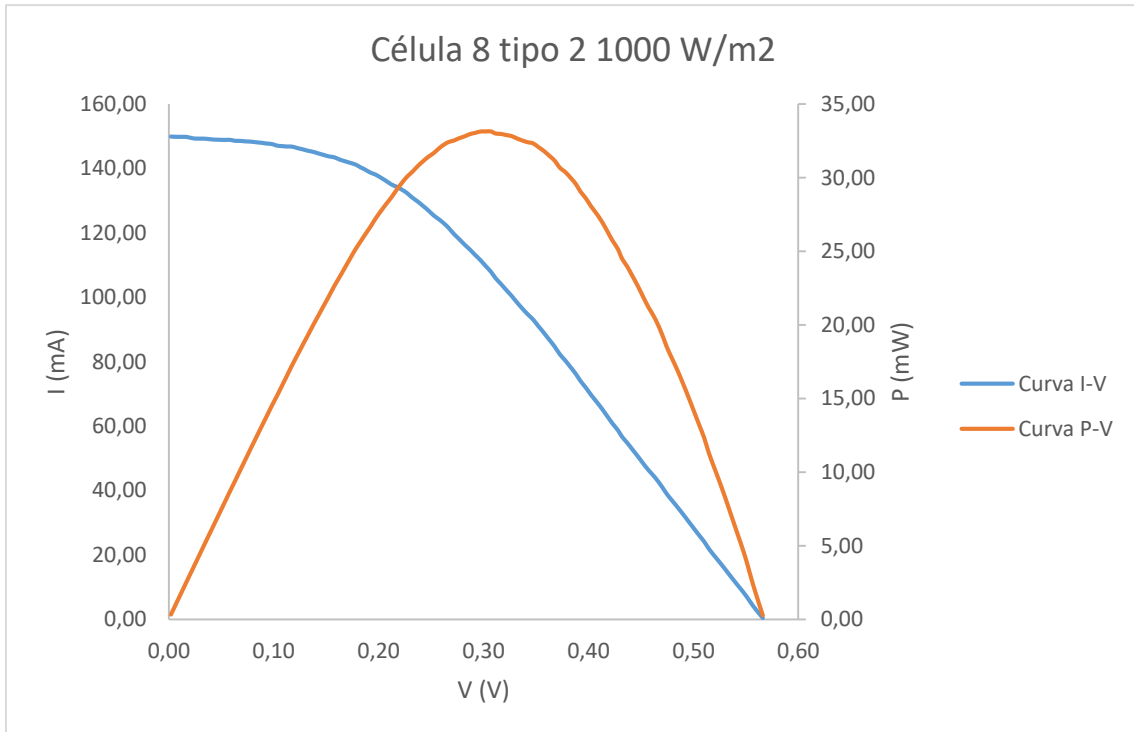


Figura A 69

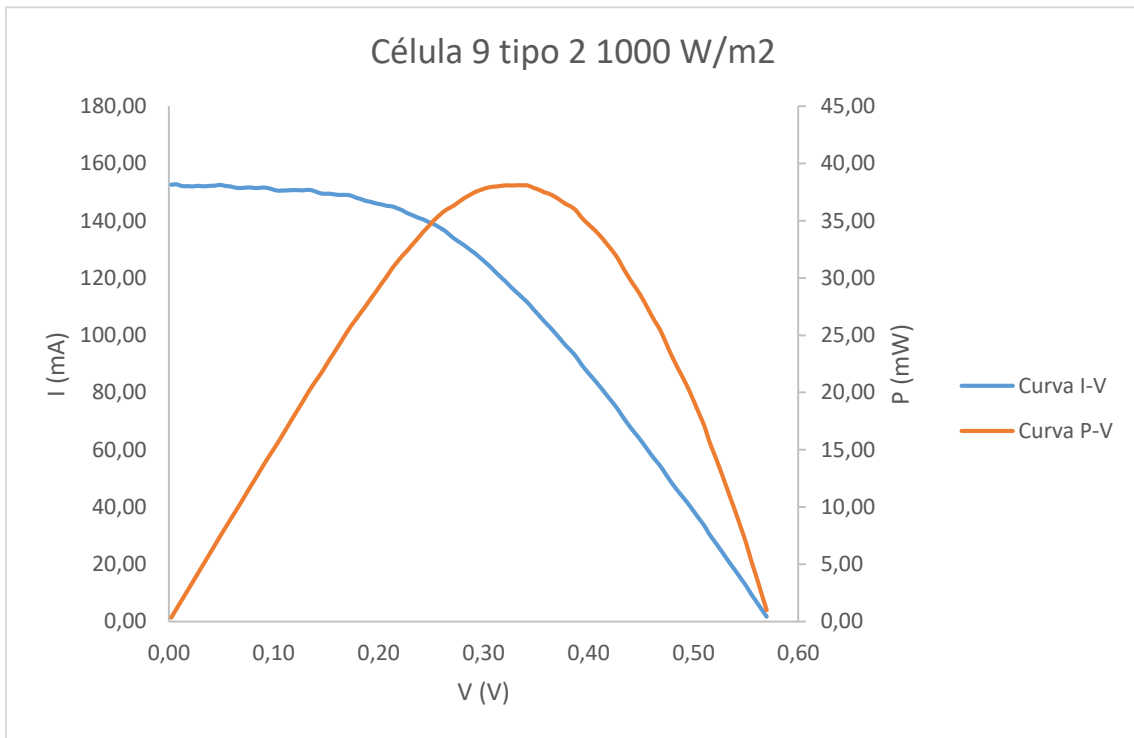


Figura A 70

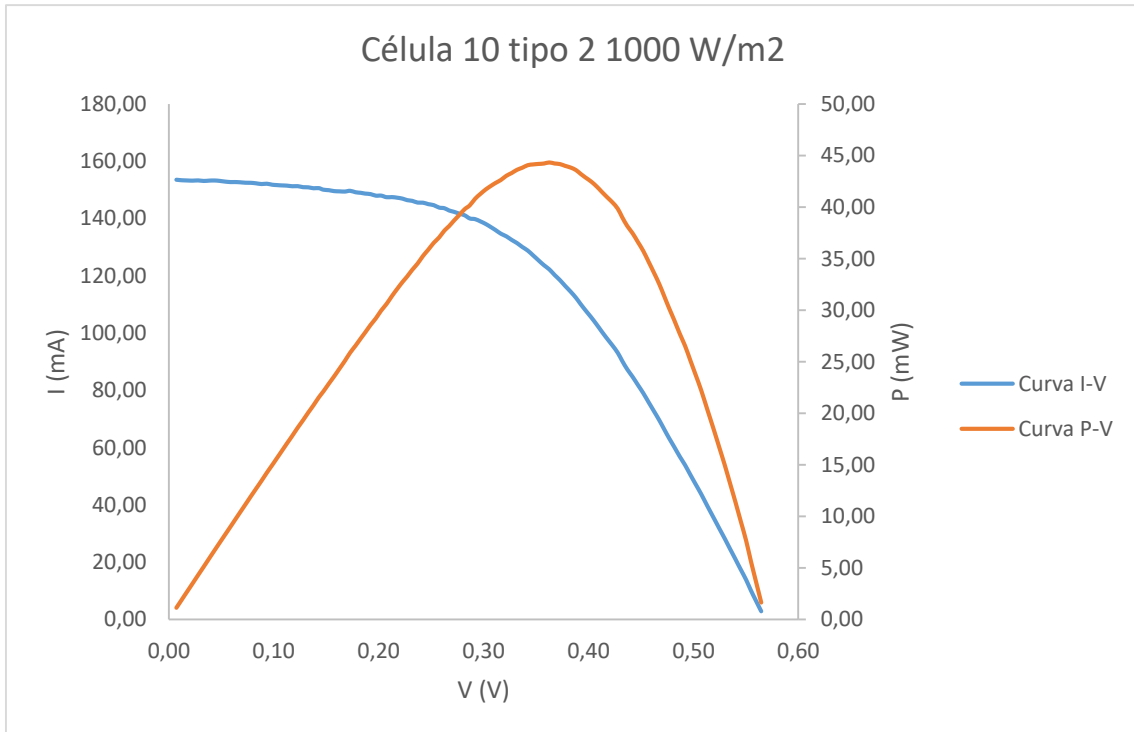


Figura A 71

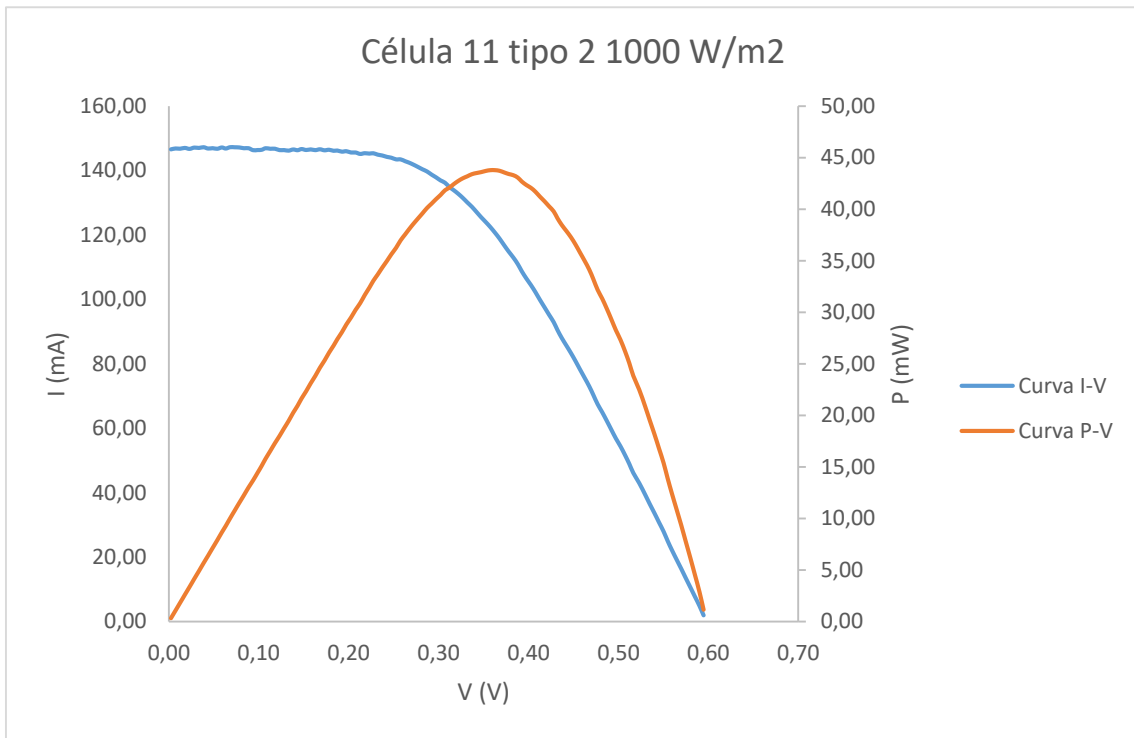


Figura A 72

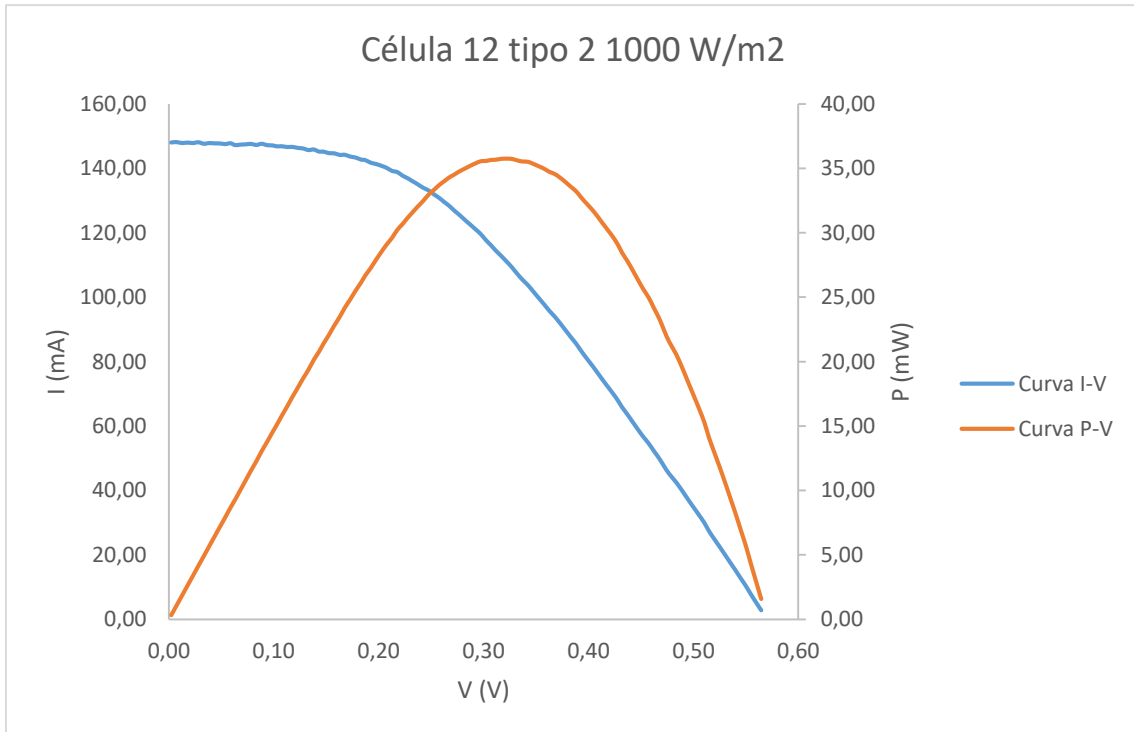


Figura A 73

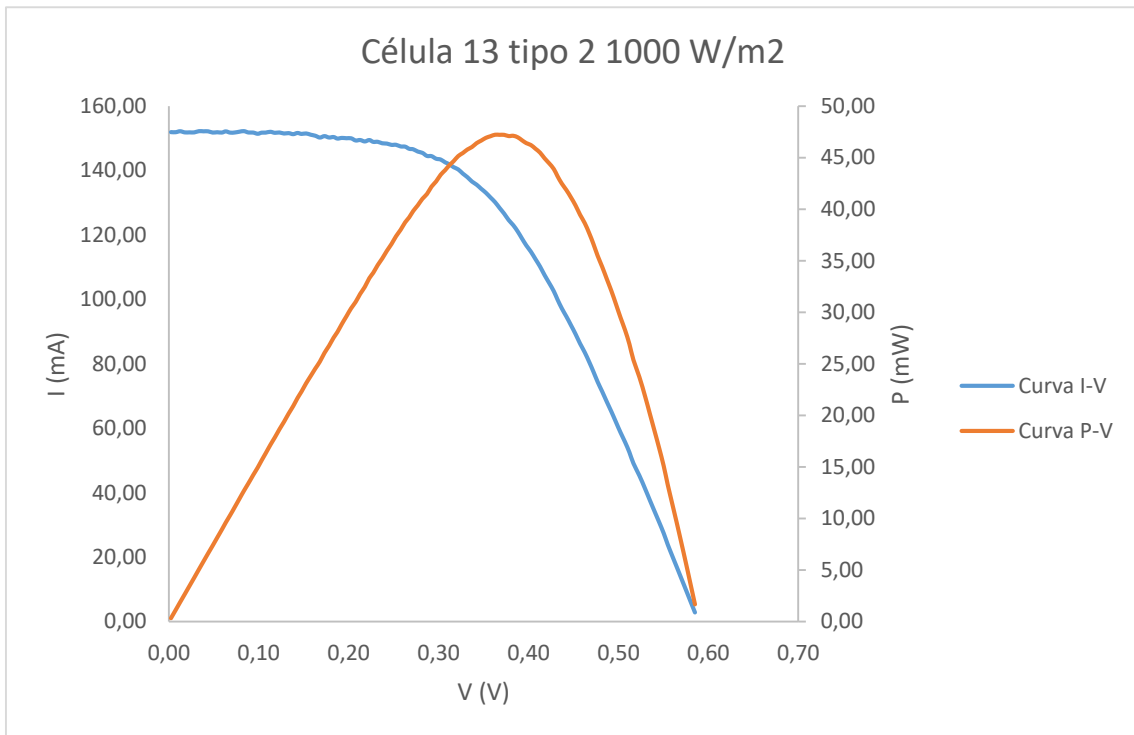


Figura A 74

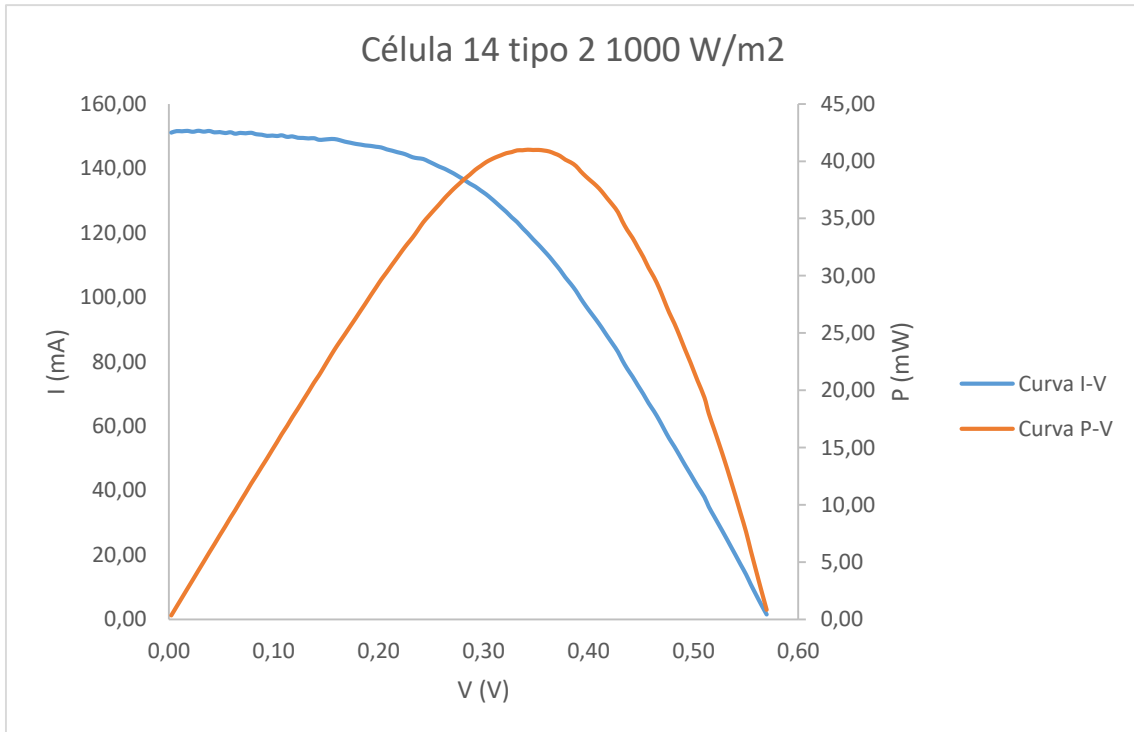


Figura A 75

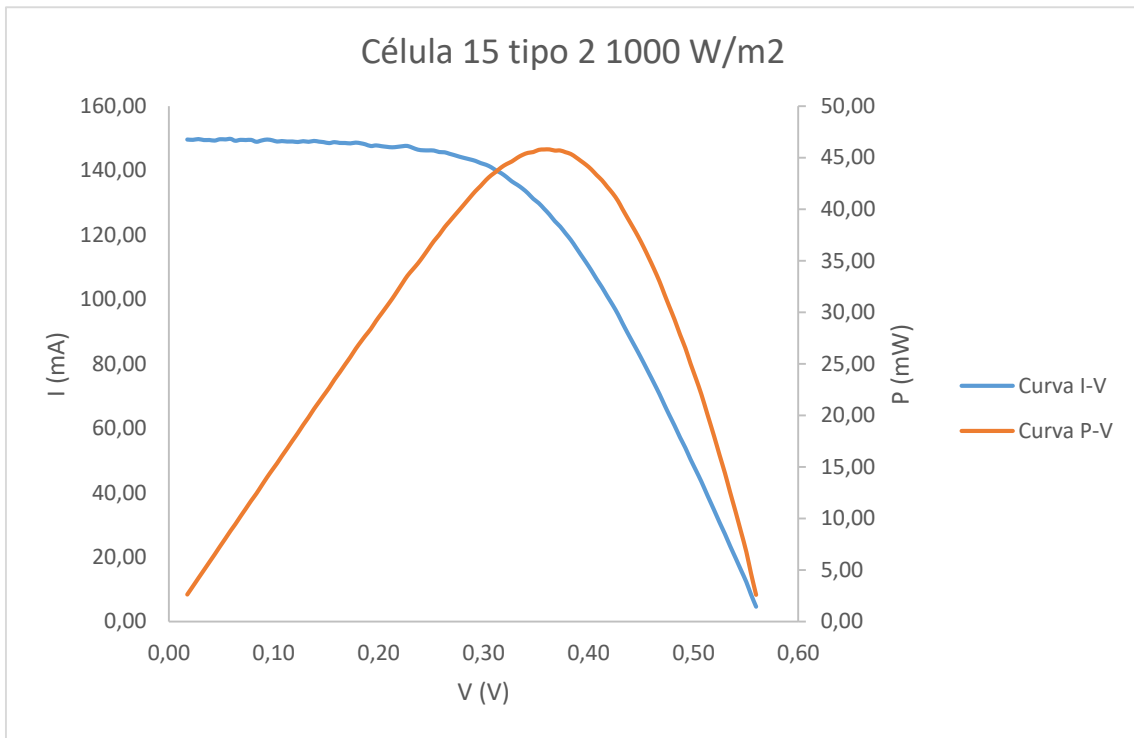


Figura A 76

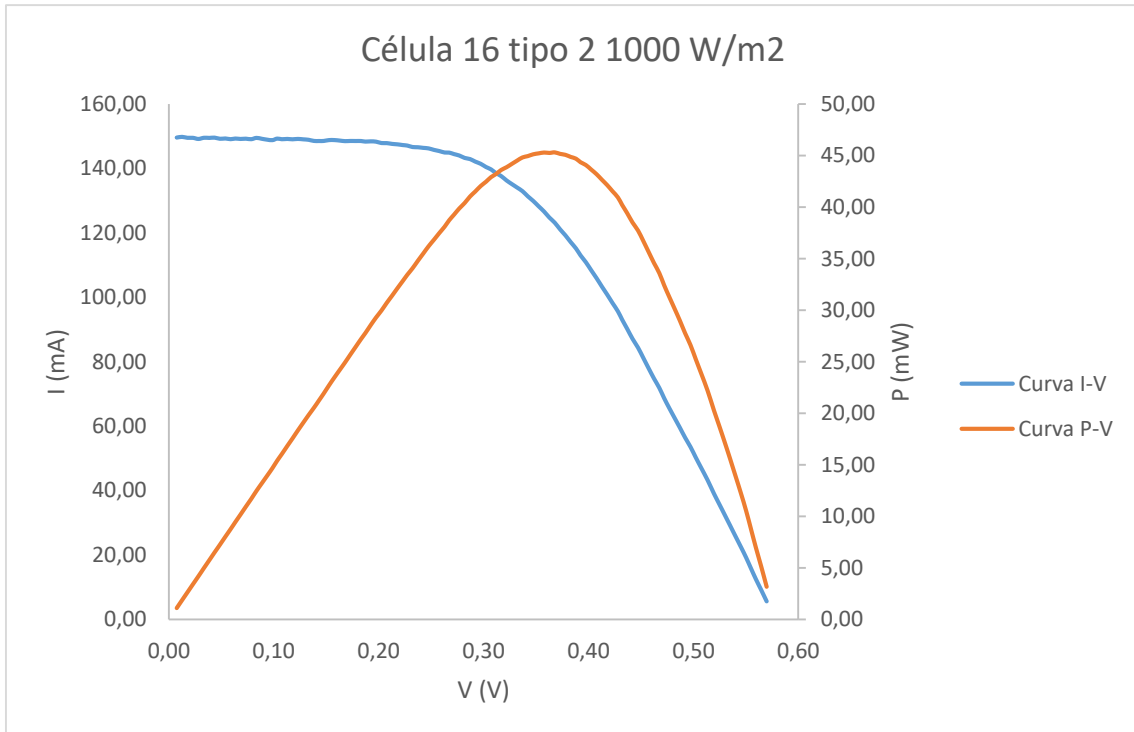


Figura A 77

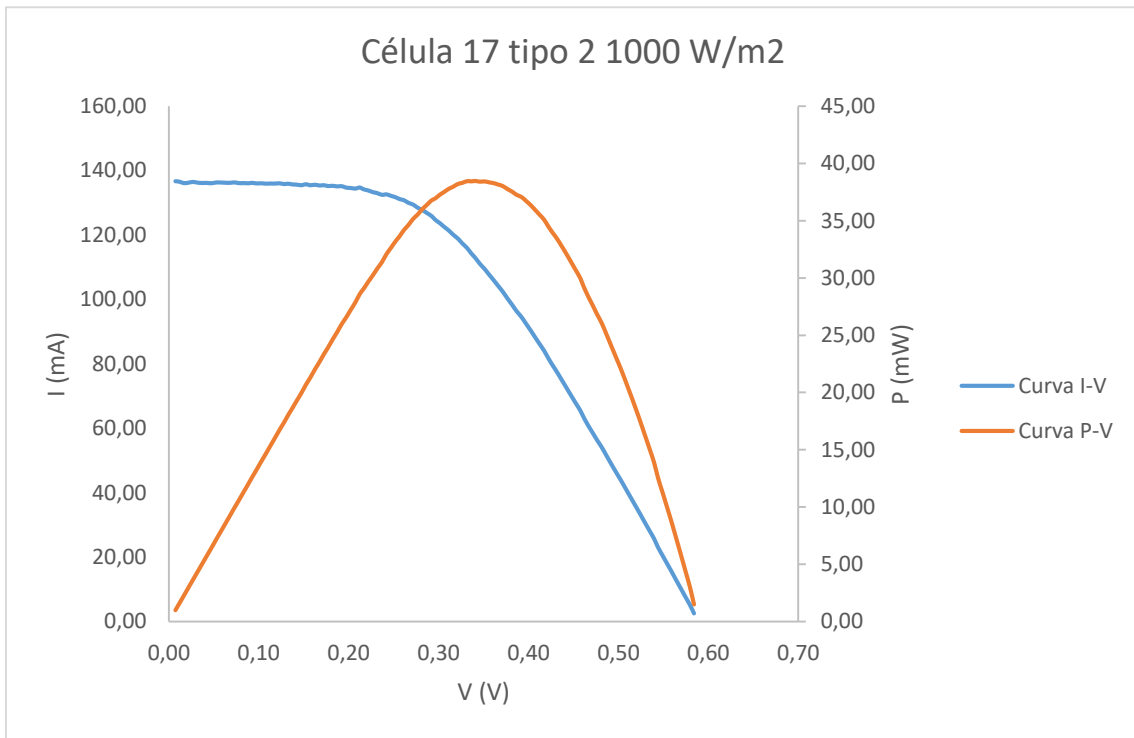


Figura A 78

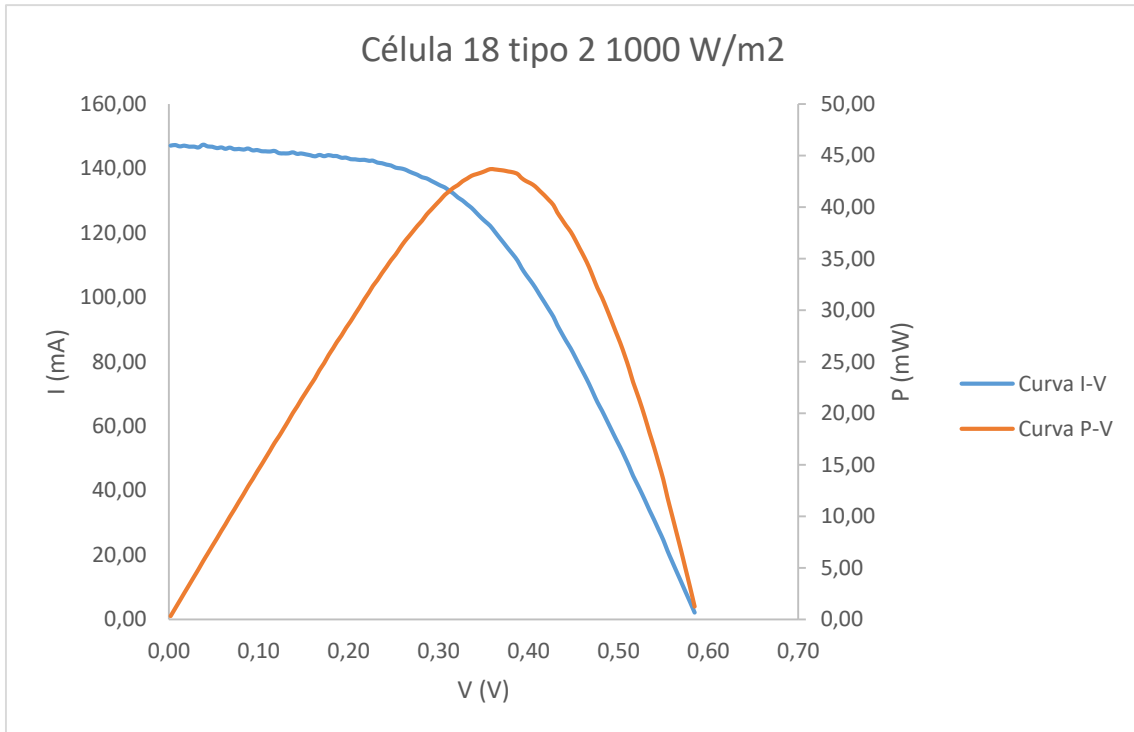


Figura A 79



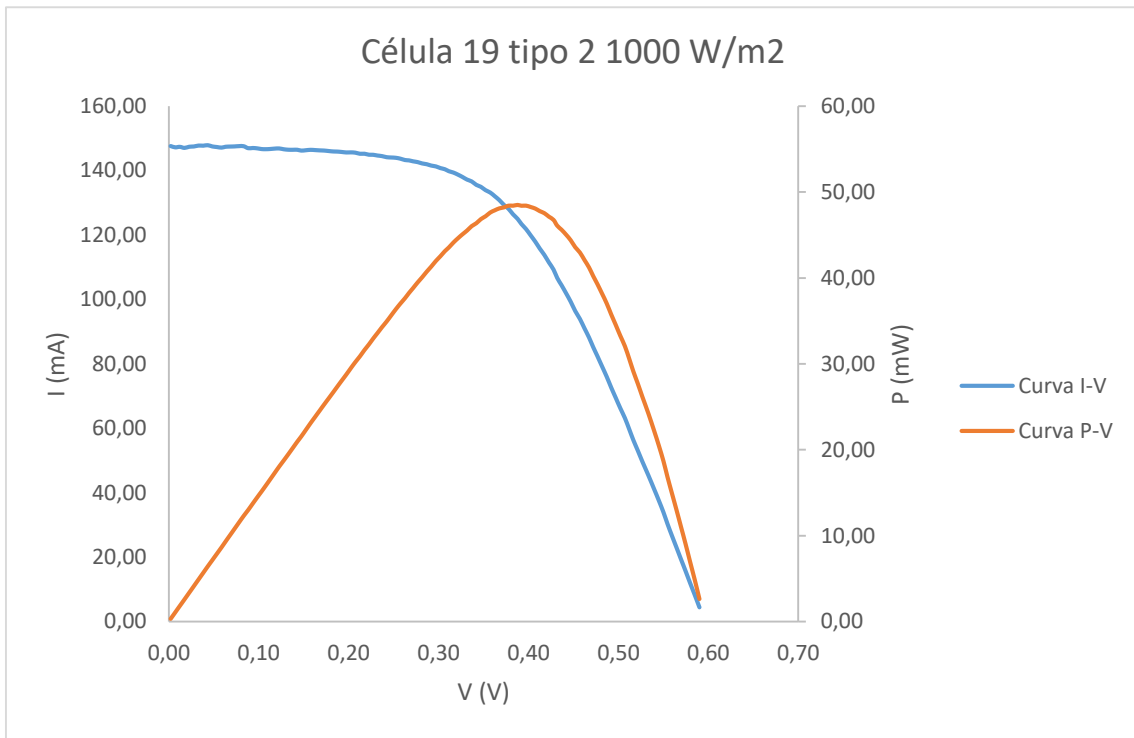


Figura A 80

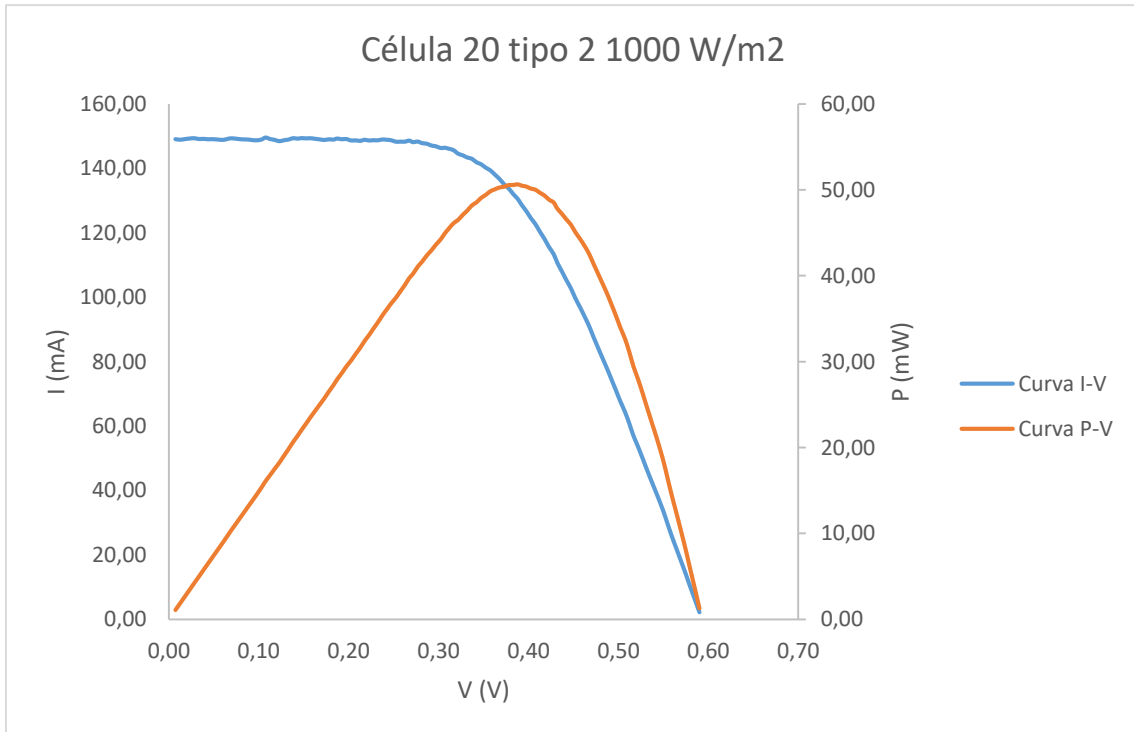


Figura A 81

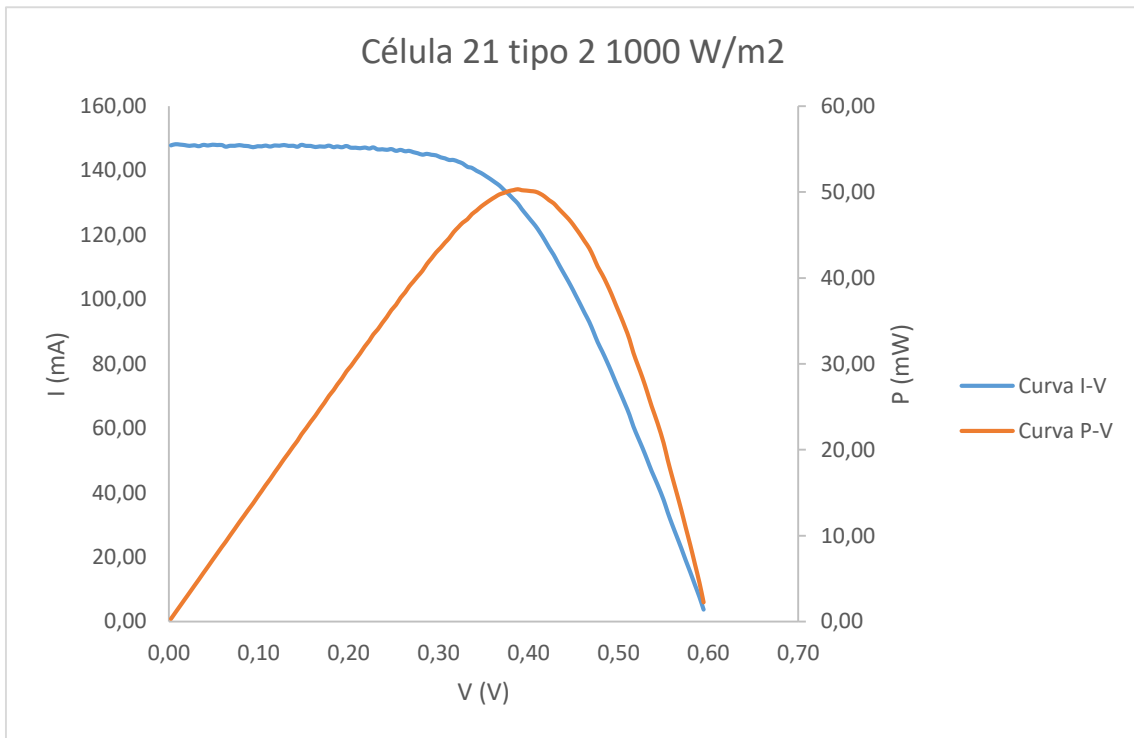


Figura A 82

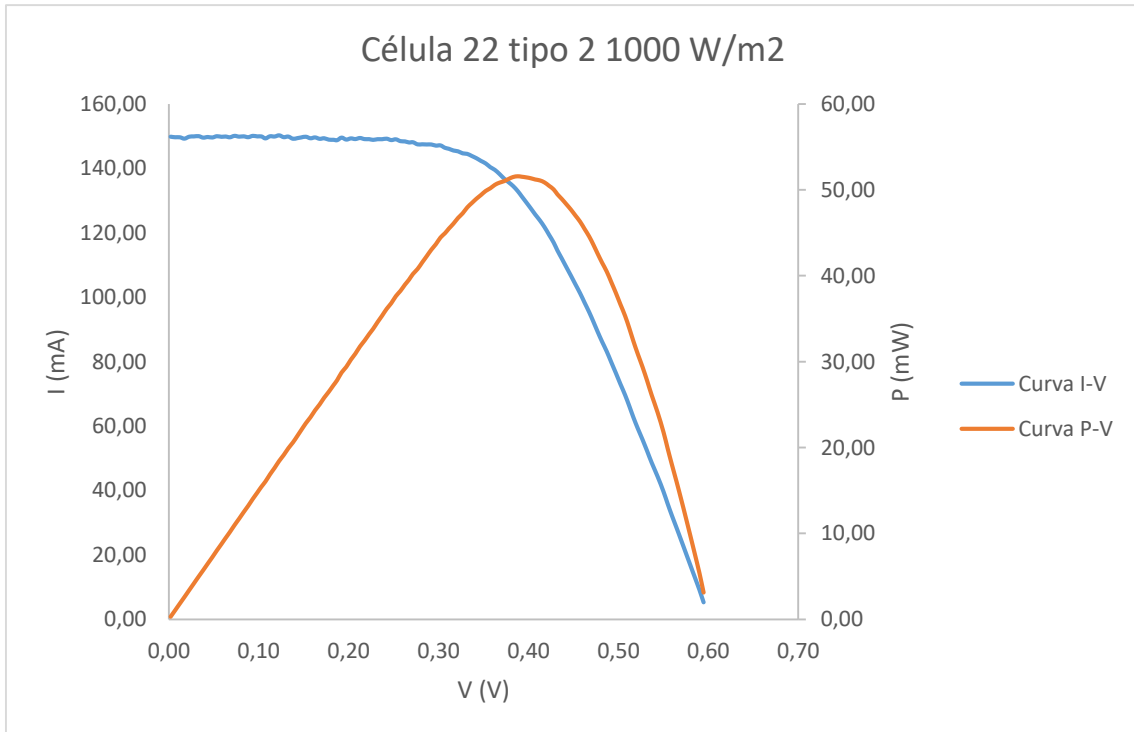


Figura A 83

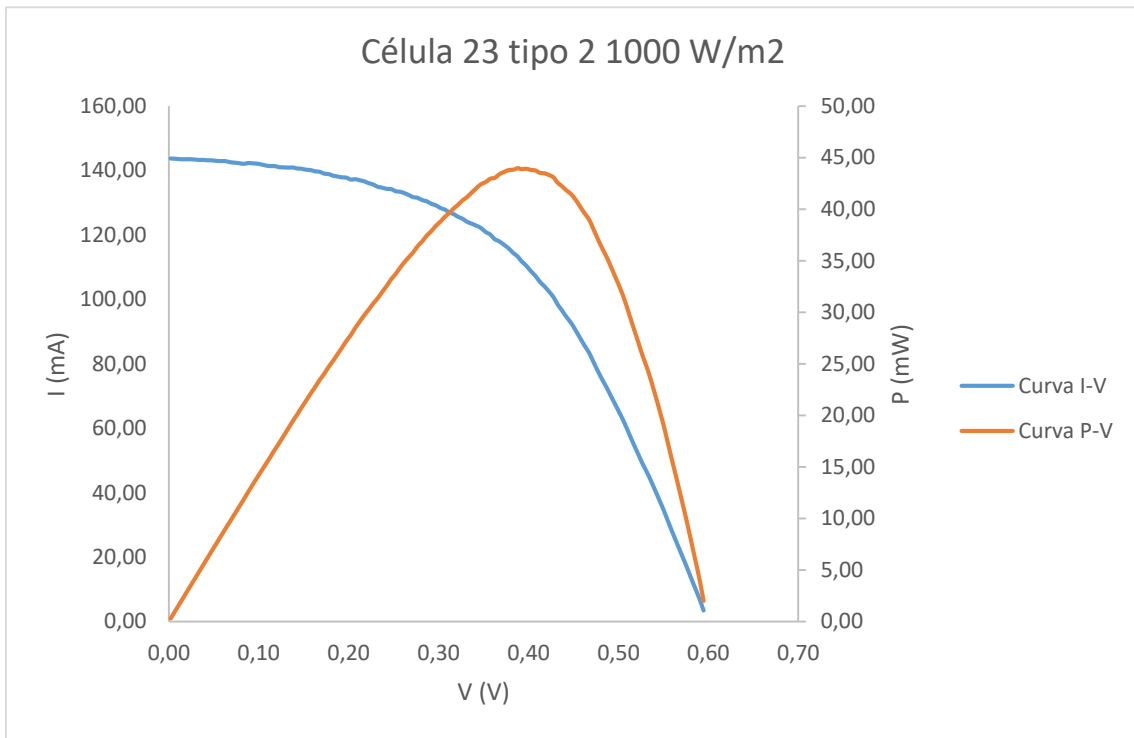


Figura A 84

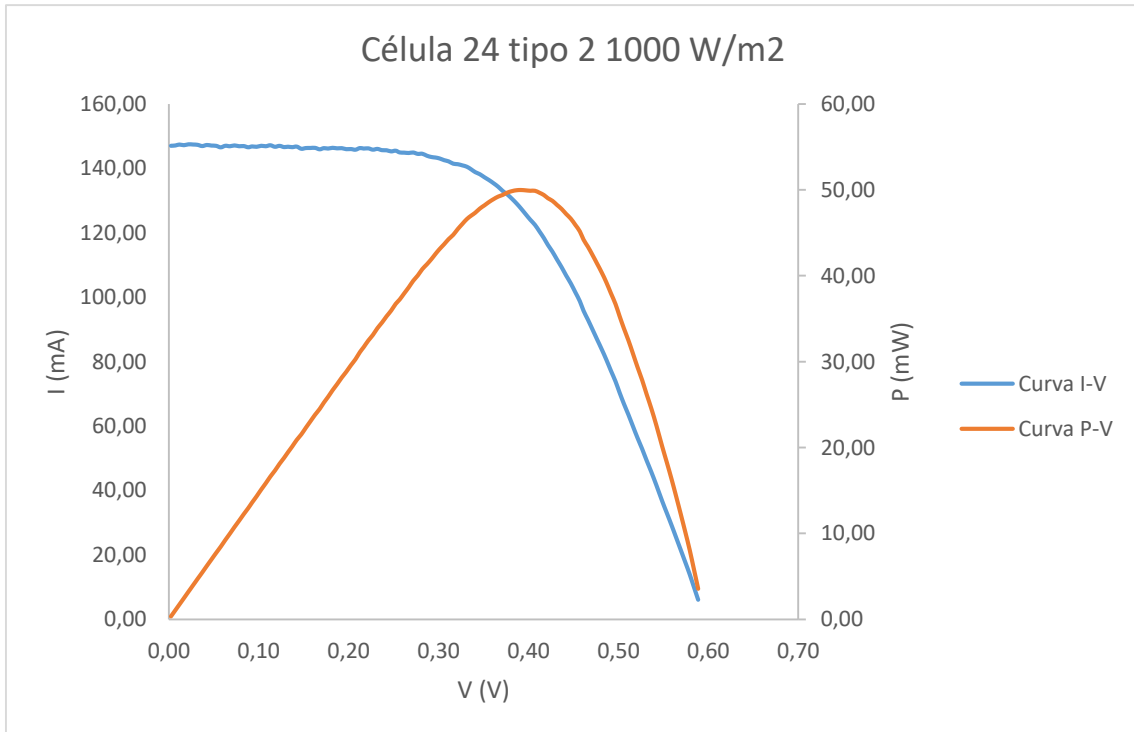


Figura A 85

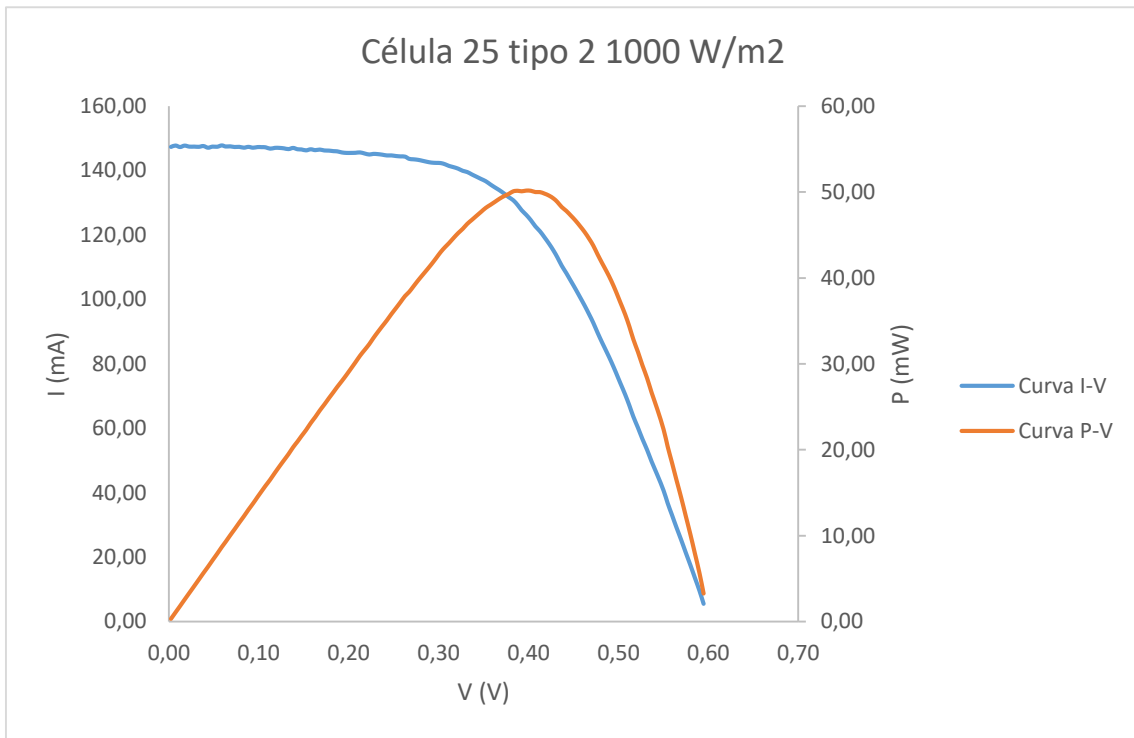


Figura A 86

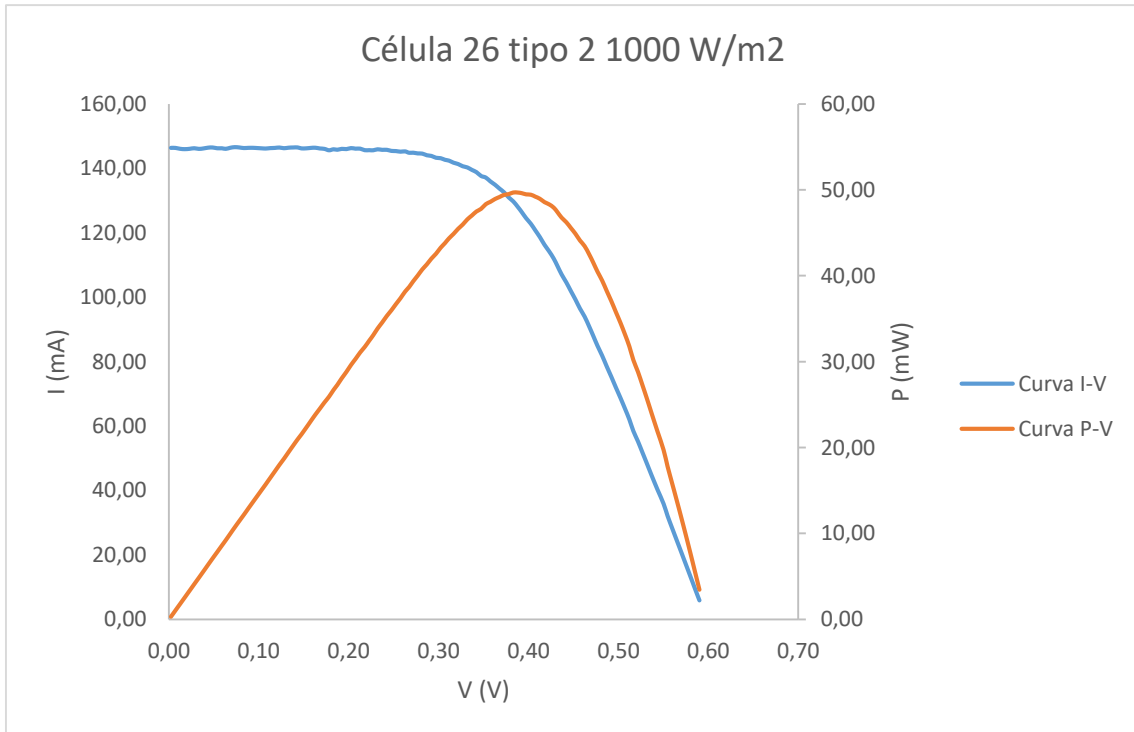


Figura A 87

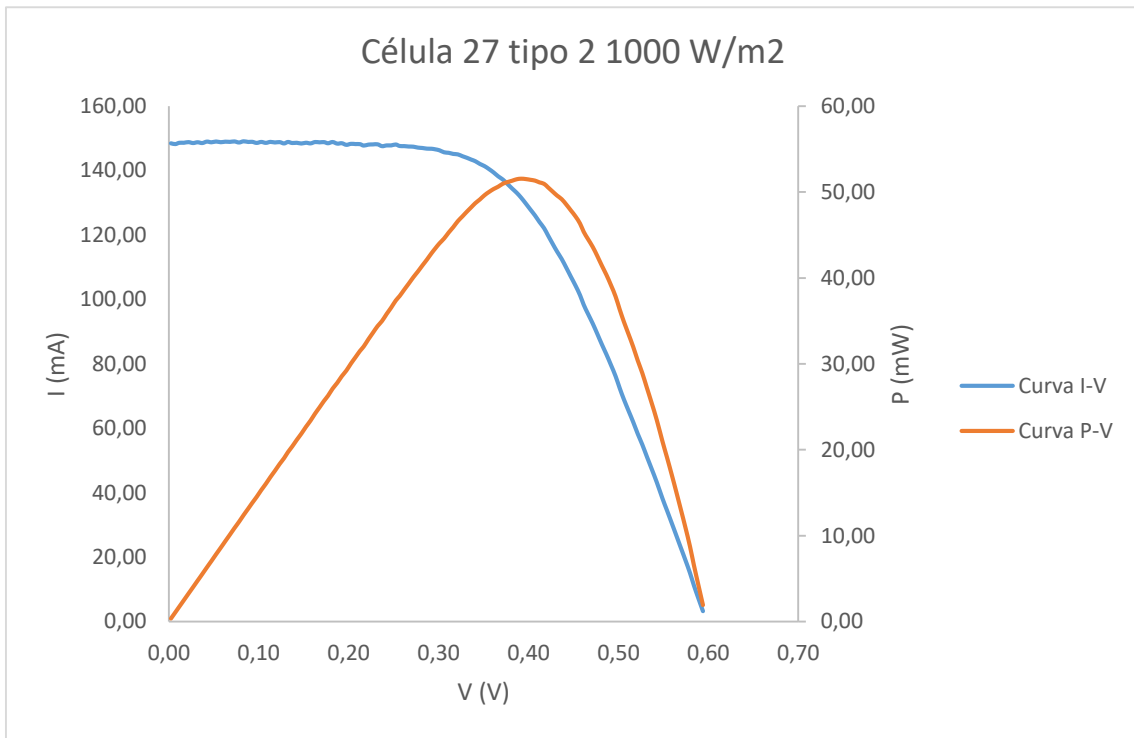


Figura A 88

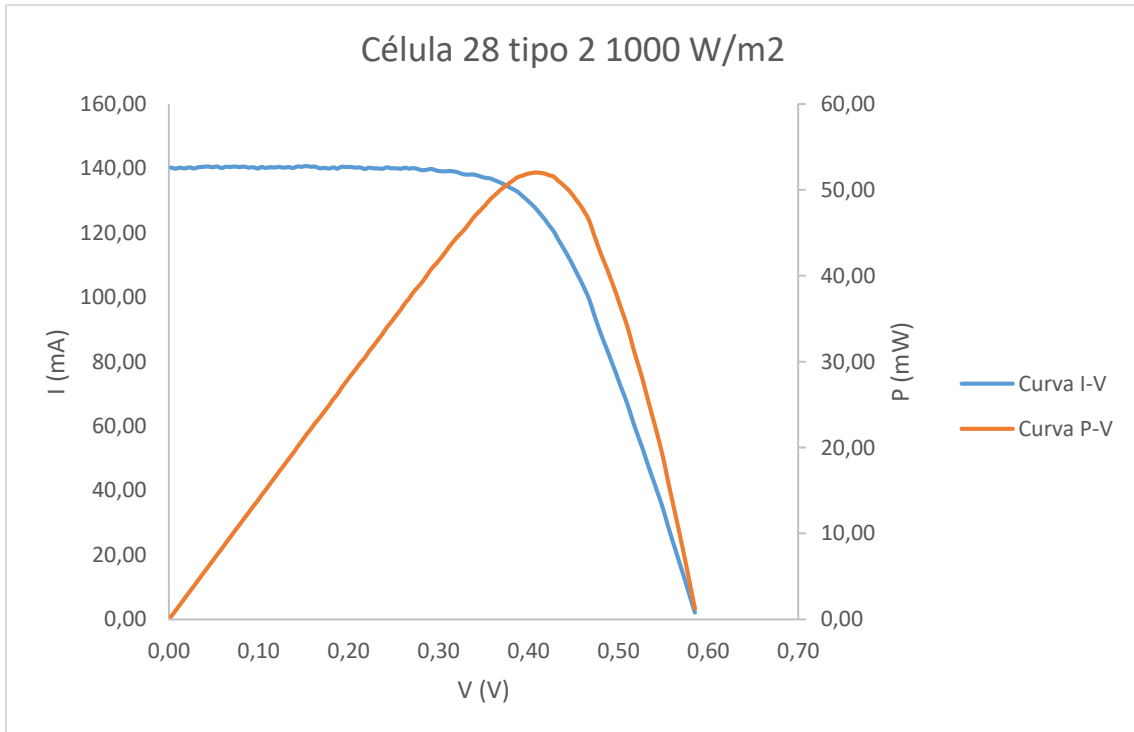


Figura A 89

Apéndice b): Caracterizaciones finales

Configuración 1: Parámetros del panel

**Configuración 1**

Exp nº	Irradiancia (W/m <sup>2</sup> )	Voc (V)	Isc (mA)	MPP (mW)	FF (%)	Eficiencia (%)
1	1000,00	7,120	302,215	1535,651	71,37%	11,85%
2	800,00	7,221	262,543	1334,063	70,37%	12,87%
3	600,00	7,164	195,673	994,277	70,93%	12,79%
4	300,00	7,095	94,798	481,700	71,62%	12,39%
5	160,00	6,895	47,758	242,674	73,70%	11,70%

Figura B 1

Configuración 1: Irradiancia umbral

V piranómetro (mV)	Irradiancia umbral (W/m <sup>2</sup> )	Voltaje umbral para carga (V)
0,30	4,22	4,00

Figura B 2

Configuración 2: Parámetros del panel

**Configuración 2**

Exp nº	Irradiancia (W/m <sup>2</sup> )	Voc (V)	Isc (mA)	MPP (mW)	FF (%)	Eficiencia (%)
1	1000,00	5,607	126,354	500,688	70,67%	10,98%
2	800,00	5,667	107,303	432,531	71,13%	11,86%
3	600,00	5,510	80,093	311,330	70,55%	11,38%
4	300,00	5,412	38,904	150,887	71,66%	11,03%
5	160,00	5,258	21,842	80,563	70,15%	11,04%

Figura B 3

Configuración 2: Irradiancia umbral

V piranómetro (mV)	Irradiancia umbral (W/m <sup>2</sup> )	Voltaje umbral para carga (V)
0,92	12,94	4,00

Figura B 4

Apéndice c): Tensión de salida del sistema en función de la irradiancia (Variación detallada)

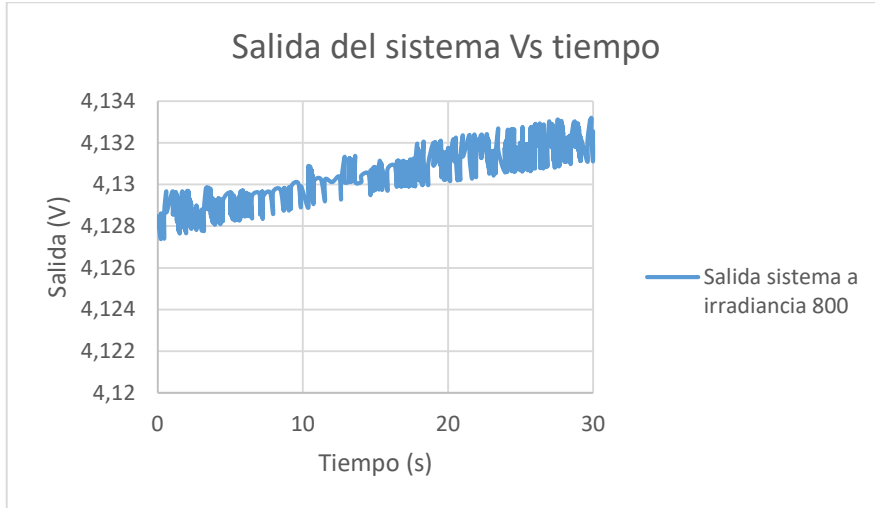


Figura C 1

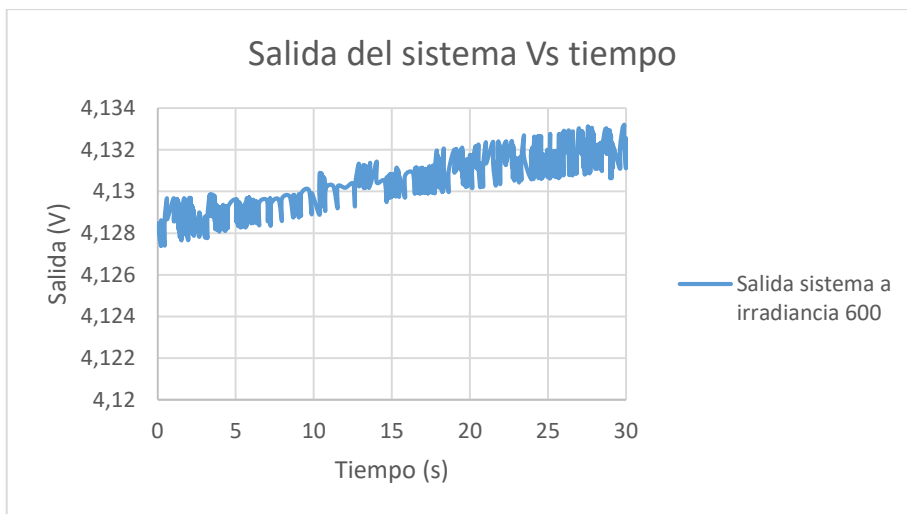


Figura C 2

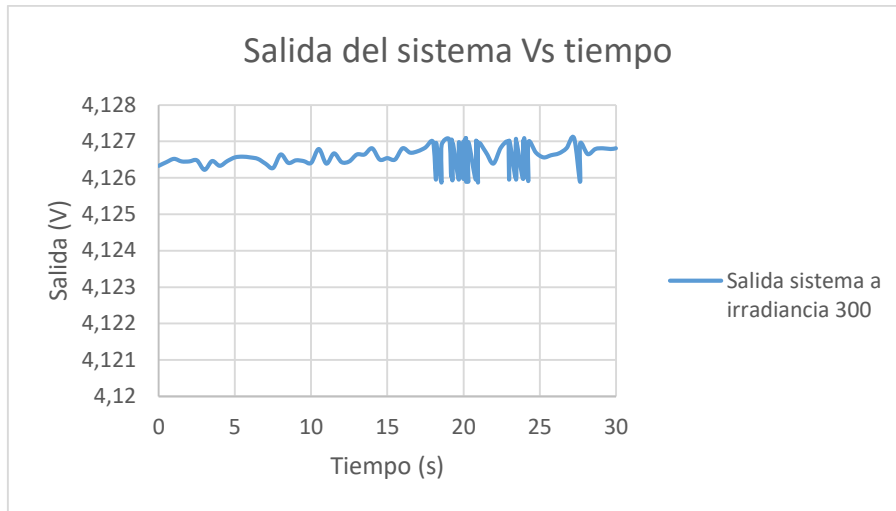


Figura C 3

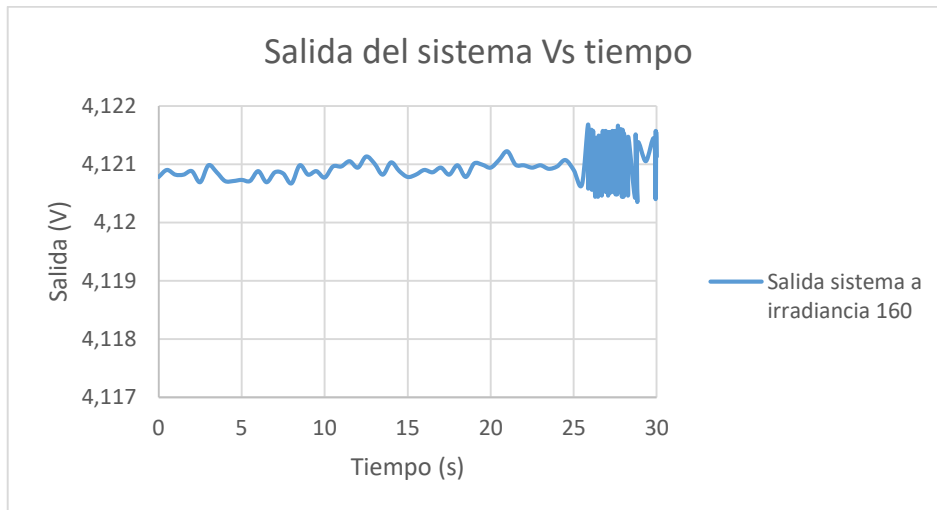


Figura C 4



Experimento irradiancia variable

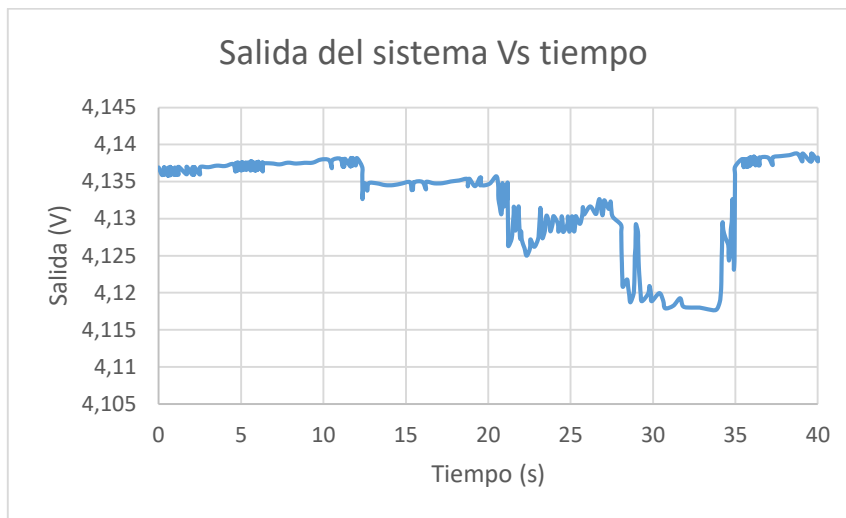


Figura C 5

## **6. Bibliografía:**

- Angulo, Javier. 2020. «Incumplimiento COP». 2020.  
<http://energiapost.com/2019/09/13/las-renovables-supondran-el-50-del-mix-energetico-en-2050-pero-no-se-cumpliran-las-metas-del-acuerdo-de-paris/>.
- Blakers, Andrew, y Matthew Stocks. 2018. «Solar and Wind Energy Potential». The Conversation. 2018. <http://theconversation.com/solar-pv-and-wind-are-on-track-to-replace-all-coal-oil-and-gas-within-two-decades-94033>.
- Boutelhig, Azzedine, Salah Hanini, y Amar Hadj Arab. 2017. «Performances’ Investigation of Different Photovoltaic Water Pumping System Configurations for Proper Matching the Optimal Location, in Desert Area». *Energy Conversion and Management* 151 (noviembre): 439-56.  
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.09.012>.
- Bouzarovski, Stefan, Saska Petrova, y Robert Sarlamanov. 2012. «Energy Poverty Policies in the EU: A Critical Perspective». *Energy Policy*, Special Section: Fuel Poverty Comes of Age: Commemorating 21 Years of Research and Policy, 49 (octubre): 76-82. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.01.033>.
- Bueno, Montse. 2020. «El reto de rediseñar el mercado eléctrico - caloryfrio.com». 2020. <https://www.caloryfrio.com/energias-renovables/energia-solar/el-reto-de-redisenar-el-mercado-electrico.html>.
- Dias, Pablo, Lucas Schmidt, Marina Monteiro Lunardi, Nathan L Chang, Gustavo Spier, Richard Corkish, y Hugo Veit. 2021. «Comprehensive Recycling of Silicon Photovoltaic Modules Incorporating Organic Solvent Delamination – Technical, Environmental and Economic Analyses». *Resources, Conservation and Recycling* 165 (febrero): 105241.  
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105241>.
- Garcia-Valverde, Rafael, José A. Villarejo, Markus Hösel, Morten V. Madsen, Roar R. Søndergaard, Mikkel Jørgensen, y Frederik C. Krebs. 2016. «Scalable Single Point Power Extraction for Compact Mobile and Stand-Alone Solar Harvesting Power Sources Based on Fully Printed Organic Photovoltaic Modules and Efficient High Voltage DC/DC Conversion». *Solar Energy Materials and Solar Cells* 144 (enero): 48-54. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2015.08.020>.
- Hemmingsen, Emma. 2010. «At the Base of Hubbert’s Peak: Grounding the Debate on Petroleum Scarcity». *Geoforum*, Themed Issue: Geographies of Peak Oil, 41 (4): 531-40. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2010.02.001>.
- Jensen, Jacob, Henrik F. Dam, John R. Reynolds, Aubrey L. Dyer, y Frederik C. Krebs. 2012. «Manufacture and Demonstration of Organic Photovoltaic-Powered

- Electrochromic Displays Using Roll Coating Methods and Printable Electrolytes». *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics* 50 (8): 536-45. <https://doi.org/10.1002/polb.23038>.
- Kiss, Zoltan. 2013. «Trends In The Cost Of Energy». Seeking Alpha. 5 de abril de 2013. <https://seekingalpha.com/article/1324411-trends-in-the-cost-of-energy>.
- Krebs, Frederik C., Matteo Biancardo, Bjørn Winther-Jensen, Holger Spanggaard, y Jan Alstrup. 2006. «Strategies for Incorporation of Polymer Photovoltaics into Garments and Textiles». *Solar Energy Materials and Solar Cells* 90 (7): 1058-67. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2005.06.003>.
- Liou, Jian-Chiun, y Cheng-Fu Yang. 2019. «Photovoltaics Battery Module Power Supply System with CIGS Film Applied in Portable Devices». *Microelectronics Reliability* 99 (agosto): 96-103. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2019.06.005>.
- McHenry, M. P., D. Doepel, B. O. Onyango, y U. L. Opara. 2014. «Small-Scale Portable Photovoltaic-Battery-LED Systems with Submersible LED Units to Replace Kerosene-Based Artisanal Fishing Lamps for Sub-Saharan African Lakes». *Renewable Energy* 62 (febrero): 276-84. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.07.002>.
- Reinoso, C. R. Sanchez, M. De Paula, D. H. Milone, y R. H. Buitrago. 2012. «Photovoltaic Inverters Optimisation». *Energy Procedia*, 2011 2nd International Conference on Advances in Energy Engineering (ICAEE), 14 (enero): 1484-89. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.12.1121>.
- Ritchie, Hannah. 2019. «Energy mix». 2019. <https://ourworldindata.org/energy-mix>.
- Smil, Vaclav. 2016. *Energy Transitions: Global and National Perspectives, 2nd Edition*. ABC-CLIO.