

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **1 321 791**

21 Número de solicitud: 202530291

51 Int. Cl.:

H02S 50/15 (2014.01)

H02S 40/30 (2014.01)

12

SOLICITUD DE MODELO DE UTILIDAD

U

22 Fecha de presentación:

15.06.2023

43 Fecha de publicación de la solicitud:

29.07.2025

71 Solicitantes:

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (100.00%)
Ctt-Otri- Casa del Estudiante C/ Real de Burgos, s/n
47011 Valladolid (Valladolid) ES

72 Inventor/es:

TERRADOS LÓPEZ, Cristian;
MARTÍNEZ SACRISTÁN, Oscar;
GONZÁLEZ REBOLLO, Miguel Ángel y
VAN BELOIS, Bouke

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

54 Título: **SISTEMA DE INSPECCIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS EN OPERACIÓN MEDIANTE FOTOLUMINISCENCIA DIURNA**

ES 1 321 791 U

DESCRIPCIÓN

SISTEMA DE INSPECCIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS EN OPERACIÓN MEDIANTE FOTOLUMINISCENCIA DIURNA

5

OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un sistema de inspección de paneles fotovoltaicos en
operación mediante fotoluminiscencia diurna. De aquí en adelante el término
10 “fotoluminiscencia” será sustituido por “PL”.

Concretamente, un aspecto de la invención se refiere a una configuración de los paneles
fotovoltaicos y del inversor que permite la toma de medidas de PL diurna sin necesidad de
apagar el inversor, y por tanto con los paneles fotovoltaicos en funcionamiento. Únicamente
15 se necesita conectar un dispositivo de bypass en paralelo con una parte de los paneles
fotovoltaicos del string, y utilizar una cámara con detección en el infrarrojo-cercano para
realizar la toma de la imagen de PL.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION Y PROBLEMA TÉCNICO A RESOLVER

20

Las inspecciones por luminiscencia de los paneles de una planta fotovoltaica están
cobrando cada vez más importancia, por la útil información que aportan sobre el estado de
las células que forman dichos paneles fotovoltaicos. Estas se refieren principalmente a
inspecciones de Electroluminiscencia (EL), aunque más recientemente también se están
25 empezando a llevar a cabo inspecciones de Fotoluminiscencia (PL).

El problema de las inspecciones mediante EL, tal y como se realizan en el estado de la
técnica, es que necesitan parar el funcionamiento del inversor, desconectar el string de
paneles fotovoltaicos (=conjunto de paneles fotovoltaicos conectados en serie entre sí) del
30 inversor y conectar el string a una fuente de alimentación para inyectar corriente al string
y, de esta manera, polarizar al mismo. Las cargas se recombinan en la unión p-n de las
células solares, y emiten luz con la longitud de onda del valor del gap del material. Este
proceso implica que los paneles dejan de estar en operación, y que hay que realizar un
manipulado eléctrico de los strings, lo que supone un método “invasivo”.

35

En el caso en que se realicen las medidas de EL de día (EL diurna), es necesario aplicar procedimientos adicionales especiales de filtrado óptico, para eliminar el elevado ruido óptico generado por la luz solar. Básicamente, las medidas consistirían en tomar dos imágenes, una con la fuente de alimentación encendida (medida “on”) y otra apagada (medida “off”), y sustraer ambas imágenes, repitiendo el proceso un número elevado de veces.

En el caso de medidas diurnas, y para eliminar la necesidad de una fuente de alimentación, lo que hace más sencillas las medidas, se han desarrollado también procedimientos para la realización de medidas de PL diurna, que proporcionan información muy útil también sobre ciertos defectos de los paneles, similares en gran medida a las de EL. En este caso la excitación del material se hace con la propia luz solar, lo que hace innecesario el uso de una fuente de alimentación. Se precisa, como en la EL diurna, un método para eliminar la luz ambiente, realizando para ello en este caso dos medidas que supongan un cambio brusco de la corriente que circula por los módulos; para ello una medida se hace con los módulos en circuito abierto (OC), de forma que no circula ninguna corriente eléctrica por los mismos y no hay extracción de portadores, por lo que todos los portadores fotogenerados se recombinan y la emisión de luminiscencia es alta, medida “on”, y otra medida se suele hacer en cortocircuito (SC), circulando una elevada corriente eléctrica (I_{sc}) por los módulos, por lo que hay una gran extracción de corriente, lo que da lugar a una muy baja emisión de luminiscencia, medida “off”, obteniendo la imagen de PL a partir de la sustracción de ambas. Sin embargo, sigue siendo un método invasivo, ya que sigue precisando realizar conexiones y desconexiones de los módulos para obtener las dos medidas (“on” y “off”), con los subsiguientes riesgos de manipulación eléctrica, así como la necesidad de parar el inversor, dejando de estar por tanto los paneles en operación durante todo el proceso de medida.

Por tanto, existe la necesidad en el estado de la técnica de poder inspeccionar strings de paneles fotovoltaicos sin necesidad de parar el funcionamiento del inversor y sin necesidad de conectar y desconectar los paneles fotovoltaicos.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención permite obtener imágenes de PL de elevada calidad, con los paneles fotovoltaicos en operación, y siendo mínimamente invasiva. Únicamente se necesita colocar un dispositivo de bypass en un string de paneles fotovoltaicos a inspeccionar, que

puede permanecer con el string de manera fija, y que no afecta al funcionamiento normal del mismo, y a partir de ese momento se puede obtener la imagen de luminiscencia de todos los paneles fotovoltaicos de dicho string. Para nuevas plantas fotovoltaicas en construcción, cabría la opción de instalar, para cada string, un dispositivo de bypass, que
5 permitiría inspeccionar la planta cuantas veces se quiera sin necesidad de ningún manipulado adicional, a excepción de colocar una batería que lo alimente.

La presente invención podría instalarse incluso en plantas ya existentes, cuando se realice una primera inspección mediante este procedimiento, y dejarlo de manera permanente
10 para la realización de posteriores inspecciones, facilitando una monitorización periódica del estado de los paneles fotovoltaicos ya de forma totalmente no invasiva (sin contacto).

La presente invención utiliza el concepto de “curva I-V característica”, la cual es ampliamente conocida en el estado de la técnica y se puede aplicar a una célula, a un
15 panel fotovoltaico, a un string, etc. En esencia, la curva I-V característica tiene la misma forma para un panel fotovoltaico y para todo el string, solo que, al estar los paneles fotovoltaicos en serie, el valor de la corriente (I) es la misma, y las tensiones (V) se van sumando.

20 Para llevar a cabo la inspección de paneles fotovoltaicos mediante fotoluminiscencia diurna, los paneles fotovoltaicos están conectados en serie entre sí y a su vez a una entrada de un inversor. La configuración del sistema para poder inspeccionar los paneles fotovoltaicos mediante fotoluminiscencia diurna comprende:

- a) conectar un dispositivo de bypass en paralelo a un número predeterminado de
25 paneles fotovoltaicos (=subconjunto de paneles fotovoltaicos); donde el número predeterminado de paneles fotovoltaicos es menor que el total de paneles fotovoltaicos comprendidos en el string;
- b) activar el dispositivo de bypass;
- c) forzar a los paneles fotovoltaicos restantes a funcionar en un punto distinto al punto
30 MPP (punto de máxima potencia) de su curva I-V característica, disminuyendo la corriente y aumentando el voltaje;
- d) tomar una fotografía mediante un cámara de infrarrojo-cercano de unos paneles fotovoltaicos; denominada como medida “on”;
- e) desactivar el dispositivo de bypass;
- 35 f) tomar una fotografía mediante la cámara de infrarrojo-cercano de los mismos paneles fotovoltaicos que el paso d) anterior; denominada como medida “off”;

- g) comparar las fotografías tomadas en los pasos anteriores, restando a la fotografía en d), la fotografía en f); consiguiendo así la imagen de PL final.

El dispositivo de bypass está diseñado para conmutar de manera muy rápida entre los dos estados de medida ("on" y "off"), es decir, con el subconjunto de paneles fotovoltaicos desconectado o conectado al resto de paneles fotovoltaicos del string. Esta conmutación permite además obtener la señal de PL de los dos subconjuntos de módulos, tanto los conectados al dispositivo de bypass como los que no están conectados, pues en ambos se produce un cambio brusco de corriente entre los dos estados ("on" y "off").

Es posible repetir los puntos anteriores b) a g) y acumular las diferencias de las medidas "on" menos las medidas "off". Al repetir los puntos indicados y acumular las imágenes de las diferencias se obtiene mejor calidad, reduciendo el ruido óptico generado por la luz solar, consiguiendo así una imagen de PL de mayor calidad. El número de repeticiones de comparar las imágenes en los dos estados diferentes (o número total de ciclos), necesario para obtener una imagen de alta calidad, dependerá de diversos factores, como el valor de la radiación solar, la tecnología del panel (monocristalino, multicristalino, bifacial, ...), etc.

La presente invención comprende, por tanto, conectar el dispositivo de bypass a un subconjunto de paneles de un string y activar o desactivar dicho dispositivo de bypass. Cuando está activado se fuerza a los paneles fotovoltaicos restantes a funcionar en un punto distinto al punto de máxima potencia "MPP" de su curva I-V característica, disminuyendo la corriente y aumentando el voltaje. Este proceso es llevado a cabo por el inversor.

El número predeterminado de paneles fotovoltaicos a los que se coloca en paralelo el dispositivo de bypass se elige en base al valor de voltaje mínimo del inversor " V_{inv}^{min} ". El " V_{inv}^{min} " es el voltaje mínimo que el string tiene que suministrar para que el inversor pueda funcionar. Por debajo del " V_{inv}^{min} ", el inversor no es capaz de convertir la tensión en continua (V_{dc}) por una tensión en alterna (V_{ac}). Por tanto, el sumatorio del voltaje en un punto de la curva I-V cercano a la tensión en abierto de todos los paneles del string menos los paneles en paralelo con el dispositivo de bypass tiene que ser igual o mayor al " V_{inv}^{min} " del inversor.

El objeto de la presente invención es un sistema de inspección de paneles fotovoltaicos mediante fotoluminiscencia diurna. El sistema comprende:

- un dispositivo de bypass conectable a un subconjunto de paneles fotovoltaicos conectados en serie entre sí y a su vez conectados a una entrada de un inversor;
- una cámara de infrarrojo-cercano;
- un microcontrolador conectado con el dispositivo de bypass y con la cámara de infrarrojo-cercano.

El microcontrolador está configurado para activar/desactivar el dispositivo de bypass y para activar la cámara de infrarrojo-cercano cada vez que se activa/desactiva el dispositivo de bypass. En cada activación/desactivación del dispositivo de bypass, el inversor aumenta/disminuye el voltaje y disminuye/aumenta la corriente de los paneles fotovoltaicos, de tal forma que los paneles fotovoltaicos, con la activación del dispositivo de bypass, pasan de funcionar en el punto MPP de la curva P-V y su correspondiente punto en la curva I-V, a un punto distinto de la curva I-V con mayor voltaje y menor corriente. Y cuando se desactiva el dispositivo de bypass, los paneles fotovoltaicos vuelven al punto MPP.

En una forma de realización de la invención, la cámara de infrarrojo-cercano es una cámara de InGaAs.

En otra forma de realización de la invención, el microcontrolador comprende medios de conexión inalámbrica para conectarse con el dispositivo de bypass y con la cámara de infrarrojo-cercano. Para ello, el microcontrolador, el dispositivo de bypass y la cámara de infrarrojo-cercano tienen conexiones seleccionadas entre WiFi, Bluetooth y conexión 2G, 3G, 4G, 5G.

En otra forma de realización de la invención, el dispositivo de bypass está alimentado por una batería externa, que puede ser sustituida cuando se agote.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Para completar la descripción de la invención y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de sus características, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización de la misma, se acompaña un conjunto de dibujos en donde, con carácter ilustrativo y no limitativo, se han representado las siguientes figuras:

La FIG. 1 representa un campo solar fotovoltaico formado por un único string de dieciocho paneles fotovoltaicos conectados en serie entre sí y a su vez conectado a una entrada de un inversor. También se muestra el sistema de la presente invención implementado sobre el campo solar fotovoltaico.

5

La FIG. 2 representa las curvas “I-V” y “P-V” características del string de la Fig. 1 (I = Intensidad, V = Voltaje, P = Potencia; $P = I \times V$). Los dos puntos marcados en la curva I-V son el que corresponde con el de máxima potencia del string (MPP), punto “A”, que es el punto donde habitualmente trabaja el string, y otro punto a la derecha del MPP, punto “B”, que es el estado donde trabajan el subconjunto de los paneles restantes cuando se activa el dispositivo de bypass y se desconecta del string el conjunto de paneles a los que dicho dispositivo de bypass está conectado.

10

La FIG. 3 muestra la comparativa entre una imagen obtenida mediante la presente invención con fotoluminiscencia “PL” diurna (izquierda) y una imagen obtenida mediante electroluminiscencia “EL” diurna (derecha).

15

DESCRIPCIÓN DE UNA REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

La FIG.1 muestra el sistema de inspección de paneles fotovoltaicos en operación mediante PL diurna de la presente invención. En la FIG.1, y por sencillez, el campo solar fotovoltaico está formado por un solo string de dieciocho paneles fotovoltaicos (2) conectados en serie entre sí y a su vez conectados a una entrada del inversor (3). El sistema de la presente invención comprende el dispositivo de bypass (4) conectado en paralelo a un subconjunto (2') de paneles fotovoltaicos del string (en esta representación, más concretamente, el dispositivo de bypass (4) está conectado en paralelo a cuatro (2') de los dieciocho paneles fotovoltaicos del string (2)). De esta forma, cuando se activa el dispositivo de bypass (4), se desconectan del string cuatro paneles (2'), por lo que el inversor (3) recibe corriente de un subconjunto (catorce paneles en este caso) menor de paneles fotovoltaicos (2''), en vez del conjunto total de paneles del string (dieciocho paneles en este ejemplo), mientras que cuando está desactivado el dispositivo de bypass el inversor (3) recibe corriente del string completo (2) (de dieciocho paneles en este ejemplo). El sistema de la presente invención adicionalmente comprende la cámara de infrarrojo-cercano (5). La cámara de infrarrojo-cercano (por ejemplo, una cámara de tipo InGaAs) puede capturar imágenes de un solo panel fotovoltaico o de varios paneles fotovoltaicos. Por tanto, el sistema podría comprender varias cámaras de infrarrojo-cercano (5) para fotografiar tantos paneles

20

25

30

35

fotovoltaicos como sea necesario inspeccionar, o una sola cámara (5) que se va trasladando de posición para ir inspeccionando los paneles. Para llevar a cabo la inspección, es necesario conmutar el estado del string entre dos estados de funcionamiento, repetidas veces, e ir tomando fotografías en cada estado de forma muy
 5 rápida. Para sincronizar la toma de fotografías con la activación/desactivación del dispositivo de bypass, el sistema comprende el microcontrolador (6) que está configurado para activar/desactivar el dispositivo de bypass (4) y para activar la cámara (5) de infrarrojo-cercano cada vez que se activa/desactiva el dispositivo de bypass (4). En el ejemplo de la FIG.1, el microcontrolador (6) tiene medios inalámbricos tales como WiFi, Bluetooth o
 10 conexión 2G, 3G, 4G, 5G para conectarse con el dispositivo de bypass (4) y la cámara de infrarrojo-cercano (5).

Aunque un string puede trabajar en cualquier punto de su curva I-V característica (y correspondientemente de la curva P-V; $P = I \times V$), los inversores están diseñados para
 15 hacer que el string trabaje siempre lo más próximo posible al MPP ("Maximum Power Point"). En el ejemplo mostrado en la FIG.2, el inversor (3) hace que todo el string (2) y, por tanto, cada panel fotovoltaico, trabaje en su punto de máxima potencia "MPP". Por tanto, cada panel fotovoltaico entrega 9 A a 36 V en este ejemplo (FIG.2, punto "A" de la curva I-V). Para ello, el inversor tiene un sistema (MPPT, "maximum power point track") con
 20 el cual, mediante un algoritmo, busca el punto de máxima potencia de forma periódica.

Cuando se activa el dispositivo de bypass (4), el inversor (3) va a trabajar con un subconjunto de paneles (2'') menor que el string completo (2). Pero el inversor tiende a mantener el voltaje, por lo que al activar el dispositivo de bypass (4), el inversor forzará a
 25 los paneles fotovoltaicos a seguir proporcionando la misma tensión que en el punto MPP (36 V en este ejemplo) a cada panel del subconjunto (2''). Sin embargo, esto puede provocar que la tensión total quede por debajo del valor V_{inv}^{min} del inversor. En ese caso, al no llegar suficiente voltaje desde los paneles fotovoltaicos al inversor, éste buscará un punto distinto al del MPP, donde le llegue suficiente tensión para poder funcionar, aunque
 30 no sea en el punto óptimo.

En el ejemplo de la FIG.1, con un string de dieciocho paneles fotovoltaicos (2), cuando todos los paneles estén conectados en serie al inversor, a éste le llegarían 648 V (36 x 18) en su punto MPP. Cada inversor tiene un rango de tensiones entre las cuales trabaja, y por
 35 tanto, una tensión mínima (V_{inv}^{min}). Supongamos, a modo de ejemplo, un inversor (3) con un rango de tensiones de 580 a 1000 V_{dc}. Si se activa el dispositivo de bypass (4) y un

subconjunto (2') de paneles fotovoltaicos se desconecta de estar en serie con el resto de paneles fotovoltaicos del string (2), el inversor va a actuar para que el resto de paneles fotovoltaicos (2'') siga trabajando en las condiciones previas. Escogiendo de forma adecuada el número de paneles fotovoltaicos del subconjunto que se desactiva, esto puede suponer que la tensión de trabajo quede por debajo del valor mínimo del inversor, V_{inv}^{min} . En ese caso, el inversor (3) va a trabajar con el valor V_{inv}^{min} , y por tanto provocará un aumento de la tensión de cada panel fotovoltaico y, consecuentemente provocará una disminución del valor de la corriente, para seguir en la curva I-V (FIG.2, punto "B").

En el caso de ejemplo usado, si se selecciona un subconjunto de cuatro paneles fotovoltaicos mediante el dispositivo de bypass (4), cuando el dispositivo de bypass (4) esté actuando, solo trabajarán en serie catorce paneles fotovoltaicos (2''). El inversor intentará que los paneles trabajen en su punto MPP de 36 V (FIG.2, punto "A" correspondiente en la curva I-V), y por tanto, con un voltaje en el string de 504 V (36 x 14). Sin embargo, dado que el voltaje mínimo de trabajo del inversor es de 580 V, el inversor actúa para que los paneles trabajen a un voltaje tal que no puede ser inferior a dicho voltaje mínimo, que en este ejemplo sería de 41,5 V (580 / 14), y por tanto muy cercano a V_{oc} , lo que supone trabajar a una corriente mucho más baja respecto al punto MPP, como se muestra en la FIG.2, punto B de la curva I-V.

En esta situación, con una corriente muy baja (punto "B" en la curva I-V), este conjunto de módulos (2'') emite una señal de luminiscencia más elevada que en condiciones de trabajo normales, con una corriente muy elevada (punto "A" en la curva I-V), de forma que el punto "B" de la curva I-V se usa como estado "on" y el punto "A" de la curva I-V como estado "off", para la obtención de una imagen de PL diurna.

El dispositivo de bypass (4) está diseñado para conmutar de manera muy rápida entre los dos estados, con el subconjunto de módulos (cuatro en el caso de ejemplo) desconectado del resto del string, o sin desconectar. La resta o diferencia entre las dos imágenes captadas por una cámara sensible al infrarrojo-cercano permite obtener la señal de PL de los paneles fotovoltaicos, proceso que repetido un número suficiente de veces da lugar a una imagen de PL de elevada calidad, como se muestra en la FIG.3 (izqda). La FIG.3 muestra además la comparativa entre la imagen obtenida mediante la presente invención con PL diurna (izquierda) y una imagen obtenida mediante EL diurna (derecha).

Por tanto, para obtener imágenes como la mostrada en la FIG.3, izquierda, se aplican los siguientes pasos al ejemplo mostrado en la FIG.1:

- a) conectar el dispositivo de bypass (4) en paralelo al subconjunto de paneles fotovoltaicos (2') comprendidos en el string (2), formado en este ejemplo por cuatro paneles fotovoltaicos;
- b) activar el dispositivo de bypass (4);
- c) forzar a los paneles fotovoltaicos restantes (2''), catorce en este ejemplo, a funcionar en un punto distinto del de máxima potencia "MPP" de los paneles fotovoltaicos (punto "A" de la curva I-V característica), disminuyendo la corriente y aumentando el voltaje de los paneles fotovoltaicos, por tanto, en el punto "B" de la curva I-V característica;
- d) tomar una fotografía mediante un cámara de infrarrojo-cercano a algunos de los paneles fotovoltaicos;
- e) desactivar el dispositivo de bypass (4), llevando a todo el string de paneles fotovoltaicos (2) al punto "A" de la curva I-V característica;
- f) tomar una fotografía mediante la cámara de infrarrojo-cercano a los mismos paneles fotovoltaicos que en el paso d);
- g) comparar fotografías, restando las fotografías obtenidas al activar el dispositivo de bypass (paso d)) y las obtenidas al desactivar el dispositivo de bypass (paso f)), durante un numero de ciclos determinado en los que se repiten los pasos b) a f).

REIVINDICACIONES

1.- Sistema de inspección de paneles fotovoltaicos mediante fotoluminiscencia diurna, caracterizado porque comprende:

- 5 • un dispositivo de bypass (4) conectable a un conjunto (2') de paneles fotovoltaicos conectados en serie entre sí y a su vez conectados a una entrada de un inversor (3);
- una cámara de infrarrojo-cercano (5);
- 10 • un microcontrolador (6) conectado con el dispositivo de bypass (4) y con la cámara de infrarrojo cercano (5);

donde el microcontrolador (6) está configurado para activar/desactivar el dispositivo de bypass (4), y para activar la cámara de infrarrojo-cercano (5) cada vez que se activa/desactiva el dispositivo de bypass (4) de tal forma que el inversor (3) está configurado para aumentar el voltaje y disminuir la corriente de los paneles fotovoltaicos (2").

2.- El sistema de la reivindicación 1, donde la cámara de infrarrojo-cercano (5) es una cámara de InGaAs.

- 20 3.- El sistema de la reivindicación 1, donde el microcontrolador (6) comprende medios de conexión inalámbrica para conectarse con el dispositivo de bypass (4) y con la cámara de infrarrojo cercano (5).

- 25 4.- El sistema de la reivindicación 1, donde el dispositivo de bypass (4) está alimentado con una batería externa sustituible.

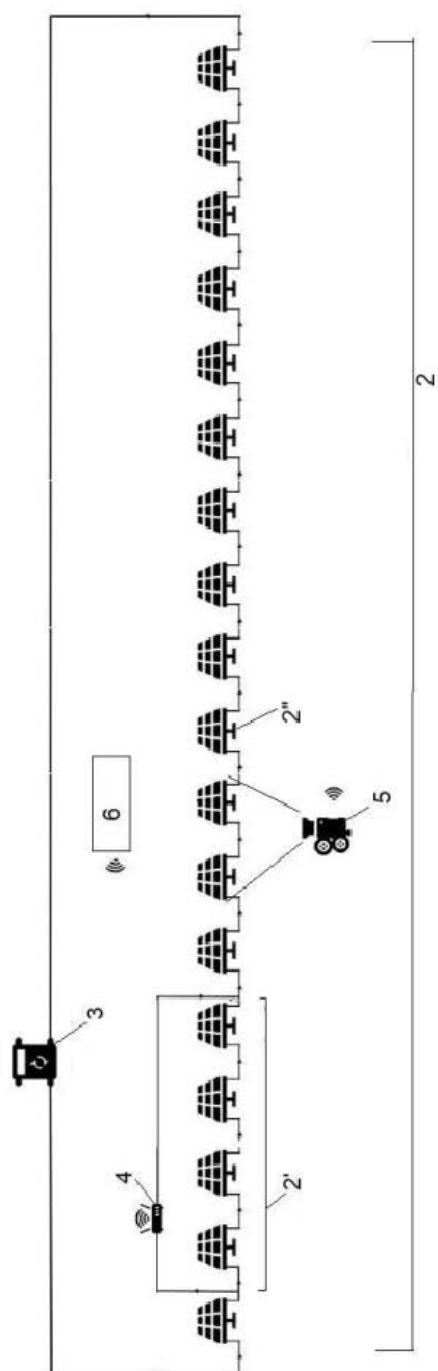


FIG. 1

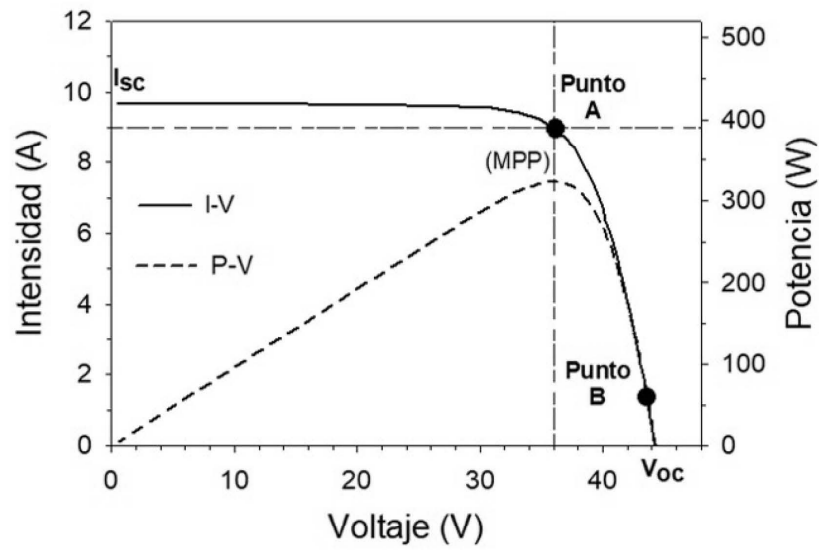


FIG. 2

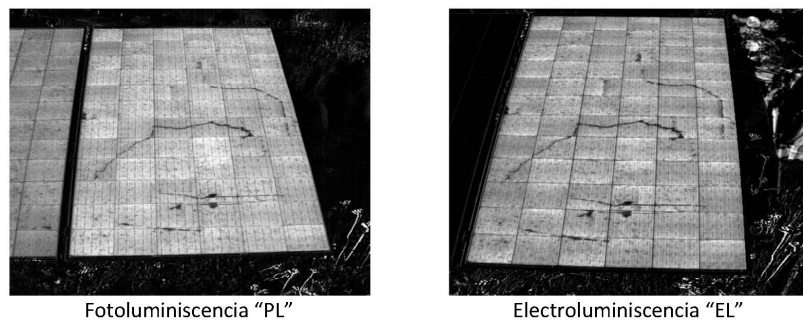


FIG. 3