



## ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación :

INGENIERO INDUSTRIAL

Título del proyecto:

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y CARACTERIZACIÓN DE  
CÉLULAS SOLARES EN POLARIZACIÓN INVERSA

Alumno: Resu Iturri Buzunáriz

Tutores: Luis Marroyo Palomo  
Miguel García Solano

Pamplona, 24 de Enero de 2011



# Agradecimientos

Quiero agradecer tanto a mis tutores Luis Marroyo Palomo y Miguel García Solano por sacar este proyecto a delante como a Idoia San Martin e Izaskun Iraizoz por todo vuestro apoyo y ayuda recibida.

Muchísimas gracias a todos



# Índice

<b>1. Introducción</b> .....	7
1.1. LA CÉLULA FOTOVOLTAICA.....	7
1.2. ESTRUCTURA DE LA CÉLULA .....	8
1.3. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE LAS CÉLULAS SOLARES.....	9
1.4. PARÁMETROS QUE DEFINEN EL FUNCIONAMIENTO DE UNA CÉLULA SOLAR .....	10
1.5. CIRCUITO EQUIVALENTE .....	12
1.6. SITUACIÓN ACTUAL DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA .....	13
<b>2. Antecedentes y objetivos</b> .....	15
2.1. ANTECEDENTES. PROBLEMAS DE PUNTO CALIENTE.....	15
2.2. OBJETIVOS DEL PFC .....	17
<b>3. Estado del arte en puntos calientes</b> .....	19
3.1. CONCEPTO PUNTO CALIENTE.....	19
3.2. COMPORTAMIENTO DE CÉLULAS SOLARES EN POLARIZACIÓN INVERSA. PARÁMETROS DE CARACTERIZACIÓN.....	20
3.3. DIODOS .....	25
3.4. DEPENDENCIA DE LA DISIPACIÓN DE POTENCIA CON EL SOMBREADO DE LAS CÉLULAS .....	27
3.5. TEST DE PUNTO CALIENTE.....	29
3.6. EFECTOS TÉRMICOS.....	33
3.7. TIPOS DE SHUNTS .....	34
3.8. MODELOS MATEMÁTICOS DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS .....	37
3.9. CONCLUSIÓN DEL ANÁLISIS.....	40

<b>4. Medida y modelado de células en el segundo cuadrante</b> .....	41
4.1. MEDIDA DE CÉLULAS EN EL SEGUNDO CUADRANTE .....	41
4.1.1. EQUIPOS UTILIZADOS EN EL MONTAJE .....	42
4.1.2. DESCRIPCIÓN DEL MONTAJE .....	43
4.1.3. PROCEDIMIENTO DE MEDIDA .....	44
4.1.4. RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	44
4.2. MODELADO EN SOFTWARE MATEMÁTICO .....	52
4.2.1. DESCRIPCIÓN DEL MODELO .....	52
4.2.2. DESARROLLO DEL PROGRAMA.....	54
4.2.2.1. MANUAL DEL USUARIO .....	54
4.2.2.2. MANUAL DEL PROGRAMADOR .....	64
4.3. RESUMEN GLOBAL DE LOS RESULTADOS.....	62
<b>5. Medida de células en el cuarto cuadrante</b> .....	66
5.1. DESCRIPCIÓN DEL MONTAJE .....	66
5.2. RESULTADOS OBTENIDOS .....	66
5.3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS .....	69
<b>6. Conclusiones</b> .....	70
<b>7. Bibliografía</b> .....	71
<b>8. Anexos</b> .....	72

# 1. Introducción

La energía solar fotovoltaica es cada día más importante debido a la mayor necesidad de energías limpias que permitan un desarrollo sostenible. Dicha energía transforma una parte importante de la radiación solar en energía eléctrica, de forma limpia y silenciosa, utilizando para ello los llamados módulos fotovoltaicos. La denominación “fotovoltaico” engloba al conjunto de las tecnologías que permiten la conversión directa de la luz solar en electricidad.

La energía solar fotovoltaica es la energía eléctrica obtenida a través de los fotones procedentes de la luz solar mediante células fotovoltaicas, por lo que se define como la energía que se obtiene directamente de los rayos del sol, gracias a los dispositivos fotovoltaicos llamados células fotoeléctricas. La generación de electricidad se produce gracias al llamado efecto fotovoltaico (FV), por el cual se genera electricidad a partir de la irradiancia incidente en la célula. Este fenómeno se produce cuando un material emite electrones al ser iluminado con radiación electromagnética. En el caso de las células FV, se utilizan diferentes materiales semiconductores que al excitarlos con luz sueltan electrones, los cuales son conducidos en una única dirección para la generación de corriente.

Como paso previo se introducirán a continuación de forma breve los conceptos físicos fundamentales que serán tratados en el presente proyecto.

## 1.1. LA CÉLULA FOTOVOLTAICA

La célula fotovoltaica es el dispositivo más importante para la conversión directa de la energía solar en energía eléctrica.

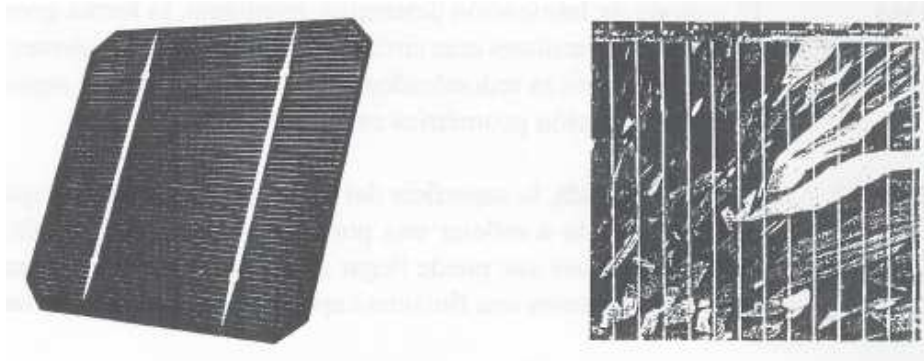
El fenómeno fotovoltaico fue descubierto en 1839 por el científico francés, Henri Becquerel. Las primeras celdas solares de selenio fueron desarrolladas en 1880, sin embargo, no fue sino hasta 1950 que se desarrollaron las celdas de silicio monocristalino que actualmente dominan la industria fotovoltaica.

Como ya se ha mencionado anteriormente la producción eléctrica está basada en el fenómeno físico denominado “efecto fotovoltaico”, que básicamente consiste en convertir la luz solar en energía eléctrica por medio de unos dispositivos semiconductores denominados células fotovoltaicas. Estas células están elaboradas a

base de silicio puro con adición de impurezas de ciertos elementos químicos (boro y fósforo).

En la actualidad se están desarrollando numerosos estudios para la mejora del rendimiento de los módulos, por lo que podrían tomar fuerza otros materiales como el Arseniuro de Galio (AsGa).

En la siguiente figura tenemos un ejemplo de una célula de silicio monocristalino (izquierda) y otra de silicio policristalino (derecha).



**Figura 1:** (a) Célula de silicio monocristalino. (b) Célula de silicio policristalino.

## 1.2. ESTRUCTURA DE LA CÉLULA

Las células que se analizan en el presente proyecto son tanto de silicio monocristalino como policristalino. Realmente el silicio es el material más utilizado en los módulos comerciales.

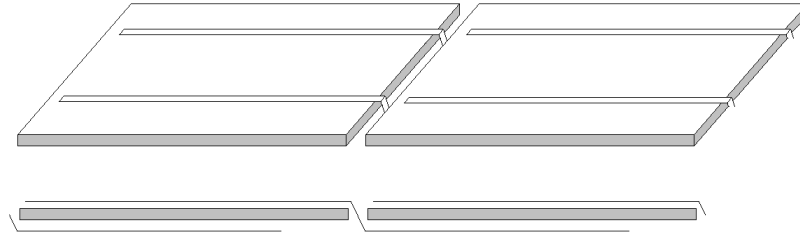
Los contactos eléctricos se realizan por medio de contactos de rejilla, perjudicando lo menos posible la enreda de fotones. La corriente recogida por la rejilla se lleva a dos buses o cintas colectoras, que llevan la corriente a la siguiente célula.



**Figura 2.** Cintas colectoras de una célula solar



En la figura que se muestra a continuación, se puede apreciar la conexión entre las diferentes células. La cara posterior de una célula se une con la cara frontal por medio de las dos cintas colectoras. Con esta conexión el semiconductor tipo n de una célula con la de tipo p de la siguiente.



**Figura 3:** Forma en la que están conectadas las células a través de las cintas metálicas

Empezando desde la parte superior, se tiene: Cristal templado, capa antireflectante, unión N, unión P, Conductor, EVA y Tedlar.



**Figura 4:** Partes de una célula solar

### 1.3. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE LAS CÉLULAS SOLARES.

En este apartado se va a hacer una reflexión breve del funcionamiento de las células solares para que se pueda entender con más claridad la energía fotovoltaica.

Como ya se ha mencionado anteriormente, las células solares están fabricadas con material semiconductor, la mayoría de las veces silicio, y puede ser de tipo monocristalino, policristalino o amorfo. Están basadas en una unión pn que hace posible la existencia de un campo eléctrico en la célula. El material semiconductor es la parte más importante de la célula.

En los semiconductores de las células solares, para crear la existencia de movimiento de electrones en una única dirección, se crea un campo eléctrico permanente entre ambas caras de la célula, a través de uniones pn. Es la unión de dos regiones del silicio tratadas químicamente de forma diferente.

Una de las regiones, la denominada n ha sido dopada, impurificada con fósforo. El fósforo tiene cinco electrones de valencia, uno más que el silicio, de modo que esta región muestra una afinidad por los electrones menor que el silicio. La otra región,

denominada p, ha sido dopada con boro. El boro tiene sólo tres electrones de valencia, por lo que su afinidad para captar electrones es mayor que la del silicio puro.

El campo eléctrico creado tiene la dirección del lado n al lado p, y su fuerza separa los pares electrón-hueco. Los huecos o ausencias de electrones, los dirige hacia el contacto del lado p, lo que provoca la extracción de electrones del metal que constituye el contacto.

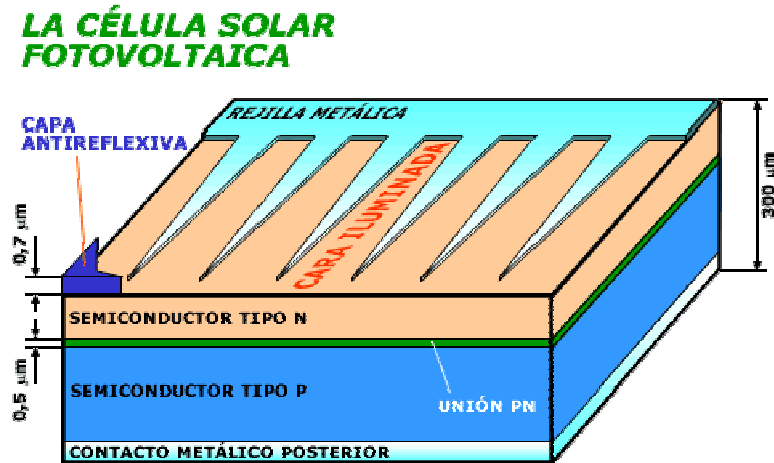


Figura5: Región pn de una célula solar

## 1.4. PARÁMETROS QUE DEFINEN EL FUNCIONAMIENTO DE UNA CÉLULA SOLAR

Para el presente proyecto, también será imprescindible el conocimiento del comportamiento eléctrico del módulo. La célula fotovoltaica ideal se define eléctricamente con la siguiente fórmula.

$$I_D = I_L - I_0 \left[ e^{\left( \frac{V}{mV_T} \right)} - 1 \right]$$

Donde

- $I_0$  es la corriente inversa de saturación del diodo
- $V_T$  es el potencial térmico ( $V_T = kT / q$ , siendo  $k$  la constante de Boltzman,  $T$  la temperatura en Kelvin y  $q$  la carga del electrón)
- $m$  el factor de idealidad del diodo. Toma valores entre 1 y 2.

La siguiente figura muestra la característica I-V de una célula solar. En ella se definen los parámetros siguientes:

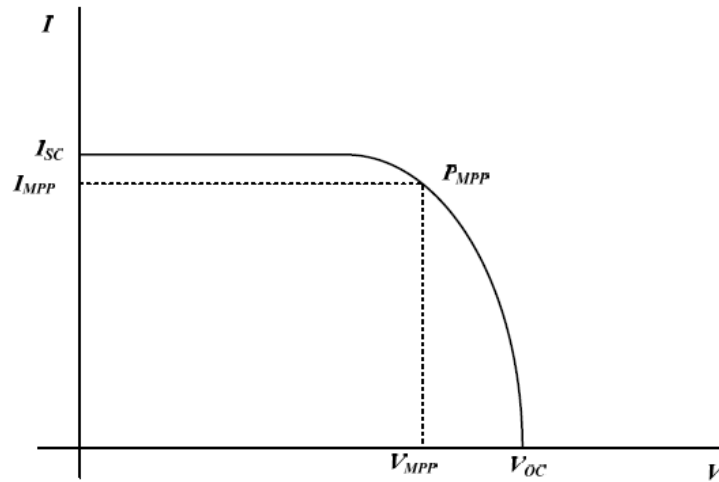


Figura 6: Curva característica I-V de una célula solar

- *Corriente de cortocircuito,  $I_{sc}$* . Es la corriente que se obtiene de la célula cuando la tensión en sus terminales es de cero voltios. Constituye la máxima corriente que puede obtenerse de una célula solar. Aumenta con la radiación incidente.

$$I_{sc} = I_L$$

- *Tensión de circuito abierto,  $V_{oc}$* . Es la tensión para la que los procesos de recombinación igualan a los de generación y por lo tanto, la corriente que se extrae de la célula es nula. Constituye la máxima tensión que puede extraerse de una célula solar. En células de silicio de tipo medio se sitúa en torno a 0,6 V, mientras que en las de GaAs en torno a 1V.
- *Potencia máxima,  $P_{MPP}$* . Para cada punto de la curva I-V, el producto de la corriente y la tensión representa la potencia de salida de la célula para cada condición de operación. El punto de máxima potencia (MPP) o de potencia máxima de la célula, se alcanza en un punto de las características donde el producto I-V es máximo ( $I_{MPP}, V_{MPP}$ ). Esto es,

$$P_{MPP} = I_{MPP} \cdot V_{MPP}$$

## 1.5. CIRCUITO EQUIVALENTE

El circuito que relaciona la corriente con el voltaje, la cual se expresa en el apartado anterior, describe analíticamente el comportamiento de la célula solar. Sin embargo, en la práctica es muy conveniente describir este mismo comportamiento en términos de elementos de un circuito.

El circuito de la figura (a), constituido por un diodo de unión p-n ideal de corriente de saturación  $I_0$  y factor de idealidad  $m$  y por un generador de corriente de valor  $I_L$ , tiene el mismo comportamiento eléctrico que la célula solar descrita por la ecuación descrita anteriormente.

En una célula solar real existen otros efectos, no considerados en la ecuación, que afectan al comportamiento externo de la misma. De estos efectos extrínsecos se puede considerar al menos dos: los de resistencia serie y los de fugas de corriente proporcionales a la tensión, que suelen caracterizarse por una resistencia en paralelo. Ambos efectos tienen un carácter distribuido en el dispositivo y no siempre pueden representarse por un parámetro de resistencia de valor constante. No obstante, desde un punto de vista práctico y funcional, la representación de ambos efectos por resistencias concentradas, como se indica en el circuito equivalente de la figura (b).

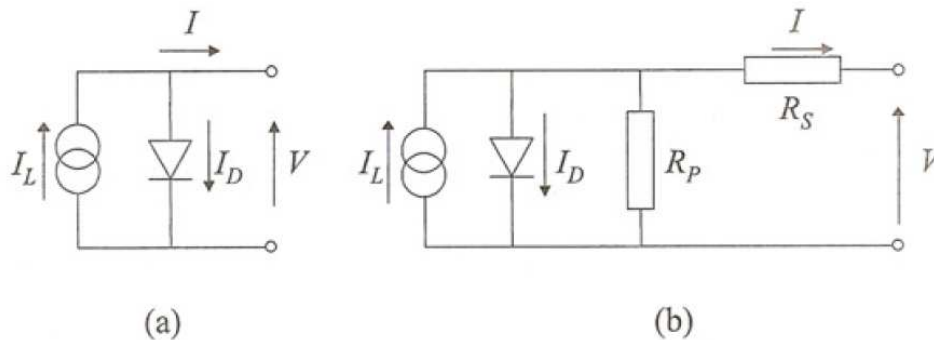


Figura 7: Circuitos equivalentes de una célula solar

La resistencia en paralelo tiene su influencia mayor en la región de las bajas tensiones, en la que la corriente que circula por el diodo del circuito equivalente es muy pequeña. El origen de esta resistencia puede deberse a fugas de corriente por la superficie de los bordes de la célula, a caminos de difusión a lo largo de dislocaciones o fronteras de grano (cuando existan), a pequeños cortocircuitos metálicos, etc. Dicha resistencia no tiene apenas importancia en funcionamiento normal y menos aún en funcionamiento bajo luz concentrada.

No ocurre lo mismo con la resistencia serie, que debe su origen a la resistencia de los contactos metálicos con el semiconductor, a la ofrecida por las propias capas semiconductoras y a la resistencia de los dedos metálicos que constituyen la rejilla o malla de metalización frontal. Teniendo en cuenta ambas resistencias, se modifica la ecuación de la célula de la siguiente manera:

$$I = I_L - I_0 \left[ \frac{e(V + IR_S)}{mkT} - 1 \right] - \frac{V + IR_S}{R_p}$$

## 1.6. SITUACIÓN ACTUAL DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

En Noviembre del 2010 se desarrolla un estudio de la situación de este tipo de energía en España que aporta los datos expresados a continuación.

El desarrollo de la energía solar antes del año 2000 era muy escaso, y su venta a la red estaba fomentada mediante primas que cobraran los productores por cada kWh inyectado a la red sobre el precio del mercado. En 2004 la energía fotovoltaica representaba una parte muy pequeña del conjunto de las renovables, que en total suponían aproximadamente el 6,5% del consumo de energía primaria. Desde el año 2000, y con la aprobación del Plan de Fomento de Energías Renovables en 1999, la instalación de placas fotovoltaicas ha ido creciendo un 40% cada año. El objetivo es llegar a los 143.000 kilovatios instalados en 2010, cubrir al menos el 12% del consumo de energía primaria mediante renovables.

Entre 2004 y 2007, el consumo de energía a partir de renovables se incrementó en un 10%. Sin embargo, en términos relativos debido al mayor consumo de energía en este periodo, sólo se ha conseguido pasar de una aportación de las renovables del 6.5% al 7%. Quedando por lo tanto un buen margen hasta el 12% planificado para 2010.

Durante el 2008 España se convirtió en el primer mercado fotovoltaico del mundo con más de 2.500 MW instalados, superando con ello a Alemania, tradicional líder internacional en implantación de la energía solar. Sin embargo, a diferencia de lo que ha ocurrido en Alemania, el crecimiento en España no se ha producido de un modo sostenible, si el Gobierno quería conectar 371 MW solares a la red en 2010, en la actualidad en España hay casi 10 veces más potencia instalada, puesto que se superan los 3.300 MW. Como resultado, el Gobierno ha recortado su política de ayudas el mes de Septiembre de 2010 al aprobar el Real Decreto 1578/2008.

El crecimiento actual de las instalaciones solares fotovoltaicas está limitado por la falta por dos motivos principales. El principal es la falta de financiación. Los bancos se lo piensan cada vez más antes de dar un crédito, ante la falta de liquidez. El segundo de los motivos es la especulación. Dada la congelación del mercado español,

que supuso durante 2008 la mitad del mercado fotovoltaico internacional, la caída de la demanda ha provocado una correspondiente caída de los precios del material. Parece ser que algunos instaladores con permiso para instalar están aguardando con la esperanza de que los precios continúen la caída.

## 2. Antecedentes y objetivos

### 2.1. ANTECEDENTES. PROBLEMAS DE PUNTO CALIENTE

En condiciones normales de funcionamiento cada célula fotovoltaica, al recibir la radiación del sol, genera una tensión que al sumarse con el resto de las células en serie proporciona la tensión de salida.

Sin embargo, es comprobado por experiencia que cuando una célula está averiada, sombreada parcial o totalmente o simplemente no coincide eléctricamente con el resto de las células a las que está conectada, se puede polarizar de forma inversa pasando a comportarse como una carga en vez de un generador, lo cual puede implicar una alta disipación de calor. Si dentro de un módulo una célula se encuentra sombreada y las otras no, o tiene un defecto de fabricación, se ve obligada a comportarse como una carga. En vez de producir energía, la consume, y comienza a disipar la energía generada por las demás. En esta condición de operación la célula puede presentar zonas donde eleva su temperatura con respecto a los puntos que la rodean. La disipación de calor puede causar un sobrecalentamiento y en casos severos, el derretimiento de la soldadura o el deterioro de la encapsulación. Si esta temperatura es notablemente alta, este problema puede llegar a dañar de forma irreversible el encapsulante. Estas zonas con temperatura notablemente superior a la del resto del módulo son denominadas puntos calientes.

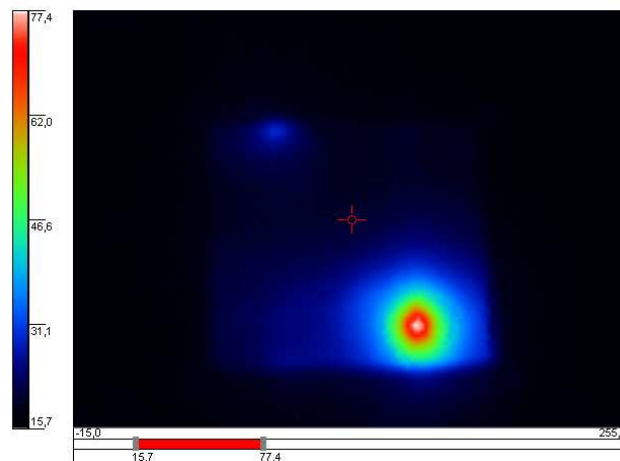
Son muchos los factores que determinan la aparición de puntos calientes en un módulo por lo que este fenómeno es un problema que afecta en la mayor parte de las instalaciones fotovoltaicas actuales.

La aparición de puntos calientes en una instalación fotovoltaica es un problema de gran importancia ya que afecta no sólo a la producción sino también a la vida útil de dicha instalación (produce un envejecimiento prematuro), lo cual resulta preocupante si se tiene en cuenta que las instalaciones están, normalmente, pensadas para funcionar correctamente durante más de 20 años. Actualmente existen varios ensayos para determinar la resistencia que presenta un módulo a la aparición de puntos calientes y se han desarrollado distintos métodos para evitar que este tipo de fenómenos puedan reducir la vida útil de los paneles, como por ejemplo diodos de paso. Sin embargo son muchos los factores que determinan la aparición de puntos calientes en un módulo, como el grado de uniformidad de la radiación que llega a los mismos, el tipo de conexión entre ellos, el seguimiento del punto de máxima potencia que se lleve a cabo, etc., por lo que estos ensayos no aseguran la integridad a largo plazo de los módulos fotovoltaicos. Resulta necesario, por tanto, llevar a cabo estudios

que permitan determinar y entender mejor las diferentes causas de aparición de puntos calientes y también desarrollar procedimientos y ensayos que sirvan para detectar de forma prematura la posible aparición de este tipo de problema.

Con los años, ha ido aumentando la utilización de energía fotovoltaica, siendo la dicha potencia bastante superior a la que hace años había instalada. El mercado fotovoltaico ha sufrido un notable incremento durante los últimos años lo cual ha llevado a un importante desarrollo de esta industria. Por todo esto, el problema tratado en este proyecto es de gran relevancia.

En la siguiente figura se puede apreciar una imagen termográfica de un célula solar en la cual existe un punto caliente. La mayor parte de la célula se encuentra a 31°C aproximadamente mientras un punto ha aumentado su temperatura ha 77.4°C. Este sería un ejemplo de cómo podemos identificar un punto caliente con una cámara termográfica, ya que la propiedad de estos puntos es que su temperatura es considerablemente superior a la del resto de la célula.



**Figura 9:** Imagen termográfica de una célula que muestra un punto caliente

Para analizar de forma exhaustiva la posible aparición de puntos calientes en células solares se va a realizar un estado del arte de toda la información obtenida referida a este campo. En ella se comprueban los diferentes comportamientos de las células ante condiciones de polarización inversa, las peores condiciones en las que puede encontrarse una célula para potenciar la aparición de estos sobrecalentamientos, así como los métodos para determinar dichas condiciones dependiendo de la célula ensayada.



## 2.2. OBJETIVOS DEL PFC

El objetivo fundamental de este proyecto se centra en realizar una revisión bibliográfica del problema de los puntos calientes en placas solares lo que lleva a realizar un análisis de su comportamiento en polarización inversa. Recopilar toda la información y estudios teóricos que se han realizado hasta el momento entorno a este tema.

Asimismo, se van a caracterizar un número importante de células fotovoltaicas en la zona de polarización inversa. Los datos obtenidos se ajustarán a un modelo matemático que permitirá realizar posteriores modelados con estas células. La idea es disponer de un número significativo de curvas I-V en el segundo cuadrante que permitan, por un lado, llevar a cabo un estudio sobre la tendencia y mecanismos de formación puntos calientes y también sobre las formas poder evitar si es posible la aparición de estos focos de calentamiento Por otro lado, servirá para comprobar la calidad de la información que aparece en la literatura disponible sobre el tema.

Para la desarrollar bien este fenómeno, primeramente se van a recopilar todos los artículos encontrados que analicen los siguientes temas:

- El problema de punto caliente, sus causas y sus consecuencias. Analizar qué provoca este fenómeno y qué se sabe de él en la actualidad.
- El comportamiento de las células solares en polarización inversa. Ver si siguen un patrón determinado dependiendo de cada tipo de célula o si por el contrario su comportamiento en esas circunstancias es totalmente aleatorio.
- Ver de qué manera influye el porcentaje de sombreado de una célula dentro de un módulo con la aparición de focos de disipación de calor.
- Comprobar si existen tests que analicen la posible aparición de puntos calientes en los módulos fotovoltaicos.
- Modelos matemáticos que describan este comportamiento y que calculen de forma matemática parámetros que puedan caracterizarlo.

Seguidamente se van a ensayar las células de un módulo solar fabricado por Yingli Solar obligándolas a trabajar en polarización inversa en el laboratorio de Energías Renovables de la Universidad Pública de Navarra. Comprobando de esta manera con ayuda de las curvas características obtenidas todo lo comentado sobre el comportamiento en polarización inversa en las publicaciones estudiadas.

A continuación se va a pasar a diseñar un programa matemático que sea capaz de modelizar las células ensayadas siguiendo uno de los modelos expuestos en la primera parte del presente proyecto.

También se van a ensayar las mismas células con voltajes positivos para comprobar su comportamiento en estas condiciones y ver la evolución de la temperatura en las células. Este apartado también se va a realizar en el laboratorio de Energías Renovables.

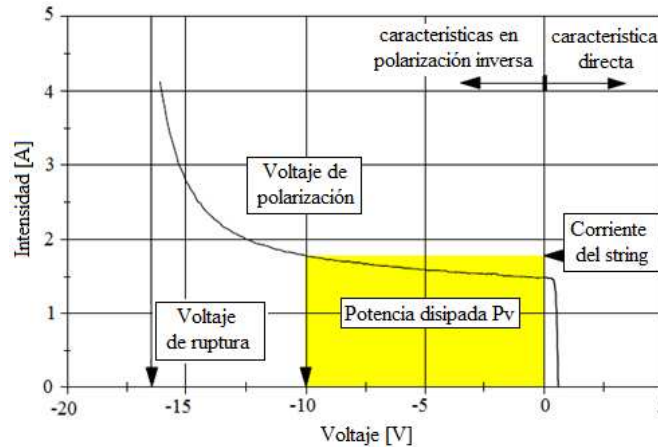
## 3. Estado del arte en puntos calientes

En este apartado se analiza la importancia del conocimiento de los puntos calientes en células solares, lo que incluye analizar el comportamiento de las mismas en polarización inversa. Esto lleva a determinar la relevancia del sombreado de una célula dentro de un módulo fotovoltaico. También se muestran los principales enfoques referidos a este tema y se revisan detenidamente los métodos más característicos.

### 3.1. CONCEPTO PUNTO CALIENTE

Todos los autores toman el concepto de punto caliente de la misma manera. Definen este término como la situación existente cuando una célula solar dentro de un módulo genera menos corriente que la corriente del string del módulo en el que se encuentra o del generador fotovoltaico. O lo que es lo mismo, cuando la corriente de operación de un módulo excede a la de cortocircuito de una célula sombreada o defectuosa como lo define la [WOH 05]. Esto ocurre cuando la célula está total o parcialmente sombreada, dañada o cuando no coinciden eléctricamente. La célula sombreada comienza a polarizarse inversamente y disipa energía en forma de calor. Si no se toman medidas como por ejemplo la integración de los diodos de by-pass en el circuito de interconexión de células de los módulos, una situación de sombra puede conducir a lo que se denomina célula dañada irreversiblemente donde su corriente se concentra con corrientes de fuga localmente altas. Esto provoca el punto focal de calentamiento con temperaturas mayores de 150°C, lo que está por encima de la temperatura crítica del encapsulante de la célula de módulos comerciales.

Por lo tanto, la aparición de punto caliente aparece cuando la célula está trabajando en polarización inversa. Pero antes de pasar a ver su comportamiento en dichas condiciones, la referencia [HER 97] ofrece un breve resumen del comportamiento de una célula en todo su rango lo cual se puede apreciar en la siguiente figura:



**Figura 10:** Curva característica I-V de una célula solar en todo su rango de voltaje

En la figura anterior se comprueba que una célula tiene un voltaje en circuito abierto de aproximadamente 0.6 V y por el contrario, en polarización inversa, o lo que es lo mismo el rango de voltaje es mucho más amplio como se observa en el segundo cuadrante que es la zona en la cual la célula trabaja en estas últimas condiciones. También se puede apreciar en esta ilustración que la tensión en inversa está limitada por una tensión de ruptura.

Para voltajes bajos dentro del segundo cuadrante, la corriente inversa se aproxima a una función lineal de tensión (comportamiento óhmico).

### 3.2. COMPORTAMIENTO DE CÉLULAS SOLARES EN POLARIZACIÓN INVERSA. PARÁMETROS DE CARACTERIZACIÓN

En las referencias [HER 97] y [HER 99], W. Hermann analizó dicho comportamiento llegando en ambas publicaciones a la conclusión de que las células solares en estas condiciones no tienen un comportamiento similar, sino que está dentro de un amplio rango de variación. Dentro de un mismo tipo de células cada una de ellas se puede comportar de manera diferente. Analiza como las células de un mismo tipo trabajando en estas condiciones de polarización tienen curvas características que están sujetas a una mayor o menor dispersión.

W.Hermann también afirma que la tensión de ruptura considerada en la imagen anterior se produce por una avalancha de la tensión con su correspondiente aumento de corriente que es producido por una avalancha térmica. Este último término, al referirse a un material semiconductor, significa según dicho autor que la corriente es muy concentrada a nivel local, causando un foco de punto caliente.

Las dos referencias mencionadas en este apartado, realizan una caracterización del comportamiento de las células en este rango de operación. Pero le dan enfoques diferentes definiendo para ello parámetros distintos en ambos casos.

En 1997 W.Hermann publica junto a W.Wiesner y W. Vaasen un artículo, la referencia [HER 97] en el cual estudia este comportamiento definiendo dos parámetros:

- Rango de corriente a -10 V
- Rango de voltaje de polarización

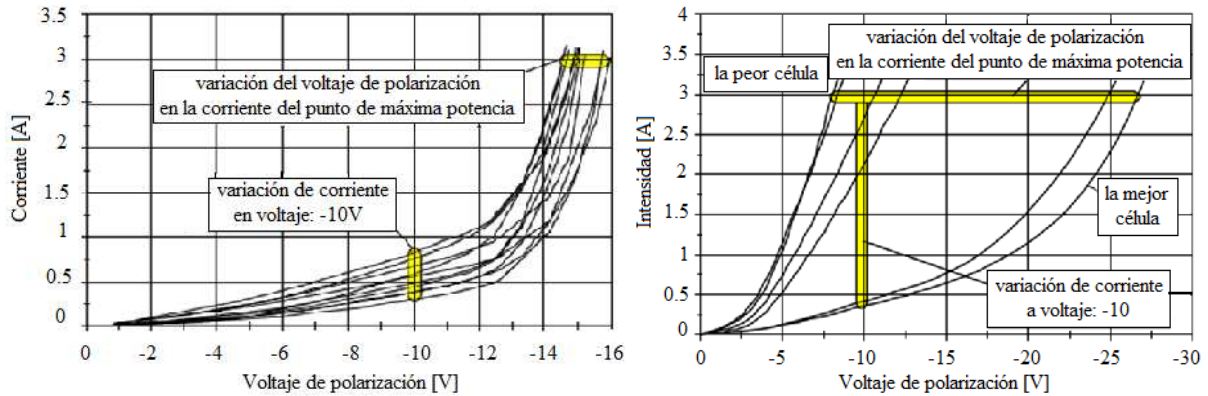
En esa misma época también se publica un artículo de M.Danner, K.Bücher , referencia [DAN 97] en el que además de corroborar el comportamiento no uniforme de las células en polarización el concepto de resistencia. En esta publicación se asegura que una baja resistencia en paralelo aumenta la corriente inversa de una célula y por lo tanto la pendiente de la curva I – V. A semeja la pendiente de dicha curva con el valor de la resistencia en paralelo. Y por el contrario, una alta resistencia en serie puede causar caídas de tensión, pero este efecto en la caracterización en polarización inversa es despreciable.

Unos años después este mismo autor publica con A.Adrian y W.Wiesner la referencia [DAN 97] en la que amplian el análisis y afirman que se necesitan tres parámetros, dos de ellos para caracterizar la célula eléctricamente y uno térmicamente. Incluyen el efecto térmico que consideran uno de los aspectos más importantes en la aparición de punto caliente.

- Caracterización eléctrica:
  - Curva característica I-V
  - Voltaje crítico
- Caracterización térmica:
  - Imágenes termográficas

Seguidamente se pasa a explicar los artículos para comprobar cómo ha variado la visión de este comportamiento y ver por qué se ha ampliado el número de parámetros elegidos para realizar una mejor caracterización de las células solares.

En 1997 se publica la referencia [HER 97] cuyos autores realizan un análisis de siete tipos de células para poder definir los parámetros característicos que ayuden a caracterizarlas. Las siguientes imágenes que componen la figura 11 muestran los conjuntos de medidas de las curvas características I-V de dos de los tipos estudiados, las células de silicio policristalino y monocristalino respectivamente.



**Figura11(a):** Células de silicio policristalino **Figura11(b):** Células de silicio monocristalino

El análisis realizado por el artículo de los resultados obtenidos se puede englobar en las conclusiones expuestas a continuación.

La primera conclusión que los autores establecen es que el comportamiento en polarización inversa de las células de un mismo tipo está sujeto a variaciones considerables como ya se ha dicho anteriormente. Esto afecta tanto a la pendiente de las curvas características en bajo voltaje de polarización como al valor de voltaje de avalancha, el cual se define a partir de ahora como voltaje de ruptura.

Observando las gráficas consideran que el voltaje de ruptura de las células de silicio policristalino está dentro del rango de 12 V y 20 V, mientras que para las compuestas por silicio monocristalino dichos voltajes pueden extenderse hasta los 30 V.

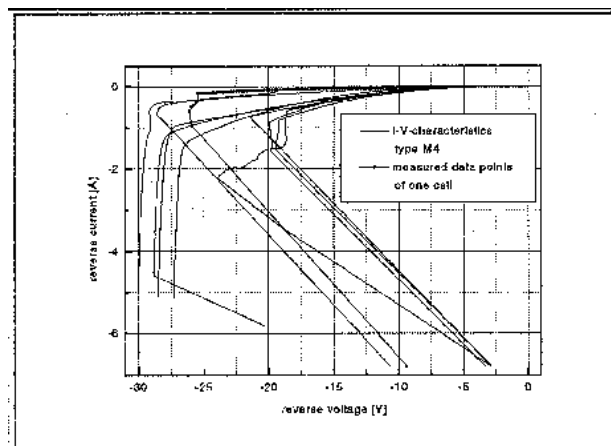
La pendiente de las curvas es ligeramente superior en el caso de las células de silicio policristalino, lo que indica una mayor componente de la corriente, debido a corrientes de fuga. Este fenómeno fue investigado con la ayuda de una cámara termográfica descubriendo que la estructura de las células solares no es homogénea y que la peor célula demuestra claramente picos de temperatura en dos puntos. Estos puntos, según los autores son probablemente debido al daño de la célula, el cual puede haber ocurrido durante la fabricación de la célula o durante la soldadura de las cintas de contacto. Obteniendo el punto más peligroso con una temperatura de 150°C en un voltaje de polarización de -10 V y una corriente de 3 A.

Con este análisis de lo obtenido experimentalmente, se dieron cuenta de que la célula que más posibilidades tiene de tener problema de puntos calientes dentro de un lote de células del mismo tipo se caracteriza por tener la mayor pendiente en polarización inversa de sus respectivas curvas características y a su vez el menor voltaje de ruptura.

Este análisis se concluye estableciendo que el comportamiento en polarización inversa de las células puede ser caracterizado con la ayuda de dos parámetros característicos:

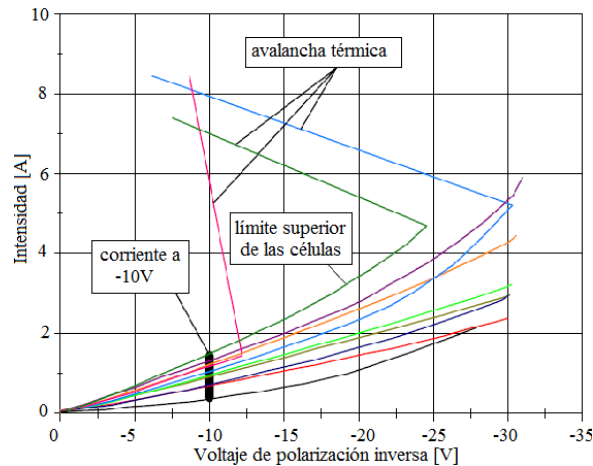
- **Rango de variación de la corriente** en un voltaje de polarización de -10 V, que es aproximadamente el máximo voltaje de polarización para un diodo de by-pass de 18 células por sub-string.
- **Rango de variación del voltaje de polarización** para una potencia máxima de corriente de una célula iluminada.

Con ayuda de la referencia [DAN 97] se puede ver otro tipo de curvas características, se muestra mediante la figura, en este caso domina la distribución térmica. La distribución en el 70% de las células estudiadas en esta publicación se produce dentro de un corto período de tiempo, no hay puntos experimentales entre el inicio de la ruptura y la terminación de la medida, resultando una línea recta entre ellos.



**Figura12:** Curvas características de células de silicio monocristalino tipo M4 en polarización inversa.

Después de dos años, se publica la referencia [DAN 97], en la cual considera posibles los dos tipos de curvas anteriormente vistas por otros autores. W.Hermann, uno de los autores de esta referencia y de la anteriormente analizada ([HER 99]), sigue corroborando que el comportamiento observado en estas condiciones de operación es muy diverso y para ello experimenta con 10 células de silicio monocristalino tipo Astro Power. Obteniendo el siguiente conjunto de curvas características.



**Figura13:** Conjunto de curvas características I-V de 10 células de silicio monocristalino tipo Astro Power

Como se puede apreciar en la figura, con el aumento de tensión inversa se produce la avalancha térmica que se indica mediante una avalancha de la tensión y el correspondiente aumento de la corriente. Lo cual son células más propensas a tener puntos calientes mucho antes que las demás ya que como se ha mencionado en los antecedentes del presente proyecto, una avalancha térmica de un material semiconductor significa que la corriente es muy concentrada a nivel local, causando un foco de punto caliente.

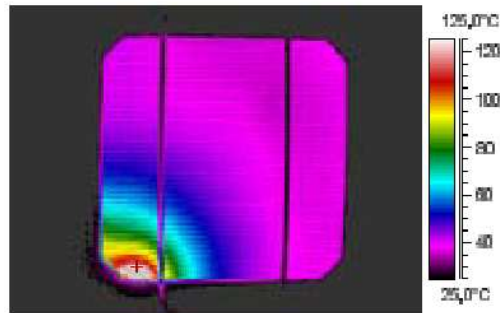
El estudio de esta referencia, se centra en identificar parámetros que ayuden a caracterizar las células en polarización inversa y propone estudiar tanto el comportamiento de operación eléctrico como térmico.

Para la caracterización eléctrica se investiga un lote de células que son las observadas en la figura anterior. Dichas curvas se midieron por medio de una fuente de alimentación electrónica. La medida del tiempo es de aproximadamente 5 segundos, de modo que se puede descuidar la aparición de puntos calientes. Después de observar las curvas obtenidas, aseguran que para dicha caracterización es necesario definir dos parámetros eléctricos.

- **Las propias curvas características I-V** debido a su gran dispersión
- **Tensión crítica inversa** en la cual se produce la avalancha térmica. Esta tensión se corresponde con la tensión más alta de avalancha de todo el lote de células. En la figura anterior se puede decir que esta tensión es de 12 V.

Para la caracterización térmica define como parámetro las **imágenes termográficas** de todas las células del lote a una tensión inversa constante de -10 V. Con las cuales se puede analizar dónde son las zonas más comunes de aparición de punto caliente. Las imágenes que obtienen hacen que los autores de este artículo aseguren que los bordes de las células son lugares propicios para la aparición de los focos de calor.



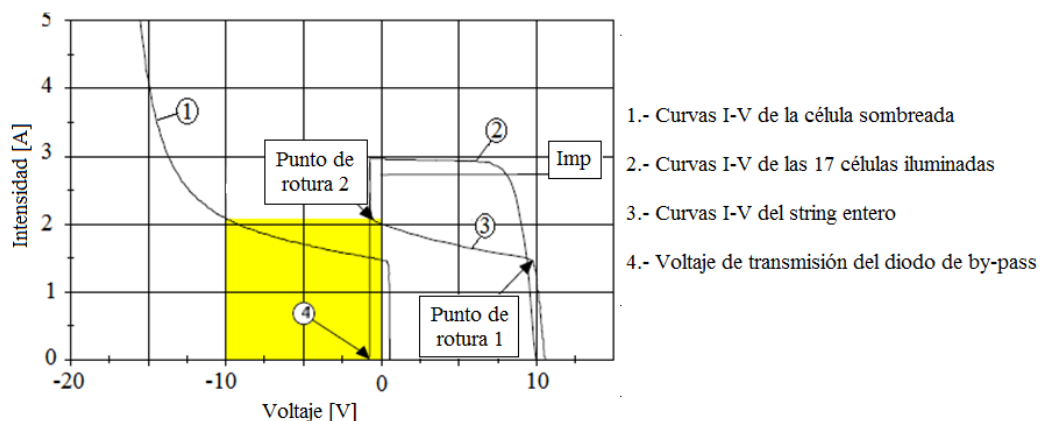


**Figura 14:** Imagen termográfica de una célula solar

Esta última perspectiva de la caracterización realmente engloba a la de años anteriores ya que con el parámetro de las curvas características y el voltaje crítico en inversa estás definiendo también los dos rangos con los que en un principio analizaba. Pero afina más e incluye las imágenes termográficas ya que realmente se está hablando de puntos calientes por lo que es bueno ver de manera gráfica el calentamiento de una célula y observar si es verdad que tiene un foco de disipación de energía y dónde se encuentra.

### 3.3. DIODOS

Para evitar la sobrecarga térmica y la formación de puntos calientes, se instalan en los módulos fotovoltaicos diodos de bloqueo. Esta medida limita la tensión de polarización de una célula sombreada y por lo tanto la potencia disipada. El principio de funcionamiento de un diodo by-pass se ilustra en la siguiente figura, en la que se ensaya un string de 18 células. Una de las células está parcialmente sombreada, mientras que 17 están totalmente iluminadas.



**Figura 15:** String de 18 células con una de ellas sombreada

La curva característica del string resulta de la variación de corriente desde 0A hasta la corriente de cortocircuito y de la adición de las tensiones asociadas a las curvas de las 17 iluminadas y de la sombreada. La curva en inversa de la célula sombreada empieza a mostrar un efecto en el string característico cuando la corriente

del string excede a la corriente de cortocircuito de esta célula. El string característico se rompe en el punto 1 y procede acorde con el curso de la curva inversa. Si el voltaje del string supera la tensión de transmisión del diodo de by-pass, el diodo comienza a conducir. Esto significa la limitación del voltaje asociada con una subida vertical de la curva del string a partir del punto de rotura 2.

En [HER 97] junto con otros autores afirman que el voltaje máximo en inversa de una célula sombreada es aproximadamente dado por la expresión:

$$(\text{númerocélulasenserie}) * 0.5 + (\text{voltajetransmisióndiodo})$$

Teniendo en cuenta un diodo de by-pass con 18 células en su string, lo cual es a menudo realizado en módulos comerciales, el voltaje de polarización máximo es aproximadamente -10V.

Esta misma publicación es la que define en 1997 dos parámetros característicos para una célula que como se ha comentado en el apartado anterior eran el rango de variación de la corriente en un voltaje de polarización de -10V y el rango de variación del voltaje de polarización para la corriente del punto de máxima potencia del módulo. Se ayuda de estos parámetros para relacionarlos con las células que debe haber por diodo para que el módulo esté protegido contra puntos calientes.

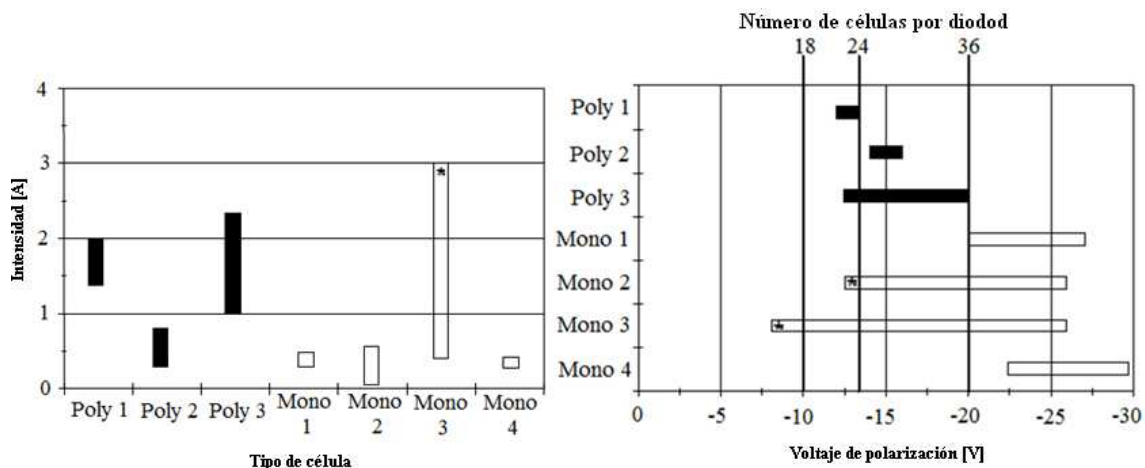


Figura 16 (a): Variación del rango de corriente

Figura 16 (b): Variación del rango de voltaje

Las dos figuras anteriores, muestran los dos parámetros mencionados de los siete tipos de células que analizaron para la realización de dicho artículo. En la segunda figura, el asterisco significa que es el voltaje crítico de cada tipo de células, en esa zona, la célula podría sufrir daños irreversibles. Por lo que observando esa misma figura, se puede concluir que sólo 18 células por diodo garantizan una protección contra punto caliente. Sin embargo, si se tiene 24 células por diodo, se puede ver en la gráfica como ya falla en cuatro de los tipos de células investigados.

Cabe señalar que el diodo de by-pass ya no tiene un efecto protector si las células han sido previamente dañadas.

### 3.4. DEPENDENCIA DE LA DISIPACIÓN DE POTENCIA CON EL SOMBREADO DE LAS CÉLULAS

Para determinar la energía que posiblemente se disipa en una sola célula parcialmente sombreada puede trazarse según la referencia [DAN 97] la caracterización inversa de las curvas características I-V de la célula afectada y la curva I-V del resto de las células aisladas en un gráfico. En la intersección de las curvas se obtiene la corriente de funcionamiento, la tensión y potencia disipada con un cierto nivel de sombra, que se supone, se utiliza un diodo by-pass ideal, que cambia a 0V.

La siguiente figura muestra el cálculo mínimo, máximo y medio de la disipación de potencia de las 10 células medidas de cada uno de los tipos escogidos en el caso del 100% de sombreado de una sola célula en un string aislado de 18 células, en comparación con la potencia máxima de las 17 células restantes.

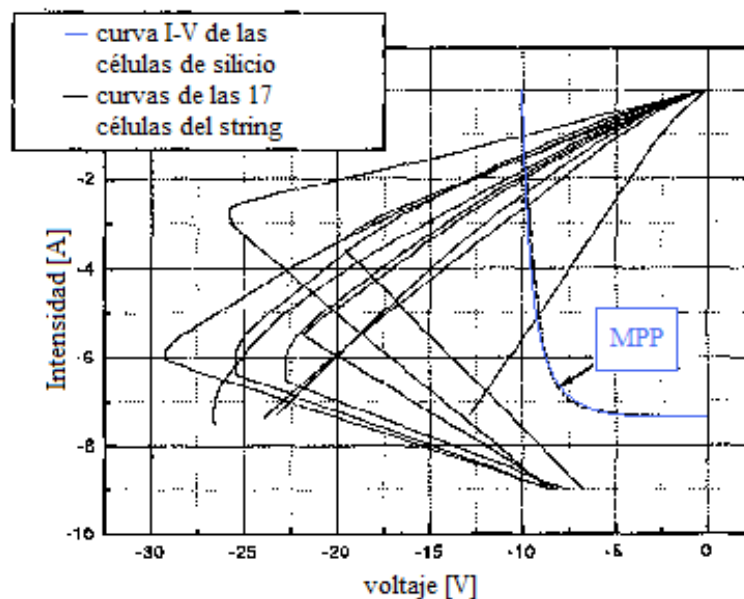


Figura 16: Curvas características en inversa de células de silicio

Las células solares pueden tener o alta resistencia en paralelo cuando la acción inversa es voltaje-limitado o baja resistencia en paralelo cuando es corriente-limitada. Cada uno de estos tipos puede sufrir problemas de punto caliente, pero de maneras totalmente diferentes. Se recuerda que la resistencia en paralelo se asemeja a la pendiente en bajo voltaje de polarización en inversa de las curvas características I-V.

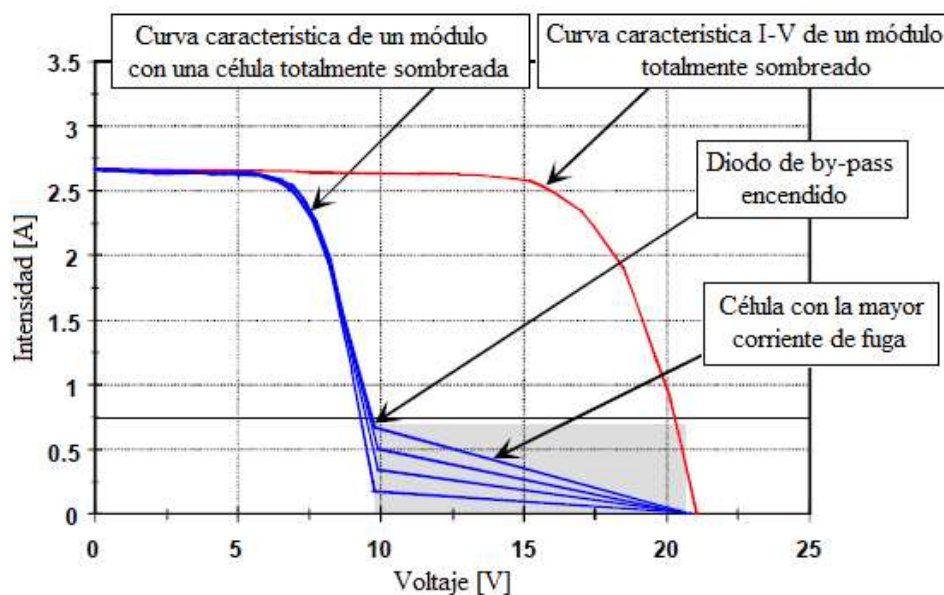
Las células con dicha resistencia baja tienen la peor condición a la aparición a punto caliente cuando toda la célula o gran parte está sombreada. Este caso ocurre cuando una gran cantidad de corriente fluye por un área pequeña, porque esto es un

fenómeno localizado. Este tipo de células tiene una alta probabilidad de funcionar a temperaturas excesivamente altas por lo menos en áreas localizadas en polarización inversa.

Por el contrario, la peor condición para las células con alta resistencia en paralelo se produce cuando una pequeña fracción de la célula está sombreada.

La cuestión técnica importante es cómo identificar la célula con la esta resistencia más baja y la que tiene la más alta. Si no hay diodo de by-pass o el diodo de by-pass es extraíble, las células con corrientes de fuga localizadas pueden ser identificadas por la polarización inversa del string de las células y utilizando una cámara de infrarrojos para observar los puntos caliente existentes. Si el circuito del módulo es accesible a la corriente que fluye a través de la célula sombreada, puede ser monitorizada directamente. Sin embargo, la mayoría de los módulos fotovoltaicos tienen diodos de by-pass y muchos de ellos no tienen diodos extraíbles o circuitos eléctricos accesibles. Por lo tanto, es necesario un método no invasivo que pueda ser utilizado en esos módulos.

El enfoque elegido en [WOH 05] está basado en la consideración de un conjunto de curvas características para un módulo con cada célula sombreada por turnos. Un ejemplo se presenta en la figura siguiente.



**Figura17:** Curvas características I-V de un módulo con diferentes células sombreadas totalmente

La figura anterior muestra el conjunto resultante de las curvas características I-V para un módulo muestra. La curva con la mayor corriente de fuga en el punto donde los diodos se encienden se tomó cuando la célula con la menor resistencia en paralelo estaba sombreada. La curva con la menor corriente de fuga en el punto donde el diodo se enciende se tomó cuando la célula con la mayor resistencia en paralelo estaba sombreada.

Este enfoque debe trabajar para identificar las células con alta y baja resistencia de paralelo con todos los módulos independientemente de la disipación de los diodos o los circuitos de la célula

Este punto de vista esa misma publicación analiza de la siguiente manera como determinar el peor caso de sombra para una célula solar. Comenta en dicho artículo que si el circuito de la célula está accesible la corriente a través de ella puede ser medida directamente, pero si por el contrario este circuito no está accesible, se toma un conjunto de curvas I-V de cada una de las células sombreadas a diferentes niveles por turnos como muestra la siguiente figura.

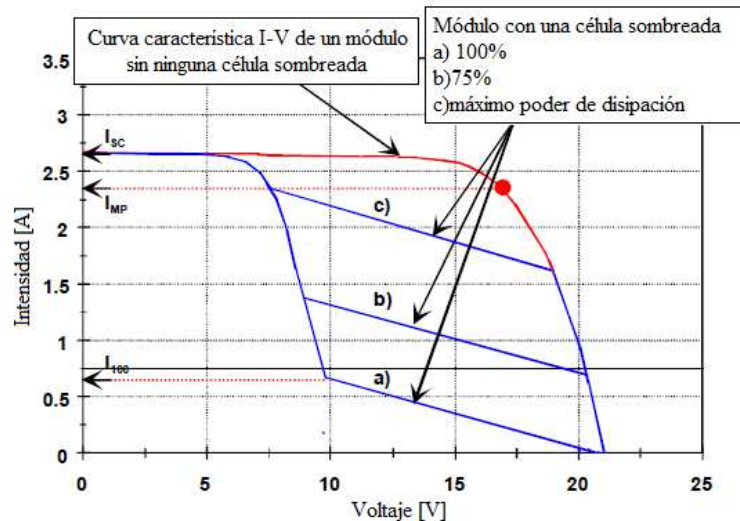


Figura18: Células con diferente porcentaje de sombreado

Para acabar la selección de las células con las peores condiciones de sombra, se elige en los dos casos la célula que tiene la corriente del punto del punto de máxima potencia del módulo sombreado más cercana a la corriente del punto de máxima potencia del módulo totalmente iluminado. Los test de punto caliente que se van a ver en el siguiente apartado deben ser conducidos a este nivel de sombra.

### 3.5. TEST DE PUNTO CALIENTE

En la definición de punto caliente se establece que una de las causas por las que se produce este fenómeno puede ser que una de las células esté parcial o totalmente sombreada. En la actualidad se realizan test de punto caliente para determinar si un módulo está adecuadamente protegido contra los puntos calientes. Para la realización de estos test, primeramente hay que realizar una selección para escoger las células a analizar y para ello, se exponen a continuación los métodos de selección más característicos. Estas células a ensayar son las que según el autor están en condiciones que propicien la aparición de punto caliente. Todos los métodos van a depender del sombreado de una de las células ya que ésta es una de las mayores causas que provoca estos focos de disipación de energía.

Con el fin de determinar si un módulo de silicio cristalino está adecuadamente protegido contra los puntos calientes existen dos normas:

- IEC 61215 “Módulos fotovoltaicos de silicio cristalino terrestre-Calificación de diseño y homologación”
- UL 1703 “UL para la seguridad de placa plana en módulos PV y paneles”

A continuación desarrollamos cada método para ver si sus correspondientes ventajas e inconvenientes.

#### - **IEC61215**

Uno de los requisitos técnicos de los módulos PV de calificación de acuerdo con la norma IEC 61215 es el cumplimiento de los criterios de aprobación de la resistencia a la aparición de punto caliente. En la primera edición (1993) de esta norma hay problemas tanto en la selección de las células que se van a ensayar como en el procedimiento utilizado para llevar a cabo el test.

El procedimiento de selección de células para realizar el test expuesto dentro de esta norma se puede llevar a cabo por uno de los siguientes métodos:

1. Exponer el módulo a una irradiancia estable de no menos de  $700 \text{ W/m}^2$  eligiendo las células más calientes usando un detector apropiado de temperatura.
2. Exponer el módulo bajo la misma irradiancia que el primero y sombrear completamente cada célula por turnos seleccionando la célula o una de las células que da la mayor disminución de la corriente de cortocircuito cuando está sombreada.

El primer método solo encontrará la célula que tiene la menor  $I_{dc}$ . Con el segundo método se puede encontrar la célula con la mayor resistencia en paralelo pero el problema es que no hay nada en este procedimiento que oriente las pruebas de laboratorio para verificar si hay células con zonas que puedan ser susceptibles a punto caliente. Por lo que este es el primer inconveniente que presenta este test.

Un segundo problema es el hecho de que muchos módulos tienen un diodo de by-pass que está siempre en el circuito. Con estos módulos, totalmente sombreada una célula no cambia la corriente de cortocircuito ya que uno de los diodos se enciende y conduce la corriente alrededor de la célula sombreada. En muchos módulos es posible extraer los circuitos por lo que este será el segundo inconveniente.

Este procedimiento implica un tiempo total de cinco horas en incrementos de treinta minutos en oscuridad.

- **UL 1703**

Determina el poder que se disipa en la célula ensayada. Es un test que funciona mejor para las células con alta resistencia en paralelo. Sobre todo es un procedimiento utilizado para proporcionar orientación sobre cómo muchas células se pueden proteger por el diodo con seguridad.

Para la selección de células permite también dos opciones. Uno de los procedimientos es método no invasivo que sólo trabajará con módulos sin diodos by-pass. El segundo es invasivo donde son ensayadas por lo menos 10 células al azar. El problema de este último es que al seleccionar células al azar puede que no se encuentre entre ellas la que realmente tenga más posibilidades de tener corrientes de fuga localizadas y provocar puntos calientes.

Este test que propone la norma UL necesita modificar el módulo (añadirle plomo adicional) y la integridad de los sistemas en el módulo de aislamiento puede no ser evaluada después del test de punto caliente.

El test propuesto por UL 1703 se lleva a cabo por 100 exposiciones de una hora cada una separadas por un periodo suficiente que permita a la célula enfriarse a una temperatura de unos 10°C aproximadamente. Es evidente, que es más probable identificar los problemas con este procedimiento que con el anterior de IEC ya que el tiempo es mayor, pero el inconveniente es que incrementa drásticamente el coste.

Realmente la duración de ensayo debe ser guiada por los resultados en pruebas anteriores. La experiencia indica que si una célula tiene corrientes de fuga localizadas debería fallar usualmente en el primer ciclo o por lo menos mostrar signos de degradación en la primera hora. Se piensa que las células con resistencias en paralelo bajas pueden ser probada en un corto plazo, o usando IEC 61215 cinco horas o quizás incluso acortando este tiempo si los datos indican que menos tiempo es suficiente para probar si falla este mecanismo. Por otro lado, las células con las resistencias en paralelo bastante altas requieren más tiempo que cinco horas, pero nadie ha determinado todavía ese tiempo.

En 1997, [HER 97] propone un nuevo método para mejorar el expuesto en la norma IEC 61215. Y en [WOH 05] sigue manteniendo este método mejorado pero con algunas pequeñas diferencias.

Como ya se ha comentado, con el procedimiento propuesto por la norma IEC, el peor caso de célula es determinado por la medición de la corriente de cortocircuito aunque también se suele realizar por la temperatura estabilizada en la célula sombreada. Al medir la corriente de cortocircuito, el test considera que la célula que causa el mayor decrecimiento de la corriente de cortocircuito es la peor célula.

La publicación realizada en 1997 [HER 97] considera que ese test no es adecuado para módulos que se componen de dos o más sub-strings, como es el caso de prácticamente todos los módulos comerciales. Y argumentan su afirmación



haciendo ver que la corriente de cortocircuito de los módulos de más de un sub-string no está influenciada por lo sombreada que esté una de las células de uno de los sub-string, como se puede apreciar en la figura anterior. Y por otro lado, añade además que el método basado en la medición de la temperatura estabilizada de la célula, cuesta mucho tiempo y tiene unos costes bastante elevados.

Debido a estos inconvenientes, W.Herrmann, W.Wiesner, W. Vaasen proponen un nuevo método desarrollado para determinar la peor célula la cual debe ser estudiada. Este método se caracteriza se caracteriza por dos apartados.

- Se calculan las curvas características I-V de un módulo totalmente iluminado y las curvas con una de las células sombreada escogida arbitrariamente. Como la curva en inversa del módulo en el segundo caso sigue la pendiente de correspondiente a la célula sombreada empezando desde voltaje de circuito abierto, la peor célula es la que se caracteriza por una mayor corriente del módulo en el punto de rotura. Para ilustrar esto, la siguiente figura muestra las curvas características de un módulo de 40 células con cuatro de ellas sombreadas por turnos.
- El siguiente paso consiste en hacer funcionar el módulo en un punto de carga fija por medio de una variable electrónica, por el que se establece la tensión ligeramente por encima del punto de rotura. La corriente del módulo en cada uno de los cuatro casos es medida en estas condiciones. La peor célula será la que tenga un valor mayor de esta corriente como se aprecia en la figura.

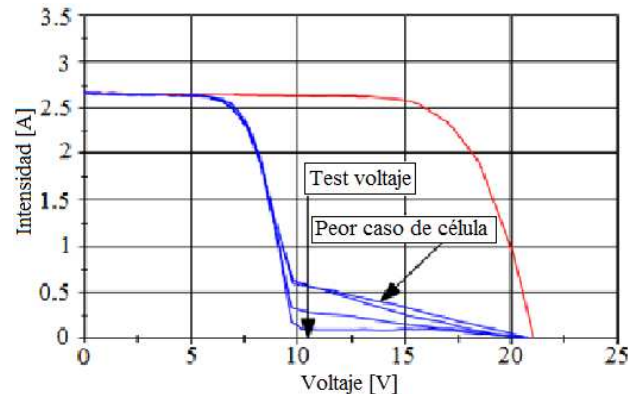


Figura 19: Elección de la peor célula para la aparición de punto caliente

La ventaja de este método mejorado es que puede ser aplicado de la misma manera para todos los tipos de conexiones de células dentro de un módulo (conexión en serie y paralelo de los sub-strings). Se trata de un método fiable para determinar el peor caso de célula en un corto tiempo. Consta de los siguientes pasos:

- determinar la peor célula del módulo
- establecer las peores condiciones para esa célula
- exposición a  $1000\text{W}/\text{m}^2$  para las condiciones establecidas en el paso anterior y para finalizar
- diagnóstico de las medidas para la detección de fallos en el módulo.



En 2005 se sigue manteniendo este nuevo razonamiento de considerar las corrientes en punto de ruptura y no las de cortocircuito. Y añade además que la peor célula es la que tiene la corriente medida en ese punto de carga más cercana a la corriente de máxima potencia del módulo sin sombrear. Pero los pasos a seguir son diferentes para la realización del test de punto caliente son diferentes ya que se centra más en las resistencias en paralelo de las células. En este caso los pasos son los siguientes:

- Identificación de células con alta y baja resistencia en paralelo mediante la medición de sus curvas características con cada célula sombreada por turnos.
- Selección de tres células de baja resistencia en paralelo y una con alta.
- Prestación de procedimientos para determinar la peor de las condiciones para cada una de las células seleccionadas.
- Ensayo de las células con baja resistencia en paralelo por una hora y de la célula que la tiene alta por más tiempo aunque todavía no está por definir.

### 3.6. EFECTOS TÉRMICOS

Los efectos térmicos son las consecuencias más significativas de la aparición de punto caliente. Por este motivo este apartado es necesariamente analizable.

Medidas efectivas de seguridad de condiciones de polarización inversa, ya que las temperaturas máximas de las células están directamente influenciadas por la curva característica I-V en polarización inversa. Los primeros estudios de aparición de puntos calientes y medición de las características I-V en polarización inversa mostraron que las células del mismo tipo y del mismo fabricante pueden presentar grandes variaciones cuando están trabajando en condiciones de operación inversa, presentando ya sea curvas muy planas (células tensión limitada, normalmente conocidas como de tipo A) o curvas muy empinadas (de corriente limitada, células tipo B). No es fácil encontrar documentación sobre el comportamiento comercial de las células fotovoltaicas en polarización inversa, a pesar de que ya ha sido sugerido que sería muy útil en la prevención de los efectos negativos causados por la formación de punto caliente, para mejorar la distribución de temperaturas a lo largo de la superficie celular, y para reducir el peligro de la descomposición térmica.

Las imágenes termográficas ha demostrado ser una herramienta útil para el estudio de la distribución de la temperatura de la superficie de las células fotovoltaicas durante varios años.

En las pruebas de resistencia a punto caliente, células fotovoltaicas o módulos son sometidos a condiciones extremas, ya sea por polarización inversa o sombra parcial, dando lugar a corrientes de fuga localizadas y temperaturas elevadas, que son fácilmente detectables y se asigna por medio de la termografía de infrarrojos convencionales.

## 3.7. TIPOS DE SHUNTS

Según [BRE03] el término shunt se refiere a cualquier posición en una célula solar que muestre en polarización inversa o en condiciones normales de operación una contribución adicional de corriente oscura por una corriente de difusión. En resumen llama shunt a la corriente de fuga que se produce en una célula cuando está trabajando en inversa y es obligada a disipar potencia.

Con ayuda de técnicas de infrarrojos, que han estado disponibles comercialmente para investigaciones de la célula solar desde el año 2000, permite llevar a cabo una investigación eficiente y sistemática de shunt en las células solares. Esta técnica detecta la temperatura superficial de modulación de las posiciones de corrientes de fuga localizadas, con una sensibilidad por debajo de  $100\mu K$  mediante la aplicación de una polarización impulsada a la célula en la oscuridad. A parte de su posición también se puede comprobar fácilmente si las shunt tienen curvas características lineales o no lineales. Sin embargo, conocer las posiciones de las shunts y estimar su influencia en las curvas características I-V en oscuridad de una célula es solo el primer paso en la comprensión del fenómeno shunt. El próximo paso es averiguar la naturaleza física de las shunts para evitarlas en un futuro. Por este motivo este tema del problema de puntos calientes hay que seguir tratándolo en proyectos próximos. Sería muy interesante conseguir evitar en el futuro la aparición de puntos calientes. Esto puede ser dado más exitosamente utilizando técnicas microscópicas y técnicas microanalíticas tales como:

- EBIC (haz de electrones de corriente analítica)
- EDX (análisis de rayos X de energía dispersiva)
- TEM (transmisión microscópica electrónica)
- Luz microscópica

Con ayuda de estas técnicas ha podido descubrir en su conjunto de célula nueve tipos diferentes de shunts, seis de los cuales están producidos por el proceso y tres por la recombinación fuerte que crece por los propios defectos del material que son los que se nombraran como shunts producidos por el material. A continuación se muestra un esquema de todos los tipos de shunts encontrados.

- Producidos por el proceso:
  - Shunts lineales en los bordes de la célula
  - Shunts no lineales en los bordes de la célula
  - Grietas y agujeros
  - Shunts tipo Schottky
  - Rasguños
  - Partículas de aluminio
- Producidos por el propio material:
  - Recombinación fuerte por defectos del cristal
  - Inclusiones macroscópicas de nitruro de silicio
  - Inversión de capas de precipitados.

Seguidamente se pasa a nombrar las características más importantes de cada uno de los tipos.

### Producidos por el proceso

Anteriormente a esta publicación se sospechaba que la mayoría de las shunts en las células solares de silicio monocristalino se originaron en los defectos del cristal tales como bordes de grano, precipitados o grietas. Sin embargo, las investigaciones que se realizan para el desarrollo de esta investigación han revelan que la mayoría de las shunts, son producidas por el proceso, mientras que las producidas por los defectos del material son más bien la excepción.

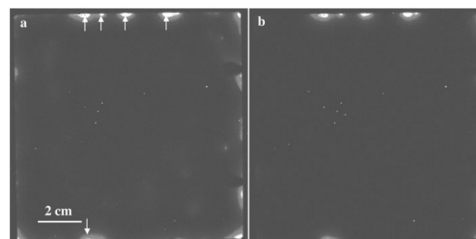
Realizando el estudio encuentran que la mayoría de las células de silicio ensayadas muestran shunts no lineales (curva característica I-V en polarización inversa es no lineal).

Con estas tecnologías, si una shunt muestra la misma señal térmica bajo las condiciones normales de operación y la polarización inversa, se trata de una característica lineal de la curva en inversa. En caso contrario se trata de una característica no lineal.

Se puede afirmar que las shunts lineales son más peligrosas por degradar el rendimiento de las células solares.

- Shunts lineales en los bordes de las células

Este fue el tipo de shunt predominante en las tecnologías anteriores de las células solares, pero con la mejora de las tecnologías para el aislamiento en los bordes aparecen en la actualidad con menos frecuencia. En la siguiente figura se pueden apreciar las shunts lineales, las cuales aparecen tanto en inversa como en directa.



**Figura 20:** Célula con shunts lineales en los bordes. (a)+0.5V, (b)-0.5V

- Shunts no lineales en los bordes de las células

Estas shunts se pueden interpretar como sitios de recombinación, que están actuando en el borde donde la unión pn atraviesa la superficie. Tienen factores de idealidad relativamente altos de 3 y mayores.

- Grietas y agujeros

Se demuestra que las grietas permiten una recombinación de la corriente en el borde no lineal, es un efecto similar a las shunts no lineales en el borde. Sin embargo, si ya existen antes del proceso o aparece durante el mismo, las fisuras pueden permitir unas graves shunts lineales (capa de emisor se estabiliza a través de ella).

- Shunt tipo Schottky

Se produce cuando la metalización puede atravesar el emisor, permitiendo finalmente un contacto directo tipo Schottky entre el metal y la base del semiconductor tipo. En apartados posteriores, se va a ver como existen puntos calientes por culpa de la soldadura utilizada en las cintas colectoras y se cree que ese tipo de puntos calientes entren en este apartado de la clasificación.

- Rasguños

Actúan como shunt de borde no lineal, ya que un rasguño trae la unión pn a la superficie con una alta densidad de centros de recombinación. Tiene una gran factor de idealidad.

- Partículas de aluminio

Contaminación por partículas en el apilado de las células

### **Producidos por el propio material**

- Recombinación fuerte por defectos del cristal

Un defecto en el cristal es fuertemente recombinativo, su corriente de recombinación puede llegar a ser lo suficientemente fuerte para actuar como una shunt. Este tipo de shunts también son encontrados en cristales de poca calidad.

- Inclusiones macroscópicas de nitruro de silicio

De vez en cuando, el mosde de material de silicio policristalino contiene inclusiones macroscópicas que con las técnicas utilizadas son identificadas como nitruro de silicio amorfo que contiene partículas de nitruro de silicio cristalino. Es un tipo de shunt no lineal.

- Inversión de capas de precipitados.

Inversión en este caso significa una transformación local de material de silicio de tipo p, causado por la presencia de cargas positivas fijas en el correspondiente borde de la célula.

### 3.8. MODELOS MATEMÁTICOS DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS

Hay varias ecuaciones propuestas en la literatura para simular el comportamiento de las células fotovoltaicas en polarización inversa. La mayoría de ellas provienen de la ecuación convencional I-V modificada de alguna manera para introducir los efectos de avalancha. A continuación se expone un resumen de las contribuciones principales en orden cronológico.

- Hartman [10]

Uso de la ecuación: 
$$I = \frac{[I_L(T, E) + I_D(V, T)]}{1 - (V/V_b)^n}$$

donde  $V_b$  es el voltaje de ruptura, considerado constante, n es el exponente de Miller ( $3 < n < 6$ ),  $I_L(T, E)$  es la foto corriente, depende de la temperatura e irradiancia,  $I_D(V, T)$  es la corriente oscura.

- En 1982 Spirito y Abergamo hicieron una distinción entre las células de tipo A, dominadas en la polarización inversa por la multiplicación de avalancha, y la de tipo B, dominadas por los efectos de la resistencia en paralelo en polarización inversa.

Exponen la siguiente ecuación de la polarización inversa para las células de tipo A:

$$I = \left( I_{SC} - I_0 \left( \exp \frac{V}{mV_t} - 1 \right) \right) M(V) \quad \text{con} \quad M = \frac{1}{(1 - (|V|/V_b)^n)}$$

donde  $I_{SC}$ ,  $I_0$ ,  $m$  y  $V_t$  tienen su significado habitual,  $V_b$  es la tensión de ruptura y  $n$  es el exponente de Miller.

En el caso de las células tipo B plantean esta otra ecuación:

$$I = I_{SC} - I_0 \left( \exp \frac{V}{mV_t} - 1 \right) - \frac{V}{R_{SH}}$$

donde  $R_{SH}$  es la resistencia en paralelo.

Esta clasificación entre los tipos A y B, de caracterización inversa de las células fotovoltaicas es la misma que aprobó las normas internacionales IEC 61215 e IEC 61646.

- Años más tarde, en 1986 López Pineda hace una distinción entre tres tipos de caracterización inversa para la curva I-V, dependiendo de si el efecto principal es una resistencia en paralelo baja (lo que denomina como curvas tipo I y tipo II) o multiplicación de avalancha (curvas de tipo III). Las diferencias entre los tres tipos de caracterización inversa se pueden apreciar en la siguiente figura.

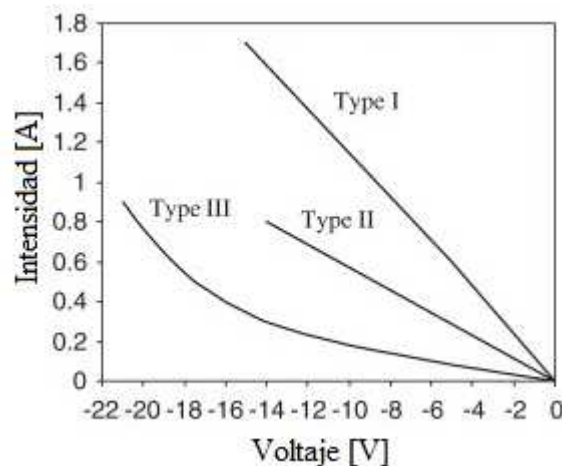


Figura 21: Tipos de células I, II, III.

La ecuación que propone este autor es similar a la de Abergamo, pero con una única fórmula para todas.

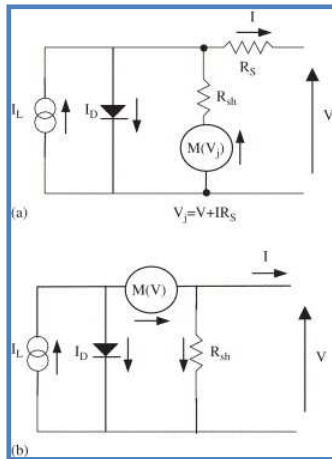
$$I = \left( I_{SC} - I_0 \left( \exp \frac{V}{mV_t} - 1 \right) \right) M(V) - \frac{V}{R_{SH}}$$

Donde  $M(V)$  es la misma expresión que en la ecuación propuesta por Abergamo con la condición de que si  $V > 0 \Rightarrow M(V) = 1$ , si  $V < 0 \Rightarrow M(V) > 1$  y si  $V = V_b$  el coeficiente de multiplicación  $M(V)$  es infinito.

- Bishop en 1988 propone una ecuación en la que se expresa la interrupción de la avalancha como un factor de multiplicación no lineal que afecta al término de la resistencia en paralelo en el modelo de una exponencial de la curva de caracterización I-V:

$$I = I_L - I_0 \left( \exp \frac{V + IR_s}{mV_t} - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_{SH}} \left( 1 + a \left( 1 - \frac{V + IR_s}{V_b} \right)^{-n} \right)$$

donde  $V_b$  es el voltaje de ruptura, y  $a$  y  $n$  son parámetros de ajuste.



La principal diferencia entre el enfoque de Bishop y el resto de autores es que Bishop considera que las componentes de la corriente afectadas por la multiplicación de avalanchas son los que participan en el término de  $R_{SH}$ .

Figura 22: Enfoques de los modelos matemáticos

- En 2005 M.C. Alonso García y J.M. Ruíz diseñan un modelo diferente. Dicho modelo es el que se va a utilizar para el apartado de modelización con el que se desarrollará con un software matemático.

$$I = \frac{I_N}{1 - K_e} = \frac{I_N}{1 - \exp\left\{B_e \left(1 - \sqrt{(\phi_t - V_b)/(\phi_t - V)}\right)\right\}}$$

$$I_N = a + bV + cV^2 \equiv I_{SC} - G_p V + cV^2 \quad (V \leq 0)$$

donde  $k_e$  es el coeficiente de multiplicación (para electrones),  $B_e$  es un parámetro adimensional cuasi-constante con valor  $\sim 3$ ,  $V_b$  es la tensión de ruptura,  $\phi_t$  es la conexión integrada de voltaje ( $\phi_t = 0.85V$ ).

En el apartado de modelización se describe con más detalle y se expone cómo se calculan los diferentes parámetros.

## 3.9. CONCLUSIÓN DEL ANÁLISIS

Tras el estado del arte sobre los distintos métodos y enfoques en el campo de los puntos calientes en las células solares, en este apartado se muestra una reflexión global de todo ello.

- En primer lugar lo que realmente se sabe con rotundidad es que es esencial saber el comportamiento en polarización inversa de las células solares para poder realizar análisis de puntos calientes. Todos los autores sin excepción llegan a la conclusión de que los fabricantes deberían dar más información sobre este comportamiento.
- El comportamiento en polarización inversa de las células no es homogéneo por lo que necesita de más investigación.
- Los tests de punto caliente que proporcionan las normas IEC 61215 y UL 1703 presentan diferentes inconvenientes. El principal es que el primero no es adecuado para módulos con dos o más sub-strings y por ello, se ha realizado un nuevo método que consiste en una modificación del propuesto por la IEC 61215. Lo esencial de dicho modelo es que la corriente que se toma para calcular la peor célula elegida sea la del punto de ruptura de la curva característica del módulo con esa célula sombreada.
- Los parámetros característicos de los diferentes tipos de células en condiciones de operación inversa son sus curvas características I-V, el voltaje crítico considerado para cada tipo de células y sus respectivas imágenes termográficas.

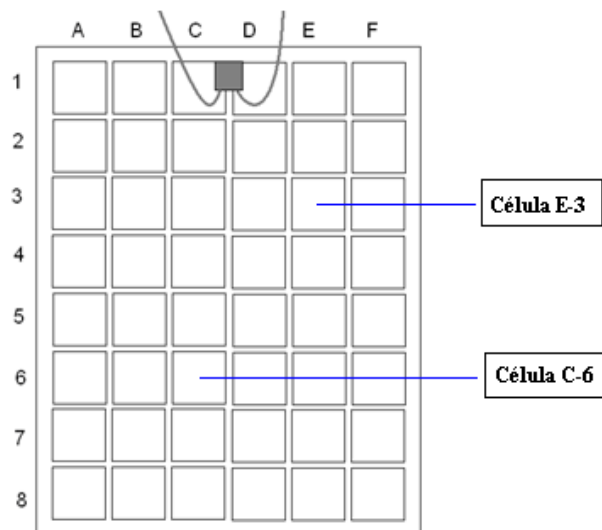


## 4. Medida y modelado de células en el segundo cuadrante

### 4.1. MEDIDA DE CÉLULAS EN EL SEGUNDO CUADRANTE

Para la realización de este estudio se ha utilizado un módulo suministrado por Acciona de la marca Yingli Solar (YS). El módulo está formado por 48 células (6 x 8 células) de silicio policristalino conectadas en serie en grupos de 3 strings.

Es necesario utilizar una nomenclatura para nombrar a las diferentes células del módulo y así comentarlas y analizarlas con facilidad. Para localizar cada célula se han identificado las células de manera que las columnas se nombran de la A a la F y las filas de 1 a 8. A continuación se muestra un ejemplo.



**Figura 23:** Nomenclatura de las células del módulo elegido

A partir de este momento es así como se va a nombrar a todas las células ensayadas.

#### 4.1.1. EQUIPOS UTILIZADOS EN EL MONTAJE

**Fuente de alimentación:** Necesaria para introducir tensión a las células y obligarlas a trabajar en polarización inversa.

**Watímetro:** Para medir con exactitud las tensiones y las corrientes que pasan por las células para poder medir experimentalmente la curva I-V.

**Cámara Termográfica:** Imprescindible para analizar la temperatura en todas las partes de una misma célula. E ir observando la evolución térmica de todos los puntos de dichas células a lo largo de sus correspondientes curvas I-V en el segundo cuadrante. Con ayuda de la esta cámara se puede conocer con exactitud y precisión los puntos más calientes que a su vez son los que queremos ver en este proyecto. La cámara es una fluke propiedad de la UPNA (Dpto. electrónica).

**Polímetro o Multímetro:** Necesario en todo trabajo electrónico o eléctrico para medir en según que situaciones diversas variables como por ejemplo Tensión, Intensidad, Resistencia, etc.

**Material del Laboratorio de Energías Renovables:** Se va a trabajar en este laboratorio por lo que el material que vaya haciendo falta será facilitado por dicho laboratorio.



Figura 24 (a): Cámara Fluke

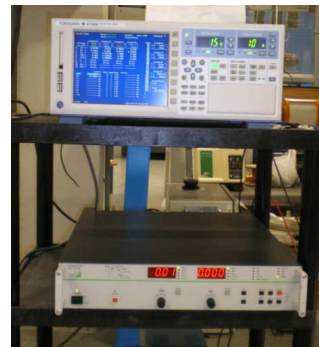
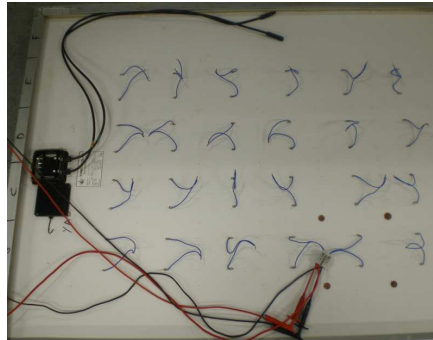


Figura 24 (b): Conjunto de watímetro arriba y fuente de alimentación abajo.

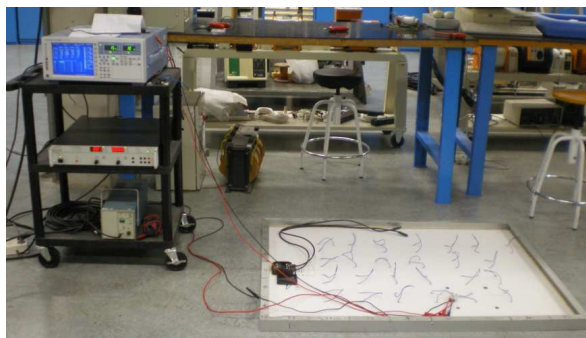
#### 4.1.2. DESCRIPCIÓN DEL MONTAJE

Primeramente se suelda un cable en cada una de las cintas colectoras que contienen todas las células solares como se aprecia en la siguiente imagen para que podamos así introducirles tensión con ayuda de una fuente de alimentación y poder medir de esos mismos cables la tensión y la corriente. En la siguiente figura se muestran los cables soldados a las cintas y las pinzas del watímetro y de la alimentación enganchados a los cables por medio de una regleta.



**Figura 25:** Módulo con las soldaduras ya hechas

En el ensayo de las células se va a obligar a que trabajen en polarización inversa introduciéndoles tensión negativa. La cara de la célula que está expuesta al sol cuando es utilizada en iluminación es el lado negativo y por el contrario, la cara posterior de la célula es el positivo. Por este motivo la pinza positiva de la fuente de alimentación se conecta con el lado frontal de la célula a experimentar y la pinza negativa con el lado posterior. Las pinzas del watímetro utilizado se conectan de la misma manera que la fuente de alimentación, sabiendo de antemano que la tensión que nos marca es realmente negativa. Las siguientes imágenes muestran el montaje realizado.



**Figura 26:** Montaje para la medición de las curvas características

### 4.1.3. PROCEDIMIENTO DE MEDIDA

Con ayuda del montaje anteriormente explicado, se pasa a la toma de medidas de cada una de las células del módulo YL170.

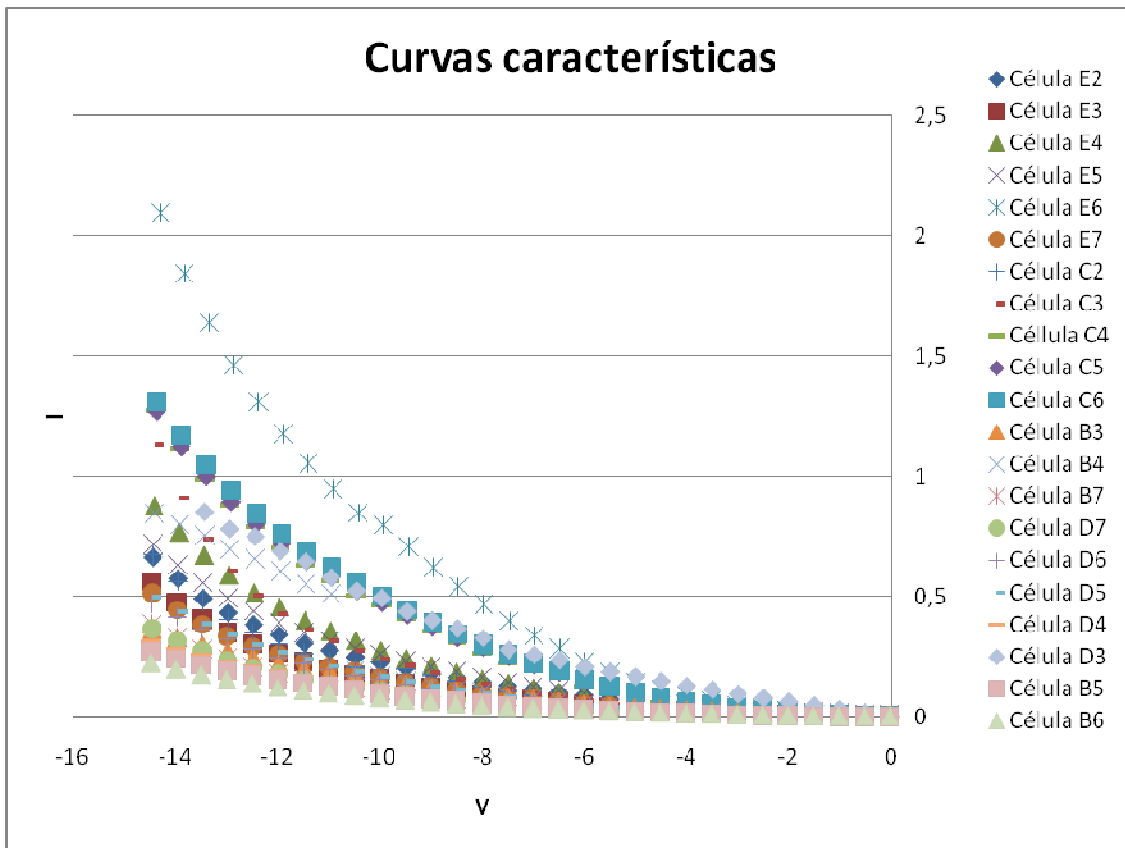
Se inicia introduciendo a la célula 0V y subiéndole el valor en inversa poco a poco. Se apunta la medida cada 0.5V para poder conseguir las curvas características lo más exactas posible. Al llegar a 3V se espera unos cuatro minutos dejando que la célula trabaje en ese tiempo a esa tensión constante. Pasado ese tiempo se realiza con ayuda de la cámara termográfica Fluke una imagen para apreciar si se ha calentado o no la célula y si es así si lo ha hecho uniformemente o por el contrario se ven focos de calor que pueden llegar a ser puntos calientes. Al tomar la imagen se vuelve a subir poco a poco la tensión a 6V en inversa y se vuelve a repetir el proceso para tener otra imagen termográfica con esta tensión. A continuación se vuelve a realizar lo mismo hasta 10V con su respectiva imagen termográfica y acabando en 14.5 V.

Y este proceso se realiza para todas las células que se quieren medir.

### 4.1.4. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Los datos experimentales obtenidos de las células con el procedimiento anteriormente explicado, se encuentran reflejados en el Anexo A. En él se pueden ver las tablas que engloban todos los datos medidos en el vatímetro y a su lado sus respectivas curvas características I-V que definen dichos puntos. También se pueden apreciar las imágenes termográficas sacadas a -10V y a -14.5V. Se muestra una ficha para cada célula en la que se puede ver un breve comentario de la aparición de los puntos calientes.

Para poder analizar bien los resultados obtenidos y poder sacar conclusiones, es necesario compararlos entre ellos. Tanto sus curvas como sus imágenes, por lo que a continuación se presenta una gráfica en la cual se muestran todas las curvas características juntas.



Con ayuda de estas curvas, se puede apreciar claramente la dispersión del comportamiento en inversa. Se observa como la potencia disipada bajo un voltaje de -10 V varía entre 30.36 W para E6 y 3.25 W para el caso de la célula B6.

Como se puede apreciar claramente, la célula E6 muestra una mayor pendiente en polarización inversa que el resto de las células, sus corrientes en los voltajes de polarización inversa son las mayores de todas. En términos de resistencias se puede afirmar que es la curva que mayor resistencia en paralelo demuestra, ya que como se ha dicho a lo largo del presente proyecto, dicha resistencia viene representada por la pendiente de la curva característica en voltajes de polarización inversa.

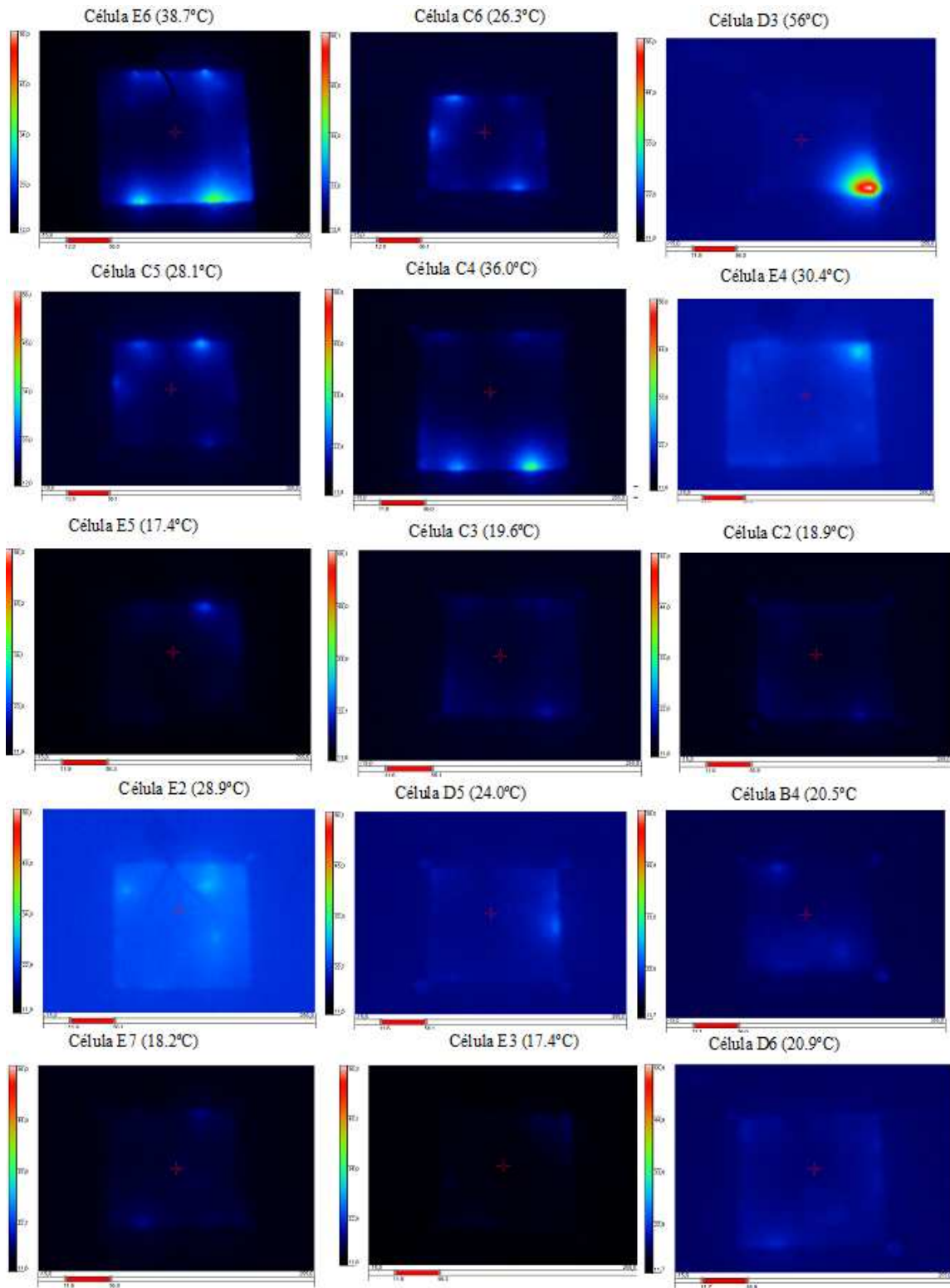
El resto de células como se puede observar en la figura tienen pendientes en voltajes de polarización bajos menores que la E6, son curvas más planas. Exceptuando la célula D3 que cabe mencionar que una pequeña porción del Tedlar en esta célula tiene un defecto, una especie de burbuja. Por este motivo comienza con una pendiente mayor y se calienta como se va a ver seguidamente la más rápida. Y aunque acabe elevando su temperatura menos que las demás entra en avalancha térmica a los -13.5V. Se considera como una corriente localizada en un área muy pequeña.

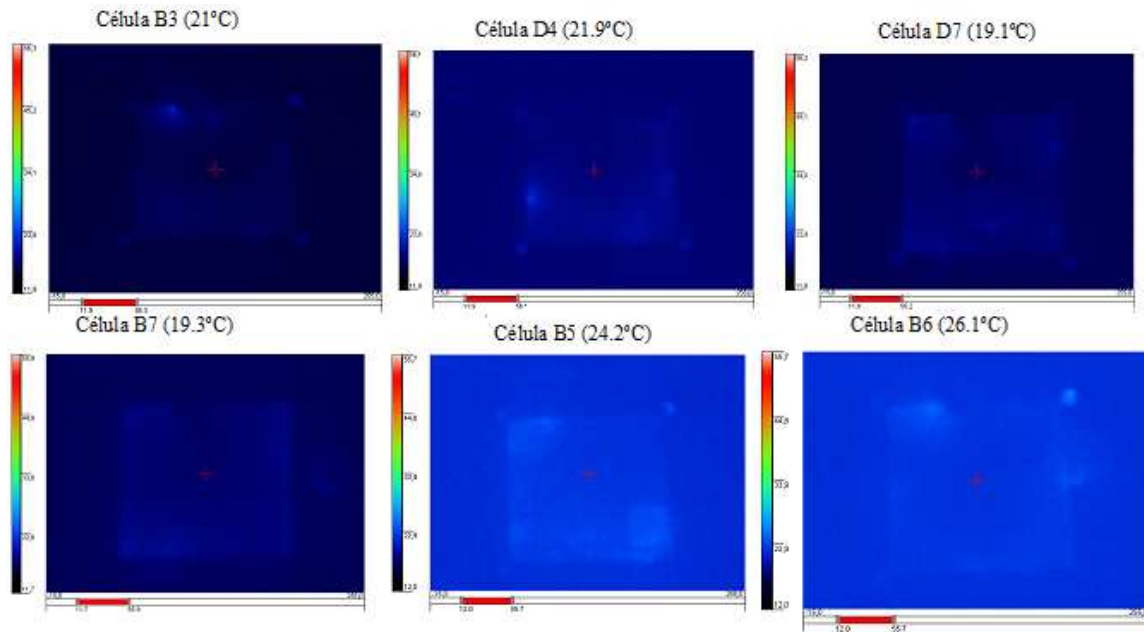
Las células B5, B6 y B3 son las más planas, se puede considerar que son las que menor resistencia en paralelo tienen, lo cual se podrá analizar con el programa de modelado realizado. Dicho programa como se va a ver más adelante, calcula el valor de la corriente de cortocircuito, del voltaje de ruptura y de la conductancia en paralelo.

Seguidamente se ilustran las imágenes térmicas con la misma escala y en el orden decreciente en el que se encuentran sus curvas características. Se van a coger los dos mismo puntos que anteriormente.

Se comienza con las imágenes a -10V. Con la escala puesta a continuación para todas ellas.







Las imágenes como ya se ha dicho, están ordenadas por orden de la corriente en voltaje de polarización inversa constante de -10V. Se puede observar como las primeras imágenes demuestran aparición de focos de calor más intensos que el resto. Y que la célula D3 aunque no es por la que más corriente circula muestra un máximo de temperatura de 56°C.

Las cinco imágenes termográficas son las que muestran mayor temperatura y observando las curvas características son las que tienen una pendiente más pronunciada. La célula D3 tiene un punto localizado más pronunciado con respecto a los demás porque en esa célula se puede observar un defecto en el Tedlar, y por lo mismo es supuesto que por ese punto existe una disipación de energía más localizada.

En el resto de células sí que comienzan a aparecer puntos calientes, pero al poner la misma escala en todas las imágenes se puede ver como sus temperaturas no son tan altas y se encuentran en torno a los 25 °C.

A continuación, una vez analizadas las imágenes a -10V y comprobada la aparición de algunos puntos caliente se observan las imágenes a -14.5V para ver si realmente esos focos de calor iniciales siguen calentándose y dando lugar a peligrosos puntos calientes. Así poder sacar de esta manera si existen relaciones entre las curvas características y la aparición de focos de calor.

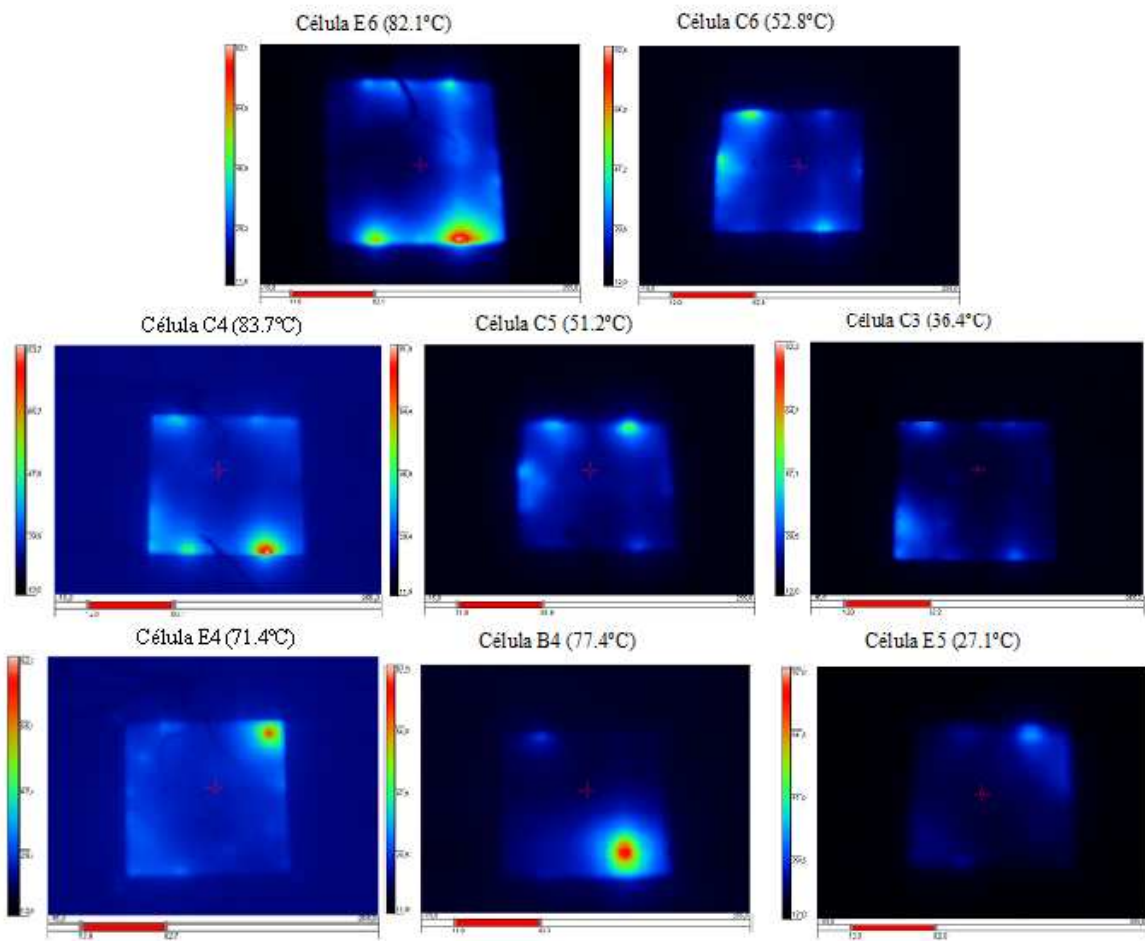
En este punto las curvas características no siguen exactamente el mismo orden que tienen a -10V. La célula E6 sí que sigue siendo y con diferencia la curva por la que más intensidad circula, y además de eso es la célula que más temperatura ha alcanzado exceptuando la célula D3. Al aumentar la temperatura a -13.5V dicha célula entró en avalancha térmica y su tensión bajó instantáneamente a 4V. Pero como hay planes de futuro para seguir ensayando este módulo en iluminación, no se quiso

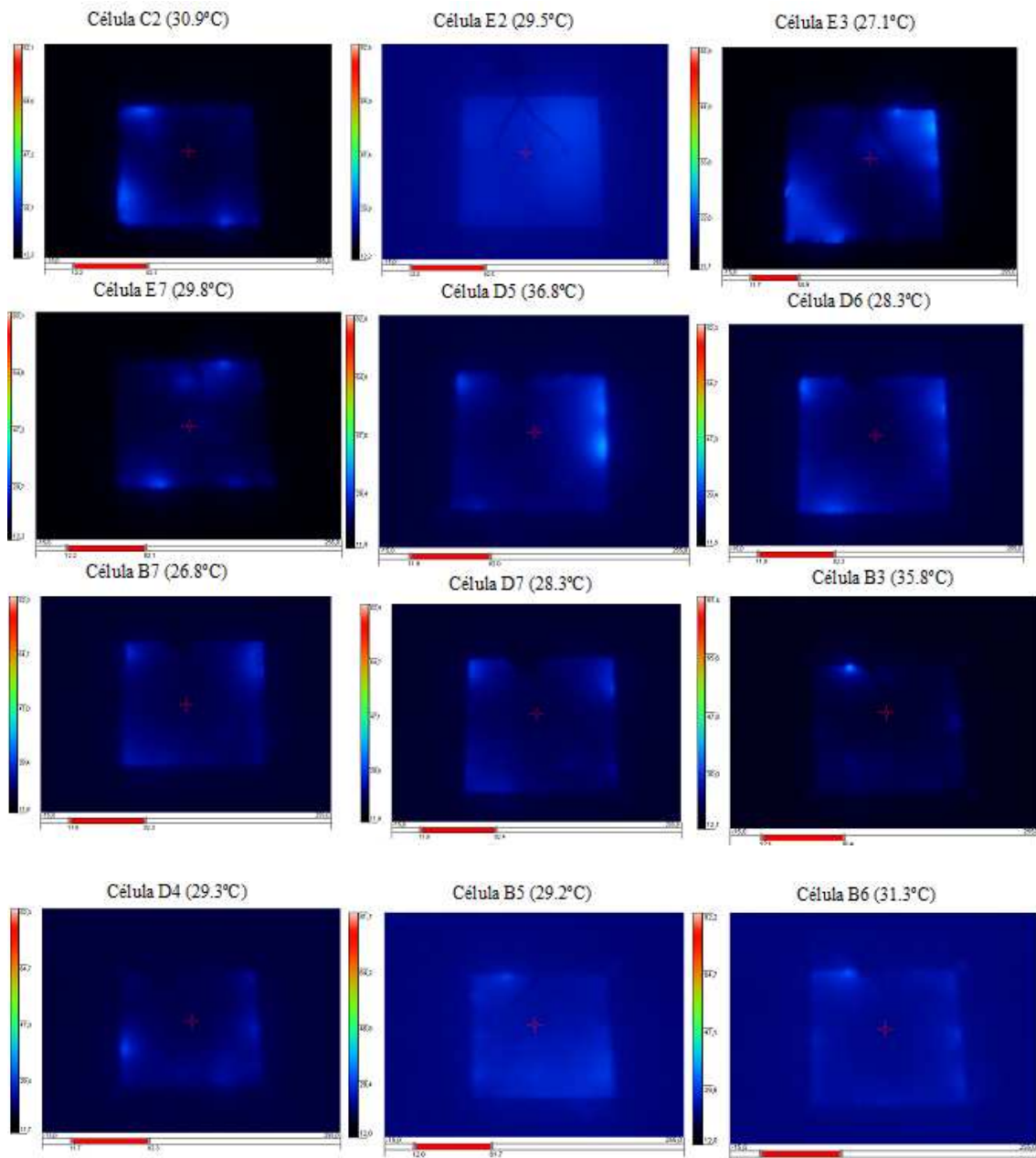


forzar la célula y esperar para medir su temperatura. Se supone que la temperatura era bastante mayor que en la célula E6 ya que entró en avalancha térmica.



Escala utilizada para todas imágenes sacada a -14.5 V.





Se sigue comprobando la dispersión del comportamiento en polarización inversa de las células. Se observa como a cada célula le ocurren cosas diferentes y en puntos distintos.

Con estas imágenes se puede ver como en este caso sigue una relación la temperatura con la intensidad, pero no con total exactitud. Esto influye si la corriente de fuga está localizada en un punto pequeño o en cambio el se tiene que dividir por más puntos. En el primer caso la temperatura será mayor. Cuanto más pequeña es el área de disipación de calor mayor es la temperatura máxima que se aprecia en la célula.

Todos los puntos calientes que han aparecido en las células son de dos tipos:

- Puntos calientes de soldadura: los que aparecen en las zonas de las cintas colectoras
- Puntos caliente en los bordes de las células: debido a deformaciones en los bordes, ya que es imposible que queden perfectos, se supone que muchas de las veces es por defecto de deformación

## 4.2. MODELADO EN SOFTWARE MATEMÁTICO

### 4.2.1. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

En 2005 M.C. Alonso García y J.M. Ruíz diseñan un modelo diferente. Dicho modelo es el que se va a utilizar para el apartado de modelización con el que se desarrollará con un software matemático.

$$I = \frac{I_N}{1 - K_e} = \frac{I_N}{1 - \exp\left\{B_e \left(1 - \sqrt{(\phi_t - V_b)/(\phi_t - V)}\right)\right\}}$$

$$I_N = a + bV + cV^2 \equiv I_{SC} - G_p V + cV^2 \quad (V \leq 0)$$

donde  $k_e$  es el coeficiente de multiplicación (para electrones),  $B_e$  es un parámetro adimensional cuasi-constante con valor  $\sim 3$ ,  $V_b$  es la tensión de ruptura,  $\phi_t$  es la conexión integrada de voltaje ( $\phi_t = 0.85V$ ).

La cuestión importante es calcular el resto de los parámetros que dependerán de las células.

El numerador de la ecuación anterior para la intensidad,  $I_N$ , es una corriente primaria eficaz. Esta corriente se puede expresar como la suma de las corrientes principales que se obtienen de la resolución de ecuaciones de continuidad para la célula solar, cada uno ponderado por un factor de multiplicación. Desde el punto de vista práctico, y para trabajar con datos experimentales,  $I_N$  se puede ajustar de forma empírica a una línea recta en la que la intersección es la corriente de cortocircuito  $I_{SC}$  y la pendiente la conductancia en paralelo  $G_p$ . Esta aproximación, con el término parabólico  $c = 0$ , es válida para las curvas en oscuridad, que son las que se van a tratar en este apartado.

#### Parámetros de cálculo

El cálculo de parámetros ha sido realizado por la extracción de parámetros en las zonas de la curva característica I-V que son más significativas. Por lo tanto,  $V_b$  se calcula cerca de la zona de avería,  $I_{SC}$  y  $G_p$  en los vecindarios de cortocircuito, los demás parámetros son conocidos. El procedimiento se describe a continuación.

- Zona de avalancha: cálculo  $V_b$

La tensión de ruptura se calcula mediante regresión lineal de la recta de tensión frente a la inversa de la corriente. Aislado  $V$  en la ecuación tenemos:

$$V = V_b + (\phi_t - V_b) \left[ 1 - \frac{1}{(1 - (\ln(1 - I_N / I) / B_e))^2} \right]$$

En el límite, cuando la ruptura se alcanza plenamente,  $I \Rightarrow \infty$  y  $V \Rightarrow V_b$ . Después de algunos cálculos se obtiene lo siguiente:

$$V = V_b + \frac{2(\phi_t - V_b)I_{nb}}{B_e} \cdot \frac{1}{I} \equiv V_b + P_b \cdot \frac{1}{I} \quad \text{con} \quad I_{nb} \equiv I_n(V_b)$$

Con ayuda de la siguiente gráfica en la que se enfrenta la tensión frente a la inversa de la corriente, se calcula el primer valor a  $V_b$ .

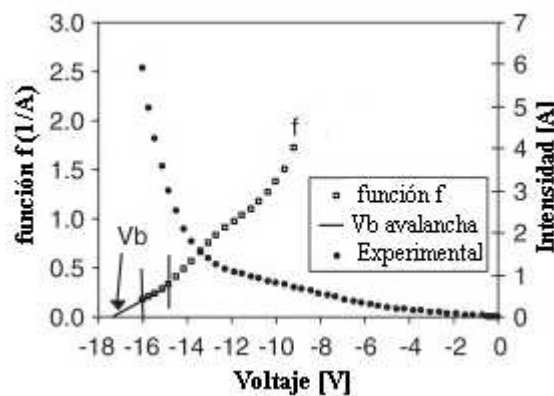


Figura 27: Primera iteración para el modelo propuesto

Este valor puede ser mejorado mediante el ajuste de la función.

$$V \approx V_b + P_b \cdot f \quad \text{con} \quad f = \frac{1 - [1 - (\ln(1 - I_{nb} / I) / B_e)]^{-2}}{(2I_{nb} / B_e)}$$

Donde  $f$ , en la primera de las iteraciones es la inversa de la corriente. Con el primer valor de  $P_b$  se adquiere  $I_{nb}$ , a continuación,  $P_b$ ,  $I_{nb}$  y la función  $f$  se vuelven a calcular. En todos los casos prácticos el procedimiento converge en las primeras iteraciones.

- Cálculo de  $I_n$ :

Con el valor calculado de  $V_b$ , el coeficiente de multiplicación  $k_e$  se calcula utilizando un valor fijo de  $B_e = 3$ . Luego,  $I_N$  es ajustado en la recta:

$$I_N = I \cdot (1 - k_e) \equiv I_{SC} - G_P V$$

Si se está en iluminación y el ajuste no es bueno o los valores de los parámetros se encuentran fuera de un rango razonable, entonces  $I_N$  se ajusta a la parábola:

$$I_N = I \cdot (1 - k_e) \equiv I_{SC} - G_p V + cV^2$$

## 4.2.2. DESARROLLO DEL PROGRAMA

En el apartado de desarrollo del programa se va a exponer el programa realizado en el software matemático llamado Matlab. El nombre que recibe este programa es **“Caracterización de células solares en polarización inversa”**. Se ha diseñado para modelar las células ensayadas en el laboratorio según el método visto anteriormente. A parte de las curvas características modeladas también sacará en pantalla las curvas medidas experimentalmente y las imágenes térmicas realizadas para todas las células. Como se va a poder apreciar cuando se vea el manual del usuario, también se ha colocado un apartado para introducir datos de nuevas células y poder realizar su modelado.

### 4.2.2.1. MANUAL DEL USUARIO

Un buen manual del usuario es el que le permite entender con claridad la utilización del mismo, por lo que a continuación se enseña paso a paso todos los movimientos que hay que realizar para usarlo. Con la correspondiente explicación de todas las ventanas que van saliendo cuando presionas cualquiera de los comandos que se ofrecen para elegir desde que se inicia hasta su finalización.

El programa realizado se inicia con el comando presentación. Al llamar a este comando sale la siguiente pantalla.





En esta pantalla como se puede apreciar existe un botón en el que se lee “CONTINUAR”, por lo que activándolo se entra al propio programa en sí. Al activarlo, vuelve a salir otra imagen que es la siguiente.



En ella se puede elegir el procedimiento a seguir. Las opciones son las siguientes:

- **Ejemplos:** para poder ver los resultados obtenidos y la modelización de las células solares ensayadas en el laboratorio de Energías Renovables.
- **Datos experimentales:** con esta opción se pueden introducir nuevos datos de otras células solares para poder realizar su modelización.

- **Terminar:** como su propio nombre lo indica, si se activa este último botón, se da la opción de salir del programa y finalizarlo.

A continuación se explica cada caso más detenidamente y se va a ver las diferentes pantallas que van a ir saliendo si seleccionamos cada uno de los botones.

### Ejemplos

Como se ha comentado, si lo que se quiere es analizar y ver los resultados obtenidos de manera experimental con sus correspondientes modelizaciones se elige el procedimiento nombrado como “ejemplos”.

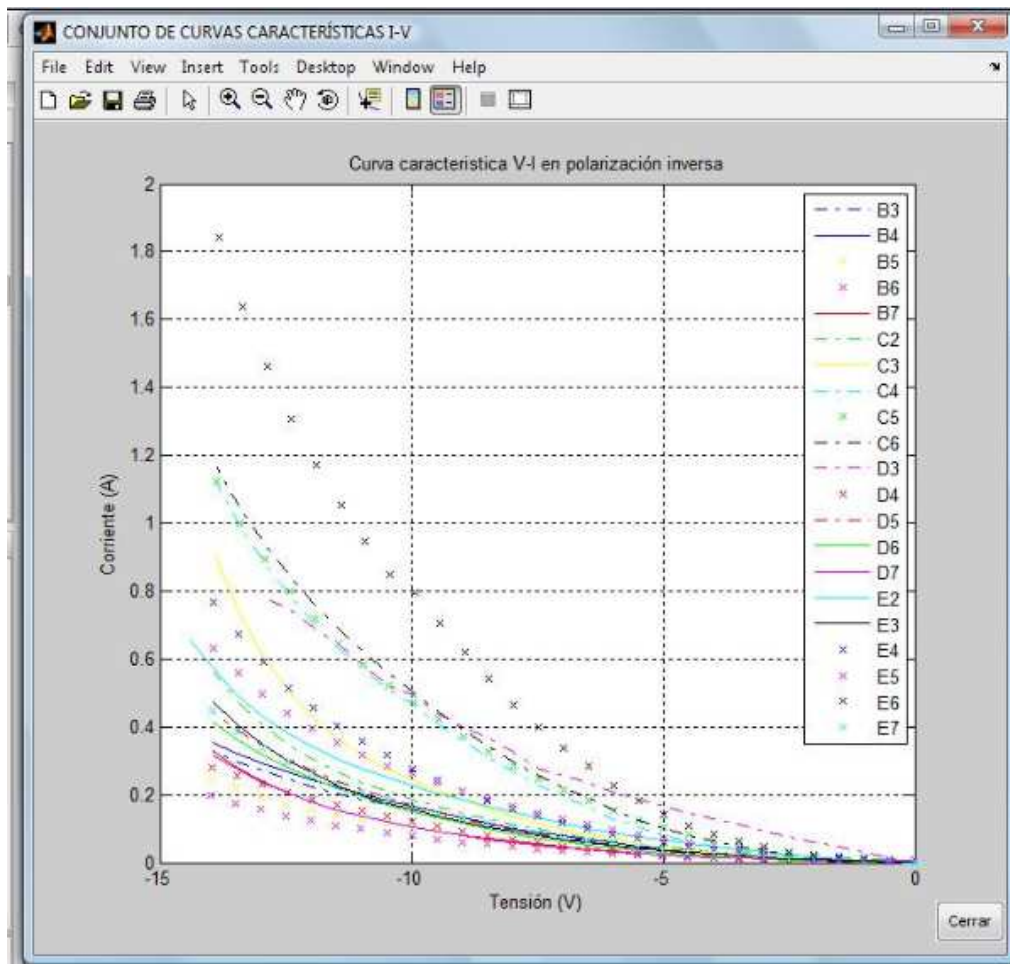
Al activar esta orden sale en pantalla la siguiente imagen, que como se puede comprobar consta también de otras alternativas: “Resolver”, “Todas curvas características” y “Volver”.



- **Volver>>** : Con este comando se vuelve otra vez a la ventana anterior, en la cual se elige el procedimiento a seguir.



- **Todas curvas características:** Si se quiere ver todas las curvas características de las células juntas para poder compararlas, se activa la opción nombrada como “Todas curvas características”. Cuando se activa dicho comando sale en pantalla la siguiente gráfica en la que se resumen todos los datos experimentales.



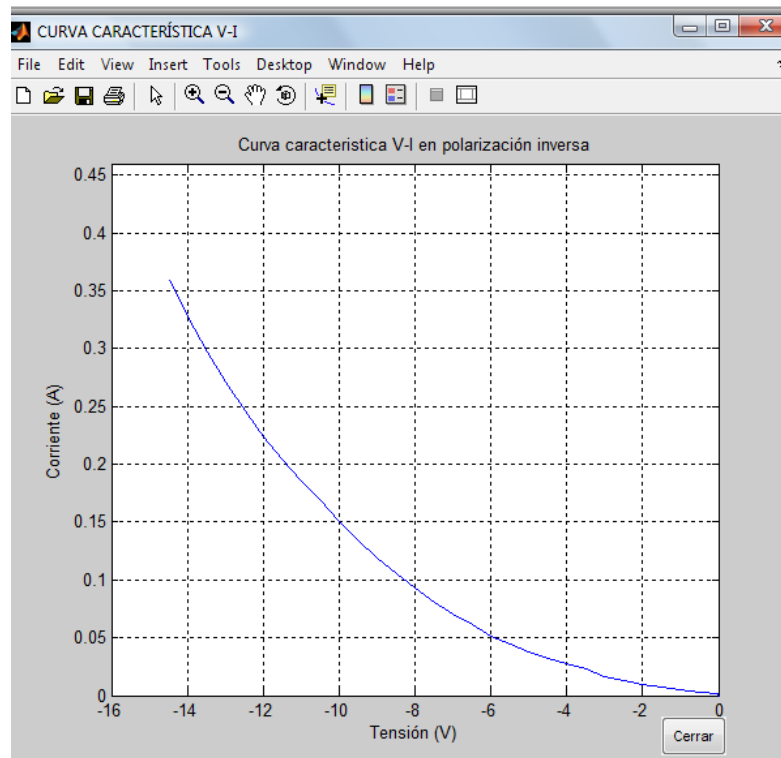
Con esta gráfica se pueden relacionar todas las células a través de sus curvas características. En ella se tiene la opción abajo a la derecha de cerrar la ventana de la gráfica.

- **Resolver:** Si realmente lo que interesa es ver los resultados de una sola célula, se elige una célula de entre todas las que se han ensayado. Como se aprecia en la ventana correspondiente. Y seguidamente para iniciar el tipo de solución que se busca, se tiene que activar la alternativa en la que aparece “Resolver”. Este comando saca en pantalla la siguiente ventana en la que se puede escoger la solución requerida.



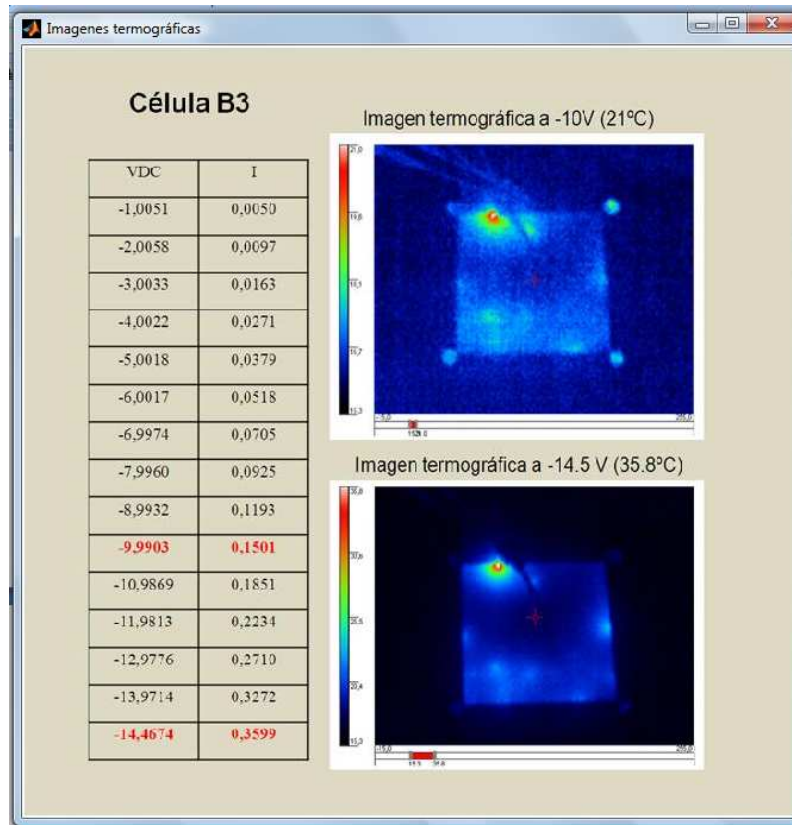
- **Volver>>**: como en la ventana anterior con este comando se vuelve otra vez a la ventana anterior, que se identifica con el comando “Ejemplos”.
- **Curva característica**: Al activar esta alternativa el programa saca en pantalla la gráfica que representa la célula activada anteriormente.

Por ejemplo si se activa la célula B3, la ventana que sale en el ordenador es la siguiente:



- **Imágenes termográficas:** Con esta alternativa se pueden ver las imágenes termográficas de la célula seleccionada.

Como ejemplo se muestra las correspondientes a la célula anterior, la B3.

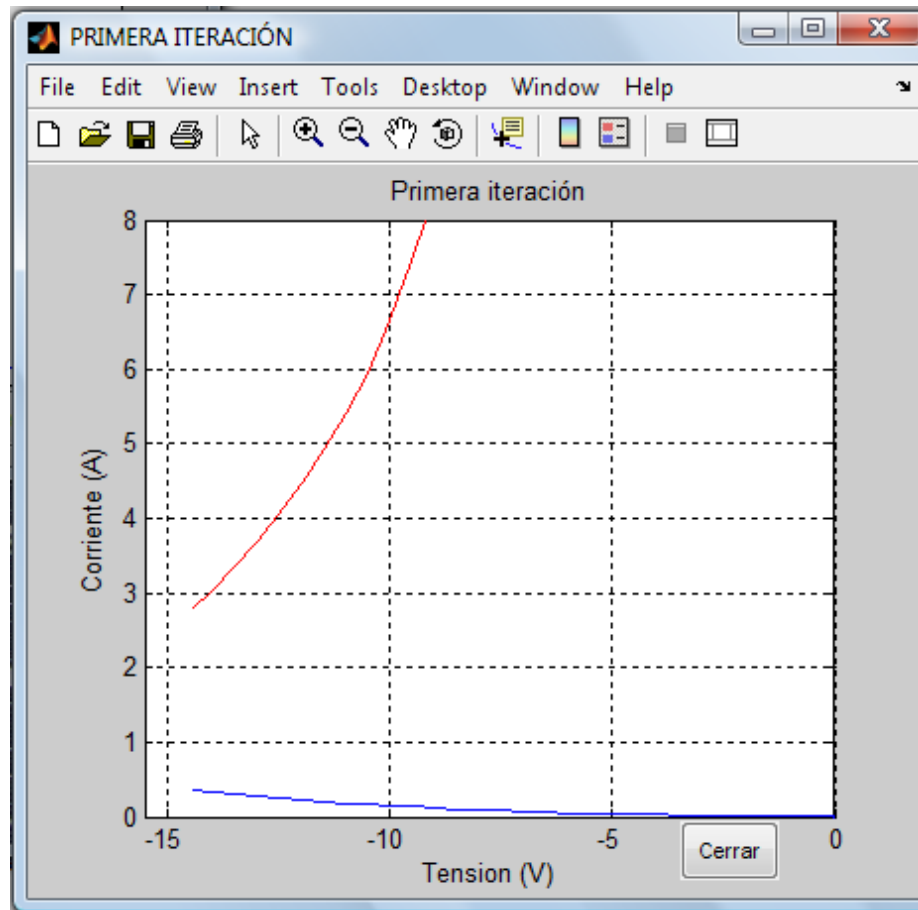


- **Parámetros del dibujo:** Con esta última opción se pueden determinar los parámetros del modelo para la célula seleccionada anteriormente y con ayuda de ellos se modelizará su curva característica. Para las células ensayadas que menor pendiente en inversa tienen, la curva modelada no es muy buena. Este problema ocurre porque para este modelo se necesita tener valores para el cálculo del voltaje de ruptura muy próximos al codo de la gráfica. Y en nuestras células hay varias que son muy planas, con pendientes muy bajas en polarización inversa por lo que se sabe que todavía no están cerca de la zona de avalancha.

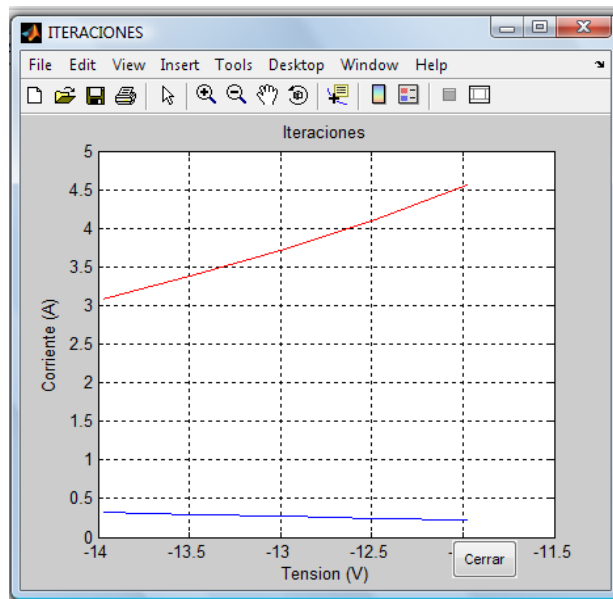
Al activar este comando aparecen varias gráficas las cuales se pasan a explicar a continuación. Pero a parte de la gráfica, el programa calcula el valor de la corriente de cortocircuito ( $I_{SC}$ ), la conductancia en paralelo ( $G_p$ ) y la tensión de avalancha ( $V_b$ ). De antemano se sabe que para células ensayadas en oscuridad la corriente de cortocircuito será igual a cero.

La primera gráfica que aparece es la propia curva característica de la célula. Será la misma gráfica que aparece en el apartado que se ha enseñado ya de "Curva característica".

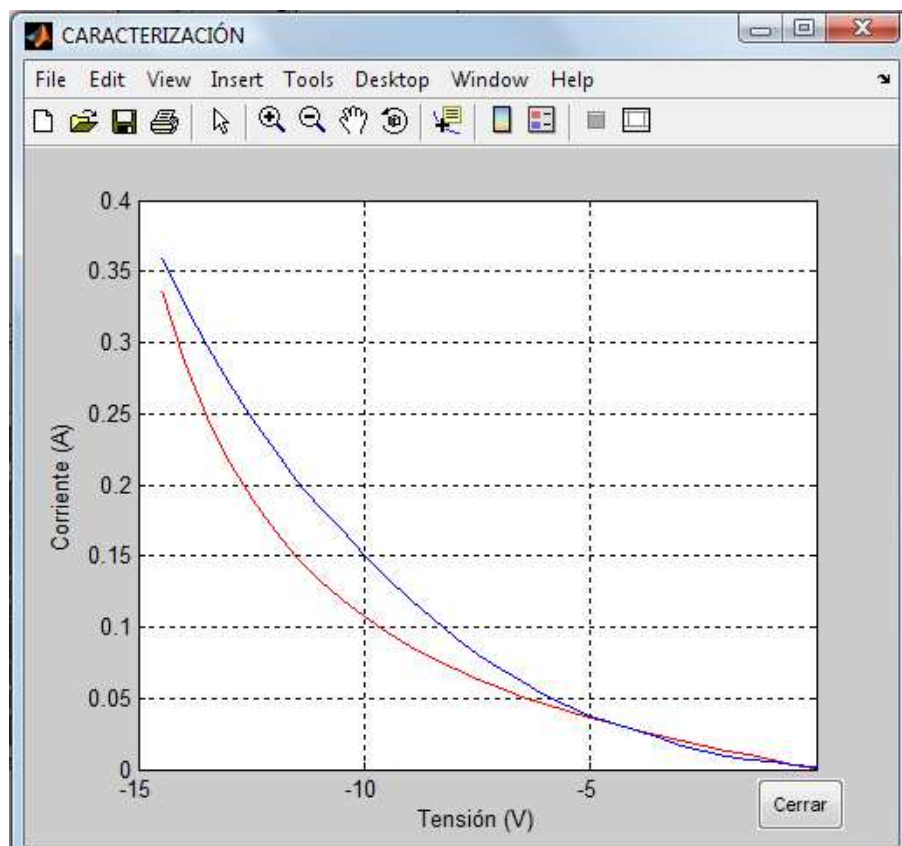
La segunda gráfica es la primera iteración del modelo en la que se aprecia el voltaje en polarización inversa y la inversa de la corriente. En la misma ventana se ve también la curva inversa para poder relacionar las dos visualmente.



Después de esta primera iteración para el cálculo de la tensión de ruptura, el programa saca una gráfica para cada iteración, aunque sería más exacto si se pudiera tener más datos cercanos a la tensión de avalancha.



Para finalizar con las gráficas que dibuja este comando, el programa acaba sacando en pantalla la modelización realizada para la célula elegida. En rojo se puede apreciar la caracterización y en azul la curva característica original. En este caso, al ser una de las células más planas y que menos corriente alcanza para la tensión en inversa de -14.5V, es una de las que peor va a tener la modelización.





A parte de las gráficas, como ya se ha comentado, el programa también calcula los parámetros característicos para cada una de las células. Si se sigue con el ejemplo inicial, con la célula B3, se obtienen los siguientes parámetros característicos.

$$V_b = -18.0805 \Rightarrow \text{Tensión de ruptura}$$

$$G_p = 0.0066 \Rightarrow \text{Conductancia en paralelo}$$

$$I_{SC} = 0 \Rightarrow \text{Corriente de cortocircuito}$$

### Datos experimentales

Con esta segunda opción, que como se recuerda se mostraba en la segunda ventana que muestra el programa, se pueden introducir nuevos datos de otras células solares para poder realizar su modelización y el cálculo de sus correspondientes parámetros característicos.

La pantalla que muestra el programa en este caso es la siguiente:

Se incluye poco a poco las tensiones y las intensidades que definen la curva característica en polarización inversa. Hay que recordar que las tensiones tienen que ser introducidas con signo negativo, porque para esta modelización se considera que la célula trabaja en condiciones de polarización inversa como ya se ha comentado.

En esta pantalla tenemos otras dos opciones, la de volver que te devuelve a la pantalla anterior y la de resolver que te saca la modelización y caracterización de los datos introducidos.

## Terminar

- La última alternativa que había en la pantalla para elegir el procedimiento a realizar por el programa es la de terminar. Como su propio nombre indica, si se activa este último botón, se da la opción de salir del programa y saca a pantalla la siguiente ventana:



Para finalizar si se activa el botón "Salir", el programa finaliza.

#### 4.2.2.2. MANUAL DEL PROGRAMADOR

En el manual del programador se va a presentar todo el lenguaje informático utilizado en la realización del programa. Todos los editores utilizados para cada función con todos los comandos que se han necesitado para las mismas.

Este apartado se puede observar en el Anexo C.

### 4.3. RESUMEN GLOBAL DE LOS RESULTADOS

Con ayuda del programa diseñado se han modelado las curvas características de todas las células medidas con ayuda del modelo expuesto. Con el programa se calculan los parámetros característicos además del modelado así que como análisis se expone una tabla que resume lo medido experimentalmente.

CÉLULA	I <sub>max</sub>	T <sub>max</sub>	V <sub>b</sub>	G <sub>p</sub>	I <sub>sc</sub>
B3	0,3599	35,8	-18,08	0,006	0
B4	<b>0,8462</b>	<b>77,4</b>	-15,5	0,007	0
B5	0,271	29	-17,47	0,0038	0
B6	0,2244	31	-17,086	0,0033	0
B7	0,3862	26,8	-16,21	0,0039	0
C2	0,6721	30,9	-16,19	0,0083	0
C3	<b>1,1302</b>	36,4	-15,56	0,0073	0
C4	<b>1,2743</b>	<b>83,7</b>	-17,13	<b>0,0133</b>	0
C5	<b>1,2691</b>	<b>51,2</b>	-17,22	<b>0,0171</b>	0
C6	<b>1,3091</b>	<b>52,8</b>	-17,38	<b>0,0166</b>	0
D3	<b>0,8506</b>	<b>52,9</b>	-18,2	<b>0,0302</b>	0
D4	0,3103	29,3	-17,78	0,0042	0
D5	0,5017	36,8	-16,94	0,0055	0
D6	0,4722	28,3	-16,77	0,0047	0
D7	0,3674	28,3	-16,41	0,0041	0
E2	0,6619	29,5	-16,8	0,0113	0
E3	0,5633	27,1	-16,25	0,006	0
E4	0,879	71,4	-16,7	0,01	0
E5	0,7204	27,1	-17,07	0,0131	0
E6	<b>2,0941</b>	<b>82,1</b>	-17,101	<b>0,0236</b>	0
E7	0,5177	29,8	-16,67	0,0064	0

Con esta tabla resumen, se puede ver como sí que hay una relación entre las células que mayores corriente tienen en un voltaje de polarización inversa de -14.5V,



con la temperatura máxima que alcanzan. Aunque entre ellos no hay exactamente el mismo orden, y esto ocurre dependiendo de si el punto está más localizado o menos.

Estos puntos, como se puede apreciar también coinciden con las mayores resistencias en paralelo, y esto es lógico, ya que como se ha mencionado al principio del presente proyecto, dicha resistencia coincide con la pendiente de la curva en bajos voltajes de polarización inversa.

Las corrientes de cortocircuito son cero ya que estamos trabajando en oscuridad, es decir, dentro del laboratorio.

Los voltajes de avalancha están comprendidos entre -15 y menos -19, lo cual se ajusta a lo publicado en [HER 97] en la cual se comenta que las células de silicio policristalino el voltaje de avalancha se encuentra entre -12 y -20 V.

El módulo estudiado tiene 48 células y 3 diodos para protegerlo, por lo que comprobamos que sí que está protegido ya que son 16 células cada string. Con 18 células por string no sería suficiente para este módulo en concreto.

# 5. Medida de células en el cuarto cuadrante

## 5.1. DESCRIPCIÓN DEL MONTAJE

Con ayuda de los cables soldados en el apartado anterior de medidas en el segundo cuadrante, se pretende medir el cuarto cuadrante de las células solares que se han experimentado en el apartado anterior. La única diferencia la manera de conectar el watímetro y la fuente de alimentación. Ya que en este apartado se le obliga a trabajar con tensiones positivas.

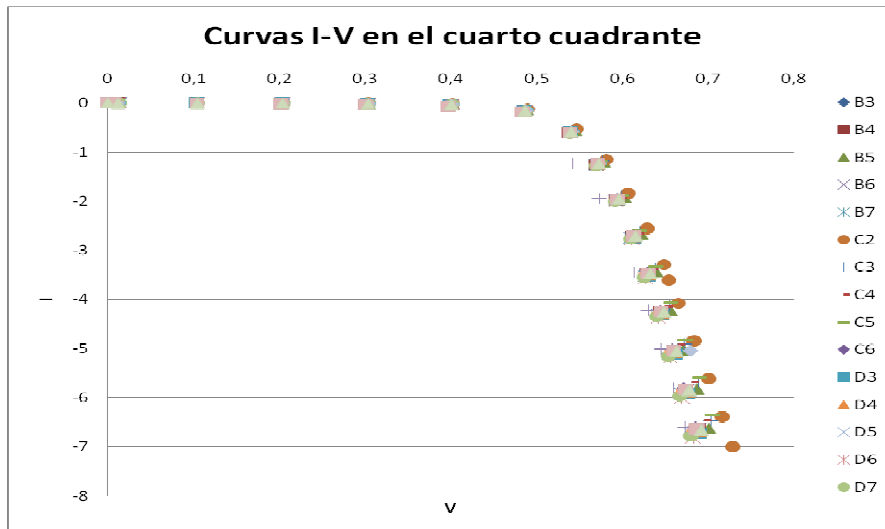
Al contrario que el caso anterior, la pinza negativa de la fuente de alimentación se conecta con el lado frontal de la célula a experimentar y la pinza positiva con el lado posterior. Las pinzas del watímetro utilizado se conectan de la misma manera que la fuente de alimentación. De esta manera se asegura tener tensiones positivas, y sabiendo de antemano que las corrientes son negativas.

## 5.2. RESULTADOS OBTENIDOS

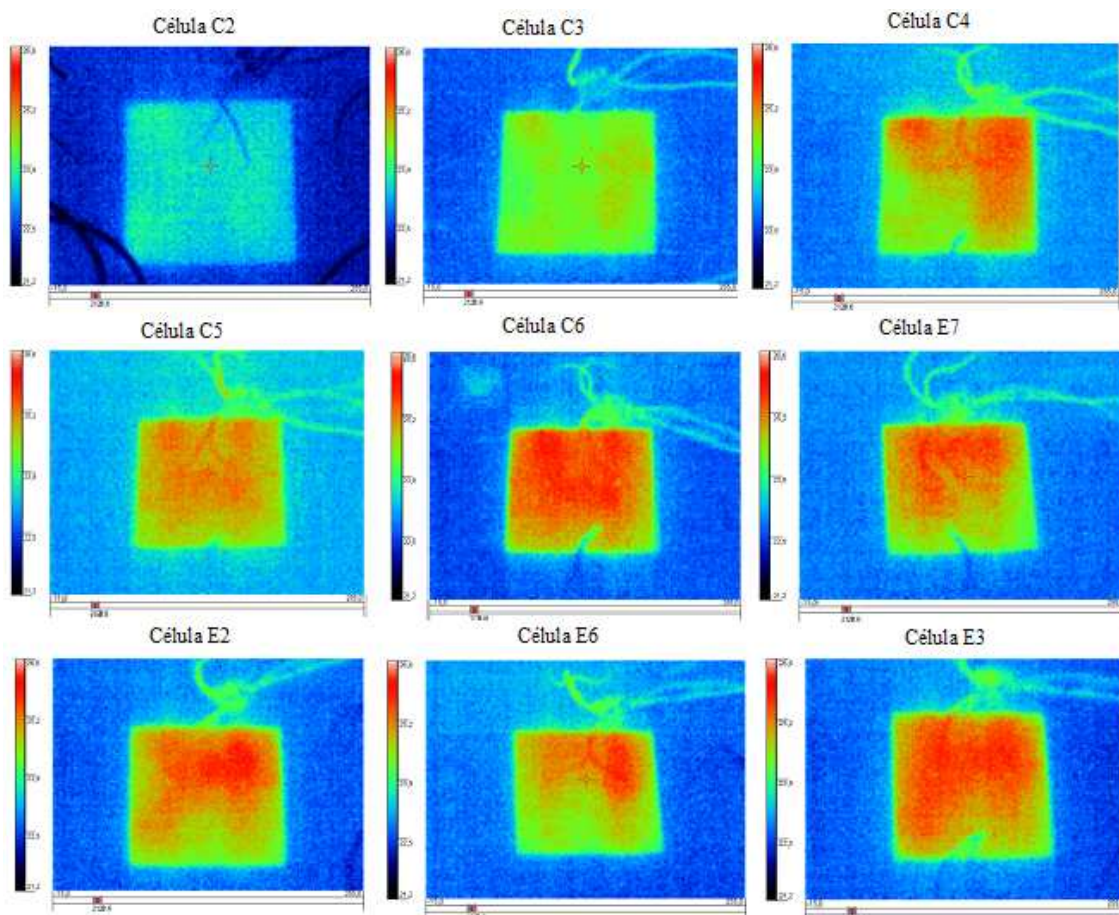
Los datos experimentales obtenidos de las células con el procedimiento anteriormente explicado, se encuentran reflejados en el Anexo B. En él se pueden ver las tablas que engloban todos los datos medidos en el watímetro y a su lado sus respectivas curvas características I-V que definen dichos puntos. También se pueden apreciar las imágenes termográficas sacadas +0.6V. Escogemos este valor porque las células solares en condiciones de oscuridad y con voltaje positivo, el codo de avalancha lo tienen alrededor de 0.6 V.

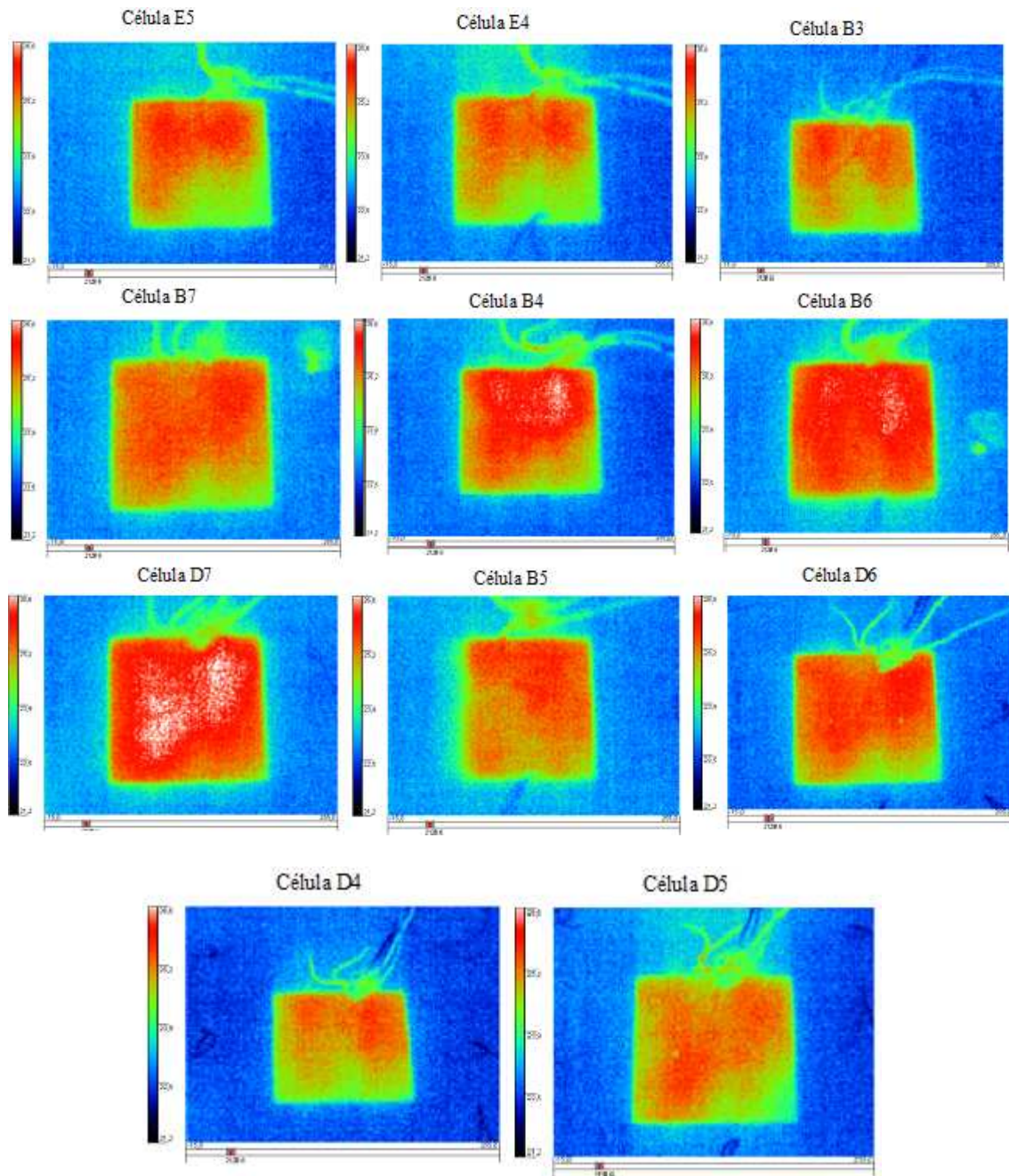
Para poder analizar bien los resultados obtenidos y poder sacar conclusiones, es necesario compararlos entre ellos. Tanto sus curvas como sus imágenes, por lo que a continuación se presenta una gráfica en la cual se muestran todas las curvas características juntas.

En la figura siguiente se representan todas las curvas resultantes y se puede observar que en estas condiciones el comportamiento de las células solares es mucho más homogéneo que en polarización inversa. Dicho comportamiento es previsible y no como la aleatoriedad que tiene el comportamiento cuando entra en juego la disipación de calor en forma de puntos calientes.



A continuación se van a exponer las imágenes termográficas sacadas a +0.6V. Recordando el apartado en el que se habla de los diferentes tipos de shunt, se va a poder con ayuda de las siguientes imágenes si los puntos calientes que se aprecian en polarización lineal son shunts lineales o shunts no lineales.





Con estas imágenes termográficas lo que se demuestra es en estas condiciones de operación todas las células se van calentando uniformemente a 25°C y 26°C. Por lo que los puntos calientes que dan señales en polarización inversa no se ven aquí. Con lo cual podemos afirmar que los puntos calientes de soldadura no son shunts lineales y que los que tenemos de bordes de células tampoco son lineales.

## 5.3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

En este apartado se concluye que cuando a las células se les introduce tensión positiva, su curva característica I-V en estas condiciones es muy similar a la del resto de células de su mismo tipo.

Que con este funcionamiento al no subir demasiado el voltaje, ya que la propia célula lo limita a 0.6 V aproximadamente, se calienta homogéneamente y en todas células de un mismo tipo ronda la temperatura máxima por el mismo valor.

Para una tensión de 0.6 V todas ellas aumentan su temperatura hasta 25-26°C.



## 6. Conclusiones

Tras el estado del arte sobre los distintos métodos y enfoques en el campo de los puntos calientes en las células solares, en este apartado se muestra una reflexión global de todo ello.

- En primer lugar lo que realmente se sabe con rotundidad es que es esencial saber el comportamiento en polarización inversa de las células solares para poder realizar análisis de puntos calientes. Todos los autores sin excepción llegan a la conclusión de que los fabricantes deberían dar más información sobre este comportamiento.
- El comportamiento en polarización inversa de las células no es homogéneo por lo que necesita de más investigación.
- Existen tanto shunts lineales como shunts no lineales, pero los dos grandes grupos que se definen son: shunts inducida por el propio material y shunts inducidas por el proceso.
- Los tests de punto caliente que proporcionan las normas IEC 61215 y UL 1703 presentan diferentes inconvenientes. El principal es que el primero no es adecuado para módulos con dos o más sub-strings y por ello, se ha realizado un nuevo método que consiste en una modificación del propuesto por la IEC 61215. Lo esencial de dicho modelo es que la corriente que se toma para calcular la peor célula elegida sea la del punto de ruptura de la curva característica del módulo con esa célula sombreada.
- Los parámetros característicos de los diferentes tipos de células en condiciones de operación inversa son sus curvas características I-V, el voltaje crítico considerado para cada tipo de células y sus respectivas imágenes termográficas.
- Los puntos calientes encontrados tras los experimentos realizados se encuentran situados o en los bordes de las células o en las cintas colectoras. Por lo que son denominados puntos calientes de borde de célula y puntos calientes de soldadura respectivamente.
- Con la medida de las células solares en el cuarto cuadrante se observa que las células en estas condiciones se comportan de manera muy homogénea. Y además se calientan de forma uniforme.
- El modelo realizado no es válido para las células solares que entran en descomposición térmica. Para una buena caracterización de las células es necesario tener datos experimentales cercanos al voltaje de avalancha, el cual es uno de los inconvenientes que han surgido en nuestras medidas.

## 7. Bibliografía

[LOR 94] Eduardo Lorenzo “ELECTRICIDAD SOLAR FOTOVOLTAICA”.

[MAY 10] Iosu Mayo Blasquiz “ANÁLISIS DEL FENÓMENO DE LOS PUNTOS CALIENTES EN MÓDULOS FOTOVOLTAICOS”., PFC 2010.

[WOH 05] Wohlgemuth, John; Herrmann, Werner “HOT SPOT TESTS FOR CRYSTALLINE SILICON MODULES” 31st IEEE Photovoltaic Specialists Conference - 2005, January 3, 2005 - January 7, 2005.

[HER 97] Herrmann, W.; Wiesner, W.; Vaassen, W. “HOT SPOT INVESTIGATIONS ON PV MODULES-NEW CONCEPTS FOR A TEST STANDARD AND CONSEQUENCES FOR MODULE DESIGN WITH RESPECT TO BYPASS DIODES” Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference, p 1129-1132, 1997.

[HER 99] W.Herrmann, M. Adian; W.Wiesner. “OPERATIONAL BEHAVIOUR OF COMMERCIAL SOLAR CELLS UNDER REVERSE BIASED CONDITINS”.

[DAN 97] Danner, M.; Buecher, K. “Reverse characteristics of commercial silicon solar cells - impact on hot spot temperatures and module integrity” Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference, p 1137-1140, 1997.

[ALO 03] Alonso-García, M.C.; Herrmann, W.; Böhmer, W.; Proisy, B. “Thermal and electrical effects caused by outdoor hot-spot testing in associations of photovoltaic” cells Progress in Photovoltaics: Research and Applications, v 11, n 5, p 293-307, August 2003.

[ALO 06] Alonso-García, M.C; Ruíz, J.M; Analysis and modelling the reverse characteristic of photovoltaic cells Source: Solar Energy Materials and Solar Cells, v 90, n 7-8, p 1105-1120, May 5, 2006.

[BRE 03] Breitenstein, O.; Rakotoniaina, J.P.; Neve, S.; Al Rifai, M.H.; Werner, M. “Shunt types in multicrystalline solar cells” Proceedings of the 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, v A, p 987-990, 2003.

## 8. Anexos



## Anexo A: Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos de las células que componen el módulo fotovoltaico del laboratorio son los expuestos a continuación.

### - CÉLULA B3

CÉLULA	VDC	I
<b>B3</b>	0	0
	-0,0116	0,0013
	-0,5035	0,0032
	-1,0051	0,005
	-1,5043	0,0072
	-2,0058	0,0097
	-2,5037	0,0126
	-3,0033	0,0163
	-3,5029	0,0228
	-4,0022	0,0271
	-4,5033	0,0321
	-5,0018	0,0379
	-5,5002	0,0443
	-6,0017	0,0518
	-6,4995	0,0615
	-6,9974	0,0705
	-7,4972	0,0808
	-7,996	0,0925
	-8,4965	0,1056
	-8,9932	0,1193
	-9,4903	0,1341
	<b>-9,9903</b>	<b>0,1501</b>
	-10,4873	0,1684
	-10,9869	0,1851
	-11,4835	0,2032
	-11,9813	0,2234
	-12,48	0,2466
	-12,9776	0,271
	-13,4751	0,2975
	-13,9714	0,3272
	<b>-14,4674</b>	<b>0,3599</b>

Curva característica de la célula B3

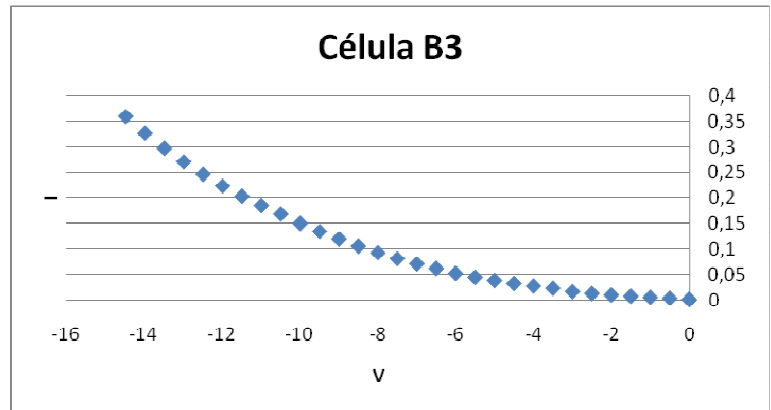


Imagen termográfica a -10V ( $T_{max}=21^{\circ}C$ )

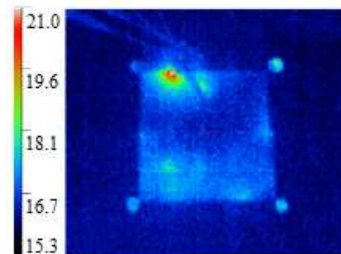
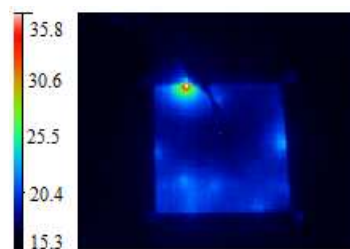


Imagen termográfica a -14.5V ( $T_{max}=35.8^{\circ}C$ )



En esta primera célula ensayada se puede observar que aparece un punto caliente en el borde superior de la célula. A -10V comienza a verse un punto a  $21^{\circ}C$ , pero poco a poco va elevando su temperatura de una manera muy localizada. Se puede ver una corriente de fuga en un punto de la cinta colectora. A este tipo de puntos se les denomina “puntos calientes de soldadura” porque se cree hasta el momento que la causa es la mala soldadura de ellas.

- CÉLULA B4

CÉLULA	VDC	I
B4	0	0
	-0,0148	0,0025
	-0,5046	0,0038
	-1,006	0,0053
	-1,5054	0,0071
	-2,007	0,0093
	-2,5049	0,0119
	-3,0046	0,0153
	-3,5045	0,0196
	-4,004	0,0242
	-4,5049	0,0295
	-5,0036	0,0357
	-5,5018	0,0432
	-6,0031	0,0521
	-6,5006	0,064
	-6,9981	0,0738
	-7,4979	0,0855
	-7,9964	0,0991
	-8,4971	0,1139
	-8,9935	0,1301
	-9,4905	0,1476
	<b>-9,9904</b>	<b>0,1667</b>
	-10,4862	0,193
	-10,9551	0,5119
	-11,4492	0,5527
	-11,9432	0,6042
-12,4393	0,655	
-12,9353	0,6965	
-13,4303	0,7542	
-13,924	0,8006	
<b>-14,4188</b>	<b>0,8462</b>	

Curva característica de la célula B4

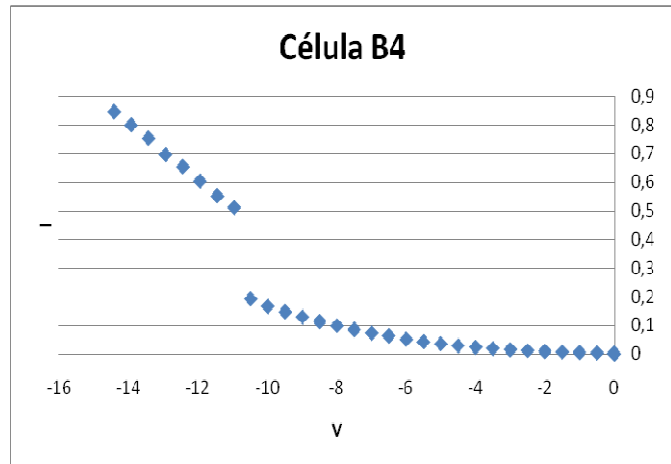


Imagen termográfica a -10V ( $T_{max}=20.5^{\circ}\text{C}$ )

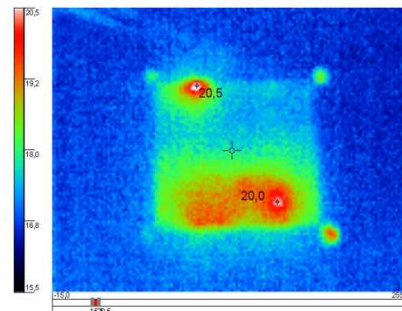
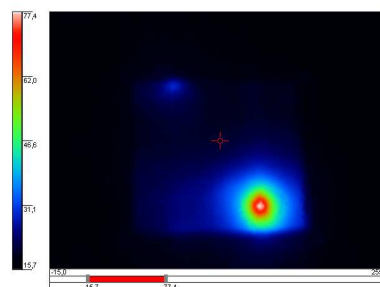


Imagen termográfica a -14.5V ( $T_{max}=77.4^{\circ}\text{C}$ )



En la termografía correspondiente al voltaje de -10V se comienza a ver un punto caliente en el borde superior, también en la zona de la banda magnética y una zona de área superior en el lado contrario. Con uno de los puntos más localizados que está justo en la soldadura. En la imagen sacada a -14.5V, se puede apreciar como el punto inferior es el que más se ha calentado con mucha diferencia sobre los demás con una temperatura de  $77.4^{\circ}\text{C}$ .

- CÉLULA B5

CÉLULA	VDC	I
B5	0	0
	-0,0122	0,0006
	-0,503	0,0018
	-1,0044	0,0026
	-1,504	0,0039
	-2,0056	0,0051
	-2,5035	0,0067
	-3,0033	0,0085
	-3,503	0,0134
	-4,0031	0,0157
	-4,5043	0,0184
	-5,0032	0,0218
	-5,502	0,0264
	-6,0036	0,0312
	-6,5014	0,0382
	-6,9997	0,0438
	-7,4997	0,05
	-7,991	0,0584
	-8,5001	0,0673
	<b>-8,9971</b>	<b>0,0771</b>
	-9,4946	0,0877
	-9,9946	0,0991
	-10,4925	0,1155
	-10,9927	0,1278
	-11,4896	0,141
	-11,9875	0,1569
	-12,4866	0,1749
	-12,9848	0,195
	-13,4827	0,2175
	-13,9792	0,2426
	<b>-14,4758</b>	<b>0,271</b>

Curva característica de la célula B5

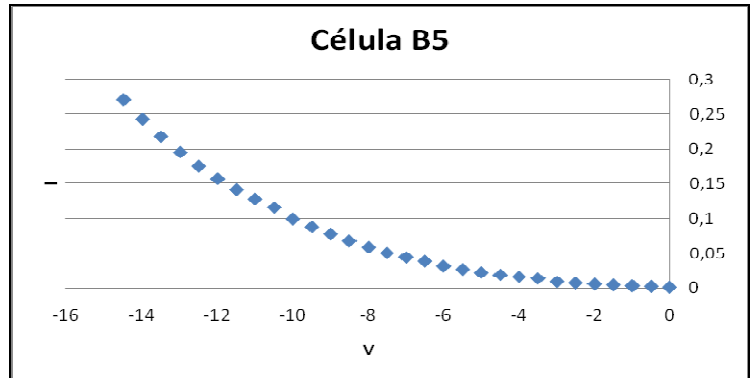


Imagen termográfica a -10V ( $T_{max}=24.2^{\circ}C$ )

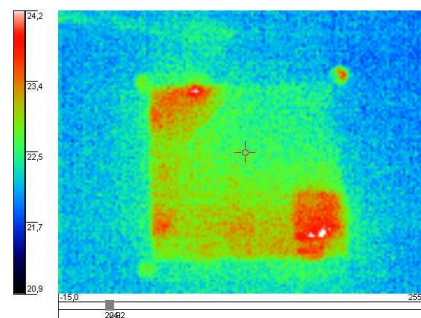
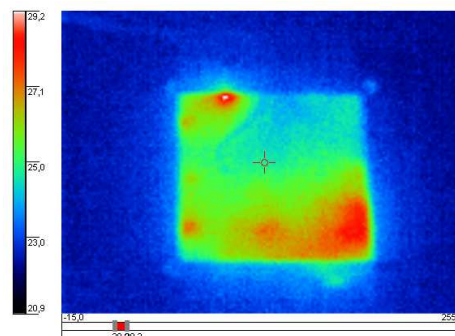


Imagen termográfica a -14.5V ( $T_{max}=29.2^{\circ}C$ )



En esta otra célula comienzan viéndose claramente más calientes las zonas de dos de las esquinas con una temperatura de 24.2V aunque cuando elevamos el voltaje el calentamiento es más pausado y la medición a -14.5V indica 29.2°C lo cual no es muy elevado considerando el resto de células. Se puede observar como la corriente no sube demasiado, se podría decir que todavía estamos lejos de la zona de avalancha.

- CÉLULA B6

CÉLULA	VDC	I
B6	0	0
	-0,0135	0,002
	-0,5029	0,0026
	-1,0045	0,0031
	-1,5041	0,004
	-2,0057	0,0049
	-2,5037	0,006
	-3,0038	0,0074
	-3,5039	0,0118
	-4,0036	0,0138
	-4,5048	0,0161
	-5,0037	0,0189
	-5,5027	0,0222
	-6,0044	0,0258
	-6,5029	0,031
	-7,0012	0,0356
	-7,5013	0,0408
	-8,0006	0,047
	-8,5019	0,0536
	<b>-8,9993</b>	<b>0,061</b>
	-9,4967	0,0692
	-9,9969	0,078
	-10,4954	0,0887
	-10,9958	0,0986
	-11,4929	0,1099
	-11,9912	0,1229
	-12,4905	0,138
	-12,9891	0,1557
	-13,4873	0,1757
	-13,9838	0,1987
	<b>-14,4806</b>	<b>0,2244</b>

Curva característica de la célula B6

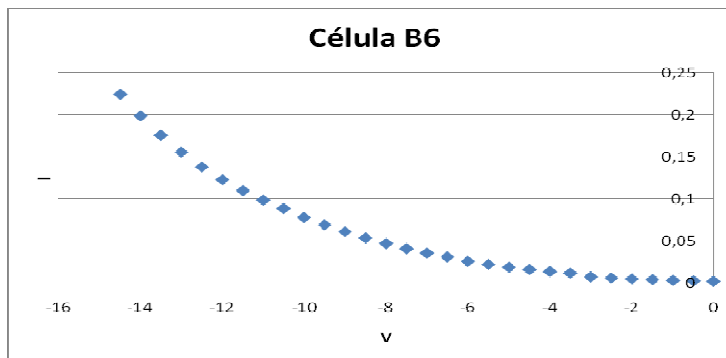


Imagen termográfica a -10V ( $T_{max}=26.1^{\circ}C$ )

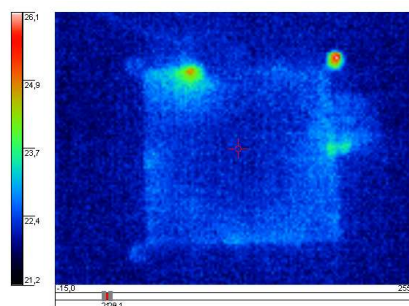
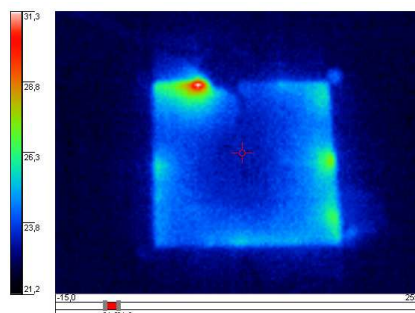


Imagen termográfica a -14.5V ( $T_{max}=31.3^{\circ}C$ )



La célula B6 como la B5, no aumentan mucho su intensidad en el voltaje considerado por lo que en este caso también se podría decir que estamos lejos de la zona de avalancha. Sí que se puede apreciar un punto caliente que como todos los que estamos viendo hasta el momento es de soldadura.

- CÉLULA B7

CÉLULA	VDC	I
<b>B7</b>	0	0
	-0,0134	0,0007
	-0,5027	0,0015
	-1,0042	0,0025
	-1,5037	0,0036
	-2,0056	0,005
	-2,5038	0,0068
	-3,0035	0,0095
	-3,5043	0,0138
	-4,0039	0,0165
	-4,5029	0,02
	-5,0037	0,0237
	-5,5026	0,0284
	-6,0041	0,0337
	-6,5022	0,0401
	-7,0002	0,0465
	-7,4999	0,0539
	-7,9991	0,0622
	-8,5001	0,0715
	<b>-8,9972</b>	<b>0,0817</b>
	-9,495	0,093
	-9,9951	0,1055
	-10,4929	0,1197
	-10,9927	0,1354
	-11,4892	0,1547
	-11,9866	0,1783
	-12,4848	0,2068
	-12,9815	0,2408
	-13,4778	0,2811
	-13,9724	0,3292
	<b>-14,4661</b>	<b>0,3862</b>

Curva característica de la célula B7

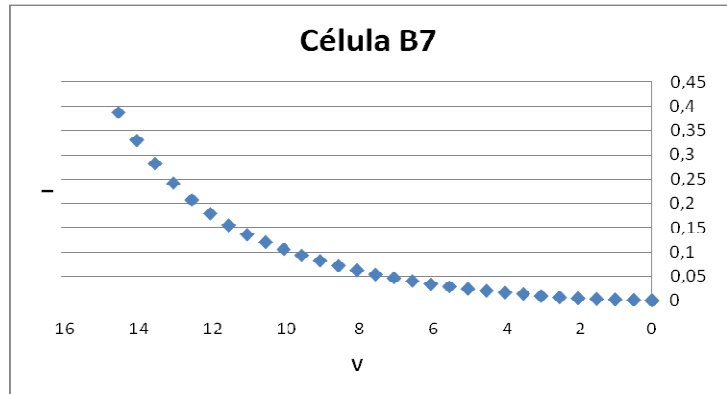


Imagen termográfica a -10V ( $T_{\text{mas}}=19.3^{\circ}\text{C}$ )

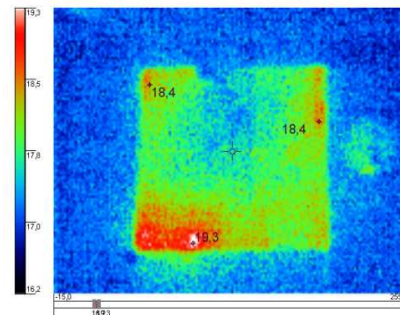
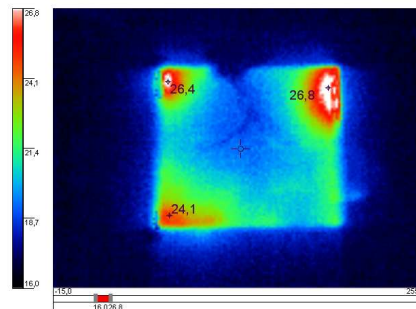


Imagen termográfica a -14.5V ( $T_{\text{max}}=26.8^{\circ}\text{C}$ )



En esta otra célula, la B7 se puede ver como comienzan a verse zonas más calientes que el resto, donde el punto de máxima temperatura se encuentra en la zona de la cinta colectora de la célula. Pero al aumentar el voltaje suavemente, se observa como los puntos calientes siguen en las esquinas, pero el calentamiento de la cinta es menor que el de los otros tres. En este caso la corriente en -14.5V es mayor que en las anteriores, pero muy poco por lo que todavía nos encontramos en la zona más lineal de la curva.

- CÉLULA C2

CÉLULA	VDC	I
C2	0	0
	-0,0132	0,0078
	-0,5025	0,0092
	-1,0036	0,0108
	-1,5031	0,0128
	-2,0048	0,0152
	-2,5028	0,0181
	-3,0022	0,0218
	-3,5024	0,0265
	-4,0015	0,032
	-4,5024	0,0384
	-5,0009	0,0454
	-5,4991	0,0534
	-6,0003	0,0628
	-6,4979	0,0733
	-6,9955	0,0852
	-7,4949	0,0982
	-7,9932	0,1124
	-8,4936	0,1282
	<b>-8,9899</b>	<b>0,1458</b>
	-9,4865	0,1646
	-9,9862	0,1855
	-10,4827	0,2086
	-10,9814	0,2357
	-11,4764	0,2674
	-11,9722	0,3052
	-12,4684	0,3514
	-12,9627	0,4078
	-13,4565	0,4777
	-13,9459	0,5624
	<b>-14,4345</b>	<b>0,6681</b>

Curva característica de la célula C2

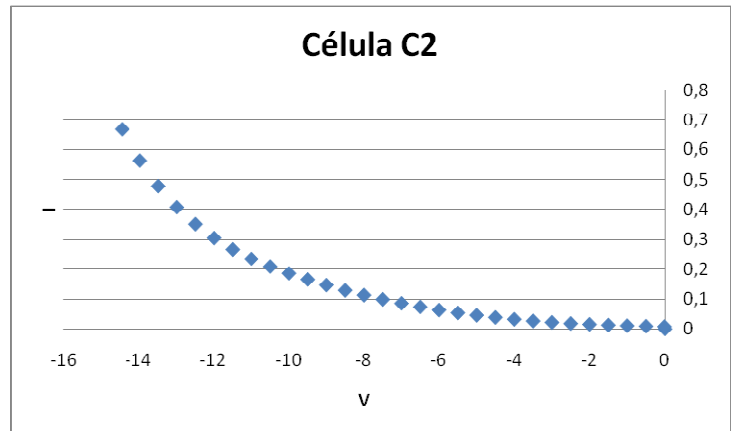


Imagen termográfica a -10V ( $T_{max}=18.9^{\circ}C$ )

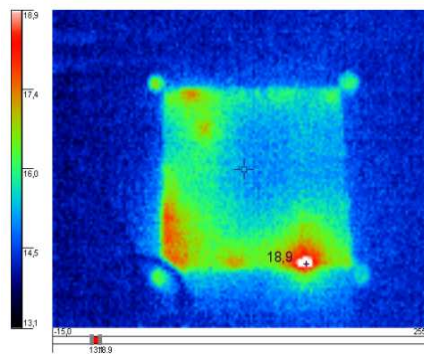
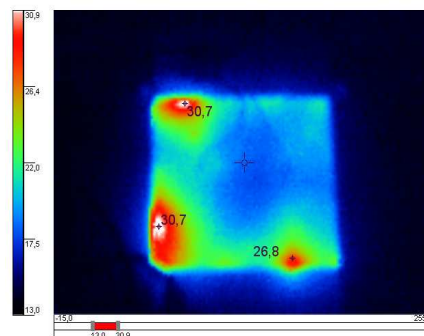


Imagen termográfica a -14.5V ( $T_{max}=30.9^{\circ}C$ )



En este caso uno de los puntos calientes se encuentra en el borde de la célula y los otros dos en las bandas colectoras. Como se va comprobando es más probable que los focos de calor donde se producen corriente de fuga se encuentren en los bordes de la célula y en las cintas colectoras por culpa de la soldadura. La corriente a -14.5V en esta célula ha aumentado el doble más o menos aunque los focos no tienen mayor temperatura que en células anteriores.



- CÉLULA C3

CÉLULA	VDC	I
<b>C3</b>	0	0
	-0,0128	0,0012
	-0,5036	0,0029
	-1,0051	0,0046
	-1,5044	0,0067
	-2,0061	0,0093
	-2,5041	0,0125
	-3,0036	0,0165
	-3,5039	0,0231
	-4,003	0,0288
	-4,5037	0,0357
	-5,0021	0,0443
	-5,5002	0,0548
	-6,0013	0,067
	-6,4985	0,0824
	-6,9956	0,098
	-7,4946	0,116
	-7,9927	0,1365
	-8,4925	0,1595
	<b>-8,988</b>	<b>0,1849</b>
	-9,4839	0,2126
	-9,9829	0,243
	-10,478	0,2756
	-10,9754	0,3152
	-11,4689	0,3648
	-11,9623	0,4264
	-12,4556	0,5045
-12,9556	0,6056	
-13,4336	0,7387	
-13,9146	0,9089	
<b>-14,3922</b>	<b>1,1302</b>	

Curva característica de la célula C3

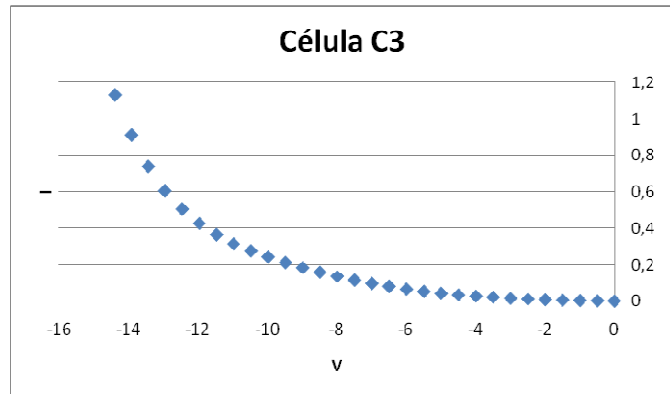


Imagen termográfica a -10V ( $T_{max}=19.6^{\circ}\text{C}$ )

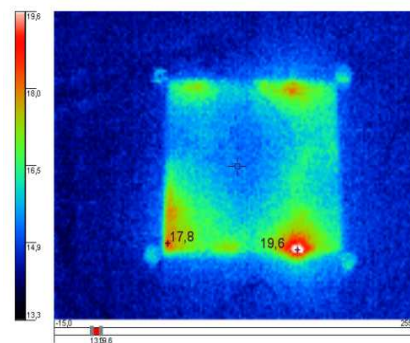
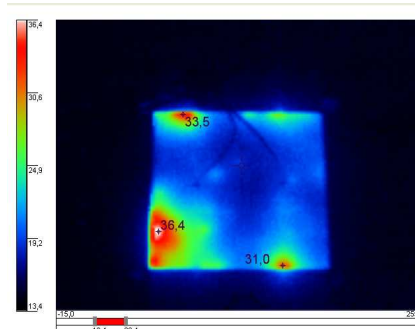


Imagen termográfica a -14.5V ( $T_{max}=36.4^{\circ}\text{C}$ )



La temperatura para la célula C3 ha aumentado considerablemente y la temperatura en este caso se incrementa hasta  $36.4^{\circ}\text{C}$ . Las corrientes de fuga se centran en tres puntos los cuales parece que proceden de las cintas, por lo que serán puntos calientes de soldadura.

- CÉLULA C4

CÉLULA	VDC	I
C4	0	0
	-0,0122	0,0011
	-0,5029	0,0026
	-1,0044	0,0043
	-1,5037	0,0068
	-2,0052	0,0107
	-2,5031	0,0164
	-3,0022	0,0241
	-3,5025	0,0362
	-4,001	0,0479
	-4,501	0,0629
	-4,9983	0,0813
	-5,4953	0,1032
	-5,9949	0,1288
	-6,4906	0,1617
	-6,9863	0,1923
	-7,4837	0,2273
	-7,9797	0,2668
	-8,477	0,3099
	<b>-8,9703</b>	<b>0,3565</b>
	-9,4637	0,4084
	-9,9599	0,4658
	-10,4545	0,5076
	-10,9501	0,566
	-11,4419	0,6313
	-11,9341	0,7047
-12,4266	0,7884	
-12,9173	0,8813	
-13,4075	0,9903	
-13,8936	1,1169	
<b>-14,3768</b>	<b>1,2743</b>	

Curva característica de la célula C4

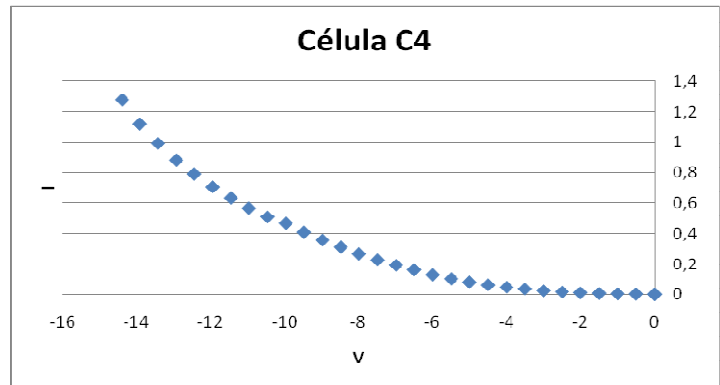


Imagen termográfica a -10V ( $T_{max}=36^{\circ}C$ )

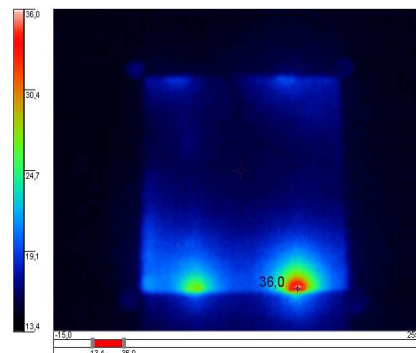
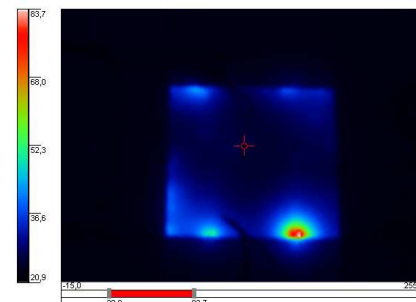


Imagen termográfica a -14.5V ( $T_{max}=83.7$ )



Para esta célula la corriente se centra especialmente en un punto. La corriente es superior a uno en este caso y como se observa, la corriente de fuga está localizada en un solo punto de área muy pequeña. Y por ello, la temperatura se incrementa muchísimo más que en el resto de las células.



- CÉLULA C5

CÉLULA	VDC	I
C5	0	0
	-0,0109	0,0016
	-0,5037	0,0045
	-1,0047	0,0082
	-1,5039	0,0133
	-2,0048	0,0197
	-2,5023	0,0275
	-3,0012	0,0374
	-3,4997	0,0518
	-3,9981	0,0673
	-4,4979	0,0838
	-4,9951	0,1033
	-5,4919	0,1256
	-5,9914	0,1514
	-6,4866	0,184
	-6,9823	0,2142
	-7,4796	0,2489
	-7,9755	0,2858
	-8,4731	0,327
	<b>-8,9666</b>	<b>0,3717</b>
	-9,4603	0,4218
	-9,9568	0,4735
	-10,4504	0,5233
	-10,9458	0,5809
	-11,4376	0,645
	-11,9298	0,7172
	-12,4225	0,8003
-12,9132	0,8924	
-13,4034	1,0004	
-13,8896	1,1234	
<b>-14,3736</b>	<b>1,2691</b>	

Curva característica de la célula C5

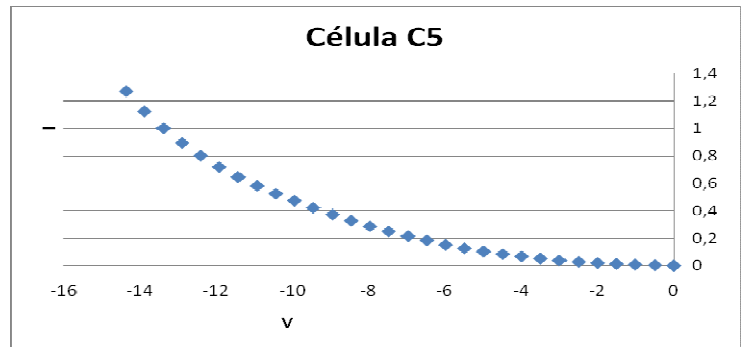


Imagen termográfica a -10V ( $T_{max}=28.1^{\circ}C$ )

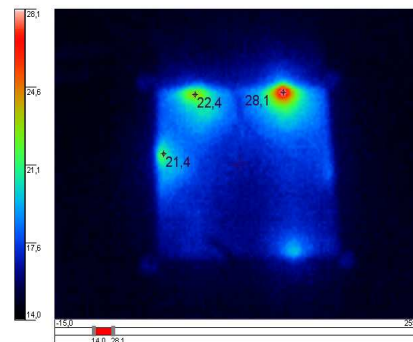
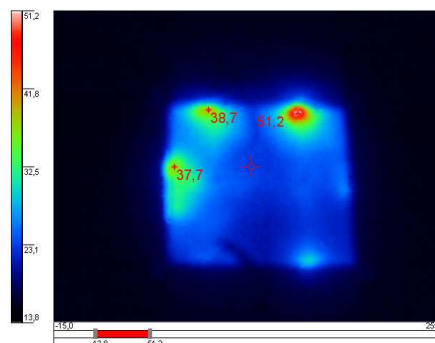


Imagen termográfica a -14.5V ( $T_{max}=51.2^{\circ}C$ )



Como se puede apreciar en este caso la corriente es también de las mayores para una tensión constante en inversa de -14.5V y por ello la temperatura ha subido bastante pero no tanto como la anterior. Eso sí también hay que darse cuenta de que de los puntos superiores coinciden con los de la célula anterior. El punto que más se calienta con  $51.2^{\circ}C$  coincide con el que en la célula anterior tiene una temperatura de  $82.1^{\circ}C$ .

- CÉLULA C6

CÉLULA	VDC	I
C6	0	0
	-0,0117	0,0011
	-0,5029	0,0032
	-1,0041	0,0063
	-1,5034	0,0108
	-2,0045	0,0168
	-2,5019	0,0241
	-3,001	0,0338
	-3,5006	0,0473
	-3,9991	0,0615
	-4,4985	0,0794
	-4,9957	0,1003
	-5,4925	0,1248
	-5,9919	0,1524
	-6,4871	0,1884
	-6,9823	0,2205
	-7,4793	0,2574
	-7,9751	0,2971
	-8,4723	0,3416
	<b>-8,9656</b>	<b>0,3895</b>
	-9,4586	0,4439
	-9,9548	0,4993
	-10,4473	0,5577
	-10,9426	0,6183
	-11,434	0,6855
	-11,9257	0,7604
	-12,4181	0,8436
-12,9083	0,9394	
-13,3982	1,0469	
-13,8841	1,1694	
<b>-14,3693</b>	<b>1,3091</b>	

Curva característica de la célula C6

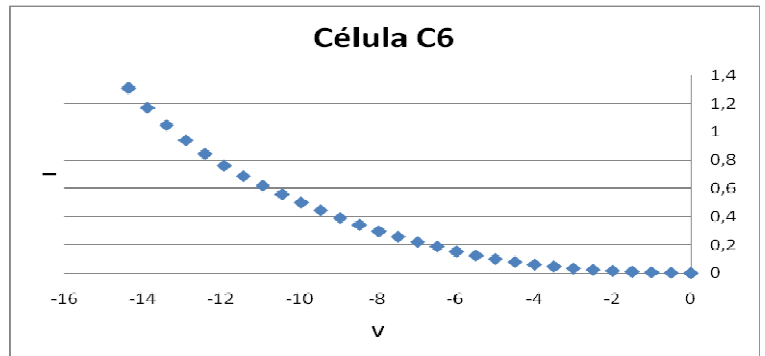


Imagen termográfica a -10V ( $T_{max}=26.3^{\circ}C$ )

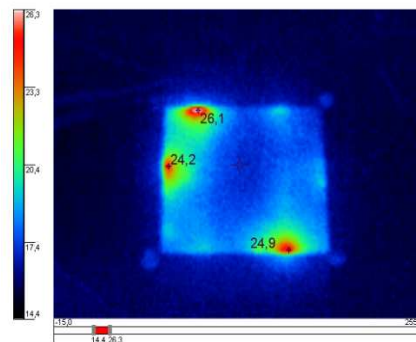
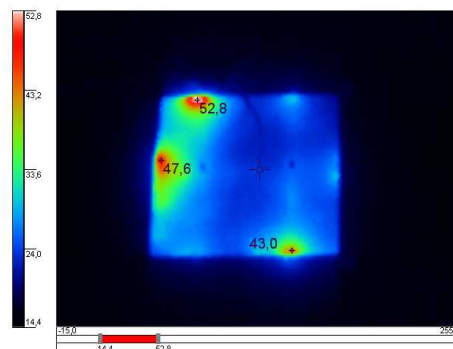


Imagen termográfica a -14.5V ( $T_{max}=52.8^{\circ}C$ )



Los puntos calientes que aparecen son también de soldadura y otro de borde de célula. Como se va viendo son solo esos dos tipos de puntos calientes los que se van apreciando en las diferentes células.

- CÉLULA D3

CÉLULA	VDC	I
D3	0	0
	-0,0069	0,0017
	-0,5019	0,0154
	-1,0019	0,03
	-1,5	0,0453
	-2,0003	0,061
	-2,4968	0,0766
	-2,9951	0,0929
	-3,494	0,1115
	-3,992	0,1281
	-4,4916	0,1468
	-4,9886	0,1657
	-5,4859	0,1857
	-5,986	0,2061
	-6,482	0,2343
	-6,9786	0,2562
	-7,4772	0,278
	-7,972	0,326
	-8,4698	0,3657
	<b>-8,9639</b>	<b>0,4004</b>
	-9,4588	0,4374
	-9,9557	0,4926
	-10,4506	0,5227
	-10,9466	0,5781
	-11,4394	0,645
	-11,9337	0,6872
	-12,4282	0,7483
	-12,9242	0,7792
	<b>-13,419</b>	<b>0,8506</b>

Curva característica D3

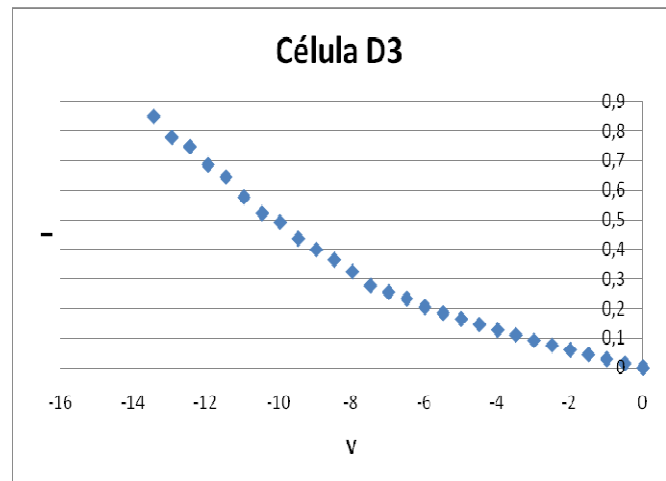
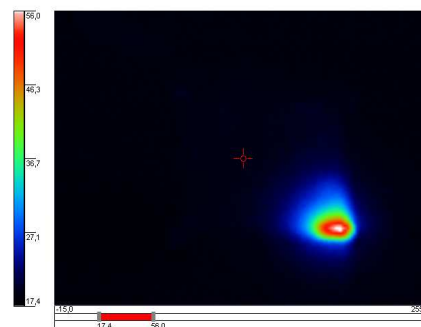


Imagen termográfica a -10V ( $T_{max}=56^{\circ}C$ )



Esta célula hay que resaltar que tiene el Tedlar un poco dañado, y por eso mismo ya se pensaba que en ese punto iba a tener corrientes de fuga localizadas y por ello, ya se pensaba que ahí iba a aparecer un punto caliente. Como se puede observar es la célula que mayor temperatura alcanza para una corriente de polarización inversa de -10V.

No hay imagen termográfica porque para un valor de tensión mayor de -13.4V se produce avalancha térmica y como no se quiere estropear el módulo no se ha esperado a sacar la imagen, pero por dicha avalancha, va a tener seguro la mayor temperatura.

- CÉLULA D4

CÉLULA	VDC	I
D4	0	0
	-0,015	0,0033
	-0,5037	0,0041
	-1,0051	0,0047
	-1,5046	0,0056
	-2,0064	0,0067
	-2,5046	0,008
	-3,0044	0,0099
	-3,5043	0,0126
	-4,0038	0,0152
	-4,5049	0,0186
	-5,0037	0,0225
	-5,5024	0,0275
	-6,0041	0,0335
	-6,5019	0,0416
	-6,9998	0,0488
	-7,4997	0,0579
	-7,9988	0,0676
	-8,4995	0,0796
	<b>-8,9963</b>	<b>0,0919</b>
	-9,4935	0,1066
	-9,9934	0,1211
	-10,4911	0,1385
	-10,9908	0,1532
	-11,4876	0,1697
	-11,9854	0,1878
	-12,4844	0,2077
	-12,9824	0,23
	-13,48	0,2558
	-13,9766	0,2812
	<b>-14,4733</b>	<b>0,3103</b>

Curva característica de la célula D4

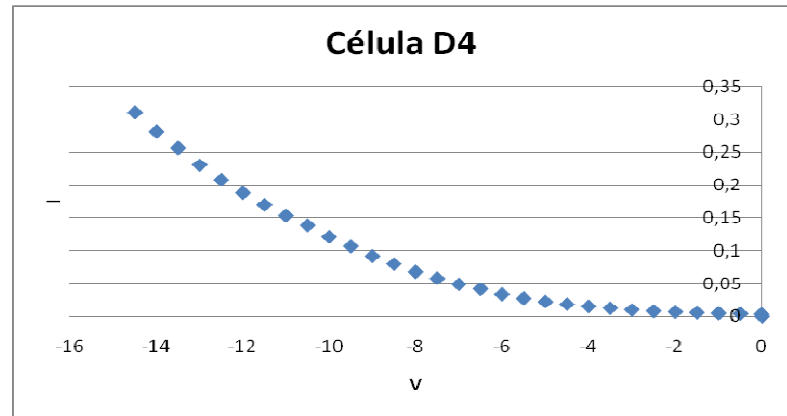


Imagen termográfica a -10V ( $T_{max}=21.9^{\circ}C$ )

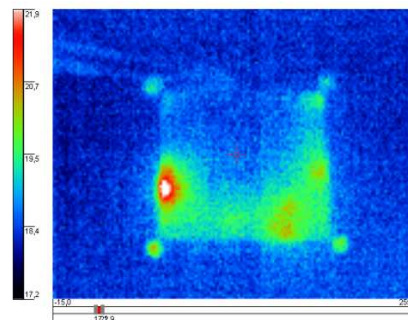
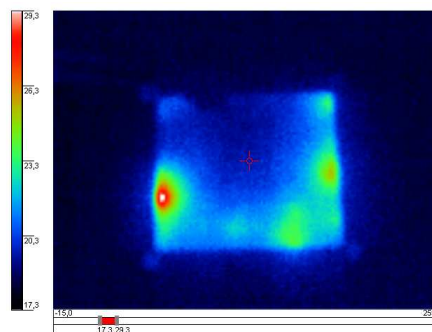


Imagen termográfica a -14.5V ( $T_{max}=29.3^{\circ}C$ )



En esta célula la corriente no ha subido tanto, vuelve a ser tan baja como las primeras analizadas, por lo que como se puede ver en la segunda imagen termográfica, la temperatura ha subido solo hasta 29.3°C

- CÉLULA D5

CÉLULA	VDC	I
D5	0	0
	-0,013	0,0011
	-0,5032	0,0021
	-1,0045	0,0031
	-1,5039	0,0046
	-2,0055	0,0062
	-2,5035	0,0082
	-3,0032	0,011
	-3,5031	0,0179
	-4,0025	0,0219
	-4,5035	0,0271
	-5,002	0,033
	-5,5004	0,0403
	-6,0016	0,0488
	-6,499	0,0607
	-6,9967	0,0711
	-7,4961	0,0835
	-7,9948	0,0978
	-8,4949	0,1134
	<b>-8,9913</b>	<b>0,1306</b>
	-9,488	0,1498
	-9,9877	0,1704
	-10,4847	0,19
	-10,9839	0,213
	-11,4794	0,2395
	-11,976	0,2701
	-12,4734	0,3045
	-12,9694	0,3444
	-13,4656	0,3901
	-13,9588	0,4423
	<b>-14,4522</b>	<b>0,5017</b>

Curva característica de la célula D5

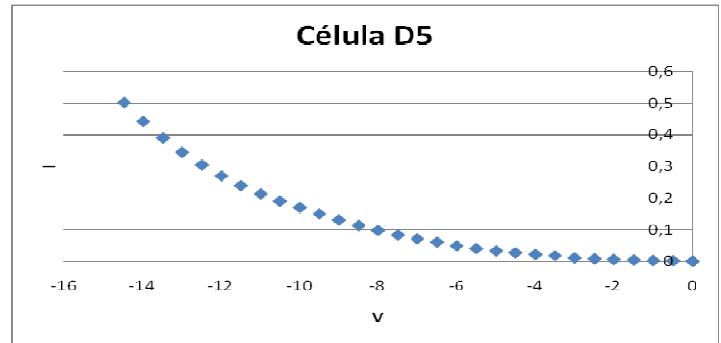


Imagen termográfica a -10V ( $T_{max}=24.0^{\circ}C$ )

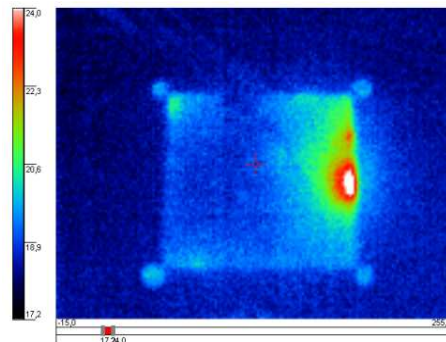
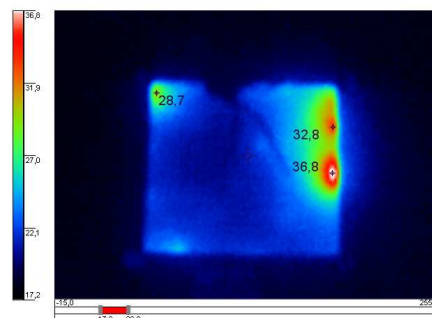


Imagen termográfica a -14.5V ( $T_{max}=36.8^{\circ}C$ )



En esta célula los puntos calientes son de borde de célula.

- CÉLULA D6

CÉLULA	VDC	I
D6	0	0
	-0,0132	0,0017
	-0,5029	0,0027
	-1,0044	0,0036
	-1,5039	0,0045
	-2,0055	0,0056
	-2,5037	0,0072
	-3,0033	0,0094
	-3,5034	0,0148
	-4,003	0,0181
	-4,5037	0,0225
	-5,0024	0,0279
	-5,5011	0,0343
	-6,0025	0,0417
	-6,4997	0,0521
	-6,9975	0,0614
	-7,4971	0,0721
	-7,9959	0,0852
	-8,4973	0,0995
	<b>-8,9929</b>	<b>0,1148</b>
	-9,4899	0,1322
	-9,9896	0,1511
	-10,4866	0,1704
	-10,9858	0,1924
	-11,4819	0,2174
	-11,9784	0,2468
	-12,476	0,2805
	-12,9722	0,3189
	-13,4683	0,3632
	-13,9621	0,4141
	<b>-14,4556</b>	<b>0,4722</b>

Curva característica de la célula D6

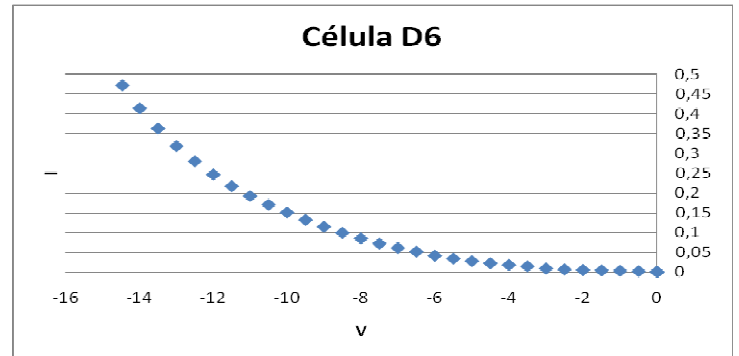


Imagen termográfica a -10V ( $T_{max}=20.9^{\circ}\text{C}$ )

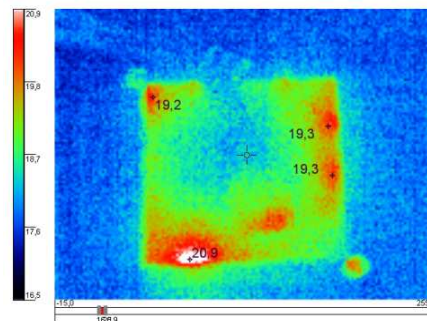
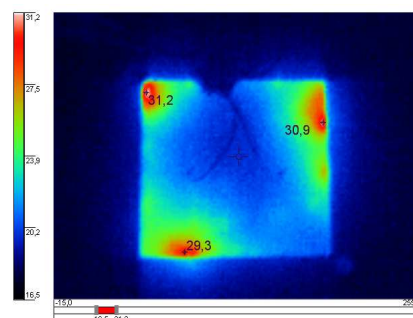


Imagen termográfica a -14.5V ( $T_{max}=28.3^{\circ}\text{C}$ )



- CÉLULA D7

CÉLULA	VDC	I
<b>D7</b>	0	0
	-0,0146	0,0044
	-0,5033	0,0051
	-1,0047	0,0058
	-1,504	0,0066
	-2,0058	0,0077
	-2,504	0,0088
	-3,004	0,0105
	-3,5042	0,0125
	-4,0039	0,015
	-4,5051	0,018
	-5,004	0,0215
	-5,5028	0,0259
	-6,0044	0,0309
	-6,5025	0,0371
	-7,0007	0,0436
	-7,5007	0,0511
	-7,9998	0,0598
	-8,5011	0,0695
	<b>-8,9979</b>	<b>0,081</b>
	-9,4952	0,093
	-9,9952	0,1056
	-10,4929	0,1191
	-10,9927	0,1353
	-11,4893	0,1548
	-11,9867	0,1781
	-12,4851	0,2055
	-12,982	0,2371
	-13,4787	0,2741
	-13,9733	0,3171
	<b>-14,4678</b>	<b>0,3674</b>

Curva característica de la célula D7

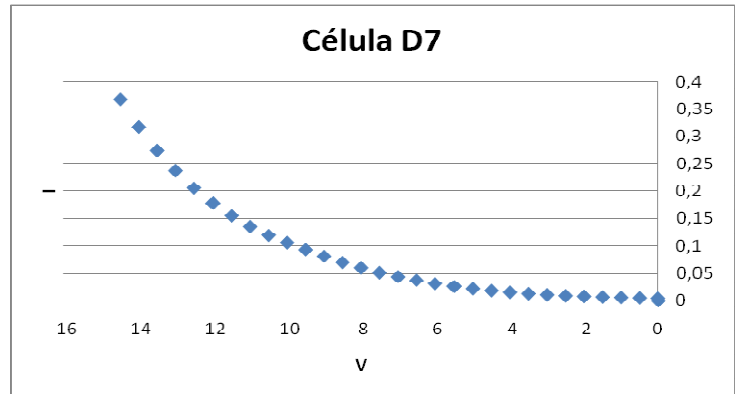


Imagen termográfica a -10V ( $T_{max}=19.1^{\circ}C$ )

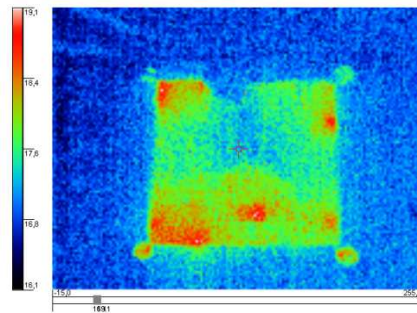
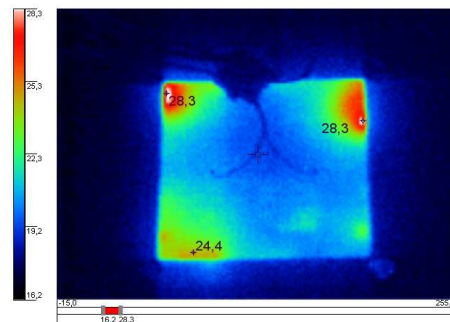


Imagen termográfica a -14.5V ( $T_{max}=28.3^{\circ}C$ )





- CÉLULA E2

CÉLULA	VDC	I
E2	0	0
	-0,5006	0,0032
	-1,0022	0,007
	-1,5009	0,0116
	-2,0023	0,0169
	-2,4999	0,0233
	-2,9991	0,0303
	-3,4993	0,0372
	-3,9984	0,0458
	-4,4988	0,0555
	-4,9971	0,0657
	-5,4951	0,077
	-5,9962	0,0894
	-6,4939	0,102
	-6,9911	0,116
	-7,4905	0,1315
	-7,9888	0,1477
	-8,4891	0,1653
	<b>-8,9854</b>	<b>0,1843</b>
	-9,4823	0,2043
	-9,9822	0,2266
	-10,479	0,2498
	-10,978	0,2758
	-11,4733	0,3057
	-11,9696	0,3415
	-12,4665	0,3837
	-12,9621	0,4333
	-13,4572	0,492
	-13,9494	0,574
	<b>-14,4394</b>	<b>0,6619</b>

Curva característica de la célula E2

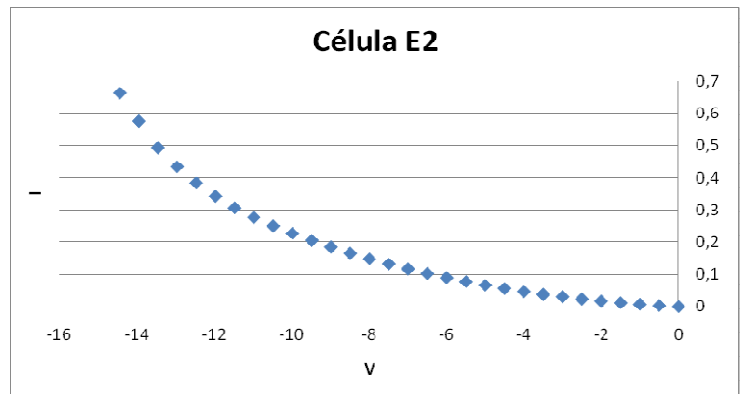


Imagen termográfica a -10V (T<sub>max</sub>=28.9°C)

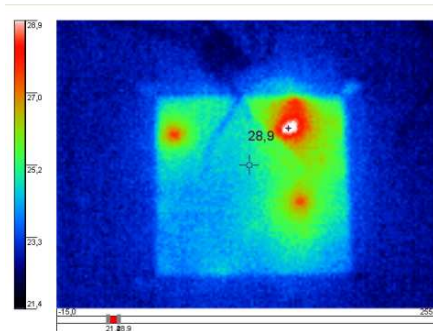
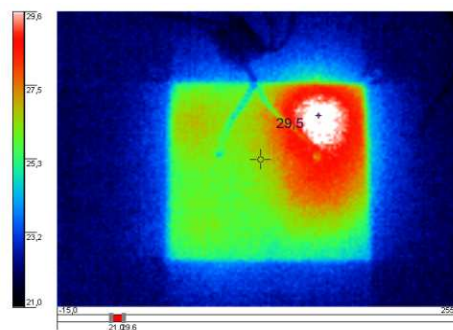


Imagen termográfica a -14.5V (T<sub>max</sub>=29.5°C)





- CÉLULA E3

CÉLULA	VDC	I
<b>E3</b>	0	0
	-0,0121	0,0015
	-0,5034	0,0034
	-1,0048	0,0054
	-1,5042	0,0072
	-2,0057	0,0092
	-2,5037	0,0115
	-3,0032	0,0144
	-3,5026	0,0208
	-4,0019	0,0247
	-4,5028	0,0295
	-5,0015	0,0354
	-5,4999	0,0421
	-6,0014	0,0498
	-6,4995	0,0599
	-6,997	0,0694
	-7,4968	0,0801
	-7,9956	0,0925
	-8,4962	0,1062
	<b>-8,9929</b>	<b>0,1212</b>
	-9,49	0,1376
	-9,9898	0,1561
	-10,4872	0,1748
	-10,9861	0,1987
	-11,4817	0,2275
	-11,978	0,2618
	-12,475	0,3022
	-12,9704	0,3504
	-13,4657	0,4083
	-13,9576	0,4785
	<b>-14,4488</b>	<b>0,5633</b>

Curva característica de la célula E3

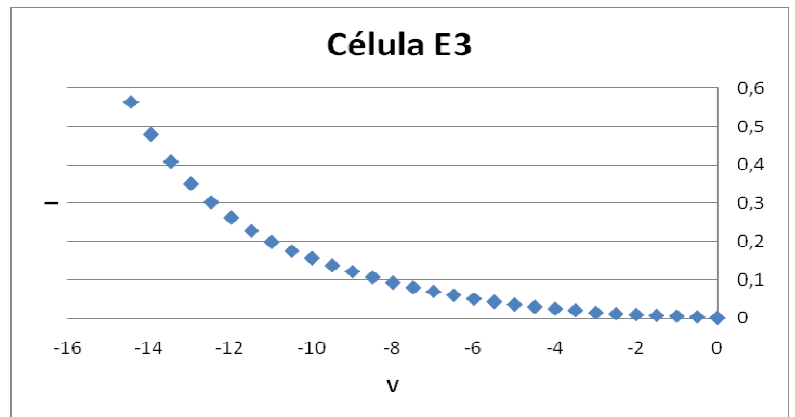


Imagen termográfica a -10V ( $T_{max}=17.4^{\circ}C$ )

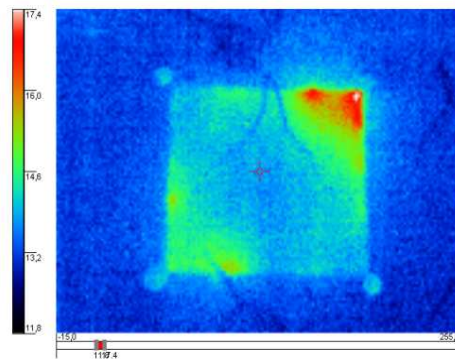
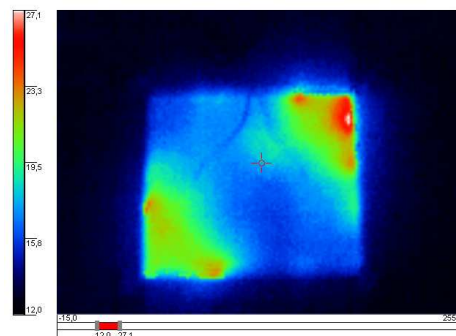


Imagen termográfica a -14.5V ( $T_{max}=27.1^{\circ}C$ )



- CÉLULA E4

CÉLULA	VDC	I
E4	0	0
	-0,0111	0,0014
	-0,5033	0,0039
	-1,0044	0,0066
	-1,5037	0,0099
	-2,005	0,0142
	-2,5027	0,0187
	-3,0022	0,024
	-3,5016	0,0333
	-4,0007	0,0405
	-4,5014	0,0487
	-4,9997	0,0591
	-5,4977	0,0706
	-5,9987	0,0844
	-6,4959	0,1011
	-6,9928	0,1182
	-7,4918	0,1377
	-7,9896	0,1592
	-8,489	0,1833
	<b>-8,9844</b>	<b>0,2124</b>
	-9,48	0,2423
	-9,9786	0,2754
	-10,4736	0,3175
	-10,9711	0,3565
	-11,4651	0,4022
	-11,9594	0,4573
	-12,4546	0,5153
	-12,9474	0,5897
	-13,4406	0,6721
	-13,9294	0,7686
	<b>-14,4179</b>	<b>0,879</b>

Curva característica de la célula E4

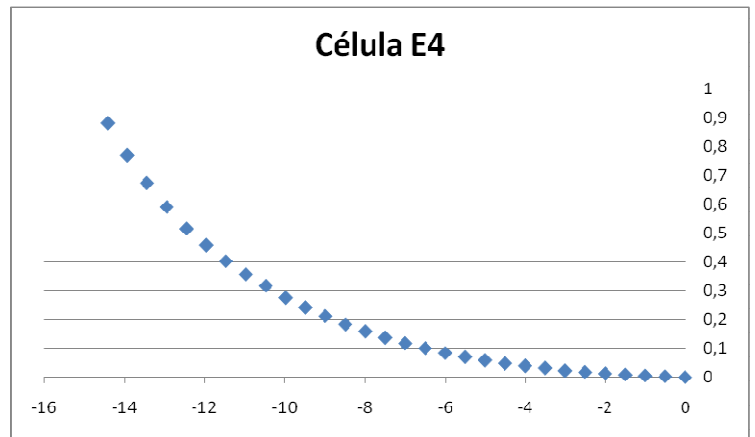


Imagen termográfica a -10V ( $T_{max}=30.4^{\circ}C$ )

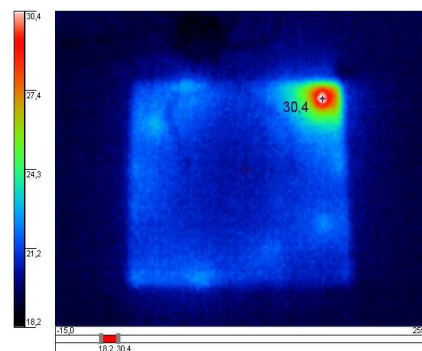
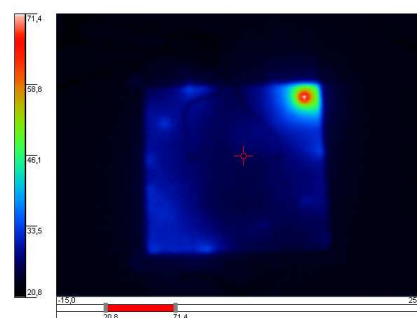


Imagen termográfica a -14.5V ( $T_{max}=71.4^{\circ}C$ )



- CÉLULA E5

CÉLULA	VDC	I
E5	0	0
	-0,0112	0,0086
	-0,5018	0,0115
	-1,0032	0,0151
	-1,5022	0,0192
	-2,0036	0,0241
	-2,5012	0,0295
	-3,0005	0,036
	-3,5001	0,0436
	-3,9992	0,0518
	-4,4989	0,0609
	-4,998	0,0716
	-5,496	0,0835
	-5,9967	0,0971
	-6,4943	0,1119
	-6,9916	0,1277
	-7,4905	0,1455
	-7,9883	0,165
	-8,4881	0,1872
	<b>-8,9842</b>	<b>0,2101</b>
	-9,4804	0,2348
	-9,9797	0,2618
	-10,476	0,2851
	-10,9747	0,3164
	-11,4696	0,3522
	-11,9651	0,3936
	-12,4615	0,4415
	-12,9562	0,4961
	-13,4511	0,5592
	-13,9421	0,6329
	<b>-14,4329</b>	<b>0,7204</b>

Curva característica de la célula E5

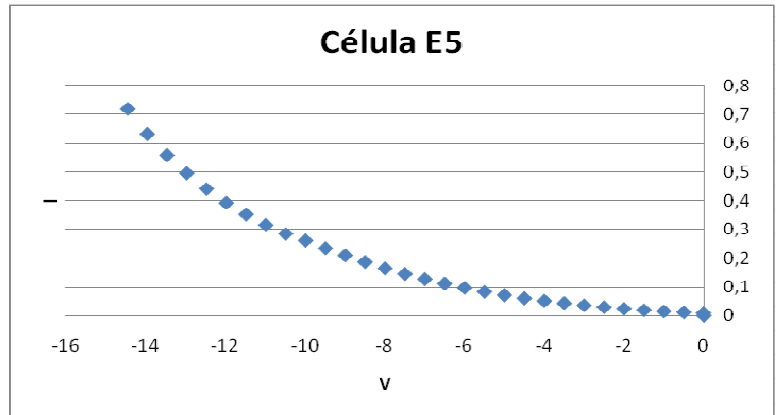


Imagen termográfica a -10V ( $T_{max}=17.4^{\circ}C$ )

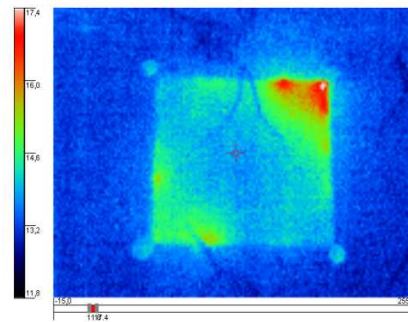
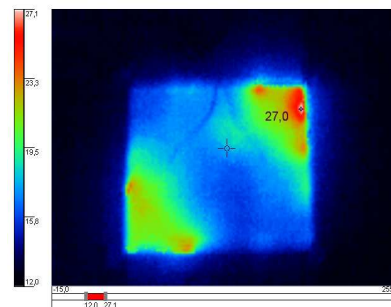


Imagen termografía a -14.5V ( $T_{max}=27.1^{\circ}C$ )



- CÉLULA E6

CÉLULA	VDC	I
E6	0	0
	-0,0113	0,0013
	-0,5033	0,0048
	-1,0045	0,0095
	-1,5035	0,0154
	-2,005	0,0228
	-2,5022	0,0323
	-3,001	0,045
	-3,5002	0,0629
	-3,998	0,0838
	-4,497	0,1099
	-4,993	0,1417
	-5,4882	0,1809
	-5,9861	0,2269
	-6,4794	0,2832
	-6,9729	0,3362
	-7,4676	0,3975
	-7,9608	0,4653
	-8,4551	0,5401
	<b>-8,9454</b>	<b>0,6194</b>
	-9,4355	0,706
	-9,9288	0,7951
	-10,423	0,847
	-10,9139	0,9449
	-11,4017	1,0537
	-11,889	1,1737
	-12,3763	1,3084
	-12,8614	1,4614
	-13,3453	1,6373
	-13,822	1,8414
	<b>-14,2991</b>	<b>2,0941</b>

Curva característica de la célula E6

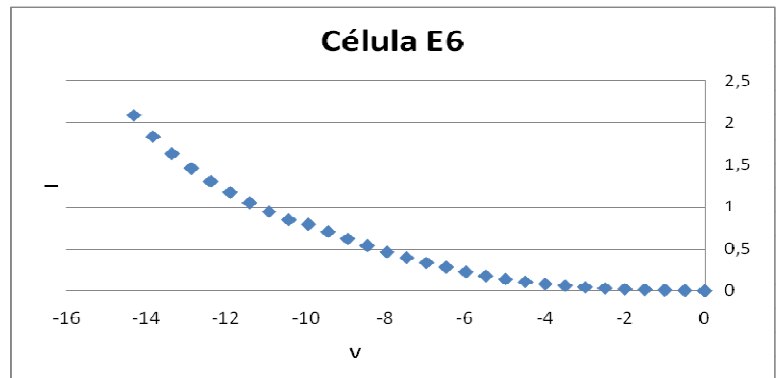


Imagen termográfica a -10V ( $T_{max}=38.7^{\circ}\text{C}$ )

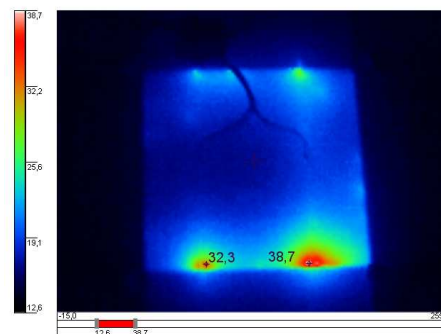
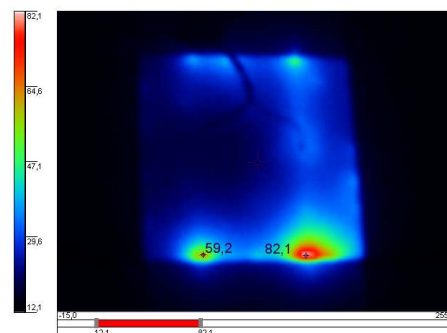


Imagen termográfica a -14.5V ( $T_{max}=82.1^{\circ}\text{C}$ )



- CÉLULA E7

CÉLULA	VDC	I
<b>E7</b>	0	0
	-0,0151	0,0036
	-0,5048	0,0046
	-1,0062	0,0057
	-1,5056	0,0073
	-2,0072	0,0093
	-2,5051	0,0121
	-3,0046	0,0154
	-3,5046	0,0194
	-4,004	0,0241
	-4,505	0,03
	-5,0035	0,0367
	-5,5018	0,0445
	-6,0032	0,0538
	-6,5011	0,0647
	-6,9988	0,0755
	-7,4984	0,0875
	-7,997	0,1005
	-8,4976	0,1148
	<b>-8,9943</b>	<b>0,1303</b>
	-9,4909	0,1462
	-9,9908	0,1638
	-10,4872	0,1877
	-10,9865	0,2083
	-11,4827	0,2325
	-11,9794	0,2619
	-12,4769	0,2948
	-12,9829	0,3371
	-13,469	0,3869
	-13,9618	0,4463
	<b>-14,4543</b>	<b>0,5177</b>

Curva característica de la célula E7

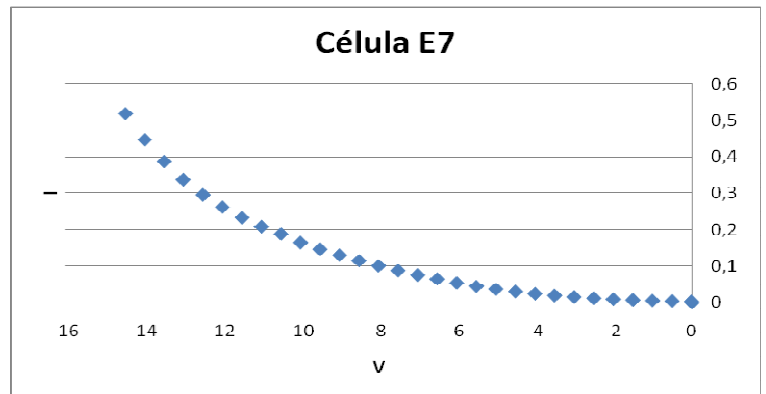


Imagen termográfica a -10V ( $T_{max}=18.2^{\circ}C$ )

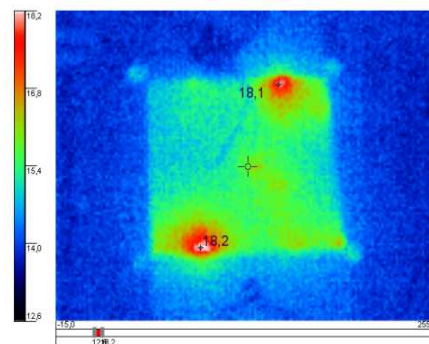
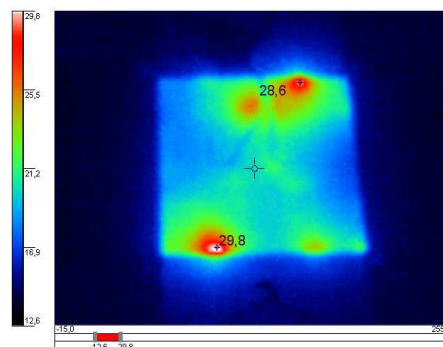


Imagen termográfica a -14.5V ( $T_{max}=29.8^{\circ}C$ )

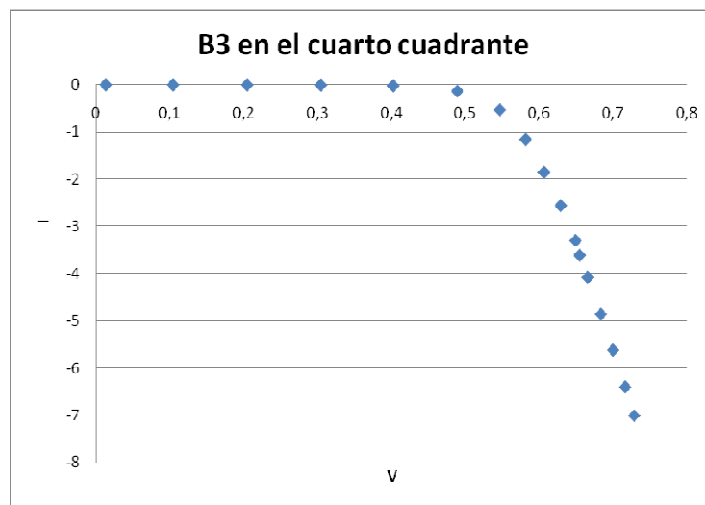


## Anexo B: Resultados obtenidos para el cuarto cuadrante

Los resultados obtenidos de las células que componen el módulo fotovoltaico del laboratorio son los expuestos a continuación.

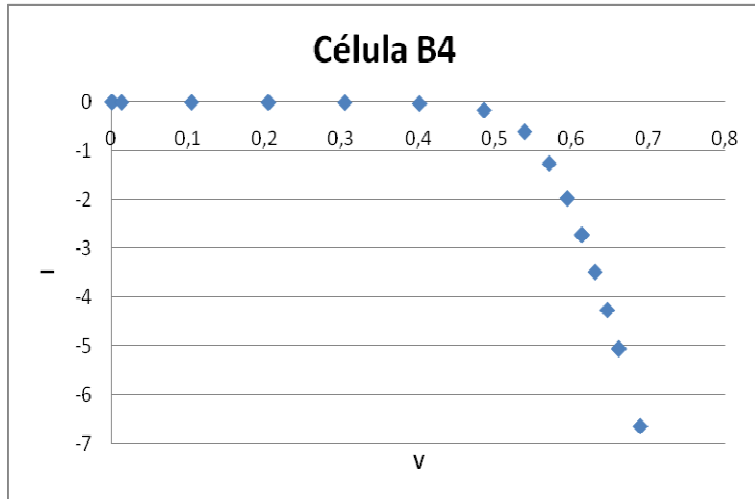
### - CÉLULA B3

CELULA	V	I
<b>B3</b>	0,0126	-0,0011
	0,1035	-0,0018
	0,2039	-0,0031
	0,3036	-0,0064
	0,4018	-0,0209
	0,489	-0,1288
	0,5462	-0,532
	0,5812	-1,152
	0,6063	-1,8438
	0,6291	-2,5569
	0,6488	-3,29
	0,6545	-3,6073
	0,6657	-4,0779
	0,6831	-4,8474
	0,6999	-5,6154
0,7161	-6,392	
0,7285	-6,9994	



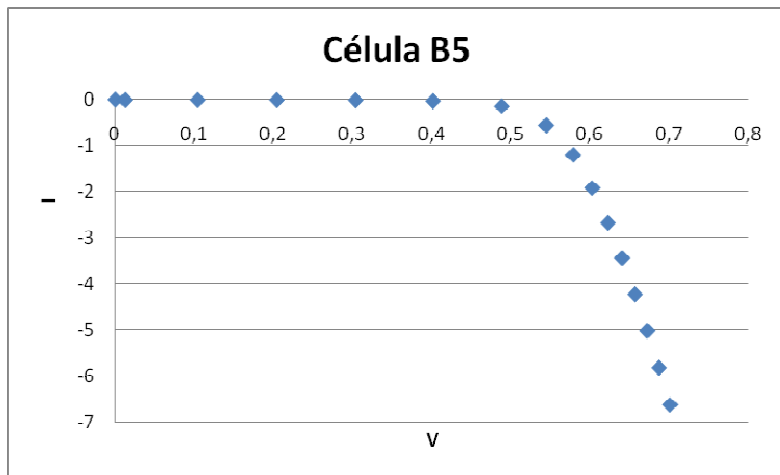
- CÉLULA B4

CELULA	V	I
B4	0	0
	0,0123	-0,0066
	0,1036	-0,0074
	0,2038	-0,0092
	0,3034	-0,0138
	0,4009	-0,0333
	0,4853	-0,1665
	0,5381	-0,6071
	0,5702	-1,259
	0,5935	-1,9751
	0,6127	-2,7237
	0,63	-3,4873
	0,6458	-4,266
	0,6608	-5,0577
0,6889	-6,6509	



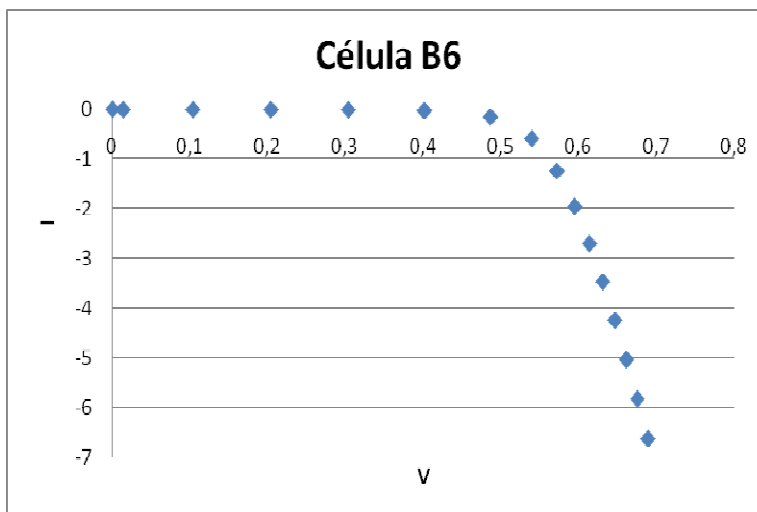
- CÉLULA B5

CELULA	V	I
B5	0	0
	0,0121	-0,0069
	0,1037	-0,0074
	0,2038	-0,0093
	0,3034	-0,0138
	0,4012	-0,0306
	0,4882	-0,1436
	0,5445	-0,5587
	0,5785	-1,2037
	0,6027	-1,9213
	0,6225	-2,6748
	0,6404	-3,4432
	0,6568	-4,2273
	0,6722	-5,0253
0,687	-5,8243	
0,701	-6,6314	



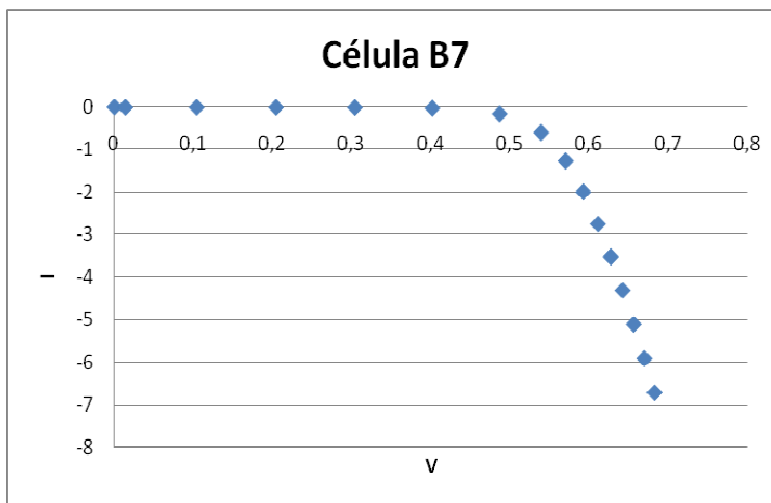
- CÉLULA B6

CELULA	V	I
<b>B6</b>	0	0
	0,0136	-0,0066
	0,1035	-0,007
	0,2039	-0,0077
	0,3035	-0,0108
	0,4013	-0,028
	0,4863	-0,1563
	0,5396	-0,5919
	0,5718	-1,2426
	0,5949	-1,9586
	0,6139	-2,7076
	0,6309	-3,4715
	0,6466	-4,2503
	0,6614	-5,0422
	0,6756	-5,8345
	0,6891	-6,6355



- CÉLULA B7

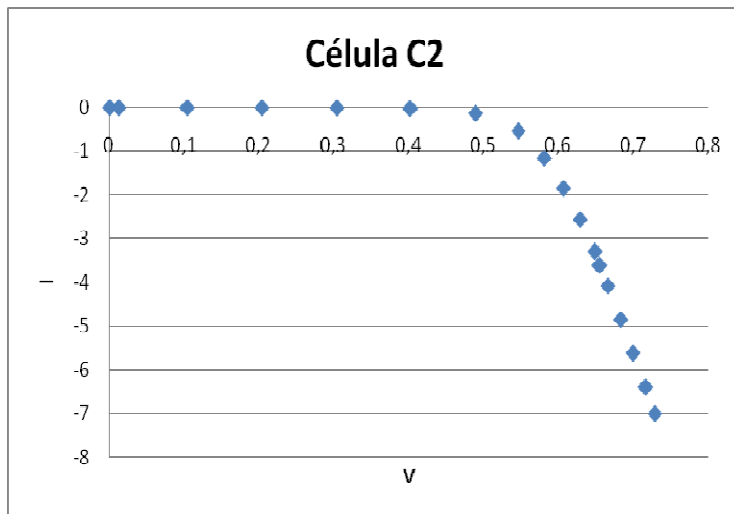
CELULA	V	I
<b>B7</b>	0	0
	0,0136	-0,0066
	0,1037	-0,007
	0,204	-0,008
	0,3036	-0,0111
	0,4014	-0,0275
	0,4865	-0,1563
	0,5389	-0,6018
	0,5698	-1,2656
	0,5922	-1,9922
	0,6107	-2,7513
	0,6269	-3,5249
	0,6418	-4,3125
	0,6559	-5,1141
	0,6693	-5,9158
	0,6821	-6,7256





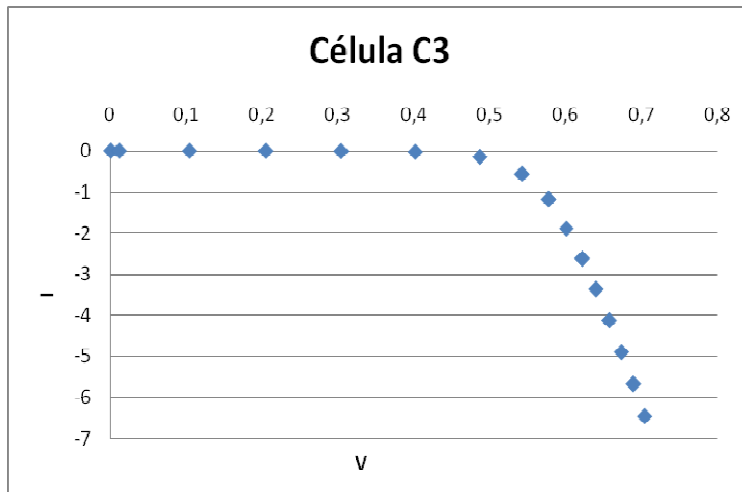
- CÉLULA C2

CELULA	V	I
<b>C2</b>	0	0
	0,0126	-0,0011
	0,1035	-0,0018
	0,2039	-0,0031
	0,3036	-0,0064
	0,4018	-0,0209
	0,489	-0,1288
	0,5462	-0,532
	0,5812	-1,152
	0,6063	-1,8438
	0,6291	-2,5569
	0,6488	-3,29
	0,6545	-3,6073
	0,6657	-4,0779
	0,6831	-4,8474
0,6999	-5,6154	
0,7161	-6,392	
0,7285	-6,9994	



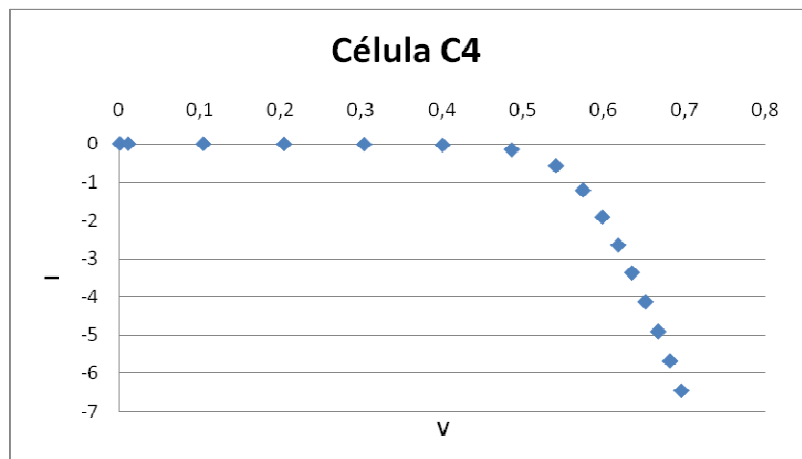
- CÉLULA C3

CELULA	V	I
<b>C3</b>	0	0
	0,0107	-0,0011
	0,1035	-0,002
	0,2037	-0,0038
	0,3033	-0,0088
	0,4009	-0,0285
	0,4863	-0,1503
	0,5414	-0,5656
	0,5767	-1,1829
	0,6002	-1,8952
	0,6208	-2,6251
	0,6393	-3,3708
	0,6564	-4,132
	0,6728	-4,9061
	0,6883	-5,6807
0,7031	-6,4646	



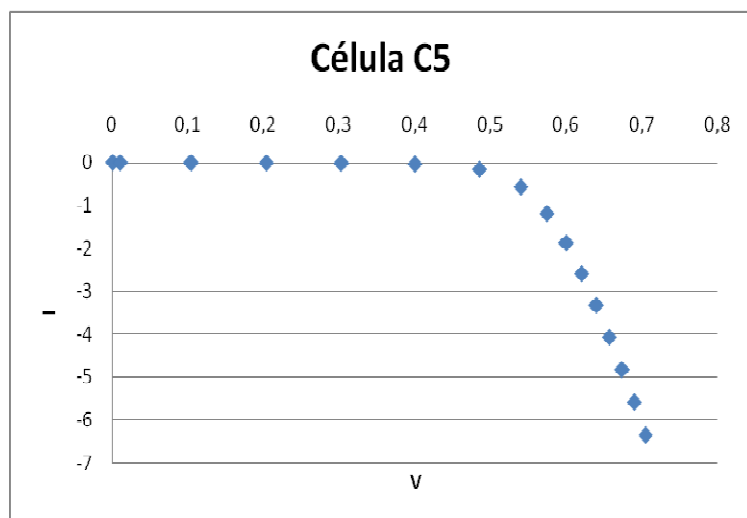
- CÉLULA C4

CELULA	V	I
C4	0	0
	0,0105	-0,005
	0,1034	-0,0063
	0,2033	-0,0099
	0,3025	-0,0169
	0,3996	-0,0385
	0,4852	-0,1622
	0,54	-0,5806
	0,5733	-1,2161
	0,5974	-1,9202
	0,6171	-2,6567
	0,634	-3,3835
	0,6507	-4,1424
	0,6664	-4,9144
	0,6811	-5,687
0,6952	-6,4677	



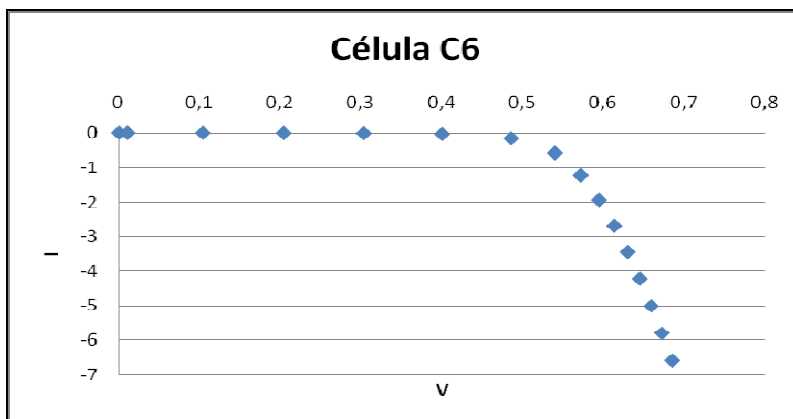
- CÉLULA C5

CELULA	V	I
C5	0	0
	0,0102	-0,0066
	0,1034	-0,0082
	0,2033	-0,0119
	0,3023	-0,0195
	0,3995	-0,0414
	0,485	-0,1639
	0,5402	-0,574
	0,5744	-1,1937
	0,5996	-1,8787
	0,6204	-2,5954
	0,6393	-3,326
	0,6569	-4,0705
	0,6736	-4,827
	0,6897	-5,5862
0,7052	-6,3527	



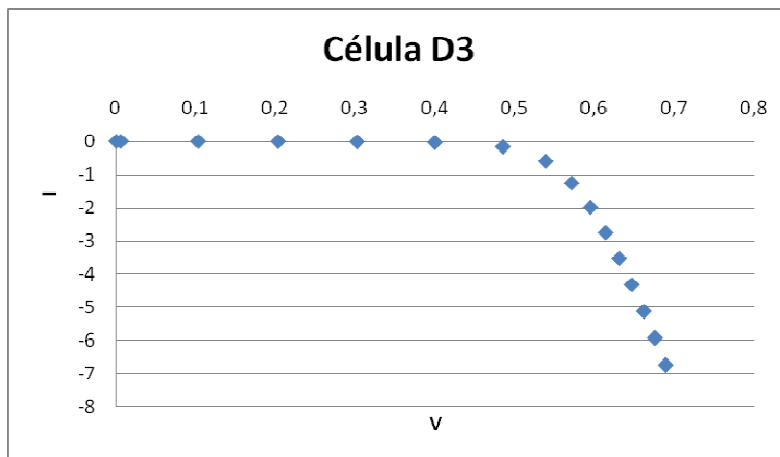
- CÉLULA C6

CELULA	V	I
<b>C6</b>	0	0
	0,0104	-0,0014
	0,1039	-0,0028
	0,2039	-0,0064
	0,3031	-0,014
	0,4003	-0,0356
	0,4857	-0,1597
	0,5399	-0,5855
	0,5719	-1,2316
	0,5947	-1,9444
	0,6136	-2,6906
	0,63	-3,452
	0,6451	-4,2281
	0,6592	-5,0177
	0,6725	-5,8068
0,6853	-6,6034	



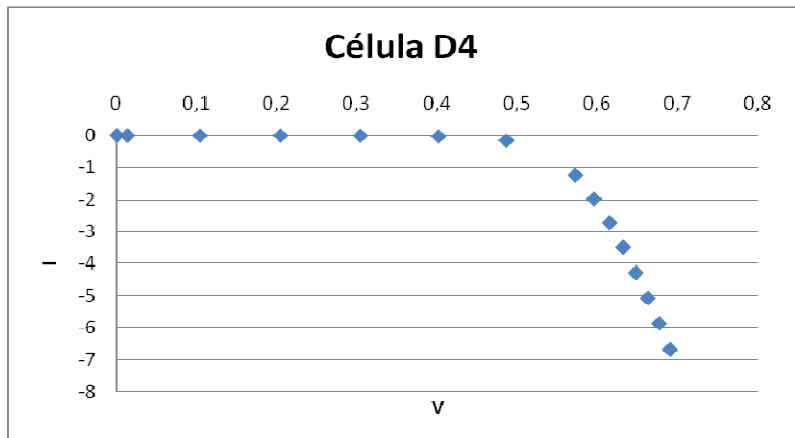
- CÉLULA D3

CELULA	V	I
<b>D3</b>	0	0
	0,0057	-0,0009
	0,1027	-0,0033
	0,2029	-0,0071
	0,3022	-0,0135
	0,3996	-0,0355
	0,485	-0,1659
	0,5388	-0,6015
	0,5714	-1,259
	0,5947	-1,989
	0,6139	-2,7493
	0,6309	-3,5249
	0,6467	-4,3152
	0,6618	-5,1186
	0,6758	-5,9227
0,6893	-6,7351	



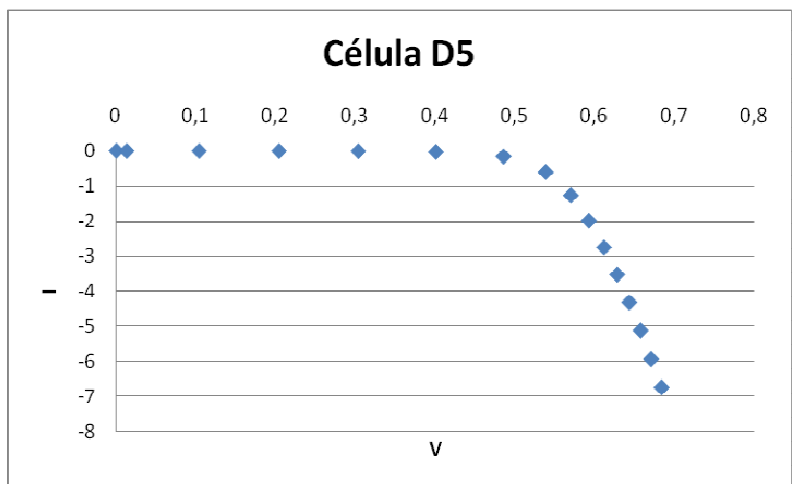
- CÉLULA D4

CELULA	V	I
<b>D4</b>	0	0
	0,0131	-0,0038
	0,1036	-0,0043
	0,2039	-0,0054
	0,3034	-0,0091
	0,4009	-0,0289
	0,4855	-0,1619
	0,5715	-1,2509
	0,5948	-1,9713
	0,6142	-2,7254
	0,6312	-3,4949
	0,6471	-4,279
	0,6621	-5,0767
	0,6761	-5,8756
0,6897	-6,6823	



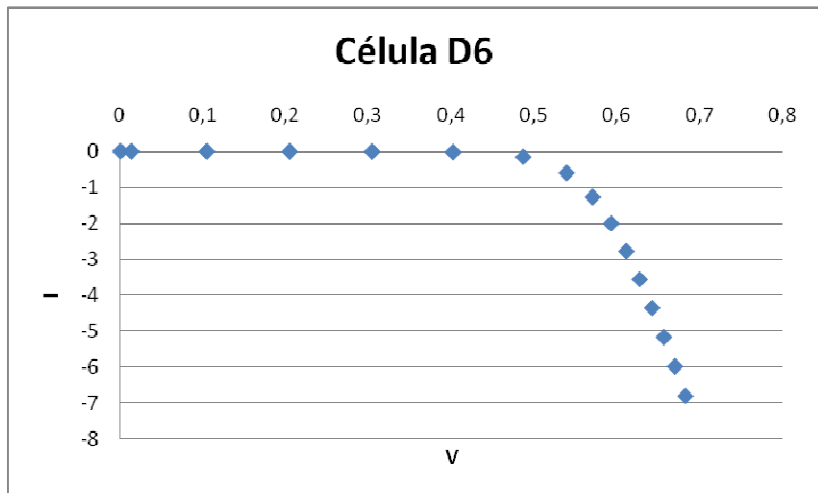
- CÉLULA D5

CELULA	V	I
<b>D5</b>	0	0
	0,0131	-0,0042
	0,1039	-0,0046
	0,2043	-0,0059
	0,3038	-0,01
	0,4012	-0,0297
	0,486	-0,1615
	0,539	-0,6046
	0,5706	-1,2655
	0,5932	-1,992
	0,6122	-2,7524
	0,6287	-3,5276
	0,6439	-4,3178
	0,6581	-5,1212
0,6713	-5,9251	
0,6844	-6,7372	



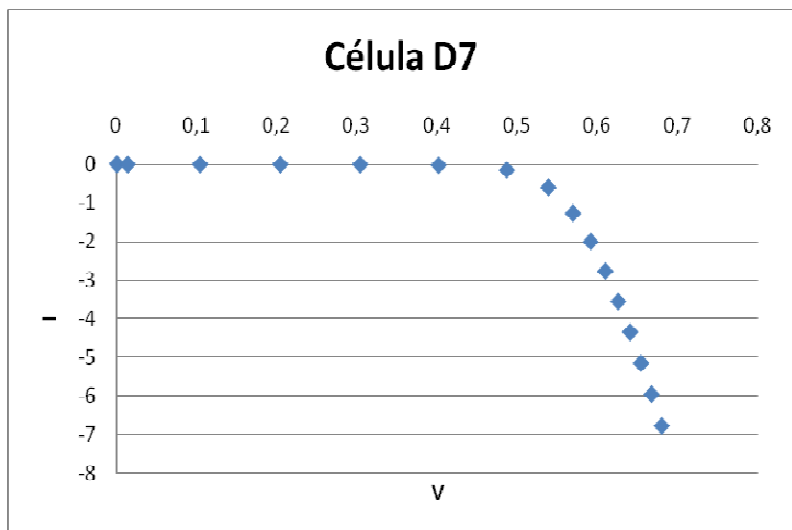
- CÉLULA D6

CELULA	V	I
<b>D6</b>	0	0
	0,013	-0,0038
	0,1042	-0,0042
	0,2044	-0,0055
	0,3041	-0,0092
	0,4018	-0,0267
	0,4868	-0,157
	0,5392	-0,6064
	0,5706	-1,277
	0,5929	-2,0134
	0,6112	-2,7828
	0,6275	-3,568
	0,6425	-4,3676
	0,6567	-5,1813
	0,6701	-5,9951
0,6828	-6,8171	



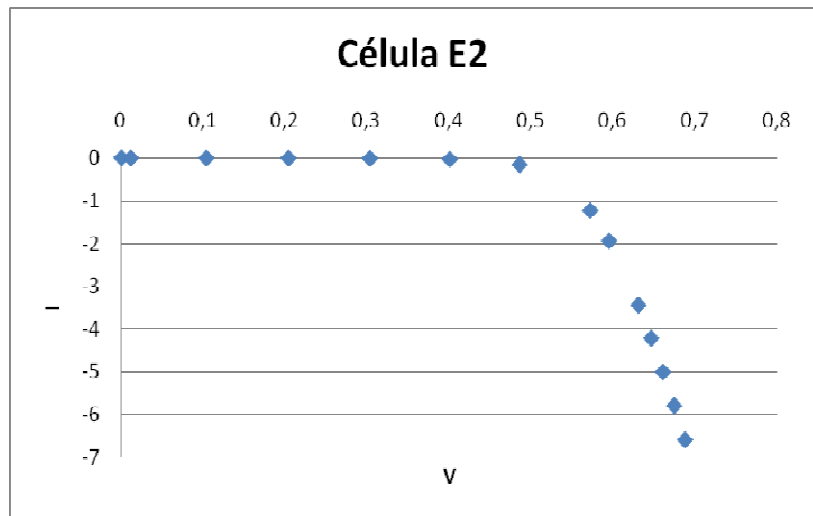
- CÉLULA D7

CELULA	V	I
<b>D7</b>	0	0
	0,0135	-0,0066
	0,1038	-0,007
	0,204	-0,008
	0,3037	-0,0109
	0,4016	-0,0267
	0,4867	-0,1565
	0,5386	-0,6079
	0,5693	-1,2759
	0,5914	-2,007
	0,6097	-2,7719
	0,6258	-3,5509
	0,6407	-4,3442
	0,6542	-5,1515
	0,6674	-5,9585
0,6801	-6,7718	



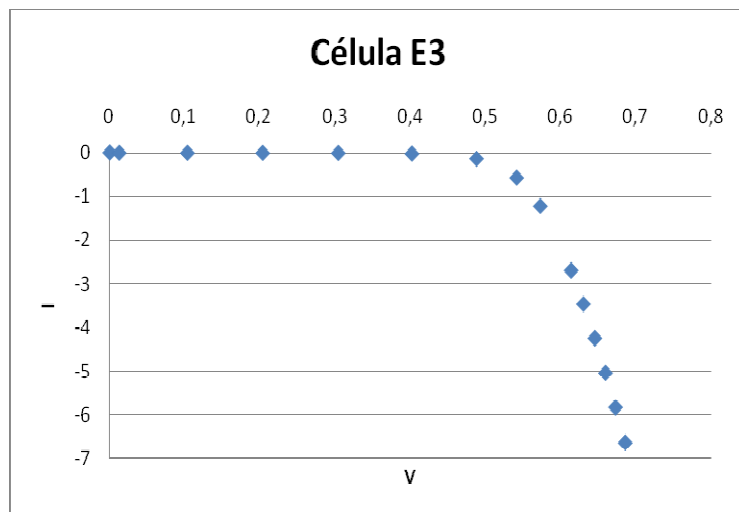
- CÉLULA E2

CELULA	V	I
E2	0	0
	0,0114	-0,0056
	0,1037	-0,0064
	0,2039	-0,009
	0,3033	-0,0146
	0,4008	-0,0343
	0,486	-0,1603
	0,5722	-1,2337
	0,5953	-1,9457
	0,6311	-3,4504
	0,6466	-4,2261
	0,661	-5,0155
	0,6747	-5,8067
0,688	-6,6072	



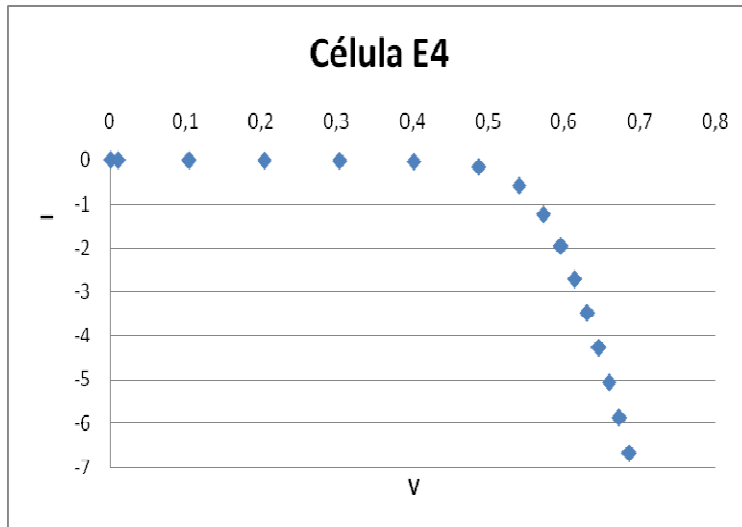
- CÉLULA E3

CELULA	V	I
E3	0	0
	0,0127	-0,0063
	0,1036	-0,0067
	0,204	-0,0079
	0,3035	-0,0109
	0,4017	-0,0257
	0,4879	-0,1435
	0,5414	-0,5754
	0,573	-1,2282
	0,6141	-2,6986
	0,6305	-3,4666
	0,6457	-4,2484
	0,6599	-5,0437
0,6733	-5,8371	
0,6862	-6,6398	



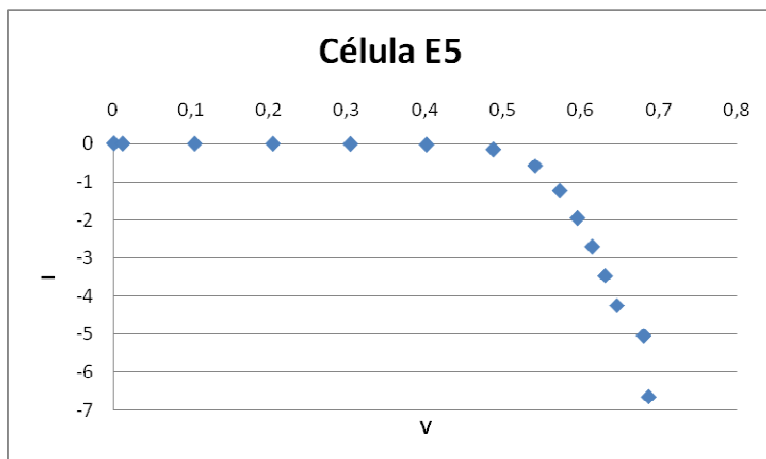
- CÉLULA E4

CELULA	V	I
E4	0	0
	0,0102	-0,0066
	0,1034	-0,0081
	0,2033	-0,0117
	0,3027	-0,0182
	0,4005	-0,0373
	0,4863	-0,1579
	0,5402	-0,5865
	0,572	-1,2383
	0,5947	-1,9579
	0,6131	-2,7112
	0,6298	-3,4798
	0,6447	-4,2627
	0,659	-5,0603
	0,6721	-5,8589
0,685	-6,6652	



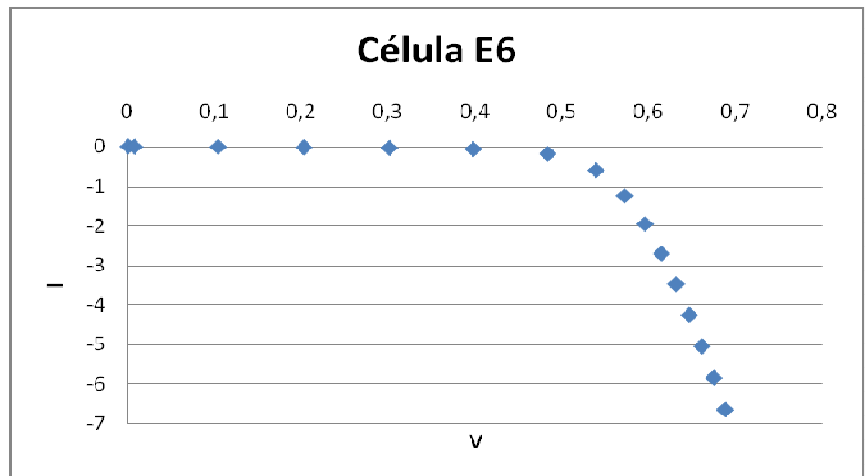
- CÉLULA E5

CELULA	V	I
E5	0	0
	0,0114	-0,0064
	0,1037	-0,0073
	0,204	-0,0093
	0,3034	-0,0137
	0,401	-0,0309
	0,4867	-0,1533
	0,5402	-0,5859
	0,5719	-1,2379
	0,5946	-1,956
	0,6136	-2,7073
	0,6301	-3,4736
	0,6452	-4,2542
	0,6794	-5,0488
	0,6858	-6,6481



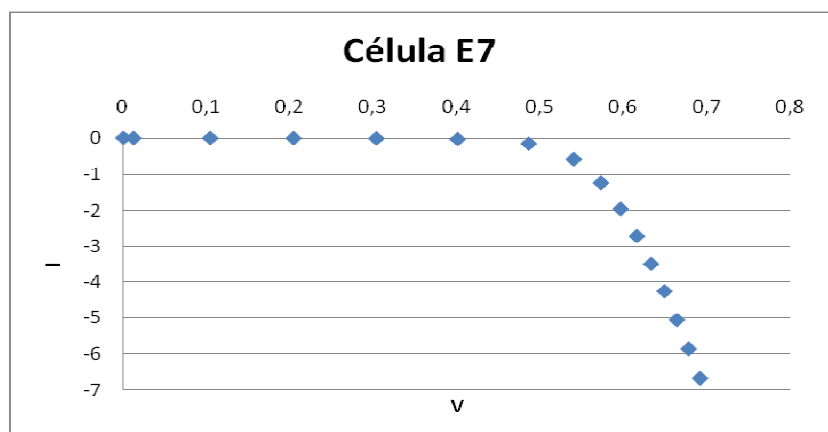
- CÉLULA E6

CELULA	V	I
E6	0	0
	0,007	-0,006
	0,1033	-0,0111
	0,2023	-0,022
	0,3005	-0,038
	0,3971	-0,0671
	0,4829	-0,1871
	0,5385	-0,6017
	0,5715	-1,2448
	0,5948	-1,9591
	0,6137	-2,7092
	0,6305	-3,4741
	0,6459	-4,2537
	0,6603	-5,0473
	0,6741	-5,8414
	0,6872	-6,6436



- CÉLULA E7

CELULA	V	I
E7	0	0
	0,0121	-0,0051
	0,1041	-0,0062
	0,2041	-0,0093
	0,3035	-0,016
	0,401	-0,0369
	0,4862	-0,1633
	0,5403	-0,5931
	0,5729	-1,2436
	0,5964	-1,9621
	0,6159	-2,7144
	0,6331	-3,4824
	0,6491	-4,265
	0,664	-5,0618
	0,6782	-5,859
	0,6918	-6,6654





## Anexo C: Manual del programador

```

%*****
% CalculoIN: subprograma que calcula el valor de IN y Gp
%*****

% Cálculo de Isc y Gp en los vecindarios de cortocircuito

p=15;
IN=zeros(p,1);
ke=zeros(p,1);

for i=1:p
    ke(i,1)=exp(Be*(1-sqrt((thetaT-Vb1)/(thetaT-tension1(i,1))));
end

for i=1:p
    IN(i,1)=intensidad1(i,1)*(1-ke(i,1));
end

% Regresion lineal

a=0;
c=0;
for i=1:p
    c=a+tension1(i,1);
    a=c;
end

% Sumatorio de los términos del vector intensidad.

b=0;
c=0;
for i=1:p
    c=b+IN(i,1);
    b=c;
end

% Sumatorio de los términos al cuadrado del vector tensión.
d=0;
c=0;
for i=1:p
    c=d+(tension1(i,1))^2;
    d=c;
end

% Sumatorio de los términos del vector tensión por los términos del
% vector intensidad.

e=0;
c=0;
for i=1:p
    c=e+(tension1(i,1)*IN(i,1));
    e=c;
end

% Parámetros de cálculo

pendiente=((p*e)-(a*b))/((p*d)-a^2);
ordorigen=((b-(pendiente*a))/p);
pendiente=(b/a);
Gp=-pendiente;
  
```

```

Isc=0;

% Muestra los valores en pantalla

Gp
Isc

% Calcula la función del modelo

n=length(tension1);
IN1=zeros(n,1);
Intensidad2=zeros(n,1);
kel=zeros(n,1);
for i=1:n
    kel(i,1)=exp(Be*(1-sqrt((thetaT-Vb1)/(thetaT-tension1(i,1)))));
end
for i=1:n
    IN1(i,1)=Isc-Gp*tension1(i,1);
end
for i=1:n
    Intensidad2(i,1)=(IN1(i,1)/(1-kel(i,1)));
end

% Crea figura

figure('Name','CARACTERIZACIÓN','NumberTitle','off','toolbar','figure'
,'Position',[550 10 500 400]);
    plot(tension1,Intensidad2,'-r');
    xlabel('Tensión (V)');
    ylabel('Corriente (A)');
    grid on;
    hold on;

% Representa resultados

    plot(tension1,intensidad1,'-b');

% Botón cerrar

    boton2=
    uicontrol(gcf,'Style','push','horizontalalignment','left','String','Ce
rrar','Position',[420 10 50
30],'Callback','delete(get(0,'CurrentFigure'))');

%*****
% celulaB3: subprograma que coge los datos de la célula necesarios
%           para calcular Vb
%*****

% Curva característica de la célula B3

curvaB3

% Introducción de datos experimentales

n=5;
o=length(tension1);
tension=zeros(n,1);
intensidad=zeros(n,1);
for i=1:n
    tension(i,1)=tension1(o-n+(i-1),1);
    intensidad(i,1)=intensidad1(o-n+(i-1),1);
end

```

% Cálculo de los parámetros de la célula B3

modelizacion

Se realiza el mismo subprograma para cada célula medida experimentalmente.

```
%*****
% conjuntocurvas: subprograma que asigna a cada célula sus valores de
%                intensidad y tensión
%*****
```

```
z=1;
q=28;
w=30;
curvaB3
tensionB3=zeros(w,1);
intensidadB3=zeros(w,1);
for i=1:w
    tensionB3(i,1)=tensionl(i,1);
end
for i=1:w
    intensidadB3(i,1)=intensidadl(i,1);
end
```

```
curvaB4
tensionB4=zeros(w,1);
intensidadB4=zeros(w,1);
for i=1:w
    tensionB4(i,1)=tensionl(i,1);
end
for i=1:w
    intensidadB4(i,1)=intensidadl(i,1);
end
```

```
curvaB5
tensionB5=zeros(w,1);
intensidadB5=zeros(w,1);
for i=1:w
    tensionB5(i,1)=tensionl(i,1);
end
for i=1:w
    intensidadB5(i,1)=intensidadl(i,1);
end
```

```
curvaB6
tensionB6=zeros(w,1);
intensidadB6=zeros(w,1);
for i=1:w
    tensionB6(i,1)=tensionl(i,1);
end
for i=1:w
    intensidadB6(i,1)=intensidadl(i,1);
end
```

```
curvaB7
tensionB7=zeros(w,1);
intensidadB7=zeros(w,1);
for i=1:w
    tensionB7(i,1)=tensionl(i,1);
end
for i=1:w
    intensidadB7(i,1)=intensidadl(i,1);
end
```

```
curvaC2
tensionC2=zeros(w,1);
intensidadC2=zeros(w,1);
for i=1:w
    tensionC2(i,1)=tensionl(i,1);
end
for i=1:w
    intensidadC2(i,1)=intensidadl(i,1);
end
```

```
curvaC3
tensionC3=zeros(w,1);
intensidadC3=zeros(w,1);
for i=1:w
    tensionC3(i,1)=tensionl(i,1);
end
for i=1:w
    intensidadC3(i,1)=intensidadl(i,1);
end
```

```
curvaC4
tensionC4=zeros(w,1);
intensidadC4=zeros(w,1);
for i=1:w
    tensionC4(i,1)=tensionl(i,1);
end
for i=1:w
    intensidadC4(i,1)=intensidadl(i,1);
end
```

```
curvaC5
tensionC5=zeros(w,1);
intensidadC5=zeros(w,1);
for i=1:w
    tensionC5(i,1)=tensionl(i,1);
end
for i=1:w
    intensidadC5(i,1)=intensidadl(i,1);
end
```

```
curvaC6
tensionC6=zeros(w,1);
intensidadC6=zeros(w,1);
for i=1:w
    tensionC6(i,1)=tensionl(i,1);
end
for i=1:w
    intensidadC6(i,1)=intensidadl(i,1);
end
```

```
curvaD3
tensionD3=zeros(q,1);
intensidadD3=zeros(q,1);
for i=1:q
    tensionD3(i,1)=tensionl(i,1);
end
for i=1:q
    intensidadD3(i,1)=intensidadl(i,1);
end
```

```
curvaD4
tensionD4=zeros(w,1);
intensidadD4=zeros(w,1);
```

```
for i=1:w
    tensionD4(i,1)=tension1(i,1);
end
for i=1:w
    intensidadD4(i,1)=intensidad1(i,1);
end

curvaD5
tensionD5=zeros(w,1);
intensidadD5=zeros(w,1);
for i=1:w
    tensionD5(i,1)=tension1(i,1);
end
for i=1:w
    intensidadD5(i,1)=intensidad1(i,1);
end

curvaD6
tensionD6=zeros(w,1);
intensidadD6=zeros(w,1);
for i=1:w
    tensionD6(i,1)=tension1(i,1);
end
for i=1:w
    intensidadD6(i,1)=intensidad1(i,1);
end

curvaD7
tensionD7=zeros(w,1);
intensidadD7=zeros(w,1);
for i=1:w
    tensionD7(i,1)=tension1(i,1);
end
for i=1:w
    intensidadD7(i,1)=intensidad1(i,1);
end

curvaE2
tensionE2=zeros(w,1);
intensidadE2=zeros(w,1);
for i=1:w
    tensionE2(i,1)=tension1(i,1);
end
for i=1:w
    intensidadE2(i,1)=intensidad1(i,1);
end

curvaE3
tensionE3=zeros(w,1);
intensidadE3=zeros(w,1);
for i=1:w
    tensionE3(i,1)=tension1(i,1);
end
for i=1:w
    intensidadE3(i,1)=intensidad1(i,1);
end

curvaE4
tensionE4=zeros(w,1);
intensidadE4=zeros(w,1);
for i=1:w
    tensionE4(i,1)=tension1(i,1);
end
for i=1:w
    intensidadE4(i,1)=intensidad1(i,1);
```

```

end

curvaE5
tensionE5=zeros(w,1);
intensidadE5=zeros(w,1);
for i=1:w
    tensionE5(i,1)=tensionl(i,1);
end
for i=1:w
    intensidadE5(i,1)=intensidadl(i,1);
end

curvaE6
tensionE6=zeros(w,1);
intensidadE6=zeros(w,1);
for i=1:w
    tensionE6(i,1)=tensionl(i,1);
end
for i=1:w
    intensidadE6(i,1)=intensidadl(i,1);
end

curvaE7
tensionE7=zeros(w,1);
intensidadE7=zeros(w,1);
for i=1:w
    tensionE7(i,1)=tensionl(i,1);
end
for i=1:w
    intensidadE7(i,1)=intensidadl(i,1);
end

% Llama al subprograma
simulacionconjunto

%*****
% curvaB3: subprograma que crea el vector intensidad y tensión para la
%          célula B3
%*****

% Introducción de los datos experimentales

% Crea el vector tensión

tensionl=[0; -0.0116; -0.5035; -1.0051; -1.5043; -2.0058;...
-2.5037; -3.0033; -3.5029; -4.0022; -4.5033;...
-5.0018; -5.5002; -6.0017; -6.4995; -6.9974;...
-7.4972; -7.9960; -8.4965; -8.9932; -9.4903;...
-9.9903; -10.4873; -10.9869; -11.4835; -11.9813;...
-12.4800; -12.9776; -13.4751; -13.9714; -14.4674];

% Crea el vector intensidad

intensidadl=[0; 0.0013; 0.0032; 0.0050; 0.0072; 0.0097;...
0.0126; 0.0163; 0.0228; 0.0271; 0.0321;...
0.0379; 0.0443; 0.0518; 0.0615; 0.0705;...
0.0808; 0.0925; 0.1056; 0.1193; 0.1341;...
0.1501; 0.1684; 0.1851; 0.2032; 0.2234;...
0.2466; 0.2710; 0.2975; 0.3272; 0.3599];

% Curva característica de la célula B3

if z==0

```

```

    simulacion
else
end

```

Se realiza el mismo subprograma para cada célula medida experimentalmente.

```

%*****
% curvas: subprograma que llama a la curva seleccionada en ejemplos
%*****

z=0;
h=1;

if    met==1
      curvaB3
elseif met==2
      curvaB4
elseif met==3
      curvaB5
elseif met==4
      curvaB6
elseif met==5
      curvaB7
elseif met==6
      curvaC2
elseif met==7
      curvaC3
elseif met==8
      curvaC4
elseif met==9
      curvaC5
elseif met==10
      curvaC6
elseif met==11
      curvaD3
elseif met==12
      curvaD4
elseif met==13
      curvaD5
elseif met==14
      curvaD6
elseif met==15
      curvaD7
elseif met==16
      curvaE2
elseif met==17
      curvaE3
elseif met==18
      curvaE4
elseif met==19
      curvaE5
elseif met==20
      curvaE6
else   met==21
      curvaE7
end

```

```

%*****
% datosintensidades: subprograma que crea las variables para
%                   introducir las intensidades
%*****

n=30;
for i=1:n
    In(i)=0;
end

% Crea texto

texint1 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Intensidad 1=',...
    'Position',[392 535 68 12]);

% Crea variable

val_int1 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[512 532 50 18],...

'CallBack',['In1=get(val_int1,'string');In(1)=str2num(In1);so=0;']
);

% Crea texto

texint2 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Intensidad 2=',...
    'Position',[392 520 68 12]);

% Crea variable

val_int2 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[512 517 50 18],...

'CallBack',['In21=get(val_int2,'string');In(2)=str2num(In21);so=0;']
);

% Crea texto

texint3 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Intensidad 3=',...
    'Position',[392 505 68 12]);

% Crea variable

val_int3 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[512 502 50 18],...

```



```

'CallBack', ['In31=get(val_int3, 'string');In(3)=str2num(In31);so=0;']
);

% Crea texto

texint4 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Intensidad 4=',...
    'Position',[392 490 68 12]);

% Crea variable

val_int4 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[512 487 50 18],...

'CallBack', ['In41=get(val_int4, 'string');In(4)=str2num(In41);so=0;']
);

% Crea texto

texint5 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Intensidad 5=',...
    'Position',[392 475 68 12]);

% Crea variable

val_int5 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[512 472 50 18],...
'CallBack', ['In51=get(val_int5, 'string');In(5)=str2num(In51);so=0;']
);

% Crea texto

texint6 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Intensidad 6=',...
    'Position',[392 460 68 12]);

% Crea variable

val_int6 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[512 457 50 18],...

'CallBack', ['In61=get(val_int6, 'string');In(6)=str2num(In61);so=0;']
);

% Crea texto

texint7 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...

```

```

    'horizontalalignment','left',...
    'String','Intensidad 7=',...
    'Position',[392 445 68 12]);

% Crea variable

val_int7 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[512 442 50 18],...
    'CallBack',['In71=get(val_int7,'string');In(7)=str2num(In71);so=0;']
);

% Crea texto

texint8 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Intensidad 8=',...
    'Position',[392 430 68 12]);

% Crea variable

val_int8 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[512 427 50 18],...
    'CallBack',['In81=get(val_int8,'string');In(8)=str2num(In81);so=0;']
);

% Crea texto

texint9 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Intensidad 9=',...
    'Position',[392 415 68 12]);

% Crea variable

val_int9 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[512 412 50 18],...

    'CallBack',['In91=get(val_int9,'string');In(9)=str2num(In91);so=0;']
);

% Crea texto

texint10 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Intensidad 10=',...
    'Position',[392 400 70 12]);

% Crea variable

val_int10 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...

```

```

        'String','0',...
        'Position',[512 397 50 18],...
'CallBack',[ 'In101=get(val_int10,'string');In(10)=str2num(In101);so=
0;']);

% Crea texto

texint11 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Intensidad 11=',...
    'Position',[392 385 70 12]);

% Crea variable

val_int11 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[512 382 50 18],...
'CallBack',[ 'In111=get(val_int11,'string');In(11)=str2num(In111);so=
0;']);

% Crea texto

texint12 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Intensidad 12=',...
    'Position',[392 370 70 12]);

% Crea variable

val_int12 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[512 367 50 18],...
'CallBack',[ 'In121=get(val_int12,'string');In(12)=str2num(In121);so=
0;']);

% Crea texto

texint13 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Intensidad 13=',...
    'Position',[392 355 70 12]);

% Crea variable

val_int13 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[512 352 50 18],...
'CallBack',[ 'In131=get(val_int13,'string');In(13)=str2num(In131);so=
0;']);

% Crea texto

texint14 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...

```

```
'String','Intensidad 14=',...
'Position',[392 340 70 12]);

% Crea variable

val_int14 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[512 337 50 18],...
    'Callback',['In14=get(val_int14,'string');In(14)=str2num(In14);so=
0;']);

% Crea texto

texint15 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Intensidad 15= ',...
    'Position',[392 325 70 12]);

% Crea variable

val_int15 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[512 322 50 18],...
    'Callback',['In15=get(val_int15,'string');In(15)=str2num(In15);so=
0;']);

% Crea texto

texint16 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Intensidad 16= ',...
    'Position',[392 310 70 12]);

% Crea variable

val_int16 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[512 307 50 18],...
    'Callback',['In16=get(val_int16,'string');In(16)=str2num(In16);so=
0;']);

% Crea texto

texint17 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Intensidad 17= ',...
    'Position',[392 295 70 12]);

% Crea variable

val_int17 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
```

```

    'Position',[512 292 50 18],...
    'Callback',['In17=get(val_int17,'string');In(17)=str2num(In17);so=
0;']);

% Crea texto

texint18 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Intensidad 18=',...
    'Position',[392 280 70 12]);

% Crea variable

val_int18 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[512 277 50 18],...
    'Callback',['In18=get(val_int18,'string');In(18)=str2num(In18);so=
0;']);

% Crea texto

texint19 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Intensidad 19=',...
    'Position',[392 265 70 12]);

% Crea variable

val_int19 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[512 262 50 18],...
    'Callback',['In19=get(val_int19,'string');In(19)=str2num(In19);so=
0;']);

% Crea texto

texint20 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Intensidad 20=',...
    'Position',[392 250 70 12]);

% Crea variable

val_int20 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[512 247 50 18],...
    'Callback',['In20=get(val_int20,'string');In(20)=str2num(In20);so=
0;']);

% Crea texto

texint21 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Intensidad 21=',...

```

```

    'Position',[392 235 70 12]);

% Crea variable

val_int21 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[512 232 50 18],...

    'CallBack',['In211=get(val_int21,'string');In(21)=str2num(In211);so=
0;']);

% Crea texto

texint22 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Intensidad 22=',...
    'Position',[392 220 70 12]);

% Crea variable

val_int22 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[512 217 50 18],...
    'CallBack',['In221=get(val_int22,'string');In(22)=str2num(In221);so=
0;']);

% Crea texto

texint23 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Intensidad 23=',...
    'Position',[392 205 70 12]);

% Crea variable

val_int23 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[512 202 50 18],...
    'CallBack',['In231=get(val_int23,'string');In(23)=str2num(In231);so=
0;']);

% Crea texto

texint24 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Intensidad 24=',...
    'Position',[392 190 70 12]);

% Crea variable

val_int24 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...

```

```

    'Position',[512 187 50 18],...
    'Callback',['In24l=get(val_int24,'string');In(24)=str2num(In24l);so=
0;']);

% Crea texto

texint25 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Intensidad 25=',...
    'Position',[392 175 70 12]);

% Crea variable

val_int25 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[512 172 50 18],...
    'Callback',['In25l=get(val_int25,'string');In(25)=str2num(In25l);so=
0;']);

% Crea texto

texint26 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Intensidad 26=',...
    'Position',[392 160 70 12]);

% Crea variable

val_int26 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[512 157 50 18],...
    'Callback',['In26l=get(val_int26,'string');In(26)=str2num(In26l);so=
0;']);

% Crea texto

texint27 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Intensidad 27=',...
    'Position',[392 145 70 12]);

% Crea variable

val_int27 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[512 142 50 18],...
    'Callback',['In27l=get(val_int27,'string');In(27)=str2num(In27l);so=
0;']);

% Crea texto

texint28 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Intensidad 28=',...

```

```

    'Position',[392 130 70 12]);

% Crea variable

val_int28 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[512 127 50 18],...
    'Callback',['In281=get(val_int28,'string');In(28)=str2num(In281);so=
0;']);

% Crea texto

texint29 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Intensidad 29=',...
    'Position',[392 115 70 12]);

% Crea variable

val_int29 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[512 112 50 18],...
    'Callback',['In291=get(val_int29,'string');In(29)=str2num(In291);so=
0;']);

% Crea texto

texint30 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Intensidad 30=',...
    'Position',[392 100 70 12]);

% Crea variable

val_int30 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[512 97 50 18],...
    'Callback',['In301=get(val_int30,'string');In(30)=str2num(In301);so=
0;']);

%*****
% datostensiones: subprograma que crea las variables para
%                   introducir las tensiones
%*****

n=30;
for i=1:n
    v(i)=0;
end

% Crea texto

texten1 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...

```



```

    'String','Tension 1=',...
    'Position',[90 550-15 68 12]);

% Crea variable

val_ten1 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[210 547-15 50 18],...

'CallBack',[ 'v11=get(val_ten1,'string');v(1)=str2num(v11);so=0;']);

% Crea texto

texten2 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Tension 2=',...
    'Position',[90 550-30 68 12]);

% Crea variable

val_ten2 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[210 547-30 50 18],...

'CallBack',[ 'v21=get(val_ten2,'string');v(2)=str2num(v21);so=0;']);

% Crea texto

texten3 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Tension 3=',...
    'Position',[90 550-45 68 12]);

% Crea variable

val_ten3 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[210 547-45 50 18],...

'CallBack',[ 'v31=get(val_ten3,'string');v(3)=str2num(v31);so=0;']);

% Crea texto

texten4 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Tension 4=',...
    'Position',[90 550-60 68 12]);

% Crea variable

val_ten4 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[210 547-60 50 18],...

```

```

'Callback', ['v41=get(val_ten4, 'string');v(4)=str2num(v41);so=0;']);

% Crea texto

texten5 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Tension 5=',...
    'Position',[90 550-75 68 12]);

% Crea variable

val_ten5 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[210 547-75 50 18],...

'Callback', ['v51=get(val_ten5, 'string');v(5)=str2num(v51);so=0;']);

% Crea texto

texten6 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Tension 6=',...
    'Position',[90 550-90 68 12]);

% Crea variable

val_ten6 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[210 547-90 50 18],...

'Callback', ['v61=get(val_ten6, 'string');v(6)=str2num(v61);so=0;']);

% Crea texto

texten7 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Tension 7=',...
    'Position',[90 550-105 68 12]);

% Crea variable

val_ten7 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[210 547-105 50 18],...

'Callback', ['v71=get(val_ten7, 'string');v(7)=str2num(v71);so=0;']);

% Crea texto

texten8 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Tension 8=',...
    'Position',[90 550-120 68 12]);

```

```

% Crea variable

val_ten8 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[210 547-120 50 18],...

'CallBack',['v81=get(val_ten8,'string');v(8)=str2num(v81);so=0;']);

% Crea texto

texten9 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Tension 9=',...
    'Position',[90 550-135 68 12]);

% Crea variable

val_ten9 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[210 547-135 50 18],...

'CallBack',['v91=get(val_ten9,'string');v(9)=str2num(v91);so=0;']);

% Crea texto

texten10 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Tension 10=',...
    'Position',[90 550-150 68 12]);

% Crea variable

val_ten10 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[210 547-150 50 18],...

'CallBack',['v101=get(val_ten10,'string');v(10)=str2num(v101);so=0;']
);

% Crea texto

texten11 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Tension 11=',...
    'Position',[90 550-165 68 12]);

% Crea variable

val_ten11 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[210 547-165 50 18],...

```

```

'CallBack', ['v111=get(val_ten11, 'string');v(11)=str2num(v111);so=0;']
]);

% Crea texto

texten12 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Tension 12=',...
    'Position',[90 550-180 68 12]);

% Crea variable

val_ten12 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[210 547-180 50 18],...

'CallBack', ['v121=get(val_ten12, 'string');v(12)=str2num(v121);so=0;']
]);

% Crea texto

texten13 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Tension 13=',...
    'Position',[90 550-195 68 12]);

% Crea variable

val_ten13 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[210 547-195 50 18],...

'CallBack', ['v131=get(val_ten13, 'string');v(13)=str2num(v131);so=0;']
]);

% Crea texto

texten14 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Tension 14=',...
    'Position',[90 550-210 68 12]);

% Crea variable

val_ten14 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[210 547-210 50 18],...

'CallBack', ['v141=get(val_ten14, 'string');v(14)=str2num(v141);so=0;']
]);

% Crea texto

texten15 = uicontrol(gcf,...

```

```

        'Style','text',...
        'horizontalalignment','left',...
        'String','Tension 15=',...
        'Position',[90 550-225 68 12]);

% Crea variable

val_ten15 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[210 547-225 50 18],...

'CallBack',[ 'v151=get(val_ten15,'string');v(15)=str2num(v151);so=0;'
]);

% Crea texto

texten16 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Tension 16=',...
    'Position',[90 550-240 68 12]);

% Crea variable

val_ten16 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[210 547-240 50 18],...

'CallBack',[ 'v161=get(val_ten16,'string');v(16)=str2num(v161);so=0;'
]);

% Crea texto

texten17 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Tension 17=',...
    'Position',[90 550-255 68 12]);

% Crea variable

val_ten17 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[210 547-255 50 18],...

'CallBack',[ 'v171=get(val_ten17,'string');v(17)=str2num(v171);so=0;'
]);

% Crea texto

texten18 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Tension 18=',...
    'Position',[90 550-270 68 12]);

% Crea variable

```

```

val_ten18 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[210 547-270 50 18],...

'CallBack',[ 'v181=get(val_ten18,'string');v(18)=str2num(v181);so=0;'
]);

% Crea texto

texten19 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Tension 19=',...
    'Position',[90 550-285 68 12]);

% Crea variable

val_ten19 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[210 547-285 50 18],...

'CallBack',[ 'v191=get(val_ten19,'string');v(19)=str2num(v191);so=0;'
]);

% Crea texto

texten20 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Tension 20=',...
    'Position',[90 550-300 68 12]);

% Crea variable

val_ten20 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[210 547-300 50 18],...

'CallBack',[ 'v201=get(val_ten20,'string');v(20)=str2num(v201);so=0;'
]);

% Crea texto

texten21 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Tension 21=',...
    'Position',[90 550-315 68 12]);

% Crea variable

val_ten21 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[210 547-315 50 18],...

'CallBack',[ 'v211=get(val_ten21,'string');v(21)=str2num(v211);so=0;'
]);

```

```

% Crea texto

texten22 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Tension 22=',...
    'Position',[90 550-330 68 12]);

% Crea variable

val_ten22 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[210 547-330 50 18],...

'CallBack',['v22=get(val_ten22,'string');v(22)=str2num(v22);so=0;']);

% Crea texto

texten23 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Tension 23=',...
    'Position',[90 550-345 68 12]);

% Crea variable

val_ten23 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[210 547-345 50 18],...

'CallBack',['v23=get(val_ten23,'string');v(23)=str2num(v23);so=0;']);

% Crea texto

texten24 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Tension 24=',...
    'Position',[90 550-360 68 12]);

% Crea variable

val_ten24 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[210 547-360 50 18],...

'CallBack',['v24=get(val_ten24,'string');v(24)=str2num(v24);so=0;']);

% Crea texto

texten25 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Tension 25=',...

```

```

    'Position',[90 550-375 68 12]);

% Crea variable

val_ten25 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[210 547-375 50 18],...

    'CallBack',['v251=get(val_ten25,'string');v(25)=str2num(v251);so=0;']
]);

% Crea texto

texten26 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Tension 26=',...
    'Position',[90 550-390 68 12]);

% Crea variable

val_ten26 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[210 547-390 50 18],...

    'CallBack',['v261=get(val_ten26,'string');v(26)=str2num(v261);so=0;']
]);

% Crea texto

texten27 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Tension 27=',...
    'Position',[90 550-405 68 12]);

% Crea variable

val_ten27 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[210 547-405 50 18],...

    'CallBack',['v271=get(val_ten27,'string');v(27)=str2num(v271);so=0;']
]);

% Crea texto

texten28 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Tension 28=',...
    'Position',[90 550-420 68 12]);

% Crea variable

val_ten28 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...

```



```

    'String','0',...
    'Position',[210 547-420 50 18],...

'CallBack',['v281=get(val_ten28,'string');v(28)=str2num(v281);so=0;']];

% Crea texto

texten29 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Tension 29=',...
    'Position',[90 550-435 68 12]);

% Crea variable

val_ten29 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[210 547-435 50 18],...

'CallBack',['v291=get(val_ten29,'string');v(29)=str2num(v291);so=0;']];

% Crea texto

texten30 = uicontrol(gcf,...
    'Style','text',...
    'horizontalalignment','left',...
    'String','Tension 30=',...
    'Position',[90 550-450 68 12]);

% Crea variable

val_ten30 = uicontrol(gcf,...
    'backgroundcolor','white',...
    'Style','edit',...
    'String','0',...
    'Position',[210 547-450 50 18],...

'CallBack',['v301=get(val_ten30,'string');v(30)=str2num(v301);so=0;']];

%*****
% ejemplos: subprograma que presenta la pantalla de elección de célula
%*****

clear all
scrsz = get(0,'ScreenSize');

%Crea figura

figpan2=figure('Name','ELECCIÓN DE LA
CÉLULA','NumberTitle','off','menubar','none','Position',[300 100 650
600]);
axes('Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);

%Importa imagen *.jpg,junto con su mapa de colores

[x,map]=imread('imagen.jpg','jpg');

%Representa imagen en figura, con su mapa de colores

```

```

image(x),colormap(map),axis off,hold on

%Títulos sobre imagen

text(450,70,'Elija
célula','Fontname','Arial','FontSize',20,'Fontangle','Italic','Fontwei
ght','Bold','color',[1 1 1]);

%Crea cuadro

ft_dir = uicontrol(gcf,...
'Style','frame',...
'Position',[75 130 532 330]);

% Crea texto

titulo = uicontrol(gcf,...
'Style','text',...
'horizontalalignment','left',...
'String','CELULAS ENSAYADAS:',...
'Position',[95 433 180 12]);

% Coloca todas las células ensayadas

met=1;

metodo_1 = uicontrol(gcf,...
'Style','radio',...
'String','Célula B3',...
'Position',[195 385 200 30],...
'Value',1,...
'Callback',[...
'set(metodo_1,'Value',1),so=0;'...
'set(metodo_2,'Value',0),'...
'set(metodo_3,'Value',0),'...
'set(metodo_4,'Value',0),'...
'set(metodo_5,'Value',0),'...
'set(metodo_6,'Value',0),'...
'set(metodo_7,'Value',0),'...
'set(metodo_8,'Value',0),'...
'set(metodo_9,'Value',0),'...
'set(metodo_10,'Value',0),'...
'set(metodo_11,'Value',0),'...
'set(metodo_12,'Value',0),'...
'set(metodo_13,'Value',0),'...
'set(metodo_14,'Value',0),'...
'set(metodo_15,'Value',0),'...
'set(metodo_16,'Value',0),'...
'set(metodo_17,'Value',0),'...
'set(metodo_18,'Value',0),'...
'set(metodo_19,'Value',0),'...
'set(metodo_20,'Value',0),'...
'set(metodo_21,'Value',0),'...
'met=1;']);

metodo_2 = uicontrol(gcf,...
'Style','radio',...
'String','Célula B4',...
'Position',[195 361 200 30],...
'Callback',[...
'set(metodo_2,'Value',1),so=0;'...
'set(metodo_1,'Value',0),'...
'set(metodo_3,'Value',0),'...

```

```
'set(metodo_4, 'Value', 0), '...
'set(metodo_5, 'Value', 0), '...
'set(metodo_6, 'Value', 0), '...
'set(metodo_7, 'Value', 0), '...
'set(metodo_8, 'Value', 0), '...
'set(metodo_9, 'Value', 0), '...
'set(metodo_10, 'Value', 0), '...
'set(metodo_11, 'Value', 0), '...
'set(metodo_12, 'Value', 0), '...
'set(metodo_13, 'Value', 0), '...
'set(metodo_14, 'Value', 0), '...
'set(metodo_15, 'Value', 0), '...
'set(metodo_16, 'Value', 0), '...
'set(metodo_17, 'Value', 0), '...
'set(metodo_18, 'Value', 0), '...
'set(metodo_19, 'Value', 0), '...
'set(metodo_20, 'Value', 0), '...
'set(metodo_21, 'Value', 0), '...
'met=2; ']);
```

```
metodo_3 = uicontrol(gcf, ...
'Style', 'radio', ...
'String', 'Célula B5', ...
'Position', [195 337 200 30], ...
'Callback', [...
'set(metodo_3, 'Value', 1), so=0; '...
'set(metodo_1, 'Value', 0), '...
'set(metodo_2, 'Value', 0), '...
'set(metodo_4, 'Value', 0), '...
'set(metodo_5, 'Value', 0), '...
'set(metodo_6, 'Value', 0), '...
'set(metodo_7, 'Value', 0), '...
'set(metodo_8, 'Value', 0), '...
'set(metodo_9, 'Value', 0), '...
'set(metodo_10, 'Value', 0), '...
'set(metodo_11, 'Value', 0), '...
'set(metodo_12, 'Value', 0), '...
'set(metodo_13, 'Value', 0), '...
'set(metodo_14, 'Value', 0), '...
'set(metodo_15, 'Value', 0), '...
'set(metodo_16, 'Value', 0), '...
'set(metodo_17, 'Value', 0), '...
'set(metodo_18, 'Value', 0), '...
'set(metodo_19, 'Value', 0), '...
'set(metodo_20, 'Value', 0), '...
'set(metodo_21, 'Value', 0), '...
'met=3; ']);
```

```
metodo_4 = uicontrol(gcf, ...
'Style', 'radio', ...
'String', 'Célula B6', ...
'Position', [195 313 200 30], ...
'Callback', [...
'set(metodo_4, 'Value', 1), so=0; '...
'set(metodo_1, 'Value', 0), '...
'set(metodo_2, 'Value', 0), '...
'set(metodo_3, 'Value', 0), '...
'set(metodo_5, 'Value', 0), '...
'set(metodo_6, 'Value', 0), '...
'set(metodo_7, 'Value', 0), '...
'set(metodo_8, 'Value', 0), '...
'set(metodo_9, 'Value', 0), '...
'set(metodo_10, 'Value', 0), '...
'set(metodo_11, 'Value', 0), '...
'set(metodo_12, 'Value', 0), '...
'set(metodo_13, 'Value', 0), '...
'set(metodo_14, 'Value', 0), '...
'set(metodo_15, 'Value', 0), '...
'set(metodo_16, 'Value', 0), '...
'set(metodo_17, 'Value', 0), '...
'set(metodo_18, 'Value', 0), '...
'set(metodo_19, 'Value', 0), '...
'set(metodo_20, 'Value', 0), '...
'set(metodo_21, 'Value', 0), '...
'met=4; ']);
```

```

'set(metodo_13,'Value',0),'...
'set(metodo_14,'Value',0),'...
'set(metodo_15,'Value',0),'...
'set(metodo_16,'Value',0),'...
'set(metodo_17,'Value',0),'...
'set(metodo_18,'Value',0),'...
'set(metodo_19,'Value',0),'...
'set(metodo_20,'Value',0),'...
'set(metodo_21,'Value',0),'...
'met=4;']];

metodo_5 = uicontrol(gcf,...
'Style','radio',...
'String','Célula B7',...
'Position',[195 289 200 30],...
'Callback',[...
'set(metodo_5,'Value',1),so=0;'...
'set(metodo_1,'Value',0),'...
'set(metodo_2,'Value',0),'...
'set(metodo_3,'Value',0),'...
'set(metodo_4,'Value',0),'...
'set(metodo_6,'Value',0),'...
'set(metodo_7,'Value',0),'...
'set(metodo_8,'Value',0),'...
'set(metodo_9,'Value',0),'...
'set(metodo_10,'Value',0),'...
'set(metodo_11,'Value',0),'...
'set(metodo_12,'Value',0),'...
'set(metodo_13,'Value',0),'...
'set(metodo_14,'Value',0),'...
'set(metodo_15,'Value',0),'...
'set(metodo_16,'Value',0),'...
'set(metodo_17,'Value',0),'...
'set(metodo_18,'Value',0),'...
'set(metodo_19,'Value',0),'...
'set(metodo_20,'Value',0),'...
'set(metodo_21,'Value',0),'...
'met=5;']];

metodo_6 = uicontrol(gcf,...
'Style','radio',...
'String','Célula C2',...
'Position',[195 265 200 30],...
'Callback',[...
'set(metodo_6,'Value',1),so=0;'...
'set(metodo_1,'Value',0),'...
'set(metodo_2,'Value',0),'...
'set(metodo_3,'Value',0),'...
'set(metodo_4,'Value',0),'...
'set(metodo_5,'Value',0),'...
'set(metodo_7,'Value',0),'...
'set(metodo_8,'Value',0),'...
'set(metodo_9,'Value',0),'...
'set(metodo_10,'Value',0),'...
'set(metodo_11,'Value',0),'...
'set(metodo_12,'Value',0),'...
'set(metodo_13,'Value',0),'...
'set(metodo_14,'Value',0),'...
'set(metodo_15,'Value',0),'...
'set(metodo_16,'Value',0),'...
'set(metodo_17,'Value',0),'...
'set(metodo_18,'Value',0),'...
'set(metodo_19,'Value',0),'...
'set(metodo_20,'Value',0),'...
'set(metodo_21,'Value',0),'...

```

```

'met=6;']];

metodo_7 = uicontrol(gcf,...
'Style','radio',...
'String','Célula C3',...
'Position',[195 241 200 30],...
'Callback',[...
'set(metodo_7,'Value',1),so=0;'...
'set(metodo_1,'Value',0),'...
'set(metodo_2,'Value',0),'...
'set(metodo_3,'Value',0),'...
'set(metodo_4,'Value',0),'...
'set(metodo_5,'Value',0),'...
'set(metodo_6,'Value',0),'...
'set(metodo_8,'Value',0),'...
'set(metodo_9,'Value',0),'...
'set(metodo_10,'Value',0),'...
'set(metodo_11,'Value',0),'...
'set(metodo_12,'Value',0),'...
'set(metodo_13,'Value',0),'...
'set(metodo_14,'Value',0),'...
'set(metodo_15,'Value',0),'...
'set(metodo_16,'Value',0),'...
'set(metodo_17,'Value',0),'...
'set(metodo_18,'Value',0),'...
'set(metodo_19,'Value',0),'...
'set(metodo_20,'Value',0),'...
'set(metodo_21,'Value',0),'...
'met=7;']];

metodo_8 = uicontrol(gcf,...
'Style','radio',...
'String','Célula C4',...
'Position',[195 217 200 30],...
'Callback',[...
'set(metodo_8,'Value',1),so=0;'...
'set(metodo_1,'Value',0),'...
'set(metodo_2,'Value',0),'...
'set(metodo_3,'Value',0),'...
'set(metodo_4,'Value',0),'...
'set(metodo_5,'Value',0),'...
'set(metodo_6,'Value',0),'...
'set(metodo_7,'Value',0),'...
'set(metodo_9,'Value',0),'...
'set(metodo_10,'Value',0),'...
'set(metodo_11,'Value',0),'...
'set(metodo_12,'Value',0),'...
'set(metodo_13,'Value',0),'...
'set(metodo_14,'Value',0),'...
'set(metodo_15,'Value',0),'...
'set(metodo_16,'Value',0),'...
'set(metodo_17,'Value',0),'...
'set(metodo_18,'Value',0),'...
'set(metodo_19,'Value',0),'...
'set(metodo_20,'Value',0),'...
'set(metodo_21,'Value',0),'...
'met=8;']];

metodo_9 = uicontrol(gcf,...
'Style','radio',...
'String','Célula C5',...
'Position',[195 193 200 30],...
'Callback',[...
'set(metodo_9,'Value',1),so=0;'...
'set(metodo_1,'Value',0),'...

```

```
'set(metodo_2, 'Value', 0), '...
'set(metodo_3, 'Value', 0), '...
'set(metodo_4, 'Value', 0), '...
'set(metodo_5, 'Value', 0), '...
'set(metodo_6, 'Value', 0), '...
'set(metodo_7, 'Value', 0), '...
'set(metodo_8, 'Value', 0), '...
'set(metodo_10, 'Value', 0), '...
'set(metodo_11, 'Value', 0), '...
'set(metodo_12, 'Value', 0), '...
'set(metodo_13, 'Value', 0), '...
'set(metodo_14, 'Value', 0), '...
'set(metodo_15, 'Value', 0), '...
'set(metodo_16, 'Value', 0), '...
'set(metodo_17, 'Value', 0), '...
'set(metodo_18, 'Value', 0), '...
'set(metodo_19, 'Value', 0), '...
'set(metodo_20, 'Value', 0), '...
'set(metodo_21, 'Value', 0), '...
'met=9; ']);

metodo_10 = uicontrol(gcf, ...
'Style', 'radio', ...
'String', 'Célula C6', ...
'Position', [195 169 200 30], ...
'Callback', [...
'set(metodo_10, 'Value', 1), so=0; '...
'set(metodo_1, 'Value', 0), '...
'set(metodo_2, 'Value', 0), '...
'set(metodo_3, 'Value', 0), '...
'set(metodo_4, 'Value', 0), '...
'set(metodo_5, 'Value', 0), '...
'set(metodo_6, 'Value', 0), '...
'set(metodo_7, 'Value', 0), '...
'set(metodo_8, 'Value', 0), '...
'set(metodo_9, 'Value', 0), '...
'set(metodo_11, 'Value', 0), '...
'set(metodo_12, 'Value', 0), '...
'set(metodo_13, 'Value', 0), '...
'set(metodo_14, 'Value', 0), '...
'set(metodo_15, 'Value', 0), '...
'set(metodo_16, 'Value', 0), '...
'set(metodo_17, 'Value', 0), '...
'set(metodo_18, 'Value', 0), '...
'set(metodo_19, 'Value', 0), '...
'set(metodo_20, 'Value', 0), '...
'set(metodo_21, 'Value', 0), '...
'met=10; ']);

metodo_11 = uicontrol(gcf, ...
'Style', 'radio', ...
'String', 'Célula D3', ...
'Position', [195 145 200 30], ...
'Callback', [...
'set(metodo_11, 'Value', 1), so=0; '...
'set(metodo_1, 'Value', 0), '...
'set(metodo_2, 'Value', 0), '...
'set(metodo_3, 'Value', 0), '...
'set(metodo_4, 'Value', 0), '...
'set(metodo_5, 'Value', 0), '...
'set(metodo_6, 'Value', 0), '...
'set(metodo_7, 'Value', 0), '...
'set(metodo_8, 'Value', 0), '...
'set(metodo_9, 'Value', 0), '...
'set(metodo_10, 'Value', 0), '...
```

```

'set(metodo_12,'Value',0),'...
'set(metodo_13,'Value',0),'...
'set(metodo_14,'Value',0),'...
'set(metodo_15,'Value',0),'...
'set(metodo_16,'Value',0),'...
'set(metodo_17,'Value',0),'...
'set(metodo_18,'Value',0),'...
'set(metodo_19,'Value',0),'...
'set(metodo_20,'Value',0),'...
'set(metodo_21,'Value',0),'...
'met=11;']);

metodo_12 = uicontrol(gcf,...
'Style','radio',...
'String','Célula D4',...
'Position',[390 385 200 30],...
'Callback',[...
'set(metodo_12,'Value',1),so=0;'...
'set(metodo_1,'Value',0),'...
'set(metodo_2,'Value',0),'...
'set(metodo_3,'Value',0),'...
'set(metodo_4,'Value',0),'...
'set(metodo_5,'Value',0),'...
'set(metodo_6,'Value',0),'...
'set(metodo_7,'Value',0),'...
'set(metodo_8,'Value',0),'...
'set(metodo_9,'Value',0),'...
'set(metodo_10,'Value',0),'...
'set(metodo_11,'Value',0),'...
'set(metodo_13,'Value',0),'...
'set(metodo_14,'Value',0),'...
'set(metodo_15,'Value',0),'...
'set(metodo_16,'Value',0),'...
'set(metodo_17,'Value',0),'...
'set(metodo_18,'Value',0),'...
'set(metodo_19,'Value',0),'...
'set(metodo_20,'Value',0),'...
'set(metodo_21,'Value',0),'...
'met=12;']);

metodo_13 = uicontrol(gcf,...
'Style','radio',...
'String','Célula D5',...
'Position',[390 361 200 30],...
'Callback',[...
'set(metodo_13,'Value',1),so=0;'...
'set(metodo_1,'Value',0),'...
'set(metodo_2,'Value',0),'...
'set(metodo_3,'Value',0),'...
'set(metodo_4,'Value',0),'...
'set(metodo_5,'Value',0),'...
'set(metodo_6,'Value',0),'...
'set(metodo_7,'Value',0),'...
'set(metodo_8,'Value',0),'...
'set(metodo_9,'Value',0),'...
'set(metodo_10,'Value',0),'...
'set(metodo_11,'Value',0),'...
'set(metodo_12,'Value',0),'...
'set(metodo_14,'Value',0),'...
'set(metodo_15,'Value',0),'...
'set(metodo_16,'Value',0),'...
'set(metodo_17,'Value',0),'...
'set(metodo_18,'Value',0),'...
'set(metodo_19,'Value',0),'...
'set(metodo_20,'Value',0),'...

```

```
'set(metodo_21,'Value',0),'...
'met=13;']);

metodo_14 = uicontrol(gcf,...
'Style','radio',...
'String','Célula D6',...
'Position',[390 337 200 30],...
'Callback',[...
'set(metodo_14,'Value',1),so=0;'...
'set(metodo_1,'Value',0),'...
'set(metodo_2,'Value',0),'...
'set(metodo_3,'Value',0),'...
'set(metodo_4,'Value',0),'...
'set(metodo_5,'Value',0),'...
'set(metodo_6,'Value',0),'...
'set(metodo_7,'Value',0),'...
'set(metodo_8,'Value',0),'...
'set(metodo_9,'Value',0),'...
'set(metodo_10,'Value',0),'...
'set(metodo_11,'Value',0),'...
'set(metodo_12,'Value',0),'...
'set(metodo_13,'Value',0),'...
'set(metodo_15,'Value',0),'...
'set(metodo_16,'Value',0),'...
'set(metodo_17,'Value',0),'...
'set(metodo_18,'Value',0),'...
'set(metodo_19,'Value',0),'...
'set(metodo_20,'Value',0),'...
'set(metodo_21,'Value',0),'...
'met=14;']);

metodo_15 = uicontrol(gcf,...
'Style','radio',...
'String','Célula D7',...
'Position',[390 313 200 30],...
'Callback',[...
'set(metodo_15,'Value',1),so=0;'...
'set(metodo_1,'Value',0),'...
'set(metodo_2,'Value',0),'...
'set(metodo_3,'Value',0),'...
'set(metodo_4,'Value',0),'...
'set(metodo_5,'Value',0),'...
'set(metodo_6,'Value',0),'...
'set(metodo_7,'Value',0),'...
'set(metodo_8,'Value',0),'...
'set(metodo_9,'Value',0),'...
'set(metodo_10,'Value',0),'...
'set(metodo_11,'Value',0),'...
'set(metodo_12,'Value',0),'...
'set(metodo_13,'Value',0),'...
'set(metodo_14,'Value',0),'...
'set(metodo_16,'Value',0),'...
'set(metodo_17,'Value',0),'...
'set(metodo_18,'Value',0),'...
'set(metodo_19,'Value',0),'...
'set(metodo_20,'Value',0),'...
'set(metodo_21,'Value',0),'...
'met=15;']);

metodo_16 = uicontrol(gcf,...
'Style','radio',...
'String','Célula E2',...
'Position',[390 289 200 30],...
'Callback',[...
'set(metodo_16,'Value',1),so=0;'...
```



```
'set(metodo_1, 'Value', 0), '...
'set(metodo_2, 'Value', 0), '...
'set(metodo_3, 'Value', 0), '...
'set(metodo_4, 'Value', 0), '...
'set(metodo_5, 'Value', 0), '...
'set(metodo_6, 'Value', 0), '...
'set(metodo_7, 'Value', 0), '...
'set(metodo_8, 'Value', 0), '...
'set(metodo_9, 'Value', 0), '...
'set(metodo_10, 'Value', 0), '...
'set(metodo_11, 'Value', 0), '...
'set(metodo_12, 'Value', 0), '...
'set(metodo_13, 'Value', 0), '...
'set(metodo_14, 'Value', 0), '...
'set(metodo_15, 'Value', 0), '...
'set(metodo_17, 'Value', 0), '...
'set(metodo_18, 'Value', 0), '...
'set(metodo_19, 'Value', 0), '...
'met=16; ']);
```

```
metodo_17 = uicontrol(gcf, ...
'Style', 'radio', ...
'String', 'Célula E3', ...
'Position', [390 265 200 30], ...
'Callback', [...
'set(metodo_17, 'Value', 1), so=0; '...
'set(metodo_1, 'Value', 0), '...
'set(metodo_2, 'Value', 0), '...
'set(metodo_3, 'Value', 0), '...
'set(metodo_4, 'Value', 0), '...
'set(metodo_5, 'Value', 0), '...
'set(metodo_6, 'Value', 0), '...
'set(metodo_7, 'Value', 0), '...
'set(metodo_8, 'Value', 0), '...
'set(metodo_9, 'Value', 0), '...
'set(metodo_10, 'Value', 0), '...
'set(metodo_11, 'Value', 0), '...
'set(metodo_12, 'Value', 0), '...
'set(metodo_13, 'Value', 0), '...
'set(metodo_14, 'Value', 0), '...
'set(metodo_15, 'Value', 0), '...
'set(metodo_16, 'Value', 0), '...
'set(metodo_18, 'Value', 0), '...
'set(metodo_19, 'Value', 0), '...
'set(metodo_20, 'Value', 0), '...
'set(metodo_21, 'Value', 0), '...
'met=17; ']);
```

```
metodo_18 = uicontrol(gcf, ...
'Style', 'radio', ...
'String', 'Célula E4', ...
'Position', [390 241 200 30], ...
'Callback', [...
'set(metodo_18, 'Value', 1), so=0; '...
'set(metodo_1, 'Value', 0), '...
'set(metodo_2, 'Value', 0), '...
'set(metodo_3, 'Value', 0), '...
'set(metodo_4, 'Value', 0), '...
'set(metodo_5, 'Value', 0), '...
'set(metodo_6, 'Value', 0), '...
'set(metodo_7, 'Value', 0), '...
'set(metodo_8, 'Value', 0), '...
'set(metodo_9, 'Value', 0), '...
'set(metodo_10, 'Value', 0), '...
'set(metodo_11, 'Value', 0), '...
'set(metodo_12, 'Value', 0), '...
'set(metodo_13, 'Value', 0), '...
'set(metodo_14, 'Value', 0), '...
'set(metodo_15, 'Value', 0), '...
'set(metodo_16, 'Value', 0), '...
'set(metodo_17, 'Value', 0), '...
'set(metodo_19, 'Value', 0), '...
'set(metodo_20, 'Value', 0), '...
'set(metodo_21, 'Value', 0), '...
'met=18; ']);
```

```
'set(metodo_12,'Value',0),'...
'set(metodo_13,'Value',0),'...
'set(metodo_14,'Value',0),'...
'set(metodo_15,'Value',0),'...
'set(metodo_16,'Value',0),'...
'set(metodo_17,'Value',0),'...
'set(metodo_19,'Value',0),'...
'set(metodo_20,'Value',0),'...
'set(metodo_21,'Value',0),'...
'met=18;']];
```

```
metodo_19 = uicontrol(gcf,...
'Style','radio',...
'String','Célula E5',...
'Position',[390 217 200 30],...
'Callback',[...
'set(metodo_19,'Value',1),so=0;'...
'set(metodo_1,'Value',0),'...
'set(metodo_2,'Value',0),'...
'set(metodo_3,'Value',0),'...
'set(metodo_4,'Value',0),'...
'set(metodo_5,'Value',0),'...
'set(metodo_6,'Value',0),'...
'set(metodo_7,'Value',0),'...
'set(metodo_8,'Value',0),'...
'set(metodo_9,'Value',0),'...
'set(metodo_10,'Value',0),'...
'set(metodo_11,'Value',0),'...
'set(metodo_12,'Value',0),'...
'set(metodo_13,'Value',0),'...
'set(metodo_14,'Value',0),'...
'set(metodo_15,'Value',0),'...
'set(metodo_16,'Value',0),'...
'set(metodo_17,'Value',0),'...
'set(metodo_18,'Value',0),'...
'set(metodo_20,'Value',0),'...
'set(metodo_21,'Value',0),'...
'met=19;']];
```

```
metodo_20 = uicontrol(gcf,...
'Style','radio',...
'String','Célula E6',...
'Position',[390 193 200 30],...
'Callback',[...
'set(metodo_20,'Value',1),so=0;'...
'set(metodo_1,'Value',0),'...
'set(metodo_2,'Value',0),'...
'set(metodo_3,'Value',0),'...
'set(metodo_4,'Value',0),'...
'set(metodo_5,'Value',0),'...
'set(metodo_6,'Value',0),'...
'set(metodo_7,'Value',0),'...
'set(metodo_8,'Value',0),'...
'set(metodo_9,'Value',0),'...
'set(metodo_10,'Value',0),'...
'set(metodo_11,'Value',0),'...
'set(metodo_12,'Value',0),'...
'set(metodo_13,'Value',0),'...
'set(metodo_14,'Value',0),'...
'set(metodo_15,'Value',0),'...
'set(metodo_16,'Value',0),'...
'set(metodo_17,'Value',0),'...
'set(metodo_18,'Value',0),'...
'set(metodo_19,'Value',0),'...
'set(metodo_21,'Value',0),'...]
```

```

'met=20;']);

metodo_21 = uicontrol(gcf,...
'Style','radio',...
'String','Célula E7',...
'Position',[390 169 200 30],...
'Callback',[...
'set(metodo_21,'Value',1),so=0;'...
'set(metodo_1,'Value',0),'...
'set(metodo_2,'Value',0),'...
'set(metodo_3,'Value',0),'...
'set(metodo_4,'Value',0),'...
'set(metodo_5,'Value',0),'...
'set(metodo_6,'Value',0),'...
'set(metodo_7,'Value',0),'...
'set(metodo_8,'Value',0),'...
'set(metodo_9,'Value',0),'...
'set(metodo_10,'Value',0),'...
'set(metodo_11,'Value',0),'...
'set(metodo_12,'Value',0),'...
'set(metodo_13,'Value',0),'...
'set(metodo_14,'Value',0),'...
'set(metodo_15,'Value',0),'...
'set(metodo_16,'Value',0),'...
'set(metodo_17,'Value',0),'...
'set(metodo_18,'Value',0),'...
'set(metodo_19,'Value',0),'...
'set(metodo_20,'Value',0),'...
'met=21;']);

%Botón Resolver

botonRes=
uicontrol(gcf,'Style','push','horizontalalignment','left','String','Re
solver','Position',[150 70 150 30],'Callback',[...
'solucion']);

%Botón todas curvas características

botonCon=
uicontrol(gcf,'Style','push','horizontalalignment','left','String','To
das curvas características','Position',[380 70 150 30],'Callback',[...
'conjuntocurvas']);

%Botón Volver

botonVol=
uicontrol(gcf,'Style','push','horizontalalignment','left','String','Vo
lver>>','Position',[280 20 120 30],'Callback',[...
'delete(get(0,'CurrentFigure'))']);

%*****
% ensayo: subprograma que realiza el modelo de los datos
% experimentales
%*****

% Número de datos experimentales probados

n=0;
c=0;

for i=1:30
    if v(i)~=0

```

```

        c=n+1;
        n=c;
    else
        n=c;
    end
end

% Realización de la curva característica

tension1=zeros(n,1);
intensidad1=zeros(n,1);

% Crea el vector tension

for i=1:n
    tension1(i,1)=v(i);
end

% Crea el vector intensidad

for i=1:n
    intensidad1(i,1)=In(i);
end

% Curva característica de la célula ensayada

inversa=zeros(n,1);
for i=1:n
    inversa(i,1)=1/intensidad1(i,1);
end

set(0,'Units','pixels')
scnsize = get(0,'ScreenSize');

% Crea figura

figure('Name','CURVA CARACTERÍSTICA V-
I','NumberTitle','off','toolbar','figure','Position',[10 390 450
370]);

% Dibuja gráfica

plot(tension1,intensidad1);
xlabel('Tensión (V)');
ylabel('Corriente (A)');
axis([-16 0 0 intensidad1(n,1)+0.1]);
% Escribe el titulo de la gráfica

title(['Curva característica I-V']);
grid on;

% Botón Cerrar

boton1=
uicontrol(gcf,'Style','push','horizontalalignment','left','String','Ce
rrar','Position',[330 10 50
30],'Callback','delete(get(0,'CurrentFigure'))');
hold off;

```

```

% Crea figura

figure('Name','PRIMERA
ITERACIÓN','NumberTitle','off','toolbar','figure','Position',[460 390
450 370]);

% Dibuja gráfica

plot(tension1,intensidad1,'-b');
xlabel('Tensión (V)');
ylabel('Corriente (A)');
axis([-15.5 0 0 8]);
grid on;
hold on;

% Dibuja gráfica

plot(tension1,inversa,'-r');
title(['Primera iteración']);
grid on;

% Botón Cerrar

boton2=
uicontrol(gcf,'Style','push','horizontalalignment','left','String','Ce
rrar','Position',[330 10 50
30],'Callback','delete(get(0,'CurrentFigure'))');

% Cálculo de los parámetros característicos de la célula ensayada

tension=zeros(3,1);
intensidad=zeros(3,1);

for i=1:3
    tension(i,1)=tension1(n-2,1);
    intensidad(i,1)=intensidad1(n-2,1);
end

% Se pasa a realizar la caracterización de la célula
% Cálculo de los parámetros del modelo

Be=3;
thetaT=0.85;

% ZONA DE AVALANCHA: Cálculo Vb

n=3;

f=zeros(n,1);
for i=1:n
    f(i,1)=1/intensidad(i,1);
end

% REGRESIÓN LINEAL

% Calcula con ayuda del método de mínimos cuadrados la pendiente y la
ordenada en el origen de la recta.

% Sumatorio de los términos del vector tensión.

a=0;
c=0;

```

```

for i=1:n
    c=a+tension(i,1);
    a=c;
end

% Sumatorio de los términos del vector intensidad.

b=0;
c=0;
for i=1:n
    c=b+f(i,1);
    b=c;
end

% Sumatorio de los términos al cuadrado del vector tensión.

d=0;
c=0;
for i=1:n
    c=d+(tension(i,1))^2;
    d=c;
end

% Sumatorio de los términos del vector tensión por los términos del
% vector intensidad.

e=0;
c=0;
for i=1:n
    c=e+(tension(i,1)*f(i,1));
    e=c;
end

% Parámetros resultantes

pendiente=((n*e)-(a*b))/((n*d)-a^2);
ordorigen=((b-(pendiente*a))/n);
Pb=(1/pendiente);
Vb=(-Pb*ordorigen);
Inb1=((Pb*Be)/(2*(thetaT-Vb)));

% Segunda iteración

f1=zeros(n,1);
for i=1:n
    f1(i,1)=((1-(1-(log(1-(Inb1/intensidad(i,1)))/Be))^-2))/(2*Inb1/Be);
end

tol=0.01;
r=0; % Para contar el número de iteraciones
error=tol+1;
nmax=100; % Número máximo de iteraciones
pendiente=0;
ordorigen=0;
s=0;
t=0;
h=Vb;
u=0;

while error>tol & r<nmax

    b=0;
    c=0;

```

```

for i=1:n
    c=b+f1(i,1);
    b=c;
end

e=0;
c=0;
for i=1:n
    c=e+(tension(i,1)*f1(i,1));
    e=c;
end

% Parámetros resultantes

pendiente=((n*e)-(a*b))/((n*d)-a^2);
ordorigen=((b-(pendiente*a))/n);
Pb1=(1/pendiente);
Vb1=(-Pb1*ordorigen);
Inb2=((Pb1*Be)/(2*(thetaT-Vb1)));
f1=zeros(n,1);
for i=1:n
    f1(i,1)=((1-(1-(log(1-(Inb2/intensidad(i,1)))/Be))^(-
2))/(2*Inb2/Be));
end
s=h+u;
t=Vb1;
error=abs(s-t);
error
r=r+1;
h=0;
u=Vb1;
p=0;
if f1(1,1)>intensidad(3,1)
    p=f1(1,1);
else
    p=intensidad(3,1);
end

% Crea figura

figure('Name','ITERACIONES','NumberTitle','off','toolbar','figure','Position',[460+460 390 450 370]);

% Dibuja gráfica

plot(tension,intensidad,'-b');
xlabel('Tensión (V)');
ylabel('Corriente (A)');
axis([tension(3,1)-0.2 tension(1,1)+0.2 0 p+0.2]);
grid on;
hold on;
plot(tension,f1,'-r');
xlabel('Tension (V)');
ylabel('Corriente (A)');
title(['Iteraciones']);
grid on;

% Botón Cerrar

boton3=
uicontrol(gcf,'Style','push','horizontalalignment','left',...
'String','Cerrar','Position',[330 10 50 30],...
'Callback','delete(get(0,'CurrentFigure'))');

```

```

end
p=0;
b=0;
c=0;
for i=1:n
    c=b+f1(i,1);
    b=c;
end

e=0;
c=0;
for i=1:n
    c=e+(tension(i,1)*f1(i,1));
    e=c;
end

% Parámetros resultantes

pendiente=((n*e)-(a*b))/((n*d)-a^2);
ordorigen=((b-(pendiente*a))/n);
Pb1=(1/pendiente);
Vb1=(-Pb1*ordorigen);
Inb2=((Pb1*Be)/(2*(thetaT-Vb1)));
f1=zeros(n,1);
for i=1:n
    f1(i,1)=((1-(1-(log(1-(Inb2/intensidad(i,1)))/Be))^(-
2))/(2*Inb2/Be));
end
r
Vb1

% Llama al subprograma CalculoIN

CalculoIN

%*****
% final: subprograma que presenta la pantalla Final
%*****

scrsz = get(0,'ScreenSize');

close all

% Crea igura

figpan1=figure('Units','Normalized','Position',[0.25 0.3 0.57 0.40],
'Number','off','Name','Final','MenuBar','none','color',[0 0 0]);
    axes('Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);

%Importa imagen *.jpg,junto con su mapa de colores

[x,map]=imread('imagen.jpg','jpg');

%Representa imagen en figura, con su mapa de colores

image(x),colormap(map),axis off,hold on

% Títulos sobre imagen

    text(550,200,'El programa ha
finalizado','Fontname','Arial','FontSize',20,'Fontangle','Italic','Fon
tweight','Bold','color',[1 1 1]);
  
```



```

% Botón Salir

boton=
uicontrol(gcf,'Style','pushbutton','horizontalalignment','left','String','Salir','Position',[560 100 70 30],'Callback',[...
    'delete(get(0,'CurrentFigure'))']);

%*****
% funcion1: subprograma que presenta la pantalla procedimiento
%*****

delete(get(0,'CurrentFigure'))
clear,clc,cla,close all

%Crea figura

figpan1=figure('Name','Procedimiento','NumberTitle','off','menubar','none','Position',[300 200 700 300]);
axes('Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);

%Importa imagen *.jpg,junto con su mapa de colores

[x,map]=imread('imagen.jpg','jpg');

%Representa imagen en figura, con su mapa de colores

image(x),colormap(map),axis off,hold on

%Títulos sobre imagen

text(400,220,'Elija
procedimiento','Fontname','Arial','FontSize',20,'Fontangle','Italic','Fontweight','Bold','color',[1 1 1]);

%Botón Ejemplos

botongra=
uicontrol(gcf,'Style','push','horizontalalignment','left','String','Ejemplos','Position',[200 80 120 30],'Callback',[...
    'ejemplos']);

%Botón Datos experimentales

botonpun=
uicontrol(gcf,'Style','push','horizontalalignment','left','String','Datos experimentales','Position',[400 80 120 30],'Callback',[...
    'tabla1']);

%Botón Terminar

botonter=
uicontrol(gcf,'Style','push','horizontalalignment','left','String','Terminar','Position',[330 30 60 30],'Callback',[...
    'delete(get(0,'CurrentFigure')),final']);

```

```

%*****
% imagenes: subprograma que presenta la imagen termográfica de la
%           célula seleccionada
%*****

scrsz = get(0,'ScreenSize');
if met==1

    %Crea figura

    figpan2=figure('Name','Imagenes
termográficas','NumberTitle','off','menubar','none','Position',[400
100 650 650]);
    axes('Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);

    %Importa imagen *.jpg,junto con su mapa de colores

    [x,map]=imread('imacelulaB3.jpg','jpg');

    %Representa imagen en figura, con su mapa de colores

    image(x),colormap(map),axis off,hold off

elseif met==2

    %Crea figura

    figpan2=figure('Name','Imagenes
termográficas','NumberTitle','off','menubar','none','Position',[400
100 650 650]);
    axes('Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);

    %Importa imagen *.jpg,junto con su mapa de colores

    [x,map]=imread('imacelulaB4.jpg','jpg');

    %Representa imagen en figura, con su mapa de colores

    image(x),colormap(map),axis off,hold off

elseif met==3

    %Crea figura

    figpan2=figure('Name','Imagenes
termográficas','NumberTitle','off','menubar','none','Position',[400
100 650 650]);
    axes('Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);

    %Importa imagen *.jpg,junto con su mapa de colores

    [x,map]=imread('imacelulaB5.jpg','jpg');
    %Representa imagen en figura, con su mapa de colores

    image(x),colormap(map),axis off,hold off

elseif met==4

    %Crea figura

    figpan2=figure('Name','Imagenes
termográficas','NumberTitle','off','menubar','none','Position',[400
100 650 650]);

```

```

    axes('Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);

%Importa imagen *.jpg,junto con su mapa de colores

[x,map]=imread('imacelulaB6.jpg','jpg');

%Representa imagen en figura, con su mapa de colores

image(x),colormap(map),axis off,hold off

elseif met==5

    %Crea figura

    figpan2=figure('Name','Imagenes
termográficas','NumberTitle','off','menubar','none','Position',[400
100 650 650]);
    $ axes('Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);

%Importa imagen *.jpg,junto con su mapa de colores

[x,map]=imread('imacelulaB7.jpg','jpg');

%Representa imagen en figura, con su mapa de colores

image(x),colormap(map),axis off,hold off

elseif met==6

    %Crea figura

    figpan2=figure('Name','Imagenes
termográficas','NumberTitle','off','menubar','none','Position',[400
100 650 650]);
    axes('Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);

%Importa imagen *.jpg,junto con su mapa de colores

[x,map]=imread('imacelulaC2.jpg','jpg');

%Representa imagen en figura, con su mapa de colores

image(x),colormap(map),axis off,hold off

elseif met==7

    %Crea figura

    figpan2=figure('Name','Imagenes
termográficas','NumberTitle','off','menubar','none','Position',[400
100 650 650]);
    axes('Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);

%Importa imagen *.jpg,junto con su mapa de colores

[x,map]=imread('imacelulaC3.jpg','jpg');

%Representa imagen en figura, con su mapa de colores

image(x),colormap(map),axis off,hold off

elseif met==8

```

```

%Crea figura

    figpan2=figure('Name','Imágenes
termográficas','NumberTitle','off','menubar','none','Position',[400
100 650 650]);
    axes('Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);

%Importa imagen *.jpg,junto con su mapa de colores

    [x,map]=imread('imacelulaC4.jpg','jpg');

%Representa imagen en figura, con su mapa de colores

    image(x,colormap(map),axis off,hold off

elseif met==9

    %Crea figura

    figpan2=figure('Name','Imágenes
termográficas','NumberTitle','off','menubar','none','Position',[400
100 650 650]);
    axes('Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);

%Importa imagen *.jpg,junto con su mapa de colores

    [x,map]=imread('imacelulaC5.jpg','jpg');

%Representa imagen en figura, con su mapa de colores

    image(x,colormap(map),axis off,hold off

elseif met==10

    %Crea figura

    figpan2=figure('Name','Imágenes
termográficas','NumberTitle','off','menubar','none','Position',[400
100 650 650]);
    axes('Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);

%Importa imagen *.jpg,junto con su mapa de colores

    [x,map]=imread('imacelulaC6.jpg','jpg');

%Representa imagen en figura, con su mapa de colores

    image(x,colormap(map),axis off,hold off

elseif met==11

    %Crea figura

    figpan2=figure('Name','Imágenes
termográficas','NumberTitle','off','menubar','none','Position',[400
100 650 650]);
    axes('Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);

%Importa imagen *.jpg,junto con su mapa de colores

    [x,map]=imread('imacelulaD3.jpg','jpg');
  
```

```
%Representa imagen en figura, con su mapa de colores

    image(x),colormap(map),axis off,hold off

elseif met==12

    %Crea figura

    figpan2=figure('Name','Imágenes
termográficas','NumberTitle','off','menubar','none','Position',[400
100 650 650]);
    axes('Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);

    %Importa imagen *.jpg,junto con su mapa de colores

    [x,map]=imread('imacelulaD4.jpg','jpg');

    %Representa imagen en figura, con su mapa de colores

    image(x),colormap(map),axis off,hold off

elseif met==13

    %Crea figura

    figpan2=figure('Name','Imágenes
termográficas','NumberTitle','off','menubar','none','Position',[400
100 650 650]);
    axes('Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);

    %Importa imagen *.jpg,junto con su mapa de colores

    [x,map]=imread('imacelulaD5.jpg','jpg');

    %Representa imagen en figura, con su mapa de colores

    image(x),colormap(map),axis off,hold off

elseif met==14

    %Crea figura

    figpan2=figure('Name','Imágenes
termográficas','NumberTitle','off','menubar','none','Position',[400
100 650 650]);
    axes('Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);

    %Importa imagen *.jpg,junto con su mapa de colores

    [x,map]=imread('imacelulaD6.jpg','jpg');
    %Representa imagen en figura, con su mapa de colores

    image(x),colormap(map),axis off,hold off

elseif met==15
```

```
%Crea figura

    figpan2=figure('Name','Imágenes
termográficas','NumberTitle','off','menubar','none','Position',[400
100 650 650]);
    axes('Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);

%Importa imagen *.jpg,junto con su mapa de colores

    [x,map]=imread('imacelulaD7.jpg','jpg');

%Representa imagen en figura, con su mapa de colores

    image(x),colormap(map),axis off,hold off

elseif met==16

    %Crea figura

        figpan2=figure('Name','Imágenes
termográficas','NumberTitle','off','menubar','none','Position',[400
100 650 650]);
        axes('Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);

%Importa imagen *.jpg,junto con su mapa de colores

        [x,map]=imread('imacelulaE2.jpg','jpg');

%Representa imagen en figura, con su mapa de colores

        image(x),colormap(map),axis off,hold off

elseif met==17

    %Crea figura

        figpan2=figure('Name','Imágenes
termográficas','NumberTitle','off','menubar','none','Position',[400
100 650 650]);
        axes('Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);

%Importamos imagen *.jpg,junto con su mapa de colores

        [x,map]=imread('imacelulaE3.jpg','jpg');

%Representamos imagen en figura, con su mapa de colores

        image(x),colormap(map),axis off,hold off

elseif met==18

    %Crea figura

        figpan2=figure('Name','Imágenes
termográficas','NumberTitle','off','menubar','none','Position',[400
100 650 650]);
        axes('Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);

%Importa imagen *.jpg,junto con su mapa de colores
```

```
[x,map]=imread('imacelulaE4.jpg','jpg');

%Representa imagen en figura, con su mapa de colores

image(x),colormap(map),axis off,hold off

elseif met==19

%Crea figura

figpan2=figure('Name','Imagenes
termográficas','NumberTitle','off','menubar','none','Position',[400
100 650 650]);
axes('Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);

%Importa imagen *.jpg,junto con su mapa de colores

[x,map]=imread('imacelulaE5.jpg','jpg');

%Representa imagen en figura, con su mapa de colores

image(x),colormap(map),axis off,hold off

elseif met==20

%Crea figura

figpan2=figure('Name','Imagenes
termográficas','NumberTitle','off','menubar','none','Position',[400
100 650 650]);
axes('Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);

%Importa imagen *.jpg,junto con su mapa de colores

[x,map]=imread('imacelulaE6.jpg','jpg');

%Representa imagen en figura, con su mapa de colores

image(x),colormap(map),axis off,hold off

else met==21

%Crea figura

figpan2=figure('Name','Imagenes
termográficas','NumberTitle','off','menubar','none','Position',[400
100 650 650]);
axes('Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);

%Importa imagen *.jpg,junto con su mapa de colores

[x,map]=imread('imacelulaE7.jpg','jpg');

%Representa imagen en figura, con su mapa de colores

image(x),colormap(map),axis off,hold off

end
```

```

%*****
% modelizacion: subprograma que calcula el modelo de la célula
%*****

Be=3;
thetaT=0.85;

% ZONA DE AVALANCHA: Cálculo Vb

f=zeros(n,1);
for i=1:n
    f(i,1)=1/intensidad(i,1);
end

% Regresión lineal

% Calculamos con ayuda del método de mínimos cuadrados la pendiente y
% la ordenada en el origen de la recta.

% Sumatorio de los términos del vector tensión.

a=0;
c=0;
for i=1:n
    c=a+tension(i,1);
    a=c;
end

% Sumatorio de los términos del vector intensidad.

b=0;
c=0;
for i=1:n
    c=b+f(i,1);
    b=c;
end

% Sumatorio de los términos al cuadrado del vector tensión.

d=0;
c=0;
for i=1:n
    c=d+(tension(i,1))^2;
    d=c;
end

% Sumatorio de los términos del vector tensión por los términos del
% vector intensidad.

e=0;
c=0;
for i=1:n
    c=e+(tension(i,1)*f(i,1));
    e=c;
end

% Parámetros resultantes
pendiente=((n*e)-(a*b))/((n*d)-a^2);
ordorigen=((b-(pendiente*a))/n);
Pb=(1/pendiente);
Vb=(-Pb*ordorigen);

```



```

Inb1=((Pb*Be)/(2*(thetaT-Vb)));

% Segunda iteración

f1=zeros(n,1);
for i=1:n
    f1(i,1)=((1-(1-(log(1-(Inb1/intensidad(i,1)))/Be))^(-
2)))/(2*Inb1/Be));
end

tol=0.01;
r=0;          % Para contar el número de iteraciones
error=tol+1;
nmax=50;     % Número máximo de iteraciones
pendiente=0;
ordorigen=0;
s=0;
t=0;
h=Vb;
u=0;

while error>tol & r<nmax

    b=0;
    c=0;
    for i=1:n
        c=b+f1(i,1);
        b=c;
    end

    e=0;
    c=0;
    for i=1:n
        c=e+(tension(i,1)*f1(i,1));
        e=c;
    end

% Parámetros resultantes

pendiente=((n*e)-(a*b))/((n*d)-a^2);
ordorigen=((b-(pendiente*a))/n);
Pb1=(1/pendiente);
Vb1=(-Pb1*ordorigen);
Inb2=((Pb1*Be)/(2*(thetaT-Vb1)));
f1=zeros(n,1);
for i=1:n
    f1(i,1)=((1-(1-(log(1-(Inb2/intensidad(i,1)))/Be))^(-
2)))/(2*Inb2/Be));
end
s=h+u;
t=Vb1;
error=abs(s-t);
error
r=r+1;
h=0;
u=Vb1;
p=0;
if f1(1,1)>intensidad(n,1)
    p=f1(1,1);
else
    p=intensidad(n,1);
end

```

```

% Crea figura

figure('Name','ITERACIONES','NumberTitle','off','toolbar','figure','Position',[460+460 350 450 370]);

% Dibuja gráfica

plot(tension,intensidad,'-b');
xlabel('Tensión (V)');
ylabel('Corriente (A)');
grid on;
hold on;
plot(tension,f1,'-r');
xlabel('Tension (V)');
ylabel('Corriente (A)');
title(['Iteraciones']);
grid on;

% Botón Cerrar

boton3=
uicontrol(gcf,'Style','push','horizontalalignment','left',...
          'String','Cerrar','Position',[330 10 50 30],...
          'CallBack','delete(get(0,'CurrentFigure'))');

end
p=0;
b=0;
c=0;
for i=1:n
    c=b+f1(i,1);
    b=c;
end

e=0;
c=0;
for i=1:n
    c=e+(tension(i,1)*f1(i,1));
    e=c;
end

% Parámetros resultantes

pendiente=((n*e)-(a*b))/((n*d)-a^2);
ordorigen=((b-(pendiente*a))/n);
Pb1=(1/pendiente);
Vb1=(-Pb1*ordorigen);
Inb2=((Pb1*Be)/(2*(thetaT-Vb1)));
f1=zeros(n,1);
for i=1:n
    f1(i,1)=((1-(1-(log(1-(Inb2/intensidad(i,1)))/Be))^-2))/(2*Inb2/Be);
end
r
Vb1

% Llama al subprogram CalculoIN

CalculoIN

```

```

%*****
% presentacion: subprograma que presenta la pantalla de presentación
%*****

function presentacion
clear,clc,cla,close all

%Crea figura

figpan=figure('Name','PROGRAMA','NumberTitle','off','menubar','none','
Position',[300 200 700 500]);
axes('Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);

%Importa imagen *.jpg,junto con su mapa de colores

[x,map]=imread('imagen.jpg','jpg');

%Representa imagen en figura, con su mapa de colores

image(x),colormap(map),axis off,hold on

%Títulos sobre imagen

text(385,90,'Caracterización de células solares
','Fontname','Arial','FontSize',22,'Fontangle','Italic','Fontweight','
Bold','color',[1 1 1]);
text(603,170,'en polarización
inversa','Fontname','Arial','FontSize',22,'Fontangle','Italic','Fontwe
ight','Bold','color',[1 1 1]);
text(710,250,'RESU ITURRI BUZUNÁRIZ','Fontname','Comic Sans
MS','Fontangle','Italic','Fontweight','Bold','FontSize',14,'color',[1
1 1]);

%Botón Continuar

botonk=uicontrol('Style','pushbutton','Units','normalized','Position',
[.84 .03 .12 .05],'String','CONTINUAR','Callback','clear all;close
all;clc; funcion1;');

%*****
% resolver: subprograma que selecciona la célula elegida
%*****

z=0;
h=0;

if met==1
celulaB3
elseif met==2
celulaB4
elseif met==3
celulaB5
elseif met==4
celulaB6
elseif met==5
celulaB7
elseif met==6
celulaC2
elseif met==7
celulaC3
elseif met==8
celulaC4

```

```
elseif met==9
    celulaC5
elseif met==10
    celulaC6
elseif met==11
    celulaD3
elseif met==12
    celulaD4
elseif met==13
    celulaD5
elseif met==14
    celulaD6
elseif met==15
    celulaD7
elseif met==16
    celulaE2
elseif met==17
    celulaE3
elseif met==18
    celulaE4
elseif met==19
    celulaE5
elseif met==20
    celulaE6
else
    met==21
    celulaE7
end
```

```
*****
% simulacion: subprograma que representa las gráficas de la curva
% característica y la primera iteración.
*****

% Número de parejas de datos experimentales tensión-intensidad

n1=length(intensidad1);
inversa=zeros(n1,1);
for i=1:n1
    inversa(i,1)=1/intensidad1(i,1);
end

set(0,'Units','pixels')
scnsz = get(0,'ScreenSize');

if h==0

% Crea figura

    figure('Name','CURVA CARACTERÍSTICA V-
I','NumberTitle','off','toolbar','figure','Position',[10 390 450
370]);

% Dibuja gráfica

    plot(tension1,intensidad1);
    xlabel('Tensión (V)');
    ylabel('Corriente (A)');
    axis([-16 0 0 intensidad1(n1,1)+0.1]);
    title(['Curva característica V-I']);
    grid on;

% Botón Cerrar
```

```

        boton1=
uicontrol(gcf,'Style','push','horizontalalignment','left','String','Cerrar','Position',[330 10 50
30],'Callback','delete(get(0,'CurrentFigure'))');
        hold off;

% Crea figura

        figure('Name','PRIMERA
ITERACIÓN','NumberTitle','off','toolbar','figure','Position',[460 350
450 370]);

% Dibuja gráfica

        plot(tension1,intensidad1,'-b');
        xlabel('Tensión (V)');
        ylabel('Corriente (A)');
        axis([-15.5 0 0 8]);
        grid on;
        hold on;
        plot(tension1,inversa,'-r');
        xlabel('Tension (V)');
        ylabel('Corriente (A)');
        title(['Primera iteración']);
        grid on;

% Botón Cerrar

        boton2=
uicontrol(gcf,'Style','push','horizontalalignment','left','String','Cerrar','Position',[330 10 50
30],'Callback','delete(get(0,'CurrentFigure'))');
        else h==1

% Crea figura

        figure('Name','CURVA CARACTERÍSTICA V-
I','NumberTitle','off','toolbar','figure','Position',[350 150 600
500]);

% Dibuja gráfica

        plot(tension1,intensidad1);
        xlabel('Tensión (V)');
        ylabel('Corriente (A)');
        axis([-16 0 0 intensidad1(n1,1)+0.1]);
        title(['Curva característica V-I en polarización inversa']);
        grid on;

% Botón Cerrar

        boton1=
uicontrol(gcf,'Style','push','horizontalalignment','left','String','Cerrar','Position',[500 10 50
30],'Callback','delete(get(0,'CurrentFigure'))');
        hold off;

end

```

```

%*****
% simulacionconjunto: subprograma que representa todas las curvas
%                       características de todas las células
%*****

% Crea figura

figure('Name','CONJUNTO DE CURVAS CARACTERÍSTICAS I-
V','NumberTitle','off','toolbar','figure','Position',[300 100 700
600]);

% Dibuja gráfica

plot(tensionB3,intensidadB3,'-.b');
xlabel('Tensión (V)');
ylabel('Corriente (A)');
title(['Curva característica V-I en polarización inversa']);
grid on;

% Botón cerrar

boton1=
uicontrol(gcf,'Style','push','horizontalalignment','left','String','Ce
rrar','Position',[650 10 50
30],'Callback','delete(get(0,'CurrentFigure'))');
hold on;

% Dibuja gráfica

plot(tensionB4,intensidadB4,'-b');
hold on;
plot(tensionB5,intensidadB5,'xy');
hold on;
plot(tensionB6,intensidadB6,'xm');
hold on;
plot(tensionB7,intensidadB7,'r');
hold on;
plot(tensionC2,intensidadC2,'-.g');
hold on;
plot(tensionC3,intensidadC3,'y');
hold on;
plot(tensionC4,intensidadC4,'-.c');
hold on;
plot(tensionC5,intensidadC5,'xg');
hold on;
plot(tensionC6,intensidadC6,'-.k');
hold on;
plot(tensionD3,intensidadD3,'-.m');
hold on;
plot(tensionD4,intensidadD4,'xr');
hold on;
plot(tensionD5,intensidadD5,'-.r');
hold on;
plot(tensionD6,intensidadD6,'g');
hold on;
plot(tensionD7,intensidadD7,'m');
hold on;
plot(tensionE2,intensidadE2,'c');
hold on;
plot(tensionE3,intensidadE3,'k');
hold on;
plot(tensionE4,intensidadE4,'x');
hold on;
plot(tensionE5,intensidadE5,'xm');

```

```

hold on;
plot(tensionE6,intensidadE6,'xk');
hold on;
plot(tensionE7,intensidadE7,'xc');

H=legend('B3','B4','B5','B6','B7','C2','C3','C4','C5','C6','D3','D4','
D5','D6','D7','E2','E3','E4','E5','E6','E7');
set(H,'Interpreter','none');
hold off;

%*****
% solucion: subprograma que presenta la pantalla solución
%*****

delete(get(0,'CurrentFigure'))
scrsz = get(0,'ScreenSize');

%Crea figura

figpan1=figure('Name','Solución','NumberTitle','off','menubar','none',
'Position',[300 200 700 300]);
axes('Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);

%Importa imagen *.jpg,junto con su mapa de colores

[x,map]=imread('imagen.jpg','jpg');

%Representa imagen en figura, con su mapa de colores

image(x),colormap(map),axis off,hold on

%Títulos sobre imagen

text(400,220,'Elija tipo de
solución','Fontname','Arial','FontSize',20,'Fontangle','Italic','Fontw
eight','Bold','color',[1 1 1]);

%Botón curva característica

botoncur=
uicontrol(gcf,'Style','push','horizontalalignment','left','String','Cu
rva característica','Position',[100 80 120 30],'Callback',[...
'curvas']);

%Botón Imagenes termográficas

botonter=
uicontrol(gcf,'Style','push','horizontalalignment','left','String','Im
agenes termográficas','Position',[300 80 180 30],'Callback',[...
'imagenes']);

%Botón Parámetros del modelo

botonres=
uicontrol(gcf,'Style','push','horizontalalignment','left','String','Pa
rámetros del modelo','Position',[560 80 120 30],'Callback',[...
'resolver']);

%Botón Volver

```

```

    botonter=
    uicontrol(gcf,'Style','push','horizontalalignment','left','String','Vo
lver>>','Position',[330 30 120 30],'Callback',[...
        'delete(get(0,'CurrentFigure'))']);

%*****
% tabla1: subprograma que presenta la pantalla solución
%*****

clear all
n=30;
for i=1:n
    v(i)=0;
end

for i=1:n
    In(i)=0;
end

% Crea figura

figpan2=figure('Name','INTRODUCCIÓN DE
DATOS','NumberTitle','off','menubar','none','Position',[300 50 639
680]);
axes('Units','Normalized','Position',[0 0 1 1]);

%Importa imagen *.jpg,junto con su mapa de colores

[x,map]=imread('imagen.jpg','jpg');

%Representa imagen en figura, con su mapa de colores

image(x),colormap(map),axis off,hold on

%Títulos sobre imagen

text(450,50,'Inserte los
datos','Fontname','Arial','FontSize',15,'Fontangle','Italic','Fontweig
ht','Bold','color',[1 1 1]);

% Cuadro tensiones

ft_dir = uicontrol(gcf,...
'Style','frame',...
'Position',[35 85 267 535]);

% Escribe el título del cuadro

titulo = uicontrol(gcf,...
'Style','text',...
'horizontalalignment','left',...
'String','DATOS EXPERIMENTALES:',...
'Position',[45 585 180 12]);

%DATOS TENSION

% Crea texto

texten = uicontrol(gcf,...
'Style','text',...

```



```

'horizontalalignment','left',...
'String','> Datos de las tensiones:',...
'Position',[70 565 170 12]);

% Introducir los datos de las tensiones

datostensiones

% Cuadro intensidades

ft_dir = uicontrol(gcf,...
'Style','frame',...
'Position',[337 85 267 535]);

titulo = uicontrol(gcf,...
'Style','text',...
'horizontalalignment','left',...
'String','DATOS EXPERIMENTALES:',...
'Position',[347 585 180 12]);

%DATOS INTENSIDADES

texint = uicontrol(gcf,...
'Style','text',...
'horizontalalignment','left',...
'String','> Datos de las intensidades:',...
'Position',[372 565 170 12]);

% Introducir los datos de las intensidades

datosintensidades

% Botón resolver

    botonres=
uicontrol(gcf,'Style','push','horizontalalignment','left','String','re
solver','Position',[90 35 140 30],'Callback',[...
    'ensayo']);

% Botón Volver

    botonVol=
uicontrol(gcf,'Style','push','horizontalalignment','left','String','Vo
lver >>','Position',[400 35 140 30],'Callback',[...
    'delete(get(0,'CurrentFigure'))']);

```

