

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OBTAR POR EL GRADO DE  
LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA**

**DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE CELDAS SOLARES  
SENSIBILIZADAS CON PIGMENTOS OBTENIDOS DE EXTRACTOS  
NATURALES, PROCESOS MICROBIOLÓGICOS Y NANOPARTÍCULAS DE  
GERMANIO**

**NATALIE FLORES DÍAZ**

**CARNÉ A62233**

**CIUDAD UNIVERSITARIA RODRIGO FACIO**

**Abril, 2014**

## **DEDICATORIA**

Este proyecto no sería posible sin la ayuda de Dios y la de mi familia, es a ellos a quienes dedico este trabajo. No tengo palabras para agradecer todo lo que han hecho por mí a través de los años, el apoyo incondicional, el cariño y dedicación que me han llevado a crecer tantísimo en todos los aspectos de mi vida, a creer en mí y en mis capacidades, a querer siempre mejorar, aprender y sobre todo a querer ser una persona de bien. Gracias infinitas por toda su ayuda en este proceso de vida llamado universidad, por aguantarme en los malos ratos y por estar ahí siempre dispuestos a tenderme una mano cuando más lo necesité. Sé que me falta un largo camino, que me falta demasiado por aprender y mejorar, pero también sé que cuento con ustedes y eso me anima a seguir adelante y a luchar por mis sueños e ideales. Los amo y espero siempre poder estar ahí para ustedes también.

## AGRADECIMIENTOS

A la MSc. Ing. Cindy Torres, por darme la oportunidad de trabajar en este proyecto, y por su guía y confianza a lo largo del mismo.

Al Dr. Leslie Pineda por todo su apoyo durante este proyecto y por siempre alentarme a estudiar y a crecer académicamente y como profesional.

A la Ing. Karina Torres por su ayuda con el proyecto, y por sus siempre bien recibidos consejos tanto a nivel profesional como personal.

Al Ph.D. Thomas Moehl por compartir su gran conocimiento y experiencia en el tema.

Al Bach. Darío Chinchilla por su ayuda con la extracción de pigmentos naturales.

A la Bach. Andrea Soto por su apoyo durante todo el proyecto.

Al Bach. Ernesto Ballesterero por su ayuda con la síntesis de nanopartículas.

Al Centro de Investigación en Electroquímica y Energía Química, CELEQ, de la Universidad de Costa Rica.

Al Centro de Investigaciones en Productos Naturales, CIPRONA, de la Universidad de Costa Rica.

Al Centro de Investigación de Estructuras Microscópicas, CIEMIC, de la Universidad de Costa Rica.

A todos mis queridos compañeros y amigos, por acompañarme durante la universidad y en la vida en general.

PROYECTO DE GRADUACIÓN SOMETIDO A LA CONSIDERACIÓN DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA COMO REQUISITO FINAL PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA

**Tribunal Examinador**

Sustentante: Natalie Flores Díaz

Aprobada por:



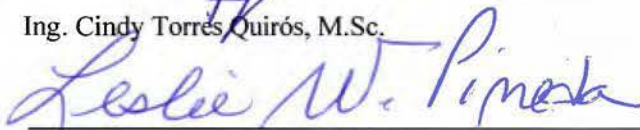
Dr. Esteban Durán Herrera.

Presidente del tribunal

Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Cindy Torres Quirós, M.Sc.

Director del Proyecto



Dr. Leslie Pineda Cedeño

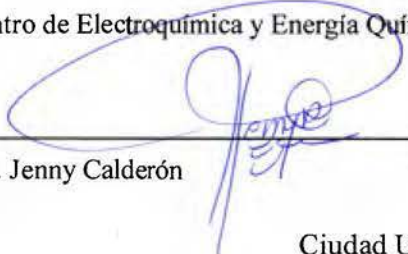
Miembro Lector

Centro de Electroquímica y Energía Química, Universidad de Costa Rica

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Karina Torres Castro

Miembro Lector

Centro de Electroquímica y Energía Química, Universidad de Costa Rica

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Jenny Calderón

Miembro invitado

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

San José, Costa Rica

Febrero, 2014.

## RESUMEN

En el presente proyecto se caracterizaron celdas solares sensibilizadas con pigmentos de extractos naturales, pigmentos extraídos de microorganismos, y nanopartículas de germanio como co-sensibilizantes.

Se procedió a mejorar el proceso de ensamblado de las celdas en conjunto con el grupo de trabajo de celdas solares del CELEQ, y con la ayuda de la experiencia del Ph.D. Thomas Moehl. Con las mejoras al proceso se logró aumentar la eficiencia de celdas sensibilizadas con el tinte de referencia Z907 de un 0,36 % a un 4,3 %.

Se caracterizó la reproducibilidad de las celdas ensambladas con el proceso mejorado, para lo cual se ensamblaron 12 celdas sensibilizadas con el tinte de referencia Z907, y se obtuvieron los promedios de los parámetros característicos,  $J_{SC}$   $12,6 \pm 0,7$  mA/cm<sup>2</sup>,  $V_{OC}$   $0,71 \pm 0,03$  V,  $P_{m\acute{a}x}$   $43,0 \pm 4,6$  W/m<sup>2</sup>, FF  $0,48 \pm 0,02$  y  $\% \eta$   $4,30 \pm 0,46$  %; valores que se encuentran dentro de los valores generalmente reportados en la literatura para celdas sensibilizadas con Z907, sin embargo, para el electrolito utilizado en las celdas, 0,6 M BMII, 0,3 M I<sub>2</sub>, y 0,5 M TBP se reportan valores de eficiencia entre 6 % a 7 %, por lo que el valor promedio obtenido todavía es bajo y se debe mejorar hasta obtener valores similares a los mencionados. Sin embargo las desviaciones con respecto a la media de los datos de eficiencia de las 12 celdas se encuentran en su mayoría entre  $\pm 1$  S, dentro de una distribución t-Student, por lo que se puede decir que el método de ensamblado es bueno, y la reproducibilidad de las muestras obtenidas es confiable estadísticamente.

Se caracterizaron celdas sensibilizadas con 4 diferentes pigmentos naturales, extraídos de picramnia, curcumina, caimito y rosa de Jamaica. Se ensamblaron 7 celdas con cada pigmento siguiendo las mismas condiciones para el tinte Z907, y se obtuvieron los parámetros característicos para cada pigmento,  $J_{SC}$   $2,398 \pm 0,398$  mA/cm<sup>2</sup>,  $V_{OC}$   $0,455 \pm 0,013$  V,  $P_{m\acute{a}x}$   $0,868 \pm 0,148$  W/m<sup>2</sup>, FF  $0,648 \pm 0,038$  y  $\% \eta$   $0,087 \pm 0,01$  5% para el pigmento de picramnia. Para el pigmento de curcumina  $J_{SC}$   $5,124 \pm 1,689$  mA/cm<sup>2</sup>,  $V_{OC}$   $0,483 \pm 0,019$  V,

$P_{\text{máx}}$   $1,405 \pm 0,422 \text{ W/m}^2$ , FF  $0,575 \pm 0,063$  y  $\% \eta$   $0,140 \pm 0,042\%$ . El extracto de caimito obtuvo  $J_{\text{SC}}$   $5,229 \pm 0,882 \text{ mA/cm}^2$ ,  $V_{\text{OC}}$   $0,477 \pm 0,007 \text{ V}$ ,  $P_{\text{máx}}$   $1,716 \pm 0,288 \text{ W/m}^2$ , FF  $0,688 \pm 0,018$  y  $\% \eta$   $0,172 \pm 0,029\%$ . Para el pigmento de rosa de jamaica se obtuvo  $J_{\text{SC}}$   $5,235 \pm 1,360 \text{ mA/cm}^2$ ,  $V_{\text{OC}}$   $0,499 \pm 0,013 \text{ V}$ ,  $P_{\text{máx}}$   $1,892 \pm 0,525 \text{ W/m}^2$ , FF  $0,723 \pm 0,050$  y  $\% \eta$   $0,189 \pm 0,052 \%$ . Se realizó un análisis de varianza, ANOVA, para determinar la contribución de cada fuente de variación en la variación total observada en la eficiencia de conversión energética de las celdas solares sensibilizadas con dichos pigmentos, y se determinó que la variabilidad en los datos de eficiencia de las celdas se debe a los tratamientos (a los pigmentos) y no al error aleatorio; además se obtuvo un valor muy pequeño del cuadrado medio del error y eso indica que la variabilidad dentro de cada tratamiento es pequeña, y el proceso de ensamblaje de las celdas es reproducible.

Se ensamblaron 6 celdas sensibilizadas con tinte Z907 y co-sensibilizadas con nanopartículas de germanio y se obtuvieron los parámetros característicos  $J_{\text{SC}}$   $6,64 \pm 0,90 \text{ mA/cm}^2$ ,  $V_{\text{OC}}$   $0,67 \pm 0,01 \text{ V}$ ,  $P_{\text{máx}}$   $28,75 \pm 4,8 \text{ W/m}^2$ , FF  $0,63 \pm 0,02$  y  $\% \eta$   $2,897 \pm 0,48 \%$ . Estos valores son más bajos que los obtenidos para el tinte Z907, casi en un 50 % para todos los parámetros; por lo que el uso de la nanopartículas no mejora el comportamiento de la celda, sino que lo afecta significativamente. Esto se puede deber a que no se dio un buen anclaje de las nanopartículas al  $\text{TiO}_2$  con la molécula bifuncional, cisteína, afectando la inyección de electrones al semiconductor.

Se utilizaron los pigmentos obtenidos a partir de actinomicetes y bacterias, A9, A11, 8, 4.3, y 10.2; para sensibilizar electrodos de  $\text{TiO}_2$ , sin embargo, estos no se adsorbieron en cantidad apreciable al semiconductor, por lo que no se pudieron utilizar para celdas. La falta de grupos funcionales adecuados para el anclaje puede ser la principal razón de este comportamiento.

Se estimó el costo económico de la producción de cada celda prototipo a escala de laboratorio ( $0,3 \text{ cm}^2$ ), sensibilizada con el tinte Z907, y se obtuvo un costo aproximado de \$7,35 por celda, y de \$0,17/Wp.

## ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN .....	1
1. MARCO TEÓRICO .....	4
TIPOS DE CELDAS SOLARES.....	5
Celdas fotogalvánicas .....	5
Celdas fotovoltaicas basadas en electrodos semiconductores .....	5
Celdas fotoelectroquímicas de unión líquida.....	9
CELDAS SOLARES SENSIBILIZADAS CON TINTES.....	11
Reacciones involucradas en el funcionamiento de DSSC .....	13
Caracterización de la eficiencia de una DSSC.....	15
Componentes de una DSSC.....	18
1) Semiconductor: .....	18
2) Substratos .....	20
3) Tintes Sensibilizantes.....	21
Tintes D- $\pi$ -A .....	22
Complejos de Rutenio.....	24
Tintes Cumarina.....	26
Tintes Polienos.....	26
Hemicianinas .....	27
Tintes tiofeno .....	27
Indolinas.....	28
Tintes Heteropolicíclicos .....	28
Xantenos .....	29
Tintes Perileno .....	29
Porfirinas.....	30
Merocianinas.....	30
Tintes Catecol .....	31
Tintes poliméricos.....	31
Tintes Squarina .....	32
Cianinas .....	32
Ptalocianinas .....	33
Tintes de extractos naturales.....	34

Puntos Cuánticos, QD, (Quantum Dots).....	36
4) Electrolito.....	38
5) Catalizador.....	41
6) Sellante.....	42
Espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS).....	42
2. METODOLOGÍA, DIAGRAMA EXPERIMENTAL Y EQUIPO.....	51
2.1 Metodología.....	51
2.2 Diagrama experimental.....	55
2.3 Equipo y reactivos.....	55
3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	57
3.1. Caracterización de la reproducibilidad en el ensamblaje de DSSC.....	57
Ensamblaje.....	57
Tinte de referencia.....	58
Reproducibilidad del ensamblado.....	61
Caracterización con espectroscopía de impedancia electrónica (EIS).....	66
3.2. Celdas solares sensibilizadas con pigmentos naturales.....	77
3.3. Celdas solares co-sensibilizadas con nanopartículas de germanio.....	95
3.4. Celdas solares sensibilizadas con pigmentos extraídos de microorganismos (MO).....	99
3.5. Estimación de los costos de ensamblado de celdas solares sensibilizadas.....	101
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	103
5. BIBLIOGRAFÍA.....	107
NOMENCLATURA.....	116
APÉNDICES.....	118



## ÍNDICE CUADROS

<b>Cuadro 1.1.</b> Comparación de eficiencias y costos de diferentes tipos de celdas solares. (Julian, 2011) .....	8
<b>Cuadro 1.2.</b> Grupos de pigmentos encontrados en extractos naturales (Narayan, 2012).....	34
<b>Cuadro 2.1.</b> Equipo utilizado para la elaboración de las celdas y la medición de su eficiencia .....	56
<b>Cuadro 2.2.</b> Materiales y reactivos utilizados para la elaboración de las celdas. ....	56
<b>Cuadro 3.1.</b> Datos obtenidos para la caracterización de celdas sensibilizadas con tinte de referencia Z-907 0,5 mM. ....	62
<b>Cuadro 3.2.</b> Valores obtenidos para la caracterización de celdas solares sensibilizadas con el tinte de referencia Z907 reportados en la literatura. ....	63
<b>Cuadro 3.3.</b> Datos obtenidos en la caracterización de las celdas sensibilizadas con extractos de Picramnia, curcumina, caimito y rosa de jamaica. ....	89
<b>Cuadro 3.4.</b> Promedios de los parámetros característicos de las celdas solares sensibilizadas con extractos naturales. ....	89
<b>Cuadro 3.5.</b> Datos obtenidos para el análisis de varianza ANOVA, obtenido con Excel.....	91
<b>Cuadro 3.6.</b> Datos obtenidos de la caracterización I-V de las celdas sensibilizadas con tinte Z907 y nanopartículas de Ge. ....	98
<b>Cuadro 3.7.</b> Comparación de los datos obtenidos para la caracterización de celdas co-sensibilizadas y sin co-sensibilizar con nanopartículas de Ge. ....	98
<b>Cuadro 3.8.</b> Estimación de los costos de ensamblado de celdas solares sensibilizadas a escala de laboratorio, 0,30 cm <sup>2</sup> . ....	101
<b>Cuadro A.1.</b> Datos de I-V para la celda 1, sensibilizada con tinte Z907. ....	119
<b>Cuadro A.2.</b> Datos de I-V para la celda 2, sensibilizada con tinte Z907. ....	120
<b>Cuadro A.3.</b> Datos de I-V para la celda 3, sensibilizada con tinte Z907. ....	121
<b>Cuadro A.4.</b> Datos de I-V para la celda 4, sensibilizada con tinte Z907. ....	122
<b>Cuadro A.5.</b> Datos de I-V para la celda 5, sensibilizada con tinte Z907. ....	123
<b>Cuadro A.6.</b> Datos de I-V para la celda 6, sensibilizada con tinte Z907. ....	124
<b>Cuadro A.7.</b> Datos de I-V para la celda 7, sensibilizada con tinte Z907. ....	125
<b>Cuadro A.8.</b> Datos de I-V para la celda 8, sensibilizada con tinte Z907. ....	126
<b>Cuadro A.9.</b> Datos de I-V para la celda 9, sensibilizada con tinte Z907. ....	127
<b>Cuadro A.10.</b> Datos de I-V para la celda 10, sensibilizada con tinte Z907. ....	128
<b>Cuadro A.11.</b> Datos de I-V para la celda 11, sensibilizada con tinte Z907. ....	129

<b>Cuadro A.12.</b> Datos de I-V para la celda 12, sensibilizada con tinte Z907. ....	130
<b>Cuadro A.13.</b> Datos de I-V para la celda 1, sensibilizada con el pigmento de Picramnia. ....	131
<b>Cuadro A.14.</b> Datos de I-V para la celda 2, sensibilizada con el pigmento de Picramnia. ....	132
<b>Cuadro A.15.</b> Datos de I-V para la celda 3, sensibilizada con el pigmento de Picramnia. ....	133
<b>Cuadro A.16.</b> Datos de I-V para la celda 4, sensibilizada con el pigmento de Picramnia. ....	134
<b>Cuadro A.17.</b> Datos de I-V para la celda 5, sensibilizada con el pigmento de Picramnia. ....	135
<b>Cuadro A.18.</b> Datos de I-V para la celda 6, sensibilizada con el pigmento de Picramnia. ....	136
<b>Cuadro A.19.</b> Datos de I-V para la celda 7, sensibilizada con el pigmento de Picramnia. ....	137
<b>Cuadro A.20.</b> Datos de I-V para la celda 1, sensibilizada con el pigmento de curcumina. ....	138
<b>Cuadro A.21.</b> Datos de I-V para la celda 2, sensibilizada con el pigmento de curcumina. ....	139
<b>Cuadro A.22.</b> Datos de I-V para la celda 3, sensibilizada con el pigmento de curcumina. ....	140
<b>Cuadro A.23.</b> Datos de I-V para la celda 4, sensibilizada con el pigmento de curcumina. ....	141
<b>Cuadro A.24.</b> Datos de I-V para la celda 5, sensibilizada con el pigmento de curcumina. ....	142
<b>Cuadro A.25.</b> Datos de I-V para la celda 6, sensibilizada con el pigmento de curcumina. ....	143
<b>Cuadro A.26.</b> Datos de I-V para la celda 7, sensibilizada con el pigmento de curcumina. ....	144
<b>Cuadro A.27.</b> Datos de I-V para la celda 1, sensibilizada con el pigmento de caimito. ....	145
<b>Cuadro A.28.</b> Datos de I-V para la celda 2, sensibilizada con el pigmento de caimito. ....	146
<b>Cuadro A.29.</b> Datos de I-V para la celda 3, sensibilizada con el pigmento de caimito. ....	147
<b>Cuadro A.30.</b> Datos de I-V para la celda 4, sensibilizada con el pigmento de caimito. ....	148
<b>Cuadro A.31.</b> Datos de I-V para la celda 5, sensibilizada con el pigmento de caimito. ....	149
<b>Cuadro A.32.</b> Datos de I-V para la celda 6, sensibilizada con el pigmento de caimito. ....	150
<b>Cuadro A.33.</b> Datos de I-V para la celda 7, sensibilizada con el pigmento de caimito. ....	151
<b>Cuadro A.34.</b> Datos de I-V para la celda 7, sensibilizada con el pigmento de caimito. ....	152
<b>Cuadro A.35.</b> Datos de I-V para la celda 1, sensibilizada con el pigmento de rosa de jamaica. ....	153
<b>Cuadro A.36.</b> Datos de I-V para la celda 2, sensibilizada con el pigmento de rosa de jamaica. ....	154
<b>Cuadro A.37.</b> Datos de I-V para la celda 3, sensibilizada con el pigmento de rosa de jamaica. ....	155
<b>Cuadro A.38.</b> Datos de I-V para la celda 4, sensibilizada con el pigmento de rosa de jamaica. ....	156
<b>Cuadro A.39.</b> Datos de I-V para la celda 5, sensibilizada con el pigmento de rosa de jamaica. ....	157
<b>Cuadro A.40.</b> Datos de I-V para la celda 6, sensibilizada con el pigmento de rosa de jamaica. ....	158
<b>Cuadro A.41.</b> Datos de I-V para la celda 7, sensibilizada con el pigmento de rosa de jamaica. ....	159
<b>Cuadro A.42.</b> Datos de I-V para la celda 1, co-sensibilizada con nanopartículas de germanio. ....	160

<b>Cuadro A.43.</b> Datos de I-V para la celda 2, co-sensibilizada con nanopartículas de germanio. ....	161
<b>Cuadro A.44.</b> Datos de I-V para la celda 3, co-sensibilizada con nanopartículas de germanio. ....	162
<b>Cuadro A.45.</b> Datos de I-V para la celda 4, co-sensibilizada con nanopartículas de germanio. ....	163
<b>Cuadro A.46.</b> Datos de I-V para la celda 5, co-sensibilizada con nanopartículas de germanio. ....	164
<b>Cuadro A.47.</b> Datos de I-V para la celda 6, co-sensibilizada con nanopartículas de germanio. ....	165
<b>Cuadro A.48.</b> Datos de la simulación de los datos de EIS con el programa ZView2 para la celda 1 sensibilizada con el tinte Z907.....	166
<b>Cuadro A.49.</b> Datos de la simulación de los datos de EIS con el programa ZView2 para la celda 2 sensibilizada con el tinte Z907.....	167
<b>Cuadro A.50.</b> Datos de la simulación de los datos de EIS con el programa ZView2 para la celda 4 sensibilizada con el tinte Z907.....	168
<b>Cuadro A.51.</b> Datos de la simulación de los datos de EIS con el programa ZView2 para la celda 6 sensibilizada con el tinte Z907.....	169
<b>Cuadro A.52.</b> Datos de la simulación de los datos de EIS con el programa ZView2 para la celda 7 sensibilizada con el tinte Z907.....	170
<b>Cuadro A.53.</b> Datos de la simulación de los datos de EIS con el programa ZView2 para la celda 8 sensibilizada con el tinte Z907.....	171
<b>Cuadro A.54.</b> Datos de la simulación de los datos de EIS con el programa ZView2 para la celda 1 sensibilizada con pigmento de caimito. ....	172
<b>Cuadro A.55.</b> Datos de la simulación de los datos de EIS con el programa ZView2 para la celda 3 sensibilizada con pigmento de curcumina.....	173
<b>Cuadro A.56.</b> Datos de la simulación de los datos de EIS con el programa ZView2 para la celda 2 sensibilizada con pigmento de rosa de jamaica.....	174
<b>Cuadro A.57.</b> Datos de la simulación de los datos de EIS con el programa ZView2 para la celda 2 sensibilizada con pigmento de picramnia. ....	175
<b>Cuadro B.1.</b> Datos obtenidos del análisis de los datos simulados con ZView2 para la celda 1 sensibilizada con el tinte Z907.....	176
<b>Cuadro B.2.</b> Datos obtenidos del análisis de los datos simulados con ZView2 para la celda 2 sensibilizada con el tinte Z907.....	176
<b>Cuadro B.3.</b> Datos obtenidos del análisis de los datos simulados con ZView2 para la celda 4 sensibilizada con el tinte Z907.....	177
<b>Cuadro B.4.</b> Datos obtenidos del análisis de los datos simulados con ZView2 para la celda 6 sensibilizada con el tinte Z907.....	177
<b>Cuadro B.5.</b> Datos obtenidos del análisis de los datos simulados con ZView2 para la celda 7 sensibilizada con el tinte Z907.....	178

<b>Cuadro B.6.</b> Datos obtenidos del análisis de los datos simulados con ZView2 para la celda 8 sensibilizada con el tinte Z907.....	178
<b>Cuadro B.7.</b> Datos obtenidos del análisis de los datos simulados con ZView2 para la celda 1 sensibilizada con el pigmento de caimito.....	179
<b>Cuadro B.8.</b> Datos obtenidos del análisis de los datos simulados con ZView2 para la celda 3 sensibilizada con el pigmento de curcumina.....	179
<b>Cuadro B.9.</b> Datos obtenidos del análisis de los datos simulados con ZView2 para la celda 2 sensibilizada con el pigmento de rosa de jamaica.....	180
<b>Cuadro B.10.</b> Datos obtenidos del análisis de los datos simulados con ZView2 para la celda 2 sensibilizada con el pigmento de picramnia.....	180
<b>Cuadro B.11.</b> Datos obtenidos para los tratamientos con el análisis de varianza ANOVA, de Excel. ....	181

## ÍNDICE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b> Representación de las pérdidas de energía solar en la atmósfera terrestre (Julian, 2011).	4
<b>Figura 1.2.</b> Representación de la banda energética de semiconductores n- y p-dopados, con la indicación del nivel Fermi ( $E_f$ ) antes y después de la unión de los semiconductores y la formación de la unión p-n (Kalyanasundaram, 2010).	7
<b>Figura 1.3.</b> Eficiencias reportadas para celdas de investigación, de diferentes generaciones. Recuperado el 02 de enero del 2014 de <a href="http://juanbisquert.wordpress.com/2013/05/07/perovskite-pigment-solar-cells-boost-power-conversion-efficiency/">http://juanbisquert.wordpress.com/2013/05/07/perovskite-pigment-solar-cells-boost-power-conversion-efficiency/</a>	9
<b>Figura 1.4.</b> Principio de operación de una celda solar de unión líquida (Kalyanasundaram, 2010).	10
<b>Figura 1.5.</b> Esquema de funcionamiento de una celda solar sensibilizada con tintes (DSSC) (Poortmans & Arkhipov, 2006).	11
<b>Figura 1.6.</b> Diagrama de los niveles energéticos en una DSSC (Hagfeldt et al., 2010).	13
<b>Figura 1.7.</b> Diagrama con las constantes de tiempo de las reacciones involucradas en el funcionamiento de una DSSC (Hagfeldt et al., 2010).	15
<b>Figura 1.8.</b> Curva I-V característica de una DSSC. La curva azul continua corresponde a la curva I-V bajo iluminación y la punteada en condiciones de oscuridad (Pootrakulchote, 2012).	18
<b>Figura 1.9.</b> Esquema del circuito eléctrico equivalente para una celda solar (Pootrakulchote, 2012).	18
<b>Figura 1.10.</b> Posibles estructuras formadas entre la superficie del TiO <sub>2</sub> y el grupo anclante, a) grupo carboxilo y b) grupo fosfonato(Bae et al., 2004).	22
<b>Figura 1.11.</b> Representación de un sistema D- $\pi$ -A como sensibilizante para DSSC. (Ooyama & Harima, 2009)	23
<b>Figura 1.12.</b> Estructuras de los tintes de Ru más comunes, N3, N719 y tinte negro(Kong et al., 2007).	25
<b>Figura 1.13.</b> Estructura molecular del complejo de rutenio Z907 (Jang et al., 2009).	25
<b>Figura 1.14.</b> Ejemplos de algunas estructuras de tintes cumarina (Ooyama & Harima, 2009).	26
<b>Figura 1.15.</b> Ejemplos de algunas estructuras de tintes polienos (Ooyama & Harima, 2009).	27
<b>Figura 1.16.</b> Ejemplos de estructuras de tintes hemicianinas (Ooyama & Harima, 2009).	27
<b>Figura 1.17.</b> Ejemplos de diferentes estructuras de tintes basados en tiofeno (Ooyama & Harima, 2009).	28

<b>Figura 1.18.</b> Estructuras moleculares de algunos ejemplos de indolinas (Ooyama & Harima, 2009).	28
<b>Figura 1.19.</b> Estructuras varios de tintes fluorescentes heterocíclicos (Ooyama & Harima, 2009).	29
<b>Figura 1.20.</b> Estructuras de algunos tintes xantenos (Ooyama & Harima, 2009).	29
<b>Figura 1.21.</b> Ejemplos de algunas estructuras de perilenos (Ooyama & Harima, 2009).	30
<b>Figura 1.22.</b> Estructuras de las porfirinas (a) YD2 y (b) YD2-o-C8 (Yella et al, 2011).	30
<b>Figura 1.23.</b> Estructuras de algunas merocianinas utilizadas en DSSC (Ooyama & Harima, 2009).	31
<b>Figura 1.24.</b> Ejemplos de estructuras de tintes catecol utilizadas como sensibilizantes en DSSC (Ooyama & Harima, 2009).	31
<b>Figura 1.25.</b> Ejemplos de estructuras de tintes poliméricos utilizados en DSSC. (Lee et al., 2011)	32
<b>Figura 1.26.</b> Ejemplos de tintes squaraine utilizados en DSSC (Ooyama & Harima, 2009)	32
<b>Figura 1.27.</b> Estructuras de las cianinas I y II utilizadas en DSSC (Ma et al., 2008).	33
<b>Figura 1.28.</b> Ejemplos de algunas ptalocianinas utilizadas en DSSC (Ooyama & Harima, 2009).	33
<b>Figura 1.29.</b> Estructura molecular de antocianina básica y su anclaje al TiO <sub>2</sub> (Hao et al., 2006).	35
<b>Figura 1.30.</b> Estructuras moleculares de betalainas utilizadas en DSSC (Zhang et al., 2008).	35
<b>Figura 1.31</b> Gráfica de Nyquist típica de una DSSC obtenida mediante EIS (Wang, Moser, & Grätzel, 2005).	44
<b>Figura 1.32.</b> Representación del circuito eléctrico equivalente completo para una DSSC. (Fabregat-Santiago et al., 2005).	45
<b>Figura 1.33.</b> Representación de (a) estados superficiales del TiO <sub>2</sub> y (b) comportamiento de la capacitancia química en el semiconductor (Bisquert et al., 2008).	46
<b>Figura 1.34.</b> Representación de la transferencia de electrones mediante estados superficiales (Morasero & Bisquert, 2003).	47
<b>Figura 1.35.</b> Modelos de circuitos equivalentes de una DSSC a diferentes ámbitos de voltaje, (a) voltajes medios, (b) voltajes bajos y (c) voltajes altos (Fabregat-Santiago et al., 2005).	48
<b>Figura 1.36.</b> Diagrama de Nyquist típico para una corrida de impedancia a potenciales altos. (Halme et al., 2010).	49
<b>Figura 2.1.</b> Esquema de la técnica Dr. Blading para la aplicación de la pasta de TiO <sub>2</sub> (Torres, 2012).	52
<b>Figura 2.2.</b> Proceso de ensamblado de celdas solares sensibilizadas con tintes.	53

<b>Figura 2.3.</b> Diagrama del equipo experimental para la caracterización de celdas solares sensibilizadas (Torres, 2012).....	55
<b>Figura 3.1.</b> Celdas solares sensibilizadas, (a) ensambladas con el procedimiento descrito por Torres, (b) ensambladas con las mejoras del proceso.....	58
<b>Figura 3.2.</b> Espectro UV-Vis obtenido para el del tinte de referencia Z907.....	59
<b>Figura 3.3.</b> Voltametría cíclica para el tinte de referencia Z907 en acetonitrilo (línea roja), y ferroceno/ferrocenio ( $\text{Fe}(\text{C}_5\text{H}_5)_2/\text{FeC}_5\text{H}_5^+$ ) en acetonitrilo (línea azul), como electrodo de referencia.....	59
<b>Figura 3.4.</b> Niveles energéticos para celdas sensibilizadas con diferentes tintes, usando $\text{TiO}_2$ como semiconductor y electrolito de $I^-/I_3^-$ , reportados en la literatura, (Lu et al., 2011).....	61
<b>Figura 3.5.</b> Curvas corriente-voltaje, para las celdas sensibilizadas con el tinte de referencia Z907.....	62
<b>Figura 3.6.</b> Gráfico de distribución de t de Student y las desviaciones de los datos con respecto a la media.....	65
<b>Figura 3.7.</b> Diagramas de Nyquist obtenidas a potencial 0,8 V (potencial alto) para las celdas (a) 1, (b) 2, (c) 4, (d) 6,(e) 7 y (f) 8, sensibilizadas con el tinte de referencia Z907.....	67
<b>Figura 3.8.</b> Circuito equivalente para una DSSC a potenciales altos, (a) teórico, (b) utilizado para el modelado de los datos obtenidos.....	67
<b>Figura 3.9.</b> Diagramas de Nyquist obtenidas a potencial 0,55 V (potenciales medios) para las celdas (a) 1, (b) 2, (c) 4, (d) 6,(e) 7 y (f) 8, sensibilizadas con el tinte de referencia Z907.....	68
<b>Figura 3.10.</b> Circuito equivalente para una DSSC a potenciales medios.....	68
<b>Figura 3.11.</b> Diagramas de Nyquist obtenidas a potencial 0,05 V (potenciales bajos) para las celdas (a) 1, (b) 2, (c) 4, (d) 6,(e) 7 y (f) 8, sensibilizadas con el tinte de referencia Z907.....	69
<b>Figura 3.12.</b> Circuito equivalente para una DSSC a potenciales bajos.....	69
<b>Figura 3.13.</b> Gráficas de resistencia a la transferencia de carga (recombinación), $R_{CT}$ , resistencia al transporte de electrones en el $\text{TiO}_2$ , $R_{trans}$ , y de capacitancia química, $C_u$ , en función del potencial aplicado, de las celdas (a) 1, (b) 2, (c) 4, (d) 6,(e) 7 y (f) 8, sensibilizadas con el tinte de referencia Z907.....	71
<b>Figura 3.14.</b> Gráficas de vida media del electrón y tiempo de transporte, en función del potencial aplicado, de las celdas (a) 1, (b) 2, (c) 4, (d) 6,(e) 7 y (f) 8, sensibilizadas con el tinte de referencia Z907.....	73

<b>Figura 3.15.</b> Gráfica de densidad de estados, DOS, para las celdas sensibilizadas con el tinte Z907.....	74
<b>Figura 3.16.</b> Imágenes de microscopía de barrido electrónico (SEM), para dos muestras de electrodos de TiO <sub>2</sub> sinterizados, (a), (b) y (c) para un electrodo en buenas condiciones aparentes y (d) y (e) para un electrodo en mal estado.....	75
<b>Figura 3.17.</b> Espectro UV-Vis del extracto de Picramnia en MeOH.....	77
<b>Figura 3.18.</b> Espectro FT-IR del extracto de Picramnia.....	78
<b>Figura 3.19.</b> Fotografía de (a) frutos de Picramnia, (b) extracto de picamnia, (c) electrodos de TiO <sub>2</sub> con el pigmento adsorbido y (d) celdas solares sensibilizadas con el extracto de picamnia, recuperado el 3 de setiembre del 2013 de <a href="http://www.discoverlife.org/mp/20q?search=Picramnia+latifolia">http://www.discoverlife.org/mp/20q?search=Picramnia+latifolia</a> .....	78
<b>Figura 3.20.</b> Curvas de densidad de corriente en función del potencial para las celdas sensibilizadas con el pimento natural extraído de la Picramnia.....	79
<b>Figura 3.21.</b> Estructuras moleculares de la curcumina (a) en su forma ceto y (b) en su forma enólica.(Esatbeyoglu et al., 2012).....	80
<b>Figura 3.22.</b> Espectro UV-Vis del extracto de curcumina.....	80
<b>Figura 3.23.</b> Espectro FT-IR del extracto de curcumina.....	81
<b>Figura 3.24.</b> Fotografía de (a) curcumina, (b) extracto de curcumina, (c) electrodos de TiO <sub>2</sub> con el pigmento adsorbido y (d) celdas solares sensibilizadas con el extracto de curcumina.....	81
<b>Figura 3.25.</b> Curvas de densidad de corriente en función del potencial para las celdas sensibilizadas con el pimento natural extraído de la Curcumina.....	82
<b>Figura 3.26.</b> Estructura molecular de la cianidin-3-glucosida encontrada en el caimito.(Einbond et al., 2004).....	83
<b>Figura 3.27.</b> Espectro UV-Vis del extracto de caimito.....	83
<b>Figura 3.28.</b> Espectro FT-IR del extracto de caimito.....	84
<b>Figura 3.29.</b> Fotografía de (a) caimito, (b) extracto de caimito, (c) electrodos de TiO <sub>2</sub> con el pigmento adsorbido y (d) celdas solares sensibilizadas con el extracto de caimito.....	84
<b>Figura 3.30.</b> Curvas de densidad de corriente en función del potencial para las celdas sensibilizadas con el pimento natural extraído del caimito.....	85
<b>Figura 3.31.</b> Estructuras moleculares de varias antocianinas encontradas en el extracto de rosa de Jamaica, cuyos nombres son (1) Cy-3-O-rutinosida, (2) Cy-3,5-diglucosida, (3) Cy-3-sambubiosida, (4) Dp-3-sambubiosida, (5) Dp-3-O-glucosida y (6) ácido clorogénico.(Segura-Carretero et al., 2008).....	86



<b>Figura 3.32.</b> Espectro UV-Vis del extracto de rosa de jamaica. ....	86
<b>Figura 3.33.</b> Espectro FT-IR del extracto de rosa de jamaica. ....	87
<b>Figura 3.34.</b> Fotografía de (a) rosa de Jamaica, (b) extracto de rosa de jamaica, (c) electrodos de TiO <sub>2</sub> con el pigmento adsorbido y (d) celdas solares sensibilizadas con el extracto de rosa de Jamaica (Ismail, et al; 2008). ....	88
<b>Figura 3.35.</b> Curvas de densidad de corriente en función del potencial para las celdas sensibilizadas con el pimento natural extraído de la jamaica. ....	88
<b>Figura 3.36.</b> Gráfica de residuos contra orden de corrida para verificar supuesto de independencia, ....	92
<b>Figura 3.37.</b> Gráficas de capacitancia química y resistencias de carga y de transporte en función del potencial, para celdas sensibilizadas con (a) Caimito, (b) rosa de Jamaica, (c) curcumina, (d) picramnia. ....	93
<b>Figura 3.38.</b> Gráficas de vida media del electrón y tiempo de transporte en función del potencial, para celdas sensibilizadas con (a) Caimito, (b) rosa de Jamaica, (c) curcumina, (d) picramnia. ....	94
<b>Figura 3.39.</b> Imágenes TEM de las nano partículas de Ge, (a) a 100000X y (b) 80000X, ambos a escala de 20 nm. ....	95
<b>Figura 3.40.</b> Espectro IR en KBr de las nanopartículas de germanio. ....	96
<b>Figura 3.41.</b> Representación de (a) estructura de L-cisteína, (b) bifuncionalización con cisteína. ....	97
<b>Figura 3.42.</b> (a) Disolución en tolueno de las nanopartículas de germanio, (b) celdas co-sensibilizadas con nanopartículas de germanio. ....	97
<b>Figura 3.43.</b> Gráfica de densidad de corriente en función del potencial para las celdas co-sensibilizadas con nanopartículas de germanio. ....	97
<b>Figura 3.44.</b> Pigmentos extraídos de microorganismos, (a) A9, (b) A11, (c) 8, (d)4.3, 10.2. ....	99
<b>Figura 3.45.</b> Prueba de adsorción de los pigmentos en electrodos de TiO <sub>2</sub> , (a) pigmento 4.3, (b) 8, (C) de izquierda a derecha, A11, A9 y 10.2. ....	100
<b>Figura D.1.1.</b> Equipo para realizar el corte en los electrodos de vidrio. ....	188
<b>Figura D.1.2.</b> Pegado de la láminas de FTO con cinta scotch 3M. ....	189
<b>Figura D.1.3.</b> Aplicación de la pasta de TiO <sub>2</sub> en el electrodo con la técnica Dr. Blading. ....	189
<b>Figura D.1.4.</b> Electrodos con pasta de TiO <sub>2</sub> listos. ....	190
<b>Figura D.1.5.</b> Almacenaje de las disoluciones de tintes y pigmentos en un lugar oscuro. ....	190
<b>Figura D.2.1.</b> Montaje del equipo para hacer los huecos de los contraelectrodos. ....	191
<b>Figura D.2.2.</b> Montaje del equipo para la electrodeposición de Pt en los contraelectrodos. ....	192

<b>Figura D.2.3.</b> Contraelectrodos, a la izquierda con electrodeposición, a la derecha sin electrodeposición. ....	192
<b>Figura D.3.1.</b> Electrodo con el tinte adsorbido en el TiO <sub>2</sub> limpios y listos para ensamblado. ....	193
<b>Figura D.3.2.</b> Marco de Surlyn ® DuPont de 1,66 µm de espesor.....	193
<b>Figura D.3.3.</b> Colocación del Surlyn entre el electrodo y contraelectodo. ....	194
<b>Figura D.3.4.</b> Pegado de los electrodos con Surlyn, utilizando un sellador de pulsos. ....	194
<b>Figura D.3.5.</b> Proceso de llenado del electrolito por medio de diferencias de presión. ....	195
<b>Figura D.3.6.</b> Proceso de sellado final de la celda. ....	195
<b>Figura D.3.7.</b> Celdas selladas y con pintura de plata, listas para mediciones. ....	196
<b>Figura D.4.1.</b> Conexión de las celdas para las mediciones de I-V.....	197

## INTRODUCCIÓN

Actualmente el requerimiento energético mundial estimado para siete billones de personas es aproximadamente 13 TW, y se espera que en los próximos 40 años aumente hasta 23 TW. Debido a la creciente conciencia a nivel mundial por la necesidad de un cambio en el modo de vida y en la disminución del consumo de combustibles fósiles para mitigar las consecuencias del cambio climático, es que surge la discusión de las alternativas a estos combustibles. Entre las opciones se encuentran los combustibles basados en carbono (biomasa), biocombustibles, la energía nuclear, y energías renovables como la energía solar (Kalyanasundaram, 2010).

La energía solar tiene el mayor potencial para solventar esta gran demanda energética. A la atmósfera terrestre llega una energía de  $1.7 \times 10^5$  TW provenientes del sol, de los cuales aproximadamente 600 TW llegan a la superficie terrestre, por lo que usando celdas solares que transformen tan solo el 10 % de esa energía, se podrían suplir unos 60 TW con energía limpia, proveniente del sol (Hagfeldt et al., 2010).

Las celdas solares basadas en silicio de primera y segunda generación, así como otras tecnologías como CdSe, CIGS, etc, poseen eficiencias de conversión de energía solar en eléctrica, desde 15-25 %, pero los altos costos de manufactura conllevan a precios elevados y hace que estas tecnologías no sean accesibles a mayores sectores del mercado (Ooyama & Harima, 2012). Las celdas solares sensibilizadas con tintes, DSSC (Dye Sensitized Solar Cells) constituyen una alternativa muy promisoría debido a que son menos costosas, se pueden producir módulos flexibles, variedad de colores, entre otros. Aunque la eficiencia de conversión de energía de las DSSC es menor, 10-12 % para módulos de laboratorio, ofrece mayores eficiencias que las de silicio a bajos ángulos de incidencia de la luz, y bajos niveles de energía (Yin et al., 2012).

En las DSSC se coloca una capa delgada de un semiconductor nanoestructurado en un electrodo de vidrio cubierto con un óxido conductor transparente (TCO); la absorción de la

luz se da por medio de las moléculas de un tinte sensibilizante adsorbidas en la superficie del semiconductor, las cuáles se excitan e inyectan electrones al semiconductor en un electrodo, y por medio del circuito externo llegan a un contraelectrodo, cerrando el circuito y produciendo la transformación de energía solar en energía eléctrica; en el interior de la celda se utiliza un par redox para regenerar las moléculas del tinte, y los electrones que llegan al contraelectrodo regeneran a su vez el par redox (Ko, Lee, & Jung, 2005).

Los tintes sensibilizantes que han presentado las mayores eficiencias son complejos de Ru, y el uso de este metal en la elaboración de sensibilizantes para DSSC conlleva varias desventajas, entre ellas está la limitada cantidad disponible de este metal noble, y con ello un alto costo de producción, además el proceso de síntesis es complicado y su uso presenta complicaciones medio-ambientales, por ello que en los últimos años se ha tratado de buscar alternativas a los tintes de Ru (Zhou et al., 2011).

La creciente investigación en tintes orgánicos como sensibilizantes para DSSC, para sustituir los complejos de Ru se debe a que estos se pueden obtener, sintetizar y purificar a bajos costos, muchos presentan mayores coeficientes de absorción molar que los complejos de Ru, además hay una gran cantidad de moléculas posibles, que incluso de pueden modificar fácilmente, permitiendo el diseño molecular; y no presentan el gran problema de limitación de recursos disponibles, como los complejos de rutenio. (Ooyama & Harima, 2009).

Muchos pigmentos extraídos de frutos y plantas contienen compuestos como carotenoides, clorofilas, antocianinas, betalaínas, etc, que poseen los grupos funcionales adecuados para un buen anclaje al  $\text{TiO}_2$ , y por ello son una buena alternativa para su uso en DSSC (Ludin et al., 2014). Además este tipo de pigmentos se obtienen a bajos costos, hay una inmensa cantidad de recursos, y se obtienen con técnicas fáciles que no dañan el ambiente y son completamente biodegradables, por lo que representan un fuerte potencial para sustituir los tintes de Ru (Luo et al., 2009).

Los nanocristales semiconductores, o puntos cuánticos, QD (quantum dots), son otra fuente promisoría de sensibilizantes para DSSC, debido a sus características de confinamiento cuántico, a la posibilidad de generar múltiples pares electrón-hueco, altos coeficientes de extinción molar, absorción en la región visible-IR cercano, y a que sus propiedades ópticas y su bandgap se pueden ajustar cambiando el tamaño de las partículas (Song et al., 2012).

En el Centro de Electroquímica y Energía Química, CELEQ, de la Universidad de Costa Rica se ha investigado el uso de pigmentos de extractos naturales para su uso en DSSC, para promover el uso de energía solar y de los recursos del país, así como posicionarse como pionero en el estudio y desarrollo de energías renovables. Torres publicó en el 2012 su investigación de varios extractos naturales como azul de mata, pichichío y cucarachita.

Este proyecto pretende caracterizar la eficiencia de celdas solares sensibilizadas con pigmentos naturales, pigmentos obtenidos a partir de microorganismos, y nanopartículas de germanio (quantum dots) como co-sensibilizantes.

---

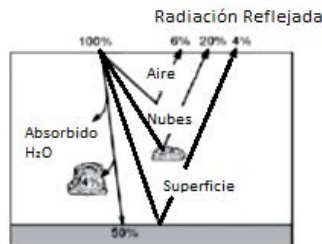
## 1. MARCO TEÓRICO

---

El sol emite radiación en un rango de longitudes de onda desde el ultravioleta-visible hasta el infrarrojo, sin embargo las longitudes de onda recibidas en la superficie terrestre depende de la absorción atmosférica de la luz y la posición del sol. El ozono de la atmósfera absorbe luz ultravioleta, mientras que el agua y el dióxido de carbono atmosféricos absorben en el infrarrojo, de modo que la mayor parte de radiación solar en la superficie terrestre se encuentra en la región visible. Cuando el cielo se encuentra despejado y el sol está en su posición más alta, se obtiene el camino más corta de la luz a través de la atmósfera (Hagfeldt et al., 2010). La longitud del camino de la luz es llamado air mass (AM) y se puede aproximar como:

$$AM = 1/\cos\phi \quad (1.1)$$

Siendo  $\phi$  el ángulo de elevación del sol. El espectro solar estándar utilizado para la medición de la eficiencia en celdas solares es AM 1.5 G (global), con lo que se tiene un ángulo de elevación del sol de  $48^\circ$ . Este espectro está normalizado de forma que la irradiancia integrada sea de  $1000 \text{ W m}^{-2}$  (Hagfeldt et al., 2010). La radiación solar que llega a la superficie terrestre es una mezcla de la luz directa, y luz difusa, y esta última es mayor entre más nublado se encuentre el cielo y la cantidad de partículas suspendidas en la atmósfera; la mayoría de paneles solares de primera y segunda generación disminuyen sus eficiencias con el aumento de luz difusa (Julian, 2011).



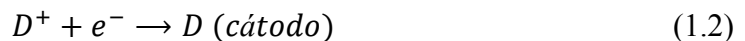
**Figura 1.1.** Representación de las pérdidas de energía solar en la atmósfera terrestre (Julian, 2011).

## TIPOS DE CELDAS SOLARES

Los dispositivos capaces de convertir directamente energía solar en energía eléctrica se denominan *celdas solares fotovoltaicas*, donde el término voltaico se debe a las diferencias de potencial químico que ocurren dentro de la celda con la absorción de energía solar. Las celdas fotovoltaicas se pueden dividir en tres grandes tipos: celdas fotogalvánicas, celdas basadas en electrodos semiconductores y celdas fotoelectroquímicas de unión líquida (Kalyanasundaram, 2010).

### Celdas fotogalvánicas

Este tipo de celdas funcionan mediante la inmersión de dos electrodos metálicos en una solución de un tinte adecuado (D), con un aceptor de electrones (A), y se trata de recolectar los electrones producidos con la absorción de la luz antes que se den las reacciones de recombinación (back electron transfer reactions).



Con estas reacciones se genera un diferencial de potencial también llamado “efecto galvánico”. El efecto neto es la conducción de un electrón a través de una carga externa y con ello la conversión global de energía solar en energía eléctrica. La máxima eficiencia obtenida con este tipo de celdas es del 5-9 %. Esta baja eficiencia se debe en general a dos factores, (a) los electrodos metálicos no son selectivos a la reacción deseada y (b) solo una pequeña cantidad de moléculas del tinte (D) cercanas a los electrodos contribuyen a la corriente generada (Kalyanasundaram, 2010).

### Celdas fotovoltaicas basadas en electrodos semiconductores

Las celdas solares de primera y segunda generación se basan en semiconductores para la conversión de energía solar en eléctrica.

En un cristal semiconductor los orbitales moleculares ocupados más altos, HOMO (high occupied molecular orbital) constituyen la banda de valencia VB (valence band) y los orbitales moleculares desocupados más bajos, LUMO (low unoccupied molecular orbital) constituyen la banda de conducción del semiconductor, CB (conduction band). En ausencia de dopantes, el nivel de energía del semiconductor o nivel Fermi, se encuentra a la mitad de la distancia entre de las bandas de valencia y de conducción. Si el semiconductor se dopa con un donador de electrones, semiconductor (n-dopado), el material se hace rico en electrones, y el nivel Fermi de energía se mueve hacia la CB. Si por el contrario se dopa con un aceptor de electrones, semiconductor (p-dopado), en el material el número de electrones disponibles disminuye, y el nivel Fermi de energía se mueve, quedando más cerca de la VB.

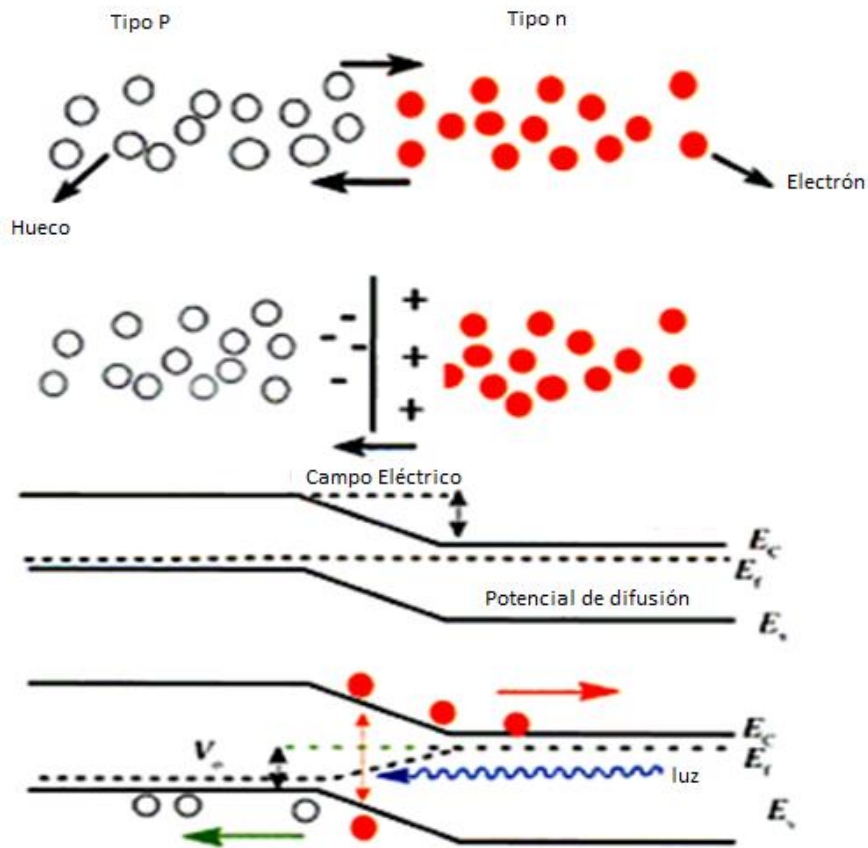
La diferencia de energía entre la banda de valencia y la de conducción se conoce como *bandgap*. La excitación óptica del semiconductor con luz que tenga una energía mayor que su *bandgap*, conlleva a la generación de portadores de cargas libres (free charge carriers), electrones ( $e^-$ ) y huecos ( $h^+$ ). De modo que en una estructura de “sándwich” con un semiconductor n-dopado y uno p-dopado, se da una separación de las cargas debido a la unión de las bandas en la vecindad de la interface. Al absorber luz, se crean más portadores de energía y el nivel Fermi de energía se divide en dos niveles “quasi” Fermi de energía, en las regiones n y p dopadas respectivamente, como se muestra en la Figura 1.2. Entre más alta es la intensidad de la luz, más se separan los niveles quasi Fermi (Kalyanasundaram, 2010).

Cerca del electrodo ambos niveles *quasi* Fermi de energía colapsan hacia el nivel *quasi* Fermi mayor donde están conectados; este cambio de niveles Fermi representa el voltaje de circuito abierto,  $V_{OC}$ . La separación de cargas permite la colección selectiva en los electrodos colectores, y con ello la conversión neta de la energía solar en energía eléctrica (Kalyanasundaram, 2010).

Las celdas fotovoltaicas de *primera generación*, usan materiales altamente puros, generalmente Si monocristalino, con la menor cantidad de defectos estructurales posibles; este tipo de celdas son las que han dado la mayor conversión de energía con respecto a las otras celdas fotovoltaicas (20-25 %); sin embargo, debido los altos costos de producción de



materiales tan puros y a la gran cantidad de energía que utiliza para ello, el costo por W pico ( $W_p$ ) es muy alto, aproximadamente  $\$3,0/W_p$  (Kalyanasundaram, 2010).



**Figura 1.2.** Representación de la banda energética de semiconductores n- y p-dopados, con la indicación del nivel Fermi ( $E_f$ ) antes y después de la unión de los semiconductores y la formación de la unión p-n (Kalyanasundaram, 2010).

Las celdas fotovoltaicas de *segunda generación*, están basadas en técnicas de preparación intensiva y de baja energía como deposición con vapor y galvanoplastia, lo que disminuye los costos de estas tecnologías, sin embargo su eficiencia energética es baja (16-20 %), debido a la dificultad de producir materiales con pocos defectos con los métodos de producción mencionados. Casi todas las celdas fotovoltaicas de capa fina caen dentro de esta categoría, entre ellas Si policristalino, CdTe, Cd-In-Ga-Se (CIGS), ya sean multicristalinos o amorfos, y pueden ser producidas a costos menores de  $\$1/W_p$  (Kalyanasundaram, 2010).

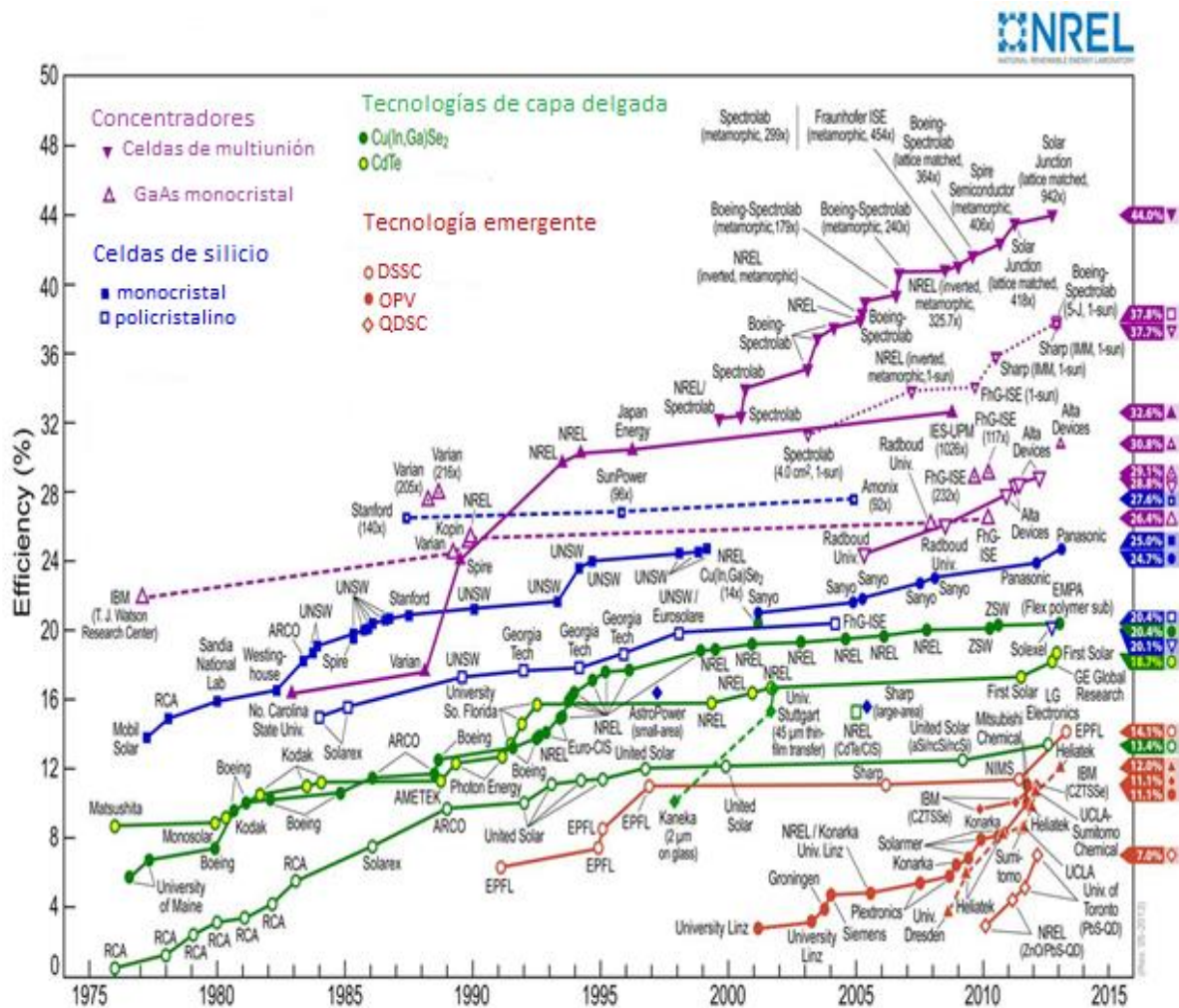
**Cuadro 1.1.** Comparación de eficiencias y costos de diferentes tipos de celdas solares. (Julian, 2011)

Tipo de Celda	Eficiencia (%)	Costo (\$/Wp)	Cuota de Mercado (%)
Si monocristalino	17-25	3,0	30
Si policristalino	15-18	2,0	40
Si amorfo	5-10	1,0	5
CIGS	11-13	1,5	5
CdTe-CdS	9-11	1,5	10

El valor teórico de máxima conversión de energía (eficiencia máxima) que se puede obtener en una celda fotovoltaica, de cualquier tipo, es de 31 % bajo la iluminación de 1 Sol, y es conocido como el límite Shockley-Queisser. Este límite fue calculado mediante la hipótesis de que un fotón genera solo un par electrón-hueco, sin embargo se sabe que fotones de mayor energía pueden producir más de un par  $e^-h^+$ , conllevando a mayores  $I_{SC}$  y con ello a mayores eficiencias (Abrams et al., 2012).

Las celdas solares de *tercera generación* se clasifican como todas aquellas que tienen potencial para llegar a obtener valores de eficiencia mayores al límite de Shockley-Queisser, o a aquellas celdas cuyo costo sea menor a  $\$0,5/W_p$ . Estas celdas tratan de eliminar las pérdidas de energía debido a dos causas principales, disipamiento de energía en forma de calor, de los fotones que tienen una energía mucho mayor que la del bandgap del semiconductor; y la energía no utilizada de los fotones con una energía menor que la del bandgap. Este tipo de celdas permite el uso de una gran cantidad de materiales para su producción, como materiales quasi-cristalinos, materiales amorfos hechos de coloides monodispersados, polímeros, geles y electrolitos; con lo que la conversión de energía se logra a menores costos que las celdas de primera y segunda generación (Kalyanasundaram, 2010).

En la Figura 1.3 se muestran las eficiencias alcanzadas para prototipos de laboratorio de las diferentes tecnologías hasta el 2013.

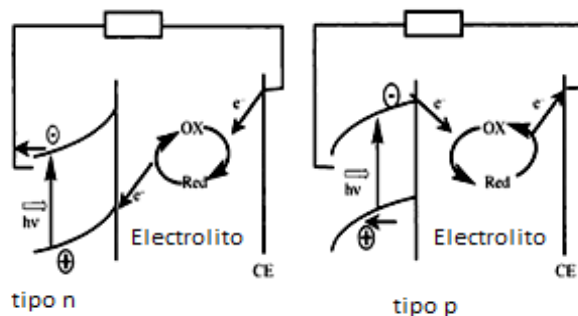


**Figura 1.3.** Eficiencias reportadas para celdas de investigación, de diferentes generaciones (NREL, 2014).

### Celdas fotoelectroquímicas de unión líquida

Consisten en dos electrodos semiconductores inmersos en un electrolito que puede ser donador o aceptor de electrones. La solución del electrolito tiene su propio potencial, que depende de la naturaleza y composición de los aditivos que contenga. Cuando se ponen en contacto los electrodos con el electrolito, se crea un campo eléctrico y con ello se afectan los niveles Fermi del semiconductor, y esto conlleva al corrimiento de las bandas de conducción

y de valencia. En el fotoánodo este corrimiento de bandas conduce cualquier electrón que sea promovido a la banda de conducción hasta el interior del semiconductor, y los huecos en la banda de valencia se difunden hasta el electrolito, en donde participan en una reacción de oxidación. Los electrones a través del semiconductor generan una carga externa antes de llegar al contraelectrodo, en donde se da una reacción de reducción.



**Figura 1.4.** Principio de operación de una celda solar de unión líquida (Kalyanasundaram, 2010).

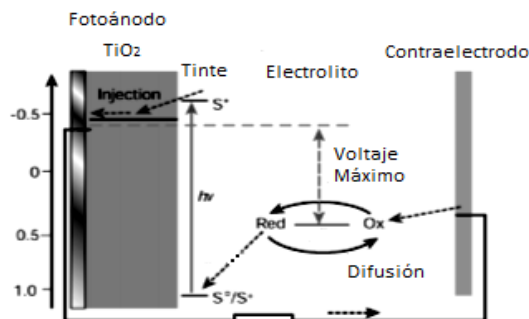
En condiciones de circuito cerrado y bajo iluminación, en el fotoánodo se crea un potencial negativo y como resultado se da el corrimiento del nivel Fermi en dirección negativa, reduciendo el corrimiento anterior. Al aumentar la intensidad de la luz el nivel Fermi sigue corriéndose hacia potenciales negativos, hasta llegar a cero. En este punto el fotoánodo llega al máximo fotovoltaje. Con ayuda del segundo electrodo (contraelectrodo), se puede afectar la regeneración del mediador oxidado (o reducido). El efecto neto de la iluminación es la conversión de la energía de la luz en energía eléctrica en dos pasos: primero como una modificación del potencial químico del electrolito y después en energía eléctrica (los electrones son transportados mediante un circuito externo). El mediador redox es reciclado, y es por esto que estas celdas son conocidas como *celdas solares regenerativas*.

Uno de los problemas que presentan estas celdas es la rápida fotodescomposición del semiconductor en electrolitos acuosos, debido a que los huecos generados son agentes oxidantes fuertes capaces de oxidar el mismo semiconductor (fotocorrosión) o de oxidar el agua, lo que resulta en la formación de una capa delgada de óxido aislante en la interface con el electrolito (Kalyanasundaram, 2010).

## CELDAS SOLARES SENSIBILIZADAS CON TINTES

Las celdas solares sensibilizadas con tintes, DSSC (Dye-sensitized Solar Cells) fueron desarrolladas por Michael Grätzel y Brian O'Reagan en Suiza en 1991, cuando desarrollaron celdas solares con nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  en fase anatasa como semiconductor, sensibilizado con un tinte de rutenio, y utilizando el par redox  $\text{I}^-/\text{I}_3^-$  como electrolito, para la cual se obtuvo una eficiencia de 7,12 % a una intensidad de  $750 \text{ W/m}^2$  (O'Reagan & Grätzel, 1991). Desde entonces, se han hecho innumerables investigaciones alrededor del mundo, para mejorar los distintos procesos que intervienen en la celda, y con ello mejorar la eficiencia de las mismas, y se ha alcanzado hasta un 12,3 % de eficiencia en investigaciones recientes (Yella et al., 2011).

La estructura básica de una DSSC involucra un semiconductor transparente de bandgap ancho, configurado en una red de moléculas a nivel de nanoescala. Se diseña de forma que el área superficial de la capa del semiconductor sea lo más grande posible, y se cubre con una monocapa del tinte sensibilizante. En estas celdas el tinte sensibilizante es el que absorbe la luz, y no el semiconductor; el cual una vez “anclado” al semiconductor, absorbe la luz, se excita y produce excitones, los cuales se disocian en la interface con el semiconductor y así se da la fotogeneración de electrones. Cuando esto sucede el tinte se oxida, pero se reduce (regenera) por medio de un electrolito (Fonash, 2010). En la Figura 1.5 se muestra el esquema de funcionamiento de una DSSC.



**Figura 1.5.** Esquema de funcionamiento de una celda solar sensibilizada con tintes (DSSC) (Poortmans & Arkhipov, 2006).

El “corazón” de la celda es la capa nanométrica de semiconductor, el cual está en contacto con un par redox o con un conductor de huecos ( $h^+$ ) orgánico. Generalmente se escoge  $TiO_2$  como material semiconductor, en su forma de anatasa, la cual es una de las cinco fases del óxido. En la superficie del  $TiO_2$  se encuentra ligada o anclada, una monocapa del sensibilizante. La fotoexcitación del tinte resulta en la inyección de un electrón en la banda de conducción del óxido. Como se mencionó anteriormente al inyectar el electrón al óxido, el tinte se oxida, pero es regenerado (reducido) por el electrolito, usualmente el complejo yoduro/triyoduro. Esta regeneración se da mediante la oxidación del yoduro en triyoduro, el cual se regenera (se reduce a yoduro) en el contra electrodo, ya que el electrón fotogenerado pasa del  $TiO_2$  al electrodo de trabajo, pasa por el circuito externo, y llega al contraelectrodo con lo cual se cierra el circuito de migración de los electrones (Grätzel, 2005).

Las DSSC se consideran como celdas entre la segunda y tercera generación de celdas solares, y tienen un gran potencial para convertirse en celdas de tercera generación. Las DSSC presentan las siguientes ventajas:

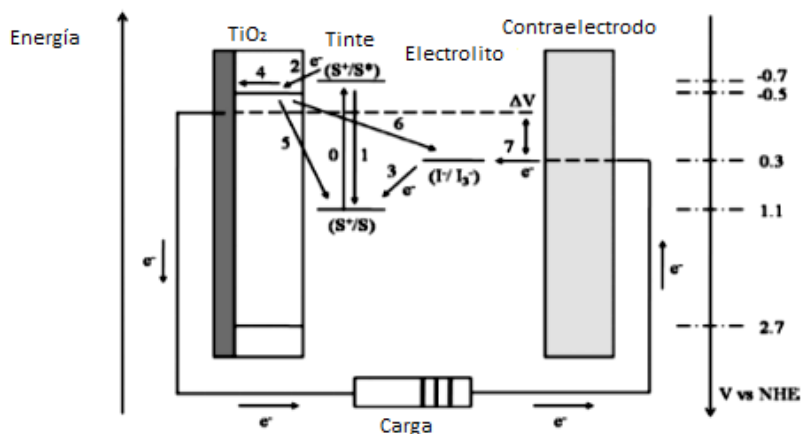
- Bajos costos de producción, y costos de inversión mucho menores que para las otras tecnologías existentes.
- Variedad en el diseño, como transparencia, múltiples opciones de color, etc.
- Flexibilidad y ligereza
- Mejor desempeño en condiciones reales (luz difusa) que las celdas de primera y segunda generación (Jung & Lee, 2013).

Los esfuerzos científicos de los últimos años se han dirigido hacia la búsqueda de tintes orgánicos libres de metales, en especial de rutenio, que presenten una buena eficiencia de conversión de energía; esto con el fin de obtener celdas solares que realmente sean amigables con el ambiente y para disminuir los costos de producción. Se han encontrado tintes orgánicos libres de Ru fáciles de sintetizar a base de indolina, que presentan una eficiencia energética de hasta un 8 % (Horiuchi et al., 2004). Se ha encontrado que en DSSC bajo condiciones normales de trabajo (1 Sol de iluminación), se presentan las siguientes condiciones:

- La fracción de volumen total de solutos en el electrolito generalmente es del 20 %
- Una partícula del semiconductor de 18 nm posee alrededor de 600 moléculas de tinte en su superficie.
- Las moléculas de tinte absorben aproximadamente un fotón por segundo, de modo que el flux de inyección de electrones hacia el  $\text{TiO}_2$  es  $\sim 600 \text{ s}^{-1}$ .
- Generalmente los tiempos de regeneración son  $\leq 10 \mu\text{s}$ , de modo que hay  $\leq 1/100000$  partículas de tintes en su estado oxidado por cada 150 partículas.
- Alrededor de una molécula de  $\text{TiO}_2$  hay aproximadamente 1000 iones de  $\text{I}^-$  y 200 de  $\text{I}_3^-$
- Hay aproximadamente 30 trampas (traps) por cada partícula de  $\text{TiO}_2$ .
- Aproximadamente un 90 % de los electrones en el  $\text{TiO}_2$  se queda atrapado (en las DOS), y menos del 10 % pasa a la CB del  $\text{TiO}_2$  (O'Regan & Durrant, 2009).

### Reacciones involucradas en el funcionamiento de DSSC

En la Figura 1.6 se muestra un diagrama de los pasos que involucran la formación de energía eléctrica a partir de energía solar. Las reacciones deseadas en una DSSC, son los pasos 0, 2, 4, 3 y 7; mientras que los pasos 1, 5 y 6 son reacciones indeseadas, o reacciones de recombinación (Hagfeldt et al., 2010).



**Figura 1.6.** Diagrama de los niveles energéticos en una DSSC (Hagfeldt et al., 2010).

- **Fotoexcitación del tinte (paso 0):** la molécula del tinte absorción energía del fotón de la luz solar, y pasa de su estado basal a su estado excitado, es decir, un electrón se promueve del HOMO al LUMO con la energía del fotón absorbido.



- **Inyección del electrón (paso 2):** el electrón situado en el LUMO del tinte se transfiere a la CB del TiO<sub>2</sub>, debido a que está ligeramente más baja en energía (fuerza motriz), dejando al tinte en su forma oxidada. Esta reacción debe ser más rápida que la reacción de recombinación 1, para evitar la competencia cinética de dichas reacciones.



- **Transferencia de carga en el TiO<sub>2</sub> (paso 4):** el electrón pasa a través de la capa de TiO<sub>2</sub> hasta el electrodo de trabajo, generalmente FTO. De aquí el electrón pasa por el circuito externo al contraelectrodo.
- **Regeneración del tinte (paso 3):** en este paso se da la reducción de las especies oxidadas del tinte mediante la oxidación del I<sub>3</sub><sup>-</sup> a I<sup>-</sup> (electrolito).



- **Regeneración del electrolito (paso 7):** en este paso se da la reducción de las especies oxidadas del electrolito con el electrón que llega al contraelectrodo, o sea, es la regeneración del electrolito y con este paso se cierra el circuito.



- **Recombinación por decaimiento (paso 1):** la molécula de tinte regresa de su estado excitado a su estado basal, liberando la energía absorbida en forma de calor.





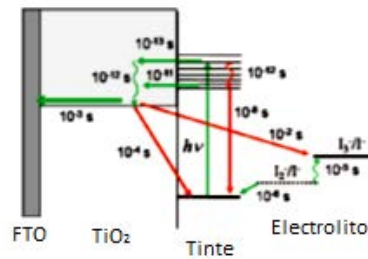
- **Recombinación con el tinte (paso 5):** el electrón en la CB del TiO<sub>2</sub> se recombina con el estado oxidado del tinte, regenerándolo, y con ello perdiendo electrones que sigan el camino hacia el contraelectrodo.



- **Recombinación con el electrolito (paso 6):** el electrón en la CB del TiO<sub>2</sub> se recombina con el estado oxidado del electrolito, y es más rápida que la recombinación con el tinte, debido a que el electrolito se encuentra en un estado energético más alto que el tinte, y el electrón llega más rápido. Esta recombinación es la que genera la corriente oscura en las celdas (Ooyama & Harima, 2009).



En la Figura 1.7 se muestra un diagrama de las constantes de tiempo de los pasos mencionados anteriormente. Para el buen funcionamiento de la celda, y obtener altas eficiencias, las reacciones de recombinación deben ser más lentas que las reacciones de transporte de carga en la dirección deseada.



**Figura 1.7.** Diagrama con las constantes de tiempo de las reacciones involucradas en el funcionamiento de una DSSC (Hagfeldt et al., 2010).

### Caracterización de la eficiencia de una DSSC

Las mediciones de la eficiencia de una celda solar, por convención se realiza a un valor de irradiancia de 1000 W/m<sup>2</sup>, a temperatura ambiente (25 °C) y a un AM de 1.5 G, lo que significa que el sol se encuentra a una elevación de 42° con la horizontal (Julian, 2011).

El voltaje de circuito abierto  $V_{OC}$  es el voltaje que se genera entre las terminales de la celda bajo condiciones estándar de iluminación, cuando la carga tiene una infinita resistencia, de modo que está abierto, y la corriente es cero. La corriente de corto circuito  $I_{SC}$ , es la corriente generada por la celda, bajo condiciones estándar de iluminación, cuando la carga posee una resistencia de cero, y en este caso el voltaje es cero. Utilizando una carga resistiva  $R$ , el voltaje,  $V$ , es más pequeño que  $V_{OC}$ , y la corriente  $I$ , es más pequeña que la corriente de corto circuito  $I_{SC}$ . La corriente generada se calcula como:

$$P = I V \quad (1.11)$$

La máxima potencia generada se calcula de la siguiente forma:

$$dP = d(I V) = IdV + VdI = 0 \quad (1.12)$$

La corriente máxima alcanzada por la celda se denomina  $I_{mp}$  y el voltaje máximo  $V_{mp}$ , y la potencia máxima sería

$$P_{max} = I_{mp} V_{mp} \quad (1.13)$$

Se define el parámetro conocido como fill factor (FF) como:

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{SC}V_{OC}} = \frac{I_{mp}V_{mp}}{I_{SC}V_{OC}} \quad (1.14)$$

y puede tener valores entre 0 y 1, generalmente tiene valores entre 0,8 y 0,9. (Julian, 2011)

Para una celda solar, la eficiencia total de conversión de energía solar a eléctrica,  $\eta$ , está dada por la densidad de corriente fotoeléctrica en corto circuito ( $I_{SC}$ ), el fotovoltaje de circuito abierto ( $V_{OC}$ ), el factor de llenado (FF por sus siglas en inglés, fill factor) y la densidad de la luz incidente ( $P_{in}$ ) (Hagfeldt et al., 2010).

$$\eta = \frac{I_{SC}V_{OC}FF}{P_{in}} \quad (1.15)$$

La eficiencia cuántica de la celda es otro parámetro importante para determinar el desempeño de la celda, que comúnmente es llamado la eficiencia de conversión de fotón incidente en

corriente, IPCE (incident photon to current conversión efficiency), el cual corresponde a la densidad fotoeléctrica producida en el circuito externo bajo iluminación monocromática de la célula, dividido por el flux de fotones que incide en la célula (Hagfeldt et al., 2010).

$$IPCE = \frac{J_{sc}}{e \Phi(\lambda)} = 1240 \frac{J_{sc}}{\lambda P_{in}(\lambda)} \quad (1.16)$$

donde  $e$ , es la carga elemental. En las celdas solares, en la oscuridad, al aplicar un voltaje se genera una corriente oscura (dark current), en dirección opuesta a la fotocorriente generada bajo iluminación. Para un diodo ideal, la corriente oscura,  $I_{dark}$ , se relaciona al voltaje de la siguiente forma:

$$I_{dark} = I_s \left( e^{\frac{qV}{k_B T}} - 1 \right) \quad (1.17)$$

Donde  $I_s$  es la corriente de saturación generalmente va de  $10^{-7}$ - $10^{-9}$  A,  $V$  es el voltaje aplicado,  $q$  es la carga elemental,  $k_B$  es la constante de Boltzmann y  $T$  es la temperatura absoluta. Cuando la celda es iluminada, la fotocorriente generada es:

$$I = I_{ph} - I_{dark} = I_{ph} - I_s \left( e^{\frac{qV}{mk_B T}} - 1 \right) \quad (1.18)$$

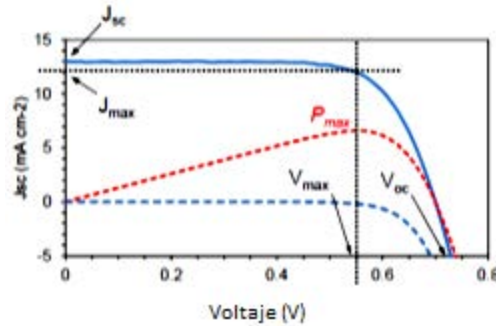
Donde  $I_{ph}$  es la corriente fotogenerada, y  $m$  es el factor de idealidad ( $m=1$  para el caso ideal). Cuando las cargas se recombinan, se debe a una baja resistencia de shunt,  $R_{shunt}$ , y se genera una corriente de shunt,  $I_{shunt}$ . La resistencia en serie de todo el dispositivo se conoce como  $R_{series}$ , y es la suma de las resistencias de los contactos, del FTO, etc. (Pootrakulchote, 2012)

$$I = I_{ph} - I_{dark} - I_{shunt} = I_{ph} - I_s \left( e^{\frac{qV}{mk_B T}} - 1 \right) - \frac{V + IR_{series}}{R_{shunt}} \quad (1.19)$$

El  $V_{OC}$  se mide cuando no hay una carga externa conectada, de modo que no fluye corriente, ( $I=0$ ) y el voltaje medido es  $V_{OC}$ . Si se desprecian las resistencias en serie y de shunt

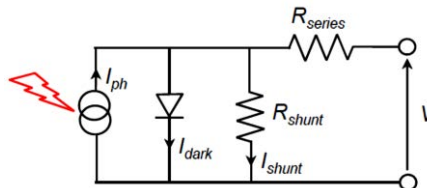
$$V_{OC} = \frac{mk_B T}{q} \ln \left( \frac{I_{ph}}{I_s} + 1 \right) \cong \frac{mk_B T}{q} \ln \left( \frac{I_{ph}}{I_s} \right) \quad \text{a } I=0 \quad (1.20)$$

La corriente de corto circuito  $I_{SC}$  se mide cuando el voltaje aplicado es cero, y de la ecuación 1.19 se obtiene que  $I_{SC}=I_{ph}$ , cuando  $V=0$  (Pootrakulchote, 2012). En la Figura 1.8 se muestra la el comportamiento de la curva característica de una DSSC.



**Figura 1.8.** Curva I-V característica de una DSSC. La curva azul continua corresponde a la curva I-V bajo iluminación y la punteada en condiciones de oscuridad (Pootrakulchote, 2012).

En general las celdas solares se pueden modelar mediante un circuito eléctrico equivalente, que consiste en una fuente de corriente fotogenerada en paralelo con un diodo de unión n-p tal y como se muestra en la Figura 1.8. Para una DSSC el circuito equivalente es



**Figura 1.9.** Esquema del circuito eléctrico equivalente para una celda solar (Pootrakulchote, 2012).

### Componentes de una DSSC

#### 1) *Semiconductor:*

Uno de los puntos más importantes para el funcionamiento de las DSSC es el uso de un semiconductor mesoporoso, que posea una gran área superficial interna de modo que pueda adsorber la mayor cantidad posible de moléculas de sensibilizante en su superficie. Entre los

semiconductores probados para su uso en DSSC están el ZnO, SnO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, así como algunos compuestos ternarios como el SrTiO<sub>3</sub> y Zn<sub>2</sub>SnO<sub>4</sub> (Hagfeldt et al., 2010).

El TiO<sub>2</sub> es uno de los más utilizados en DSSC, es estable, no es tóxico, abundante, es ampliamente usado la industria de pintura, dental, para bloqueadores solares, etc (Hagfeld & Gratzel, 2000). El TiO<sub>2</sub> posee cinco fases, pero las más comunes: anatasa, rutilo y brookita. Las más comunes son la anatasa y rutilo, y para su uso en DSSC se prefiere la anatasa debido a que posee un mayor bandgap (3.2 eV) y además esta fase posee una energía de la banda de conducción mayor, lo que lleva a un mayor nivel Fermi, y con ello se obtiene un mayor V<sub>OC</sub>.

En los últimos años se han hecho grandes esfuerzos por mejorar la morfología de las nanopartículas de TiO<sub>2</sub>, como la síntesis de nanobarras, nanocables, nanotubos, nanoláminas, aerogeles, etc. La técnica más común para la preparación de nanopartículas de TiO<sub>2</sub> es la hidrólisis de un precursor como alcóxido de titanio (IV), en exceso de agua y catalizado en medio ácido o básico, seguido de una cristalización de crecimiento hidrotérmico. La forma de las partículas obtenidas varían según el catalizador utilizado, y el tamaño de las partículas se debe a factores de hidrólisis como temperatura, contenido de agua, etc (Hagfeldt et al., 2010).

Generalmente se produce una pasta de TiO<sub>2</sub> con las nanopartículas generadas, y se agregan diferentes aditivos poliméricos para mejorar sus propiedades mecánicas, se deposita en un sustrato de vidrio conductor (el cual va a ser el electrodo de trabajo) mediante técnicas como doctor blading o screenprinting; y se somete a un proceso de sinterizado a 450 °C para remover todas las impurezas orgánicas y para mejorar la conexión entre las moléculas. La porosidad de la capa resultante varía con la cantidad de aditivos añadidos, y debe estar idealmente entre 50-60%, ya que mayores porosidades disminuyen la conexión entre las partículas y conlleva a una disminución de la eficiencia (Hagfeldt et al., 2010).

Con ayuda de todas las investigaciones realizadas desde 1991, se ha determinado que para el electrodo de trabajo, o fotoánodo, de una DSSC, la forma más conveniente del ensamblaje es la siguiente:

- a) Cubrir el electrodo de FTO con una capa “bloqueadora” de  $\text{TiO}_2$  de un espesor de aproximadamente 50 nm, con el fin prevenir el contacto del electrolito con el FTO, esto mediante técnicas como deposición de baño químico, pirolisis en spray o sputtering.
- b) Sobre la capa anterior, una capa “de absorción de la luz” de aproximadamente  $10 \mu\text{m}$  de grosor de  $\text{TiO}_2$ , con tamaños de partículas entre los 20 nm.
- c) Sobre la capa de absorción, una capa de “scattering” de  $3 \mu\text{m}$  de grosor, con tamaños de partículas entre los 400 nm, para evitar la dispersión de la luz.
- d) Para finalizar una capa ultrafina de  $\text{TiO}_2$  (aproximadamente 1 nm) en toda la estructura mediante un baño químico con  $\text{TiCl}_4$ , seguido de un tratamiento térmico (sinterizado).

## 2) *Substratos*

Los dos substratos utilizados para la elaboración de DSSC suman cerca de la mitad del costo total de la celda, y deben ser transparentes para permitir el paso de la luz solar, óxidos conductores transparentes (TCO), los cuales deben baja resistencia laminar, entre 5-15  $\Omega$ /cuadro, buena estabilidad térmica, ya que deben soportar las temperaturas de sinterizado, una alta transparencia a la radiación solar entre la región visible-IR para que la mayoría de radiación pase al tinte, en vez de ser absorbida por el TCO. Generalmente se utiliza un substrato de vidrio transparente, con una capa delgada de TCO, siendo los más comunes el óxido de estaño dopado con indio ( $\text{In:SnO}_2$ ) o ITO, y el óxido de estaño dopado con flúor ( $\text{F:SnO}_2$ ) o FTO, siendo este último es más utilizado. El uso de vidrio como substrato ayuda a proteger la celda del oxígeno y el agua, pero por su peso limita la portabilidad del dispositivo (Kalyanasundaram, 2010).

Los TCO se pueden depositar sobre otro tipo de materiales para generar DSSC flexibles y ligeras, y para facilitar la producción a nivel industrial con el método de impresión roll-to-roll. Entre estos materiales se encuentran el poli(3,4-etilendioxytiofeno):poli(estirensulfonato), (PEDOT:PSS), grafeno, nanocables de Ag,

polietilen naftaleno (PEN), polietilentereftalato (PET); generalmente recubiertos con ITO como TCO, como el ITO-PEN y el ITO-PET (Lim et al., 2012). También se han estudiado substratos de papel con un recubrimiento de Ni como material conductor y se han reportado eficiencias de hasta un 1,21 %, por lo que un mejoramiento en estos sistemas podría llevar a una gran disminución en los costos de los substratos (Wang & Kerr, 2011).

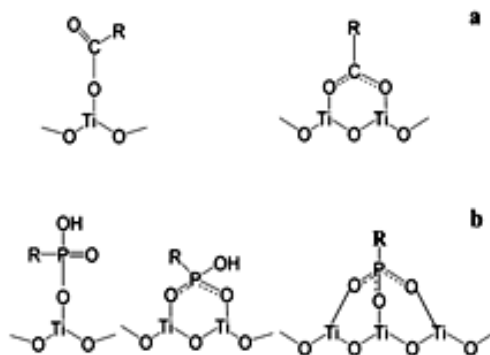
### 3) *Tintes Sensibilizantes*

Los tintes sensibilizantes utilizados en DSSC deben cumplir con ciertos requisitos para que todas las reacciones mencionadas anteriormente se den eficientemente, entre ellas:

1. Para una buena adsorción del tinte en la superficie del  $\text{TiO}_2$ , las moléculas del tinte deben contener un grupo anclante, como  $-\text{COOH}$ ,  $-\text{SO}_3\text{H}$ ,  $-\text{PO}_3\text{H}_2$ ,  $-\text{OH}$ . Los grupos carboxi forman fuertes uniones tipo éster con el  $\text{TiO}_2$ , lo que permite un buen paso de los electrones formados con la fotoexcitación del tinte al  $\text{TiO}_2$ .
2. El LUMO del tinte debe estar en un nivel energético más alto que la banda de conducción (CB) del  $\text{TiO}_2$ , para facilitar el paso de electrón del estado excitado del tinte, a la CB del semiconductor.
3. El HOMO del tinte debe estar en un nivel energético más bajo (más positivo) que el potencial de reducción del electrolito utilizado, para que se pueda dar la inyección del electrón proveniente del electrolito, al estado oxidado del tinte, y con ello regenerarlo.
4. El tinte debe tener un coeficiente de extinción molar alto, sobre la región de absorción de la luz solar, de modo que se logre una buena eficiencia de recolección de la luz (light harvesting), y con ello obtener fotocorrientes altas.
5. Debe ser químicamente estable en su estado oxidado, así como en las reacciones redox que forman todo el ciclo de generación de electrones en una DSSC.
6. Se debe evitar la agregación de moléculas del tinte sobre la superficie del  $\text{TiO}_2$ , ya que provoca la disminución en la cantidad de electrones inyectados del tinte a la CB del  $\text{TiO}_2$ , y con ello disminuye la eficiencia de la celda. Los tintes con sistemas D- $\pi$ -A son susceptibles a la agregación de sus moléculas.

- Se debe procurar una buena separación del estado excitado del tinte, y su estado basal, de modo que la CB del  $\text{TiO}_2$  está más cerca del estado excitado, para evitar la recombinación de los electrones (Ooyama & Harima, 2009).

La absorción de los tintes en el  $\text{TiO}_2$  involucra fuertes enlaces químicos entre los grupos presentes en la superficie del  $\text{TiO}_2$  y las moléculas del tinte (Hahlin, et al., 2010). Para óxidos semiconductores los grupos anclantes más importantes son los grupos fosfonato, carboxilato, silanos, éteres, acetilacetatos, salicilatos, entre otros. El grupo más frecuente es el carboxilato, que se une por puentes ésteres y generalmente por medio de uniones bidentadas, para una unión efectiva se requiere de al menos dos grupos carboxilo en el tinte. Se ha encontrado que el grupo fosfonato mejora la fuerza de la unión con el  $\text{TiO}_2$ , ya que se ha determinado que la constante de unión a la superficie del  $\text{TiO}_2$  de diversos tintes con dos grupos fosfonatos es un orden de magnitud más grande que con el grupo carboxilo. (Park et al., 2006)



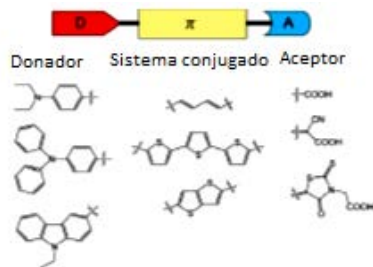
**Figura 1.10.** Posibles estructuras formadas entre la superficie del  $\text{TiO}_2$  y el grupo anclante, a) grupo carboxilo y b) grupo fosfonato (Bae et al., 2004).

### ***Tintes D- $\pi$ -A***

Estos tintes contienen un sistema Donador-  $\pi$ -Aceptor, de modo que en la misma molécula hay grupos donadores y aceptores de electrones unidos por un sistema de conjugación  $\pi$ , que logran una buena absorción de luz en un amplio rango de longitudes de onda. Generalmente



los grupos donadores son dialquilaminas, difenilaminas, etc, y los grupos aceptores generalmente son ácidos carboxílicos, los cuales además son los grupos anclantes al TiO<sub>2</sub>.



**Figura 1.11.** Representación de un sistema D- $\pi$ -A como sensibilizante para DSSC. (Ooyama & Harima, 2009)

Según el mecanismo de inyección de los electrones del tinte al TiO<sub>2</sub>, las DSSC se pueden clasificar en tipo A y tipo B. En las celdas de tipo A, o de dos pasos, el mecanismo de inyección de los electrones ocurre mediante la fotoexcitación del tinte sensibilizante, seguido de la inyección del electrón generado, desde el estado excitado del tinte a la CB del TiO<sub>2</sub>, generalmente el tinte se encuentra unido a la superficie del TiO<sub>2</sub> mediante algún grupo de ácido carboxílico, entre ellos se encuentran los complejos de Ru, porfirinas, cumarinas, tintes polieno, etc. Las DSSC de tipo B, o de un paso, son aquellas en las que la inyección del electrón se da desde el estado excitado del tinte a la CB del TiO<sub>2</sub> mediante la fotoexcitación de las bandas de transferencia de carga tinte-TiO<sub>2</sub>; generalmente los tintes que contienen unidades de enediol se unen al TiO<sub>2</sub> mediante la quelatación de los iones Ti<sup>IV+</sup> en la superficie con los grupos enediol, generando estas fuertes bandas de transferencia de carga, los tintes más conocidos con este comportamiento son los derivados de catecol (Ooyama & Harima, 2009).

Se pueden realizar modificaciones en la estructura de la molécula como introducir grupos donadores y aceptores de electrones en el grupo cromóforo, expandir el sistema de conjugación  $\pi$ , etc, y con ello modificar las propiedades foto y electroquímicas del tinte, de modo que se tengan buenos niveles de HOMO y LUMO, y coeficientes de extinción más altos (mayor absorción, o corrimiento hacia el IR). La introducción de grupos sustituyentes

grandes y voluminosos en el tinte ayuda a impedir las reacciones de recombinación de electrones.

Para prevenir el agregamiento de las moléculas del tinte se pueden agregar surfactantes como el ácido desoxicólico (DCA) a la superficie del  $\text{TiO}_2$ , o se introducen grupos voluminosos con impedimento estérico a los sistemas D- $\pi$ -A, lo cual disminuye la agregación debido a interacciones intermoleculares  $\pi - \pi$  (Ooyama & Harima, 2009). Un coadsorbente muy utilizado es el ácido chenodeoxicólico, CDCA (chenodeoxy-cholic acid), con el uso de surfactantes y coadsorbentes, la adsorción del tinte sensibilizante es menor, ya que estos también se adsorben en la superficie del  $\text{TiO}_2$  sin embargo el funcionamiento de la celda mejora, se cree que debido a tres procesos, 1) el co-adsorbente puede llenar los espacios vacantes entre el tinte adsorbido y el  $\text{TiO}_2$ , reduciendo la recombinación, 2) ocurra un corrimiento de la CB del  $\text{TiO}_2$  a potenciales más negativos, 3) al reducir la agregación se facilita la separación de cargas (Lee et al; 2013).

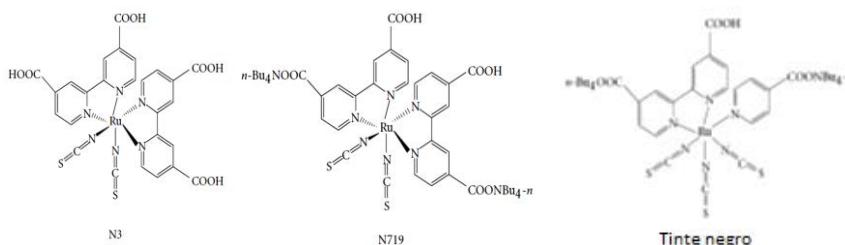
Entre los tipos de tintes sensibilizantes más importantes se encuentran:

### ***Complejos de Rutenio***

Los complejos de Ru, entre algunos otros tintes, son los que han presentado mayores eficiencias para DSSC. Entre sus características se encuentran, altos coeficientes de extinción molar, el LUMO de la mayoría de estos tintes se encuentra en un nivel energético superior que la CB del  $\text{TiO}_2$ , y su HOMO se encuentra en un nivel energético más bajo que el par redox  $\text{I}^-/\text{I}_3^-$ , de modo que la inyección de electrones al  $\text{TiO}_2$  y la regeneración de la forma oxidada del tinte es favorable. Además poseen una gran estabilidad térmica una vez adsorbidos en el  $\text{TiO}_2$ . Entre los más comunes y que han presentado muy buenas eficiencias en DSSC son el N3, N719 y tinte negro (Yin et al., 2012).

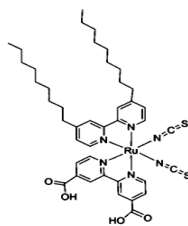
Los complejos de Ru así como otros tintes con diferente centro metálico se caracterizan por la transferencia de carga metal-ligando, MLCT (metal-to-ligand charge transfer), de modo que el Ru se fotoexcita y transmite el electrón fotogenerado a sus ligandos, por lo que el

HOMO del tinte se encuentra cerca del Ru y el LUMO cerca de los ligandos, en muchos de los casos anillos de bipyridilo; y se extiende hacia los grupos de anclaje al TiO<sub>2</sub>, lo que significa que hay un traslape significativo de las funciones de onda del LUMO del tinte con la CB del TiO<sub>2</sub>, llevando a una rápida transferencia de electrones del tinte al TiO<sub>2</sub> (Halme, 2002). El tinte N719 al ser probado en DSSC ha mostrado una eficiencia de un 11,18 %, un J<sub>SC</sub> de 17,73 mAcm<sup>-2</sup>, V<sub>OC</sub> de 846 mV y un FF de 0.75(Kong, Dai, & Wang, 2007).



**Figura 1.12.** Estructuras de los tintes de Ru más comunes, N3, N719 y tinte negro(Kong et al., 2007).

Otro tinte de rutenio muy utilizado como referencia es el Z907 mostrado en la Figura 1.13, con una fórmula molecular C<sub>42</sub>H<sub>52</sub>N<sub>6</sub>O<sub>4</sub>RuS<sub>2</sub>, cuyo nombre es *cis*-Bis(isotiocianato)(2,2'-bipiridil-4,4'-dicarboxilato)(4,4'-di-nonil-2'-bipiridil)rutenio(II), posee un alto coeficiente de extinción en la región visible del espectro, 12200 M<sup>-1</sup>cm<sup>-1</sup>. Posee cadenas hidrofóbicas de alquilo de los ligandos bipyridilo, los cuales hacen que este tinte posea una buena estabilidad térmica, además posee una buena estabilidad química, y posee los grupos funcionales necesarios para el anclaje al TiO<sub>2</sub> (Hagfeldt et al., 2010). Al ser hidrofóbico, se disminuye la cantidad de agua en la celda, y para su uso en DSSC, generalmente se disuelve en una mezcla acetonitrilo/valeronitrilo, (85:15), o acetonitrilo/ t-butanol (1:1), en concentraciones 0,3-0,5 mM. (Wang, et al., 2010)

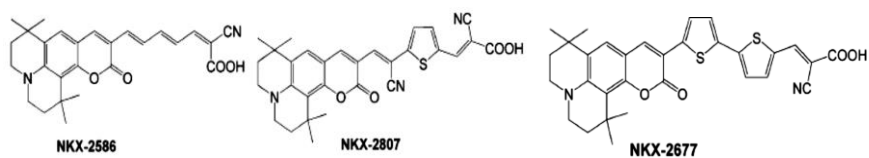


**Figura 1.13.** Estructura molecular del complejo de rutenio Z907 (Jang et al., 2009).

En la literatura generalmente se reporta que el Z907 posee máximos de absorción alrededor de 297 nm y 372 nm que corresponden a transiciones  $\pi - \pi^*$  en los ligandos y a 525 nm que corresponde a transiciones  $d\pi - \pi^*$ , (MLCT), donde el Ru dona densidad electrónica a los ligandos por retrodonación, y para este máximo de absorción el coeficiente de extinción molar de  $1,26 \times 10^4 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ , y es a esta transición que se debe su fuerte color rojo-vino (Lu et al., 2011).

### ***Tintes Cumarina***

Estos tintes se basan en sistemas D- $\pi$ -A, poseen diferentes unidades de tiofeno y metino en el puente de conjugación  $\pi$ , poseen un esqueleto cumarina con grupos amino, que son los grupos donadores de electrones, y generalmente poseen ácido cianoacrílico como el grupo aceptor y anclante. Poseen buenas propiedades de estabilidad a largo plazo bajo exposición a la luz solar, y su LUMO, se acopla con la CB del TiO<sub>2</sub> (Seo et al., 2011). El espectro de absorción de estos tintes está corrido hacia la parte cercana del IR con lo que se logra una buena absorción de la luz solar, pero sus moléculas se agregan en la superficie del TiO<sub>2</sub>, generando bajas eficiencias. Uno de los tintes que ha mostrado mayores eficiencias es el NKX-2677, con una eficiencia de un 7.77 %, un J<sub>SC</sub> de 14,3 mAcm<sup>-2</sup>, V<sub>OC</sub> de 730 mV y un FF de 0.74 (Ooyama & Harima, 2009).

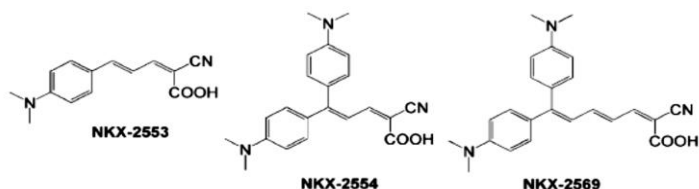


**Figura 1.14.** Ejemplos de algunas estructuras de tintes cumarina (Ooyama & Harima, 2009).

### ***Tintes Polienos***

Estos tintes contienen grupos amino como especie donadora de electrones, el puente de conjugación  $\pi$  es un grupo metino (-CH=CH-), y el grupo aceptor es ácido cianoacrílico. Estos tintes poseen las estructuras más simples para un sistemas D- $\pi$ -A. La extensión del sistema conjugado, así como introducción de más sistemas amino, provocan un corrimiento

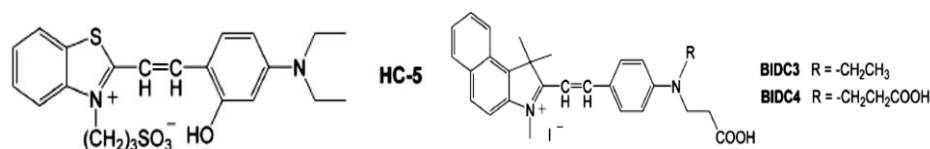
de la absorción hacia el IR. Una de las mayores eficiencias obtenidas con este tipo de sensibilizantes es del 6,8 % para el NKX-2569, con un  $J_{SC}$  de  $12,9 \text{ mAcm}^{-2}$ ,  $V_{OC}$  de 710 mV y un FF de 0.74 (Ooyama & Harima, 2009).



**Figura 1.15.** Ejemplos de algunas estructuras de tintes polienos (Ooyama & Harima, 2009).

### *Hemicianinas*

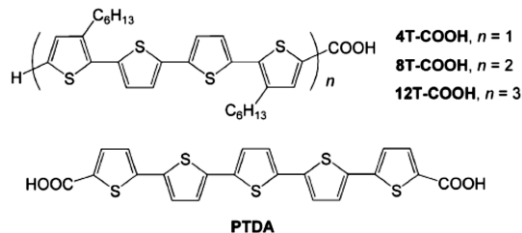
También son sistemas D- $\pi$ -A, los grupos donadores son p-dialquilaminofenilos, los aceptores contienen grupos como benzo, nafto tiazolio, piridinio y sales de indolio, todos ellos fuertes aceptores de electrones; y grupos metino como puentes de unión  $\pi$ . Uno de los tintes con los que se obtuvo mejor eficiencia es el BIDC4, con un valor de 4.9 %



**Figura 1.16.** Ejemplos de estructuras de tintes hemicianinas (Ooyama & Harima, 2009).

### *Tintes tiofeno*

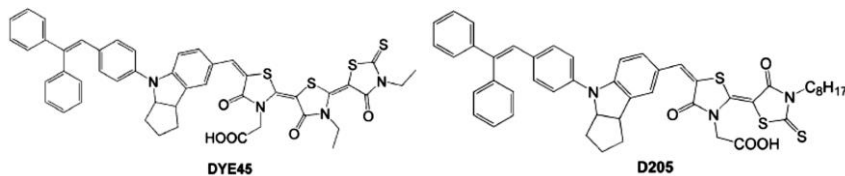
Este tipo de tintes tienen una alta estabilidad química y buenas propiedades de fotoabsorción. El tinte PTDA se probó en DSSC mostrando una eficiencia de 3,3 %; se han sintetizado diferentes tintes basados en sistemas de oligotiofenos con grupos carbazoles como donadores, con oligotiofenos con grupos alquilo como puentes de unión  $\pi$  y con ácido cianoacrílico como aceptor. Los sustituyentes en los oligotiofenos disminuyen la agregación de las moléculas, y por ello se han obtenido valores de eficiencia de hasta un 7,7 % para un oligotiofeno llamado MK-2 (Ooyama & Harima, 2009).



**Figura 1.17.** Ejemplos de diferentes estructuras de tintes basados en tiofeno (Ooyama & Harima, 2009).

### *Indolinas*

Son uno de los tipos de tintes orgánicos más eficientes, consisten en tres partes, uno o varios anillos de rodamina al final del esqueleto como aceptor de electrones, el cual contribuye al corrimiento hacia la parte cercana del IR, la estructura de la indolina como donador de electrones, y la introducción de unidades aromáticas en el esqueleto, lo que ayuda al corrimiento batocrómico, y al mejoramiento de los coeficientes de extinción molar. La introducción de grupos n-octil en el anillo de rodamina previene la recombinación de electrones, y la agregación de las moléculas. Una de indolinas que mostró una alta eficiencia es la D205, con un  $J_{SC}$  de  $18,6 \text{ mAcm}^{-2}$ ,  $V_{OC}$  de 720 mV y un FF de 0.72, para un 9,5 % de eficiencia (Ooyama & Harima, 2009).

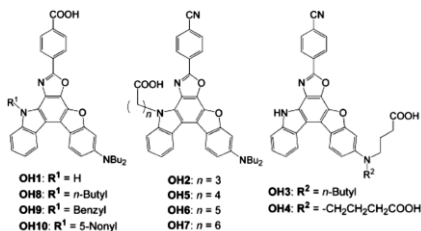


**Figura 1.18.** Estructuras moleculares de algunos ejemplos de indolinas (Ooyama & Harima, 2009).

### *Tintes Heteropolicíclicos*

Es un grupo desarrollado recientemente, son tintes con características fluorescentes, constan de un sistema D- $\pi$ -A de benzofuro-[2,3-c] oxazolo [4,5-a] carbazol, que poseen grupos carboxy en diferentes posiciones en el esqueleto cromóforo, donde un grupo carboxilo funciona como el anclante al  $\text{TiO}_2$  mediante una unión tipo éster, y otro grupo funciona como

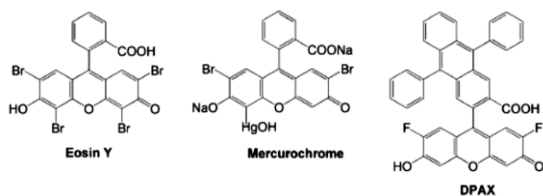
el aceptor de electrones, como el grupo ciano en las estructuras OH2-7 mostradas en la Figura 1.19. Este tipo de tintes alcanza eficiencias hasta un 1,5 % (Ooyama & Harima, 2009).



**Figura 1.19.** Estructuras varios de tintes fluorescentes heterocíclicos (Ooyama & Harima, 2009).

### *Xantenos*

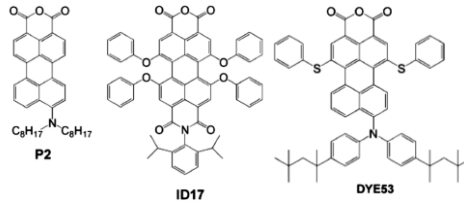
Este tipo de tintes se encuentran disponibles comercialmente, ya que fueron utilizados en la investigación y fabricación de DSSC en sus primeros años, entre ellas se encuentran el mercucromo, eosina Y, fluoresceína, Rosa de Bengala, la rodamina 6G, etc. Este tipo de tintes presentan eficiencias bajas, hasta un 1,4 % (Ooyama & Harima, 2009).



**Figura 1.20.** Estructuras de algunos tintes xantenos (Ooyama & Harima, 2009).

### *Tintes Perileno*

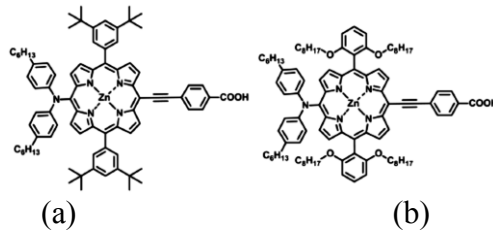
Este tipo de tintes poseen excelente estabilidad química, térmica y fotoquímica, además poseen coeficientes de extinción altos. Son compuestos derivados del ácido perilendicarboxílico anhídrido, el cual por sí solo al estar adsorbido en el TiO<sub>2</sub> se corre hacia el UV (blue shift) debido a la apertura del anillo del grupo anhídrido, formando dos carboxilatos que interaccionan fuertemente con el TiO<sub>2</sub>. Uno de los tintes para el cual se reporta una de las mayores eficiencias es el DYE53, con un J<sub>SC</sub> de 12,6 mAcm<sup>-2</sup>, V<sub>OC</sub> de 728 mV y un FF de 0.74, para un 6,8 % de eficiencia (Ooyama & Harima, 2009).



**Figura 1.21.** Ejemplos de algunas estructuras de perilenos (Ooyama & Harima, 2009).

### *Porfirinas*

Las porfirinas son compuestos aromáticos, generalmente son derivados de anillos tetrapirrólicos (Kadish, Smith, & Guilard, 2010). Este tipo de compuestos se destacan como un tipo de tintes promisorios para la sensibilización de DSSC debido a sus buenas propiedades para la absorción, pero muchas de las estructuras probadas anteriormente, no mostraron buenas eficiencias debido a que tienden a la agregación, no absorben muy bien entre los 450-550 nm, etc (Ooyama & Harima, 2009). Sin embargo Yella y su equipo sintetizaron dos compuestos tipo D- $\pi$ -A derivados de porfirinas en el 2011, el YD2 y YD2-o-C8 y al probarlos en DSSC con el sistema redox  $\text{Co}^{(\text{II/III})}$  tri-bipiridilo como electrolito, obtuvieron eficiencias de 8,4 y 11,9 % para el YD2 y YD2-o-C8 respectivamente.



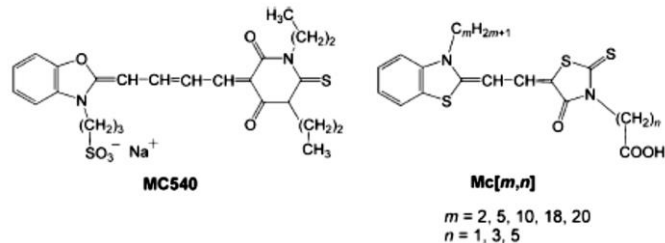
**Figura 1.22.** Estructuras de las porfirinas (a) YD2 y (b) YD2-o-C8 (Yella et al, 2011).

### *Merocianinas*

También llamadas fotomerocianinas, son moléculas neutras no simétricas de polimetina, que contiene un grupo con nitrógeno como donador de electrones y un grupo con oxígeno como aceptor, unidos por una cadena de polietileno, generalmente son compuestos muy coloreados y tienen buenas propiedades foto y termocrómicas (Strekowski, 2008). Una de



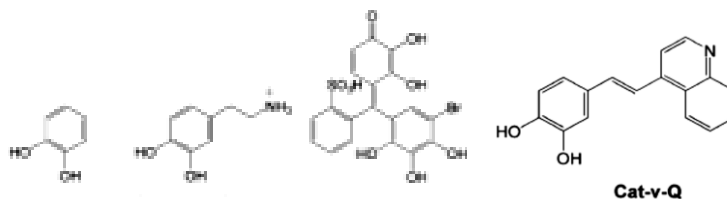
las eficiencias más altas obtenidas para este tipo de tintes es de 4,5% para el Mc[18,1] (Ooyama & Harima, 2009).



**Figura 1.23.** Estructuras de algunas merocianinas utilizadas en DSSC (Ooyama & Harima, 2009).

### *Tintes Catecol*

Son compuestos derivados del catecol, los cuales contienen un grupo enediol el cual se une al  $\text{TiO}_2$  fuertemente mediante la quelatación de los iones  $\text{Ti}^{4+}$  de la superficie, y con ello genera bandas de transferencia de carga tinte- $\text{TiO}_2$ , por lo que estos tintes forman celdas tipo B (un solo paso de inyección); estas bandas aparecen a longitudes de onda mayores a 320 nm y hacen que la inyección de electrones sea muy rápida ( $<100$  fs) (Sarker, Kang, & Hong, 2012). Estos tintes presentan reacciones de recombinación de electrones más rápidas que los de tipo A. Una de las eficiencias más altas obtenidas para estos tintes es de 1,3 % para el Cat-v-Q mostrado en la figura 1.24 (Ooyama & Harima, 2009).

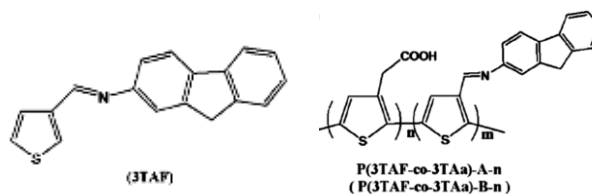


**Figura 1.24.** Ejemplos de estructuras de tintes catecol utilizadas como sensibilizantes en DSSC (Ooyama & Harima, 2009).

### *Tintes poliméricos*

Muchos compuestos conjugados poliméricos se utilizan como tintes sensibilizantes en DSSC, entre ellos se encuentran derivados de polipirrol, polianilina, politiofenos, etc; debido a altos coeficientes de extinción, a que la posibilidad de cambiar los niveles del HOMO y

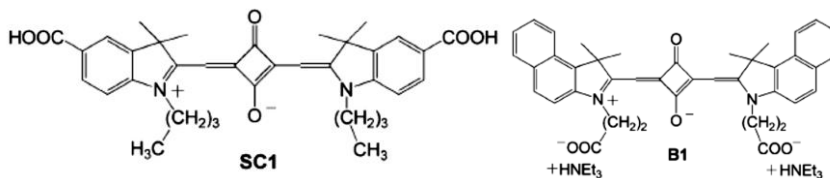
LUMO de dichos compuestos (Ooyama & Harima, 2009). Entre los tintes poliméricos más promisorios para su uso en DSSC están los politiofenos, ya que tienen altas estabilidades térmicas y al ambiente, buena solubilidad, buenas propiedades conductoras, etc. Sin embargo, a pesar de esas características, las eficiencias obtenidas son bajas, por ejemplo para el compuesto P(3TAF-co-3TAa)-B-3 se obtuvo apenas una eficiencia de un 1,53 %. ( Lee et al., 2011)



**Figura 1.25.** Ejemplos de estructuras de tintes poliméricos utilizados en DSSC. (Lee et al., 2011)

### *Tintes Squarina*

Son derivados de polimetina, que tienen estructuras estabilizadas con resonancia de zwitterion (Ajayaghosh, 2005). Debido a la transferencia de carga entre el anillo central deficiente en electrones y los grupos con oxígeno, estos compuestos presentan una intensa absorción en el rango visible y en la parte cercano del IR. Estos compuestos han alcanzado hasta un 5,4 % de eficiencia en DSSC. (Fu et al., 2012)

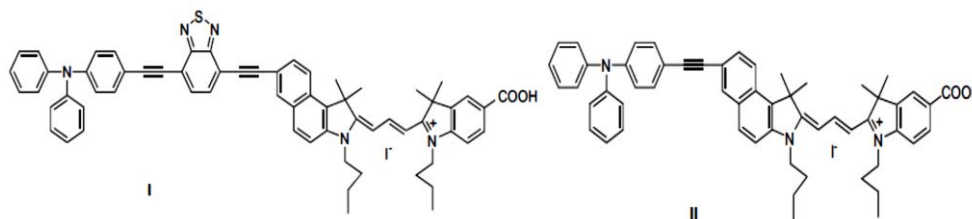


**Figura 1.26.** Ejemplos de tintes squaraine utilizados en DSSC (Ooyama & Harima, 2009)

### *Cianinas*

Estos derivados de la polimetina son moléculas planas, conjugadas, con sistemas de cadena abierta (pueden tener anillos) con hibridación  $sp^2$ , contienen un número impar de grupos metino y número par de electrones según la fórmula:  $X-(CR)_n-X'$  (Panigrahi et al; 2012). Las cianinas poseen altos coeficientes de extinción ( $\sim 10^5 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ ), además poseen un amplio

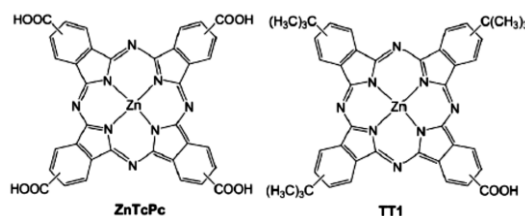
rango de absorción desde el visible hasta el infrarojo cercano; cuando se adsorben en  $\text{TiO}_2$ . Ma y su equipo desarrollaron dos cianinas en el 2008, I y II mostradas en la Figura 1.27 que mostraron altas eficiencias, 7,62 % y 6,58 % respectivamente.



**Figura 1.27.** Estructuras de las cianinas I y II utilizadas en DSSC (Ma et al., 2008).

### *Ptalocianinas*

Son moléculas compuestas por cuatro unidades de benzopirrol unidas por cuatro puentes – N=; algunas forman compuestos de coordinación con un ion central, generalmente moléculas pequeñas o medianas divalentes, son moléculas prácticamente planas con el sistema de electrones  $\pi$  extendidos sobre toda la parte orgánica (Palewska, Sworakowski, & Lipiński, 2012). Las ptalocianinas son tintes NIR ya que absorben en el UV/visible y en el infrarojo cercano y poseen altas estabilidades electroquímicas, fotoquímicas y térmicas. Las eficiencias obtenidas para estos tintes son bajas debido a la agregación, a la falta de direccionalidad en su estado excitado, y a un mal acople de LUMO con la CB del  $\text{TiO}_2$ . Una de las eficiencias más altas es la obtenida para el compuesto TT1 con un 3,52 % (Ooyama & Harima, 2009).



**Figura 1.28.** Ejemplos de algunas ptalocianinas utilizadas en DSSC (Ooyama & Harima, 2009).

### ***Tintes de extractos naturales***

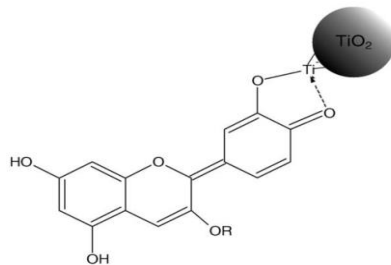
Los tintes provenientes de extractos naturales representan una fuente potencial para sustituir los tintes de Ru, se obtienen a bajos costos, hay una inmensa cantidad de recursos, y se obtienen con técnicas fáciles que no dañan el ambiente y son completamente biodegradables. Se han probado muchos extractos coloreados de diversos frutos y plantas, los cuales generalmente poseen altos coeficientes de extinción molar y una alta eficiencia de recolección de la luz (Luo et al., 2009).

La pigmentación en plantas y frutos se debe a la estructura electrónica de pigmento que al absorber luz solar altera las funciones de onda que transmite o refleja el tejido de la planta. En el Cuadro 1.2 se muestran algunos de los grupos de pigmentos más comunes encontrados en los extractos naturales (Narayan, 2012). Los pigmentos naturales de interés para DSSC se pueden dividir en tres categorías: clorofilas, antocianinas y betalainas, siendo estas últimas dos las que han presentado mejores eficiencias en celdas.

**Cuadro 1.2.** Grupos de pigmentos encontrados en extractos naturales (Narayan, 2012).

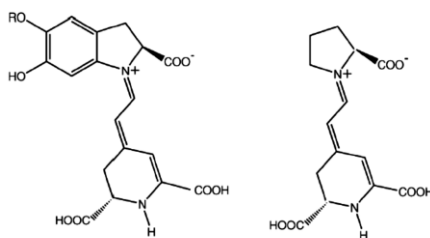
<b>Pigmentos</b>	<b>Tipo común</b>	<b>Ocurrencia</b>
Betalainas	Betacianinas	<i>Caryophyllales</i> y algunos hongos
Carotenoides	Carotenos	Plantas fotosintéticas y bacterias
	Xantófilos (xanthophylls)	Obtenidos de la dieta de algunas aves, peces y crustáceos
Clorofila	Clorofila	Todas las plantas fotosintéticas
Flavonoides	Antocianinas	Común en las plantas angiospermas, gimnospermas, helechos y briófitos
	Auronas	
	Chalconas	
	Flanoles	
	Proantocianidinas	

Las antocianinas son pigmentos de colores entre rojo-azul, y son las responsables de la coloración de muchas flores, frutos, jugos de frutas, vinos, tallos, bulbos, raíces, etc. La estructura básica de la antocianinas es el ion 2-fenilbenzopirilio (flavilio). (Calogero et al., 2012)



**Figura 1.29.** Estructura molecular de antocianina básica y su anclaje al  $\text{TiO}_2$  (Hao et al., 2006).

Las betalainas son pigmentos de colores entre rojo-amarillo derivadas del indol, generalmente encontradas en plantas del orden *Carophyllales*. Las antocianinas por lo general presentan grupos funcionales  $-\text{OH}$ , mientras que las betalainas presentan grupos  $-\text{COOH}$ , por lo que se adsorben mucho mejor al  $\text{TiO}_2$  (Oprea et al., 2012).



**Figura 1.30.** Estructuras moleculares de betalainas utilizadas en DSSC (Zhang et al., 2008).

Los resultados obtenidos con pigmentos naturales hasta el momento presentan eficiencias muy bajas, desde 0,05-1,70 % generalmente, y se debe a que en la mayoría de los casos no hay una buena interacción entre el pigmento y el  $\text{TiO}_2$  como la que se muestra en la Figura 1.29. Sin embargo con el estudio de extractos naturales, se puede llegar a caracterizar una posible estructura, y mejorarla sintéticamente, como la adición de grupos carboxilo que puedan anclarse al  $\text{TiO}_2$  (Narayan, 2012). Las bajas eficiencias también se deben, a que para la mayoría de antocianinas, la cinética de regeneración es muy lenta, y se acumulan partículas en su forma oxidada en la superficie del  $\text{TiO}_2$ , haciendo que la recombinación sea muy rápida (Calogero et al., 2012). Recientemente se encontró que el extracto de peras moradas silicianas presenta un mejor anclamiento al  $\text{TiO}_2$  y se genera más rápido que otros pigmentos

naturales, debido a su alta concentración de betacianinas que contienen grupos carboxilos que se pueden anclar al  $\text{TiO}_2$ , y obtuvo un 2,06 % de eficiencia (Calogero et al., 2012).

En el 2012, Torres reportó su investigación de pigmentos naturales obtenidos de plantas costarricenses para su uso en DSSC, como el *Solanum Mammosum* o pichichío, *Justicia Colorífera* o azul de mata y *Tradescantia Zebryna* o cucarachita, obteniendo como eficiencia máxima un 0,1 % para el pigmento extraído de la planta de pichichío (Torres, 2012).

### ***Puntos Cuánticos, QD, (Quantum Dots)***

Los nanocristales semiconductores, o puntos cuánticos, QD (quantum dots), representan una fuente promisoría de sensibilizantes, para alcanzar o superar el límite Shockley-Queisser. Los QD han llamado la atención debido a sus características de confinamiento cuántico, posibilidad de generar múltiples pares electrón-hueco, altos coeficientes de extinción molar, absorción en la región visible-IR cercano, y a que sus propiedades ópticas y su bandgap se pueden ajustar cambiando el tamaño de las partículas (Song et al., 2012)

Los QD unidos a la superficie del  $\text{TiO}_2$  absorben la luz solar y generan el excitón, par electrón-hueco (o varios cuando se logra la generación múltiple), el electrón se excita de la VB a la CB, dejando el hueco en la banda de valencia (disociación del excitón); el electrón se inyecta al  $\text{TiO}_2$ , y salen por el circuito externo al contraelectrodo, mientras que un par redox regenera los QD, y los electrones que llegan al contraelectrodo regeneran el par redox (Emin et al; 2011). Los fotones con una energía menor al bandgap del QD pueden excitar electrones a una “sub-banda” en donde se encuentran en un estado metaestable, estos electrones pueden absorber otro fotón que lo excite a la CB, generando corriente con fotones por debajo de la energía del bandgap del QD (Rühle, Shalom, & Zaban, 2010).

Los QD más utilizados son los semiconductores CdS, CdSe, CdTe,  $\text{CuInS}_2$ ,  $\text{Cu}_2\text{S}$ , PbS, PbSe, InP, InAs,  $\text{Bi}_2\text{S}_3$ ,  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ , etc (Rühle et al., 2010). Generalmente las eficiencias obtenidas para celdas sensibilizadas con QD se encuentran entre 4-5 %; estos bajos valores se pueden deber

a bajas eficiencias de inyección de carga, a un mal transporte de cargas y a procesos de recombinación (Emin et al., 2012). Se ha observado que el  $V_{OC}$ ,  $J_{SC}$  y el FF disminuyen con el aumento del tamaño de los QD, pero la transferencia de electrones entre partículas es más eficiente cuando la capa de QD posee tamaños grandes, debido a que para un grosor dado de la película de QD depositada en el  $TiO_2$ , los electrones tienen muy pocos límites entre partículas hasta llegar al  $TiO_2$ . Se ha encontrado que la movilidad de los huecos y electrones aumenta en 1-2 órdenes de magnitud al aumentar el tamaño de los QD, ya que los electrones deben dar menos “saltos” en arreglos de partículas con diámetros grandes. El número de capas de QD depositados en la superficie del  $TiO_2$  es muy importante; si la capa es muy gruesa no se recolectan todos los electrones fotogenerados, y si es muy delgada no se logra una buena absorción de la luz, se ha encontrado que con 12 capas de QD obtiene una buena absorción de luz y una buena recolección de las cargas (Etgar et al., 2012).

Se ha encontrado que los principales factores que afectan las corrientes fotogeneradas son la densidad óptica de la capa de QD, la cual define el número de fotones absorbidos; y el camino de difusión de los electrones, la cual es un producto de la vida media de los electrones y a la razón de difusión de los electrones. Generalmente las capas gruesas de QD generan mayor fotocorriente ya que puede absorber más fotones, pero cuando las distancias de difusión son muy grandes se pierden electrones. Se ha encontrado que para QD de CdSe el grosor óptimo de la capa de QD es de 100 nm (Shalom et al., 2012)

Los QD se sintetizan tanto in situ como ex situ. Los métodos in situ más utilizados son el baño de deposición química, CBD (chemical bath deposition) y la adsorción sucesiva de capas iónicas y reacción, SILAR (successive ionic-layer adsorption and reaction). Los QD producidos mediante la vía ex situ, se pre sintetizan y se ponen con el electrodo y una solución con un grupo de unión bifuncional, generalmente (COOH)-R-SH, que se une tanto al semiconductor como a los QD (Rühle, Shalom, & Zaban, 2010).

Una de las mayores razones de las bajas eficiencias para las celdas solares con QD se debe a una mala cobertura de la nanoestructura de  $TiO_2$  por los QD. Generalmente con los métodos

CBD y SILAR se obtiene una alta cobertura de la superficie del  $\text{TiO}_2$ , pero no se puede controlar el tamaño de las partículas y se obtienen altas densidades de defectos en la superficie de los QD generando rutas para la recombinación; con métodos-exsitu se obtiene un mejor control del tamaño de los nanocristales, pero se obtiene una menor cobertura de la superficie del  $\text{TiO}_2$ , además de un menor acople electrónico de los QD y el  $\text{TiO}_2$  (Song et al., 2012). Entre las moléculas bifuncionales más utilizadas se encuentran el ácido mercaptocaprónico, ácido tiolacético, ácido mercaptohexadecanoico, ácido tioglicólico, cisteína, entre otros. (Xu et al., 2010)

#### 4) *Electrolito*

Los electrolitos utilizados en DSSC generalmente son líquidos, pero se está comenzando a utilizar e investigar otro tipo de electrolitos que utilizan líquidos iónicos y conductores de huecos. Los electrolitos líquidos deben presentar ciertas características para su uso en DSSC como estabilidad química y térmica, baja viscosidad para disminuir la resistencia a la transferencia de las cargas, ser un buen solvente para el par redox y los aditivos, pero que esto no cause la disolución de las moléculas de sensibilizante adsorbidas en el  $\text{TiO}_2$ , baja volatilidad y compatibilidad con el material de sellado (Hagfeldt et al., 2010).

El par redox más utilizado en DSSC es el par  $I^-/I_3^-$ , ya que aunque se han probado muchos otros pares como ferroceno,  $\text{Co}^{+2}/\text{Co}^{+3}$  hidroquinona,  $\text{LiBr}/\text{Br}_2$ ,  $\text{Br}^-/\text{Br}_3^-$ ,  $\text{SCN}^-/\text{SCN}_3^-$ ,  $\text{SeCN}^-/(\text{SeCN})_3^-$ ,  $\text{Cu}^{+2}/\text{Cu}^{+3}$ , etc; pero el par  $I^-/I_3^-$  ha presentado un mejor desempeño que los demás (Hagfeldt et al., 2010). El par  $I^-/I_3^-$  tiene una cinética de recombinación lenta, y con ello se logran vidas medias de los electrones altas entre 1 ms y 1 s, y una rápida regeneración del tinte, por lo que genera altas eficiencias (Hardin, Snaith, & McGehee, 2012).

Los disolventes utilizados son orgánicos, ya que algunos tintes se pueden hidrolizar en medio acuoso, entre los más utilizados están THF, DMSO, DMF, nitrilos, alcoholes; generalmente se usan mezclas de disolventes de modo que se disminuya la volatilidad del componente mayoritario, la mezcla más utilizada es acetonitrilo:valeronitrilo.



El electrolito requiere yodo, y una fuente de yoduro. Se han estudiado muchas sales de yoduro, y se ha encontrado que en los disolventes apróticos la posición energética de la CB del TiO<sub>2</sub> depende del tipo y de la concentración del contraión. Se ha encontrado que el V<sub>OC</sub> aumenta como función del catión en el orden: Li<sup>+</sup><Na<sup>+</sup><K<sup>+</sup><Rb<sup>+</sup><Cs<sup>+</sup>. Los yoduros más comunes son el LiI y yoduros de imidazóleo (Hagfeldt et al., 2010). El Li se adsorbe en la superficie del TiO<sub>2</sub> y mejora la eficiencia de inyección de electrones desde el tinte al TiO<sub>2</sub>, ya que hace que la banda de conducción de este último se mueva hacia potenciales más positivos. Los cationes de imidazóleo también se adsorben en la superficie del TiO<sub>2</sub> y debido a interacciones electrostáticas “alinean” las especies aniónicas y con ello facilitan el transporte de los electrones (Thavasi, et al; 2009).

Los iones de Li<sup>+</sup> provocan un corrimiento en la CB del TiO<sub>2</sub> hacia potenciales más positivos debido a interacciones con la superficie del TiO<sub>2</sub>, lo que aumenta la fuerza motriz de inyección de electrones del LUMO del tinte hacia la CB del semiconductor, con ello aumenta la J<sub>SC</sub>, pero al disminuir la distancia entre el nivel fermi del TiO<sub>2</sub> y el potencial redox del electrolito, disminuye el V<sub>OC</sub> (Wyss et al., 2012).

Uno de los electrolitos más utilizados, es el Z960, cuya composición es 1.0M de yoduro de 1,3-dimetilimidazóleo, 0,03 M de I<sub>2</sub>, 0,05 M de yoduro de litio, 0,1 M de tiocianato de guanidinio y 0,5 M de tert-butilpiridina, en una mezcla acetonitrilo/valeronitrilo (85:15, v/v). (Alibabaei et al., 2010). Otra mezcla muy utilizada es 0,1 M LiI, 0,05 M I<sub>2</sub> y 0,6 M yoduro de 1,3-dimetil-3-imidazóleo, y 0,5 M 4-ter-butilpiridina (TBP) en 3-metoxipropionitrilo (Horiuchi et al., 2004).

Los líquidos iónicos (ILs) son sales cuyo punto de fusión es menor a los 100 °C, se encuentran constituidos solo por iones, y se han vuelto una atractiva alternativa para su uso como electrolito debido a sus propiedades de: baja volatilidad, alta estabilidad térmica, amplio intervalo líquido. Los ILs más utilizados en DSSC son los yoduros de imidazóleos N,N'-bis-alquil-susbtuidos, generalmente con aniones fluorados. Se han utilizado ILs

altamente fluorados como aditivos junto con materiales transportadores de huecos, para facilitar la compensación de carga en electrolitos líquidos (Abate et al., 2012).

Tanto los electrolitos de disolventes orgánicos como los líquidos iónicos se puede gelificar, polimerizar o dispersar, y con este se elimina el problema de fugas o “leaking” de los electrolitos líquidos (Hagfeldt et al., 2010). Algunos ILs se pueden modificar para obtener un fluido nanoestructurado que promueva una alta difusión de los iones yoduro, a una baja fluidez efectiva (viscosidad) (Abate et al., 2012).

Los electrolitos generalmente contienen aditivos para mejorar características como el potencial del par redox, cambiar el nivel de la banda de conducción del  $\text{TiO}_2$ , o para ayudar a prevenir el agregamiento de las partículas del sensibilizante. El 4-tert-butilpirina (TBP) ha demostrado que aumenta el  $V_{OC}$  en combinación con las sales de  $\text{LiI}$ , y se ha atribuido este aumento a un corrimiento de la CB del  $\text{TiO}_2$  hacia un nivel energético mayor, ya que se une a la superficie del  $\text{TiO}_2$ . El TBP también ayuda a disminuir la solubilidad de los ligandos con  $\text{SCN}^-$  de los tintes con  $\text{Ru}$ . También se han estudiado varios derivados de piridina, los cuales mejoran el  $V_{OC}$  debido a que ayudan a disminuir las reacciones de recombinación, entre ellos se encuentra el 4-etoxy-2-metilpiridina. El 1-metil-benzoimidazóleo ha demostrado que interacciona con los cationes de  $\text{Li}$  y de los aniones de  $\text{I}_3^-$  y disminuye la coordinación de estos con la superficie del  $\text{TiO}_2$ , de modo que disminuye significativamente las reacciones de recombinación. Otros aditivos como el tiocianato de guanidio y derivados mueven la CB del  $\text{TiO}_2$  hacia niveles energéticos menores, y se considera que se debe a que el catión se adsorbe al  $\text{TiO}_2$ , y con esto aumentan la vida media de los electrones (electron lifetime) en la celda (Hagfeldt et al., 2010).

Li et al, diseñaron un nuevo electrolito en el 2010, con el par redox tetrametilurea y su dímero oxidado de disulfuro de tetrametilformaminio, el cual es incoloro (no absorbe en la parte visible), barato, fácil de manejar, y no corrosivo, sin embargo se obtuvieron eficiencias máximas hasta un 3.1 % a AM 1.5. Cerneaux y su grupo, en el 2007 diseñaron un electrolito basado en una nanoestructura de sílica, que contiene concentraciones pequeñas de sales

cuaternarias de amonio, que presentan la ventaja de crear caminos para el transporte de iones y prevenir la recombinación de los electrones, y obtuvieron una eficiencia de 8.5 %.

### 5) *Catalizador*

Como ya se mencionó anteriormente el sustrato de vidrio conductor más utilizado en DSSC es el FTO. Para el contraelectrodo, se utiliza una lámina de FTO que sin catalizador posee una alta resistencia a la transferencia de carga, en el orden de  $10^6 \Omega/\text{cm}^2$ , por lo cual se debe utilizar un catalizador que disminuya esta resistencia y la transferencia de los electrones que llegan al contraelectrodo con el electrolito sea eficiente. El catalizador más utilizado es el Pt, el cual disminuye la resistencia hasta  $1 \Omega/\text{cm}^2$ , lo que se requiere es una capa muy delgada de Pt para obtener dicho resultado (aproximadamente  $5 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) y se puede obtener por métodos como electrodeposición, pirolisis en spray, sputtering y deposición de vapor. (Hagfeldt et al., 2010)

Otros materiales que pueden utilizarse como catalizadores son alótropos de carbono, como grafito, carbon negro, carbon pirolítico, nanotubos de carbono, polímeros conductores como el poli(3,4-etilendioxytiofeno) (PEDOT) dopado con aniones de toluensulfonato; CoS, polipirrol, polianilina, entre otros (Murakami & Grätzel, 2008).

Cuando se utiliza un par redox de  $\text{Co}^{+2}/\text{Co}^{+3}$ , resulta mucho mejor utilizar un catalizador de Au y no Pt, ya que las especies de Co se regeneran más rápido en la superficie del contraelectrodo con Au, además cuando se utilizan quantum dots como sensibilizante el Au es el mejor catalizador, ya que generalmente utilizan como par redox  $\text{S}_n^{2-}/\text{S}^{2-}$ , y se absorben fácilmente en el Pt. Se han probado varios polímeros conductores como catalizadores entre ellos PEDOT-PSS, PEDOT-TsO, (dopado con p-toluensulfonato), PEDOT- $\text{ClO}_4^-$ , poli(3,3-dietil-3,4-dihidro-2H-tieno-[3,4-b][1,4]dioxefina) o (PProDOT-Et2), nanopartículas de polipirrol. Entre otros materiales con propiedades catalíticas se han encontrado varios nitruros como TiN,  $\text{Mo}_2\text{N}$ ,  $\text{W}_2\text{N}$ , WN,  $\text{Fe}_2\text{N}$ , NiN, óxidos como  $\text{WO}_3$ ,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  en sus fomas hexagonal, ortorrómbica, monocíclica y tetragonal, sulfuros como el  $\text{MoS}_2$  y  $\text{WS}_2$ , entre

otros; sin embargo la mayoría de compuestos mencionados anteriormente obtienen eficiencias menores que el Pt (Wu & Ma, 2012).

### **6) Sellante**

El sellante generalmente actúa también como el material que separa los electrodos y previene el cortocircuito, los sellantes más utilizados son los polímeros termoplásticos Surlyn y Bynel, sin embargo existen otras técnicas como la unión fritada del vidrio mediante termo-compresión, y más recientemente por medio de láser, ambas utilizan una pasta de vidrio que se coloca entre electrodos mediante screenprinting o dr blading, y posteriormente se sella mediante termo-compresión o con ayuda de un láser. El método con láser ha demostrado ser mucho mejor que el de termocompresión y genera celdas con alta resistencia mecánica y leakage despreciable (Ribeiro et al., 2012).

### **Espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS)**

La caracterización de una DSSC a partir de las curvas I-V solo brinda información de la eficiencia y parámetros como  $J_{sc}$ ,  $V_{oc}$  y FF, que reflejan el comportamiento de la celda en general. La espectroscopía de impedancia electrónica, EIS (Electrochemical Impedance Spectroscopy), es una de las mejores técnicas para caracterizar el comportamiento interno de una DSSC, y obtener información de los procesos a nivel electrónicos y con ello poder determinar las causas de una baja o alta eficiencia.

La EIS es un método en estado estable, que aplica una pequeña perturbación de voltaje ac (de corriente alterna) al sistema, como se muestra en la ecuación (1.21); lo que provoca un cambio en la corriente ac, con un desfase,  $\varphi$ , con respecto al voltaje, como en la ecuación (1.22) (Wang, Moser, & Grätzel, 2005).

$$V(t) = V_m \sin(\omega t) = V_m \exp(i\omega t) \quad (1.21)$$

$$I(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi) = I_k \exp(i\omega t) \quad (1.22)$$

Donde la frecuencia es,  $f = \omega/2\pi$ . La impedancia se puede definir como la razón, en el dominio de la frecuencia, del voltaje y la corriente y es un número complejo (Hagfeld et al., 2013).

$$Z(\omega) = \frac{V_m}{I_m} \exp(i\varphi) \quad (1.23)$$

Z se puede expresar como:

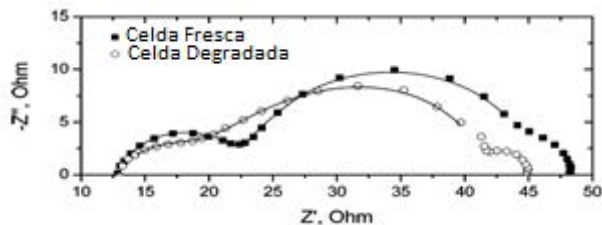
$$Z(\omega) = Z'(\omega) + Z''(\omega) \quad (1.24)$$

Donde  $Z'(\omega)$  es la parte real y  $Z''(\omega)$  es la parte imaginaria (Memming, 1998).

En las mediciones de impedancia las variaciones de  $V(\omega)$ , y  $I(\omega)$ , son pequeñas, de modo que  $I(\omega)$  sea lineal con respecto a  $V(\omega)$  o viceversa, y con ello Z es independiente de la magnitud de la perturbación (Kalyanasundaram, 2010).

Durante cada medición de impedancia, el sistema se deja en un estado “estacionario” fijando alguna variable estacionaria, generalmente el  $V(\omega)$ , y se hace un escaneo de frecuencias, desde mHz hasta MHz, o en barridos completos desde 0,1 mH hasta 1 GHz. En cada medición el equipo debe asegurar que el sistema se encuentre en estado estable, y esto hace que un barrido completo de impedancia tarde un tiempo considerable. (Kalyanasundaram, 2010)

Con cada barrido de impedancia para un valor de voltaje determinado, se obtienen un diagrama de Nyquist, que es una gráfica de la parte imaginaria de la impedancia en el eje “y” y la impedancia real en el eje “x”, tal y como se muestra en la Figura 1.31 (Wang, Moser, & Grätzel, 2005).



**Figura 1.31** Gráfica de Nyquist típica de una DSSC obtenida mediante EIS (Wang, Moser, & Grätzel, 2005).

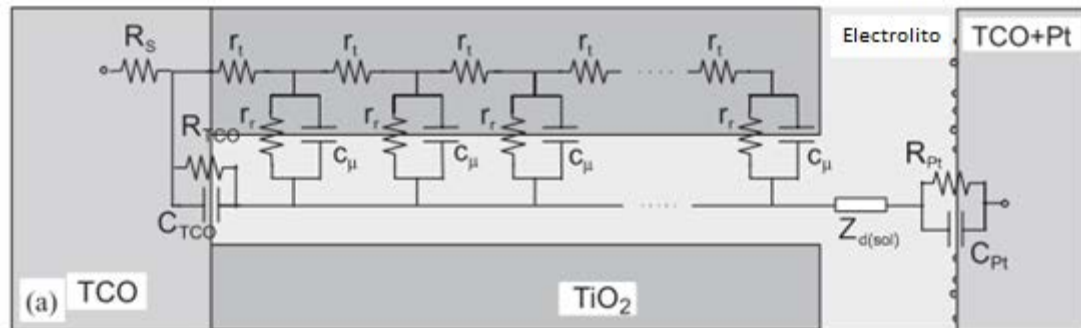
Con la EIS se puede obtener información de los diferentes procesos de transporte y recombinación de los electrones en el interior de la celda, mediante el análisis de las diferentes resistencias y capacitancias presentes en las diferentes interfases de la misma (Hao et al., 2012).

Para un elemento resistivo (R), la impedancia posee un valor real independiente de la frecuencia, mientras que para un elemento capacitivo (C), la impedancia es un valor imaginario con valores que varían con la frecuencia. (Hagfeldt et al., 2013)

Se puede describir efectivamente el funcionamiento de una DSSC por medio un circuito equivalente que toma en cuenta los diferentes componentes e interfases de la celda (Halme, et al; 2010). Dicho circuito equivalente está formado por elementos resistivos y capacitivos, R y C, en serie y paralelo, y de elementos de Warbug, W, que describen procesos de difusión de especies iónicas en el electrolito (Hagfeldt et al., 2013).

En la Figura 1.32 se muestra el circuito equivalente completo para una DSSC, en donde  $R_{series}$  es la resistencia en serie (debida a contactos y conexiones),  $R_{TCO}$  es la resistencia a la transferencia de carga que se puede recombinar con el electrolito (interfase FTO-electrolito), y  $C_{TCO}$  corresponde a la capacitancia electroquímica de doble capa,  $R_{CO}$  y  $C_{CO}$  se deben a la transferencia de carga del  $TiO_2$  al FTO (interfase  $TiO_2$ -FTO),  $r_t$  o  $R_{Trans}$  es la resistencia a la transferencia de los electrones en el  $TiO_2$  (línea de transmisión),  $r_r$ , más conocida como  $R_{CT}$ , es la resistencia de recombinación de los electrones del  $TiO_2$  al electrolito,  $C_{\mu}$  es la capacitancia en la interfase  $TiO_2$ -electrolito;  $Z_d$  corresponde al difusión de Nernst (Warburg)

del electrolito y  $R_{Pt}$  y  $C_{Pt}$ , también llamados  $R_{CE}$  y  $C_{CE}$ , se deben a la resistencia de carga en el contra electrodo, en la interfase Pt-electrolito (Pootrakulchote, 2012).



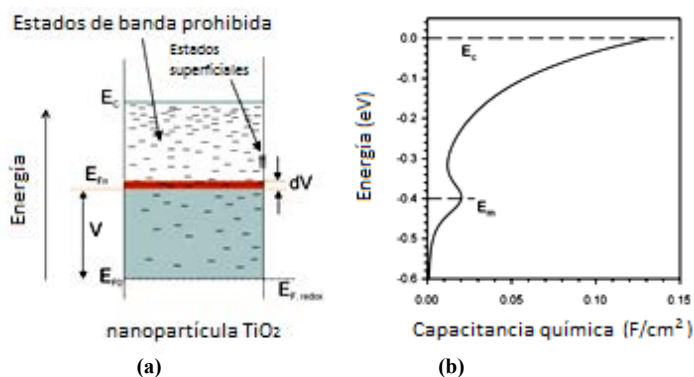
**Figura 1.32.** Representación del circuito eléctrico equivalente completo para una DSSC. (Fabregat-Santiago et al., 2005)

En un barrido de impedancia completo, en todo el intervalo de frecuencias, se obtienen las gráficas de Nyquist para cada voltaje determinado, y se modela cada una mediante un sistema computacional, con el circuito equivalente. Con los datos del modelado para cada gráfica de Nyquist (a cada valor estacionario de voltaje) se puede estudiar el comportamiento de la celda, ya que con los valores obtenidos para parámetros como resistencia en serie, resistencia a la transferencia de carga del contraelectrodo, resistencia de difusión del electrolito, la resistencia a la transferencia de electrones y de recombinación del  $TiO_2$ , la capacitancia química del  $TiO_2$ , etc, se puede obtener información de la densidad de estados (DOS, density of states), vida media de los electrones, tiempo de transporte de electrones, etc, que influyen directamente en la eficiencia de conversión energética de la celda.

En sistemas electroquímicos, como las DSSC, hay dos formas de acumular carga con respecto al voltaje. El primero es mediante un capacitor dieléctrico, y la energía se almacena en el campo eléctrico que se forma debido a la separación de cargas. Esta capacitancia se ubica en las interfases donde hay separación de cargas como barreras de Schottky o de capas de Helmholtz. La segunda forma consiste en incrementar el potencial químico de las especies en el material, aumentando la cantidad de las mismas, de modo que el capacitor se carga con

una corriente de conducción, y se le llama capacitor químico. En las DSSC la segunda forma, es la más importante de acumulación de cargas con respecto al voltaje (Bisquert et al., 2008).

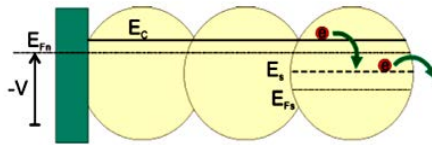
Cuando se aplica una variación de voltaje al substrato de  $\text{TiO}_2$  (u otro semiconductor), hacia valores más negativos (hacia potenciales más altos), el nivel Fermi se desplaza hacia la CB del semiconductor y un cambio en el potencial electroquímico implica un cambio el potencial químico de los electrones (y se aumenta la capacitancia química). La capacitancia química es proporcional a la densidad de estados, DOS, de modo que el aumento de carga relacionado con una pequeña perturbación de potencial ( $dV$ ), corresponde al llenado de las trampas en el nivel Fermi del semiconductor. (Bisquert et al., 2008) La capacitancia química teóricamente sigue una tendencia exponencial en función del potencial aplicado, y se espera que presente un comportamiento como el de la Figura 1.33 (Bisquert et al., 2008).



**Figura 1.33.** Representación de (a) estados superficiales del  $\text{TiO}_2$  y (b) comportamiento de la capacitancia química en el semiconductor (Bisquert et al., 2008).

El transporte de electrones a través de la estructura mesoporosa del  $\text{TiO}_2$  se da mediante estados superficiales, como los representados en la Figura 1.33(a). Al aplicar un potencial al semiconductor, se carga la capacitancia química del mismo, y esto se produce por estados de superficie; esta transferencia de carga produce una resistencia a la recombinación (con el electrolito) en paralelo con dicha capacitancia, como se mostró en el circuito equivalente de la figura 1.29. La transferencia entre estados superficiales se da mediante procesos de captura-liberación de carga (trapping-detrapping) como se muestra en la figura 1.34 (Bisquert, 2010).





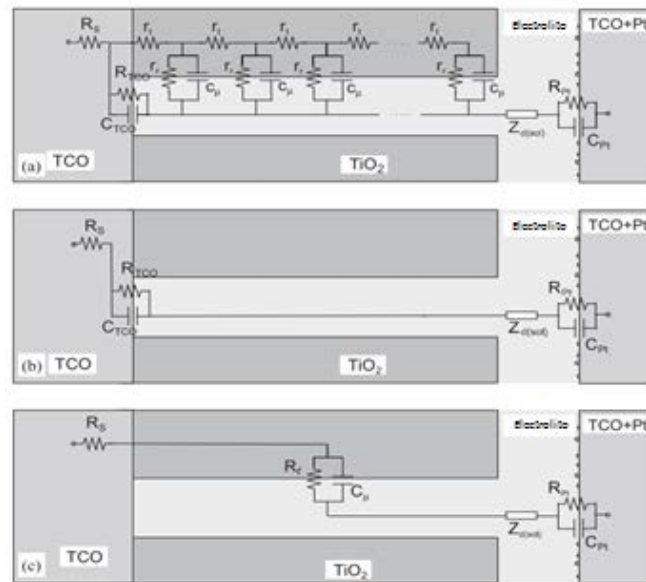
**Figura 1.34.** Representación de la transferencia de electrones mediante estados superficiales (Mora-sero & Bisquert, 2003).

Cuando se hacen mediciones de EIS en la oscuridad, al inducir al sistema con un cambio de potencial (forward bias), se inyectan electrones en la CB del TiO<sub>2</sub>, y su movimiento a través de la línea de transferencia está acoplado con el movimiento de las especies iónicas del electrolito ( $I^-/I_3^-$ ). Con la absorción de luz solar se tiene la interfase TiO<sub>2</sub>/tinte/electrolito, y en la operación fotovoltaica de la celda, la generación de corriente interna (por la excitación del tinte) es la que dirige todos los procesos iónicos y electrónicos (Q. Wang et al., 2005).

En la oscuridad el nivel Fermi del semiconductor se encuentra en equilibrio con el potencial del sistema redox; con la absorción de luz solar, se da la inyección de los electrones fotogenerados al TiO<sub>2</sub>, y se genera un corrimiento del nivel Fermi hacia la CB, y con ello se aumenta la capacitancia química del semiconductor, como ya se mencionó anteriormente (Mora-sero & Bisquert, 2003).

A condiciones de  $V_{OC}$ , bajo iluminación, no hay una corriente neta en la celda, todos los electrones inyectados son recapturados por el  $I_3^-$  antes de ser extraídos por el circuito externo, y las moléculas oxidadas de tinte se regeneran por  $I^-$ . A estas condiciones la energía absorbida se transforma en calor a través de los ciclos redox mencionados anteriormente. En la oscuridad, bajo una polarización directa (forward bias), los electrones inyectados se transportan a través del TiO<sub>2</sub> y reaccionan con el  $I_3^-$ , y al mismo tiempo, el  $I^-$  es oxidado a  $I_3^-$  en el contraelectrodo, de modo que la densidad de corriente neta depende del voltaje aplicado. Bajo iluminación, el  $I_3^-$  se forma “in situ” con la regeneración del tinte, mientras que en la oscuridad, el  $I_3^-$  se genera en el contraelectrodo (Q. Wang et al., 2005).

El comportamiento de la celda varía con respecto al voltaje aplicado, y para un mejor modelado del sistema, se divide el circuito equivalente mostrado en la Figura 1.32 en tres modelos de circuitos equivalentes a diferentes ámbitos de voltaje; a voltajes altos, medios y bajos, como se muestra en la Figura 1.35.



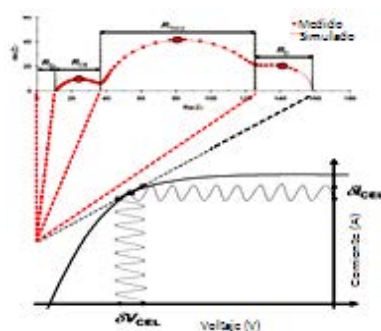
**Figura 1.35.** Modelos de circuitos equivalentes de una DSSC a diferentes ámbitos de voltaje, (a) voltajes medios, (b) voltajes bajos y (c) voltajes altos (Fabregat-Santiago et al., 2005).

A potenciales bajos, el circuito equivalente es el mostrado en la Figura 1.35 (b). Cuando el potencial aplicado a la celda es muy bajo, generalmente entre 0-0,3 V, el  $\text{TiO}_2$  se comporta como un material aislante, o sea, no hay conducción de electrones en la capa mesoporosa de  $\text{TiO}_2$ , por lo que los electrones inducidos en el sistema se recombinan con el electrolito (corriente oscura) y no hay generación de electricidad en la celda. Por ello a potenciales bajos, las interfases importantes son FTO/electrolito en el fotoánodo o electrodo de trabajo y la interfase electrolito/Pt-FTO en el contraelectrodo, el elemento de Warburg presentado en la figura ( $Z_d$ ) es despreciable y generalmente no se toma en cuenta.

A potenciales medios, con el aumento del voltaje, se incrementa el número de electrones en el  $\text{TiO}_2$ , y su nivel Fermi se va acercando más a la CB del semiconductor, por lo que a estos potenciales ya se presenta el transporte de electrones en la capa de  $\text{TiO}_2$ . El circuito

equivalente a estos potenciales se muestra en la Figura 1.35 (a). Como se puede observar, en el  $\text{TiO}_2$ , los procesos de transporte de electrones se representan como un sistema complejo de resistencias en serie y paralelo, con las capacitancias asociadas; estas representan el transporte de electrones a través de la capa de  $\text{TiO}_2$  (línea de transmisión),  $R_t$ , y las pérdidas de electrones hacia el electrolito (recombinación),  $R_r$  ( $R_{CT}$ ) y  $C_\mu$ . Las interfases FTO/electrolito y electrolito/Pt-FTO también son importantes, y a estos voltajes casi no se aprecia elementos de Warburg de difusión de iones ( $Z_d$ ).

A potenciales altos, el  $\text{TiO}_2$  se comporta más como un conductor, y la resistencia a la transferencia de electrones desde el  $\text{TiO}_2$  al FTO es muy pequeña y no se toma en cuenta, sola la resistencia a la recombinación de los electrones desde la CB del  $\text{TiO}_2$  al electrolito. A estos potenciales, la resistencia a la recombinación desde el FTO al electrolito es despreciable y no se toma en cuenta. Como hay una mayor cantidad de electrones, hay una mayor movilidad de especies iónicas ( $I^-$  y  $I_3^-$ ) por lo que a potenciales altos, generalmente si se observa el elemento de Warburg,  $Z_d$ . La interfase en el contraelectrodo también es importante, y el circuito equivalente se muestra en la Figura 1.35 (c). Cuando se tienen los datos de EIS, generalmente se comienza con el modelado de los potenciales más altos, ya que es el circuito equivalente más sencillo, y las curvas de Nyquist típicas para potenciales altos presentan tres semicírculos como el de la Figura 1.36.



**Figura 1.36.** Diagrama de Nyquist típico para una corrida de impedancia a potenciales altos. (Halme et al., 2010)

Como se mencionó anteriormente, los elementos resistivos poseen un valor real de impedancia, por lo que se puede leer en el eje “X”, mientras que los elementos capacitivos

poseen valores imaginarios de impedancia que varían con la frecuencia, y por eso se obtienen los semicírculos mostrados en la figura 1.36. El valor de la resistencia en serie,  $R_{series}$ , se obtiene directamente de la gráfica de Nyquist, y es el valor al que comienza el primer semicírculo. Este valor debe ser bajo, ya que no se deben incluir resistencias extra al transporte de los electrones, sin embargo es imposible eliminar esta resistencia, ya que se debe a la conexión en general de la celda, solo se puede disminuir al máximo mejorando todas las conexiones y contactos del circuito externo. Los demás datos de resistencias y capacitancias se deben obtener del modelado de los datos de las gráficas de Nyquist, con el circuito equivalente, utilizando algún sistema computacional adecuado.

---

## 2. METODOLOGÍA, DIAGRAMA EXPERIMENTAL Y EQUIPO

---

El presente proyecto de graduación tiene como objetivo general caracterizar el comportamiento de diferentes pigmentos de extractos naturales, pigmentos obtenidos mediante procesos biológicos y nanocristales de germanio como cosensibilizantes en celdas solares sensibilizadas, y obtener la eficiencia de conversión de energía solar a energía eléctrica de las celdas elaboradas con dichos sensibilizantes.

### *2.1 Metodología*

Para lograr el objetivo de la presente investigación, el cual es la caracterización de celdas solares sensibilizadas con tres tipos de sensibilizantes, a) pigmentos naturales, b) nanopartículas de germanio y c) pigmentos obtenidos de procesos microbiológicos se realizaron dos etapas de investigación:

- I. Mejoramiento del proceso de ensamblado de las celdas y caracterización de la reproducibilidad de las celdas ensambladas con dicho proceso.
- II. Caracterización de los tres tipos de agentes sensibilizantes mencionados anteriormente.

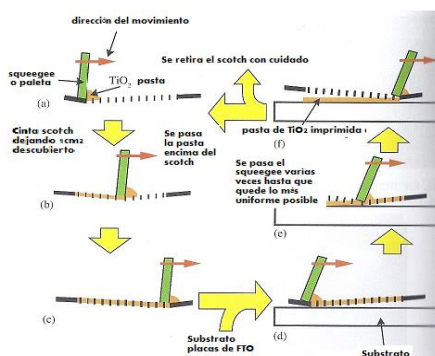
#### Etapa I

Para la etapa I de esta investigación, se tomó como referencia la investigación realizada por la Ing. Karina Torres y en conjunto con el grupo de investigación de celdas solares del CELEQ y la experiencia del Ph. D Thomas Moehl, del laboratorio de fotónica del EPFL de Suiza, se procedió a mejorar el ensamblado de las celdas solares.

Para la caracterización de la reproducibilidad de las celdas ensambladas se elaboraron 12 celdas sensibilizadas con el tinte de referencia Z907 con el procedimiento descrito en detalle en el apéndice D, utilizando los equipos y reactivos mostrados en los cuadros 2.1 y 2.2.

## Ensamblado

Se utilizó una pasta de  $\text{TiO}_2$  comercial, la cual se aplica en electrodos limpios (con agua, jabón, EtOH y acetona) de FTO mediante la técnica de Dr Blading, en áreas entre 0,25-0,36  $\text{cm}^2$  utilizando cinta adhesiva como patrón. Una vez listas las pastas de  $\text{TiO}_2$ , se procede al proceso de sinterizado a 450 °C por 30 min.



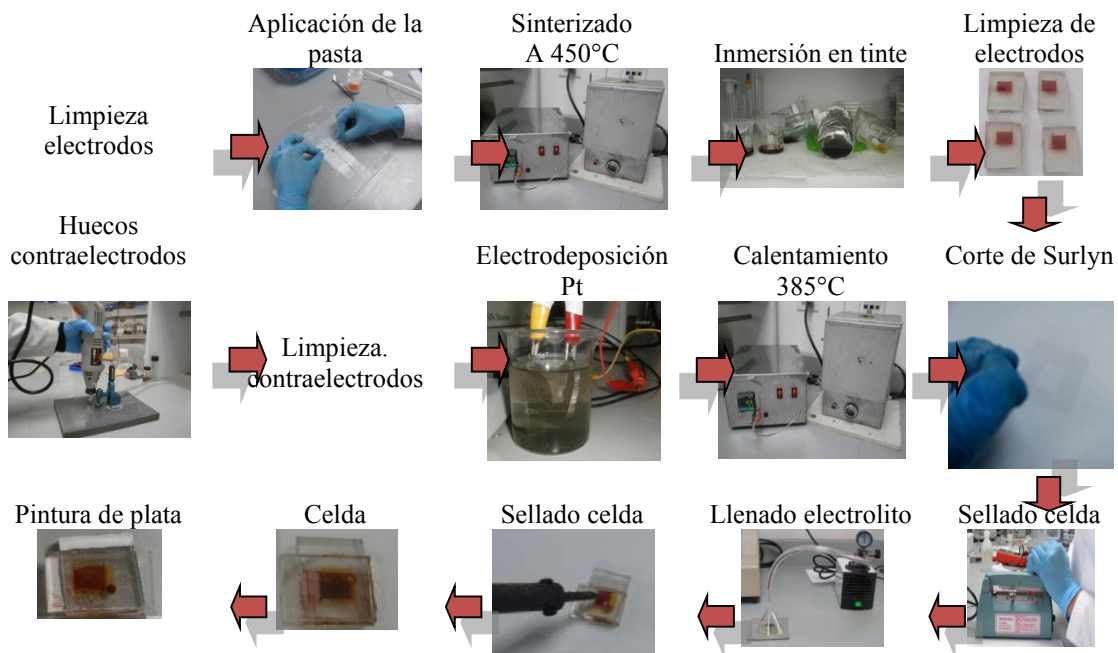
**Figura 2.1.** Esquema de la técnica Dr. Blading para la aplicación de la pasta de  $\text{TiO}_2$  (Torres, 2012).

Después del proceso de sinterizado, se dejan enfriar los electrodos a aproximadamente 100 °C y se sumergieron en la disolución del tinte Z907 (0,5 mM en acetonitrilo). Se dejaron en la disolución 24 h y se sacaron y limpiaron con acetonitrilo limpio. Anteriormente se prepararon los contraelectrodos, a los cuales se les hizo un pequeño hueco con ayuda de un mototool, se limpiaron y se cubrieron con una capa delgada de Pt mediante electrodeposición con una lámina de Pt y con una disolución etanólica de  $\text{H}_2\text{PtCl}_6$  (10 mM), con ayuda del potencióstato-galvanostato, fijando una corriente de 0,1 A por 90 s; seguidamente se calentaron a 385 °C para activar el platino.

Una vez limpios los electrodos (pastas con tinte), y con los contraelectrodos aún calientes (al tacto), se procedió al sellado de las celdas, cortando un marco de aproximadamente 2 x 2 cm, con un hueco de aproximadamente 0,8 x 0,8 cm, del polímero Surlyn, de 1,66  $\mu\text{m}$  de espesor, y con la ayuda de un sellador de bolsas para calentar el polímero y presionar para mejorar el sellado. Una vez selladas, siguió el llenado del electrolito, colocando una gota del mismo sobre el hueco del contraelectrodo y mediante un embudo de espiga conectado a una bomba

de vacío con una manguera, se aplica vacío y que quita rápidamente para que el electrolito entre por el hueco por diferencia de presión. Seguidamente se procedió al sellado final de la celda, colocando un pequeño cuadrado Surlyn y un pequeño cuadrado de vidrio de microscopía (portaobjetos) sobre el hueco, y calentado con un cautil para fundir el polímero. Una vez armada la celda, se coloca pintura de plata en el lado conductor de cada electrodo para mejorar los contactos eléctricos.

El proceso de ensamblado de celdas dura dos días completos desde la aplicación de las pastas hasta el sellado y aplicación de la pintura de plata y se pueden armar entre 5-6 celdas por batch, en la Figura 2.2 se muestran los pasos descritos anteriormente.



**Figura 2.2.** Proceso de ensamblado de celdas solares sensibilizadas con tintes.

### **Caracterización**

Una vez ensambladas las celdas se procede a tomar datos de corriente y voltaje, iluminando las celdas con un proyector a 1.5 A.M G ( $1000 \text{ W/m}^2$ ) y conectándolas al potencióstato-galvanostato, en donde se utiliza la opción de voltametría cíclica el programa GPES. Con los datos obtenidos se grafican las curvas I-V para las celdas y se determinan los parámetros de

$V_{OC}$ ,  $J_{SC}$ , FF,  $P_{max}$  y eficiencia ( $\eta$ ). Con el mismo equipo, y con ayuda del programa FRA, se obtienen los datos de impedancia en la oscuridad, y a partir de los datos obtenidos, se procede a la simulación de las curvas de Nyquist para los diferentes potenciales, con ayuda del programa ZView2. Con los datos obtenidos de la simulación de los datos se obtienen las resistencias en serie,  $R_{series}$ , del contraelectrodo,  $R_{CE}$ , de transferencia de carga,  $R_{CT}$ , de transporte,  $R_{trans}$ , así como las correspondientes capacitancias, CPE\_Pt y CPE\_CT. Con los datos mencionados anteriormente se calculan los valores de capacitancia corregida  $C_{corr}$ , densidad de estados DOS, y los tiempos de vida media del electron,  $\tau_e$  y el tiempo de transporte de carga,  $\tau_{trans}$ .

Las mediciones de corriente-voltaje toman alrededor de 15 min por celda tomando en cuenta el tiempo para hacer conexiones al equipo, y se realizan generalmente el tercer o cuarto día del proceso de ensamblado. Las mediciones de impedancia, para un paso de potencial de 0,05 V, desde 0 hasta 0,8 V dura aproximadamente 1,5 h por celda.

Las variables independientes son los substratos de FTO, el material de sellado Surlyn, pasta de  $TiO_2$ , electrolito, catalizador (Pt electrodepositado). Las variables dependientes son la corriente, I (A), y el voltaje, V (V) para la caracterización I-V, mientras que para las mediciones de impedancia son la impedancia real  $Z'$  e imaginaria  $Z''$ .

## Etapa II

Para la etapa II de la presente investigación, se siguió el mismo procedimiento de ensamblado y caracterización descrito para la etapa I, con las modificaciones mencionadas a continuación.

Para los pigmentos de extractos naturales, las pastas de  $TiO_2$  se dejaron inmersas en las disoluciones de los pigmentos por 3 h para evitar la agregación del mismo sobre la superficie del  $TiO_2$  y se siguió con el procedimiento descrito anteriormente y se ensamblaron 7 celdas de cada pigmento natural.



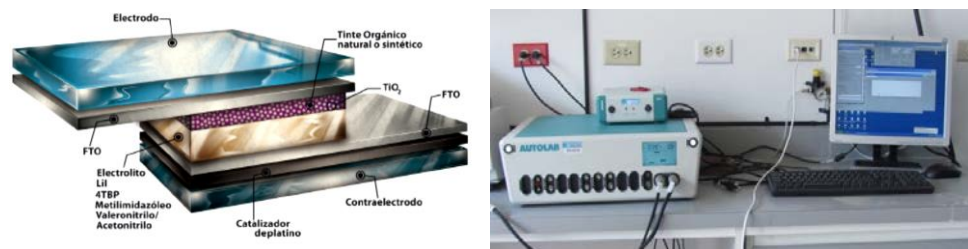
Para las celdas co-sensibilizadas con nanopartículas de germanio los electrodos de  $\text{TiO}_2$  se funcionalizaron primero con una disolución 0,0857 M de L-Cisteína en metanol por 24 h. Después se limpiaron y sumergieron en una disolución de las nanopartículas de germanio en tolueno también por 24 h, y por último en la disolución 0,5 mM de Z-907 en acetonitrilo por 24 h; posteriormente se siguió el proceso de ensamblado descrito anteriormente, y se ensamblaron 6 celdas co-sensibilizadas.

Para los pigmentos de extractos microbiológicos sólo se sumergieron los electrodos con  $\text{TiO}_2$  en las disoluciones con los pigmentos.

Los factores en estudio son los diferentes tipos de pigmentos o cosensibilizantes. Las variables independientes son los substratos de FTO, el material de sellado Surlyn, pasta de  $\text{TiO}_2$ , electrolito, catalizador (Pt electrodepositado). Las variables dependientes son la corriente, I (A), y el voltaje, V (V) para la caracterización I-V, mientras que para las mediciones de impedancia son la impedancia real  $Z'$  e imaginaria  $Z''$ .

## 2.2 Diagrama experimental

En la Figura 2.3 se muestra el diagrama de una celda solar sensibilizada con tintes.



**Figura 2.3.** Diagrama del equipo experimental para la caracterización de celdas solares sensibilizadas (Torres, 2012).

## 2.3 Equipo y reactivos

Para el ensamblado de las celdas se utiliza como equipo experimental, probetas, beakers, cajas petri, vidrios reloj, viales, agitadores de vidrio, y los equipos se muestran en el cuadro 2.1, y los reactivos utilizados para el ensamble de celdas se muestra en el cuadro 2.2.

**Cuadro 2.1.** Equipo utilizado para la elaboración de las celdas y la medición de su eficiencia

<b>Unidad</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Placa</b>
Mufla	NEY	UCR 140476
Horno	GEPRAN	UCR 218511
Multímetro	EXTECH Instruments	-
Sellador de pulso (Impulse sealer)	Jores Technologies	-
Mototool (Rotary tool)	Chicago Power tolos	-
Bomba de vacío cautil	KNF lab	-
Potenciostato-Galvanostato	-	-
Proyector	Metrohm Autolab	UCR 305150
Piranómetro	3M	UCR 174429
	Apogee	ITCR 57899

Los materiales y reactivos utilizados para el ensamblaje de las celdas se muestra a continuación en el cuadro 2.2.

**Cuadro 2.2.** Materiales y reactivos utilizados para la elaboración de las celdas.

<b>Reactivo/Material</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Pureza</b>
Pasta Ti-Nanoxide-T 1145	Solaronix S.A	11% w
Tinte de referencia Z907	Sigma-Aldrich	95%
FTO NSG TEC C15 3.0 mm	Xop Física, S.L	-
FTO NSG TEC T11 3.2 mm	Xop Física, S.L	-
Etanol	Almacén CELEQ	95%
Surlyn	DuPont	-
Metanol	Alamcén CELEQ	-
Acetonitrilo	Sigma-Aldrich	99.8%
Acetona	Alamacén CELEQ	98%
Pintura de plata (Flash dry silver paint)	SPI suplies	-
Yodo (I <sub>2</sub> )	Sigma-Aldrich	99,999%
Yoduro de Litio (LiI)	Sigma-Aldrich	99%
Terbutil piridina (TBP)	Sigma-Aldrich	-
Yoduro de 1-butyl-3-metilimidazolio	Sigma-Aldrich	-
Valeronitrilo	Sigma-Aldrich	-
Ácido hexacloroplatínico (H <sub>2</sub> PtCl <sub>6</sub> xH <sub>2</sub> O)	BDH Laboratory reagents	-
Lámina de platino (platinum foil)	BDH Laboratory reagents	99.9%
Vidrio de microscopía (cubreobjetos) 24x50mm	-	-
Cinta Adhesiva	Scotch 3M	-

---

### 3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

---

#### 3.1. Caracterización de la reproducibilidad en el ensamblaje de DSSC

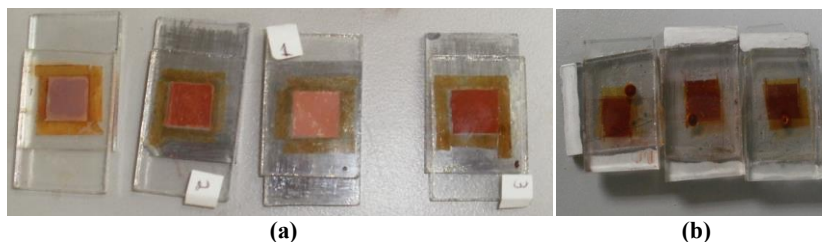
Antes de poder estudiar el efecto de diferentes sensibilizantes, u otras variables como electrolito, semiconductor, substrato, catalizador, etc, en la eficiencia de conversión energética de celdas solares sensibilizadas, se realizó un estudio para determinar la reproducibilidad del proceso de ensamblaje de las celdas. Para ello se utilizó un tinte de referencia y se ensamblaron varias celdas siguiendo en todas el mismo procedimiento mencionado en el anexo D.

#### *Ensamblaje*

Con ayuda del equipo de investigación de celdas solares de NanoFem, del CELEQ, y con la experiencia en el tema del Ph.D. Thomas Moehl se modificó el proceso de ensamblado de celdas previamente utilizado en el grupo y diseñado por la Ing. Karina Torres. Para ello se hicieron los siguientes cambios:

1. Se cambió la pasta de TiO<sub>2</sub> elaborada en el laboratorio por una pasta comercial de SOLARONIX, diseñada específicamente para su aplicación mediante el método de Dr. Blading.
2. Se cambió la forma de aplicación de la pasta. Torres utilizó Cinta Scotch para hacer un cuadro de 1 cm<sup>2</sup>, y esto se cambió delimitando con la cinta solo el ancho del cuadro deseado, de 0,6 cm, y al limpiar la pasta con un espátula de plástico se da manualmente la forma del cuadrado de TiO<sub>2</sub>, como se muestra en el anexo D.
3. Se compró un cortador de vidrio para cortar los electrodos a la mitad y aprovechar al máximo los mismos.
4. Se adquirió el polímero Surlyn, el cual se estruyó en láminas de 1,6 µm de espesor; y se cambió la cinta de doble cara por este polímero para sellar la celda, calentando y presionando los electrodos con un sellador de pulso.

5. Se adquirió el equipo para hacer huecos en los contraelectrodos y meter el electrolito por el mismo, mediante diferencia de presión con ayuda de una bomba de vacío, y sellando el hueco con Surlyn y con vidrio de portaobjetos.
6. Se adquirió pintura de plata para mejorar los contactos eléctricos de la celda.

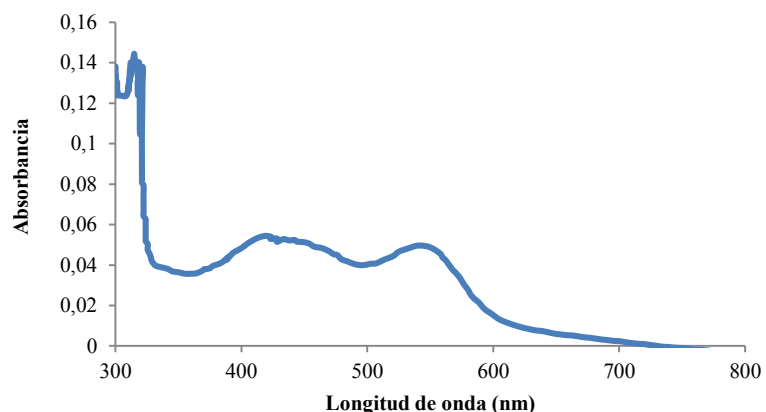


**Figura 3.1.** Celdas solares sensibilizadas, (a) ensambladas con el procedimiento descrito por Torres, (b) ensambladas con las mejoras del proceso.

### *Tinte de referencia*

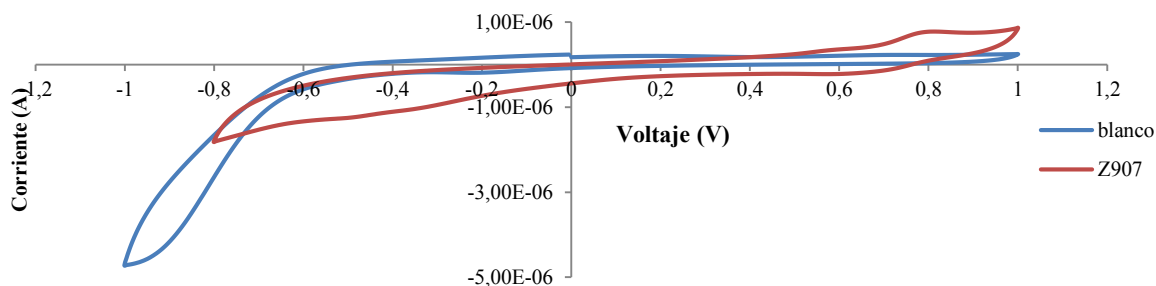
El tinte de referencia utilizado para la caracterización de la reproducibilidad del proceso de ensamblado es el Z907, mostrado en la Figura 1.13 y fue adquirido comercialmente. Es un complejo sintético de rutenio,  $C_{42}H_{52}N_6O_4RuS_2$ , y se utilizó como referencia ya que posee un alto coeficiente de extinción en la región visible del espectro,  $12200 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ , buena estabilidad térmica, y química, y posee los grupos funcionales necesarios para el anclaje al  $TiO_2$ ; además es uno de los tintes de referencia más utilizados en DSSC.

Se obtuvo el espectro UV-Vis del Z907 en acetonitrilo, y se muestra en la Figura 3.2. Se obtuvieron máximos de absorción a 325 nm, 430 nm y 548 nm; el máximo de absorción a 430 nm generalmente no se reporta, sin embargo Fonash reporta en su libro un espectro con un pico de absorción a 425 nm, muy parecido al obtenido (Fonash, 2010). Las transiciones a 325 nm y 430 nm que corresponden a transiciones  $\pi - \pi^*$  en los ligandos y la de 525 nm que corresponde a transiciones  $d\pi - \pi^*$ , (MLCT), donde el Ru dona densidad electrónica a los ligandos por retrodonación, y es a esta transición que se debe su fuerte color rojo-vino (Lu et al., 2011).



**Figura 3.2.** Espectro UV-Vis obtenido para el del tinte de referencia Z907.

Se calcularon los estados energéticos del tinte Z907 a partir de su espectro UV-Vis, y de los datos obtenidos para voltametría cíclica del compuesto, usando ferroceno como electrolito de referencia. En la Figura 3.3 se muestra la voltametría cíclica del Z907 en acetonitrilo.



**Figura 3.3.** Voltametría cíclica para el tinte de referencia Z907 en acetonitrilo (línea roja), y ferroceno/ferrocenio ( $\text{Fe}(\text{C}_5\text{H}_5)_2/\text{Fe}(\text{C}_5\text{H}_5)^+$ ) en acetonitrilo (línea azul), como electrodo de referencia.

De la figura anterior, se obtiene que el potencial de oxidación del Z907 es 0,55 V, y para el electrodo de referencia se obtuvo un potencial de oxidación de 0,20 V (contra el electrodo normal de hidrógeno, NHE), y según la ecuación 3.1, el nivel energético obtenido para el HOMO del Z907 en la escala de vacío es -4,6 eV.

$$\Delta E (HOMO) = -(4,25 + \Delta E_{oxid} - \Delta E_{NHE}) \quad (3.1)$$

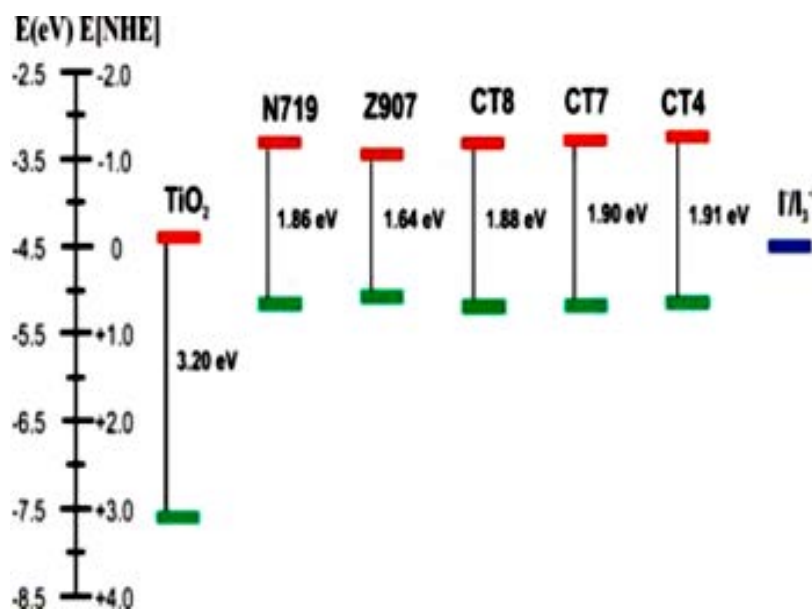
Del espectro UV-Vis mostrado en la Figura 3.2, al extrapolar el máximo de absorción en la región visible, se obtiene que la energía de excitación, se da a una longitud de onda de 620 nm, y según la ecuación 3.2, esta corresponde a 2,0 eV.

$$\Delta E = \frac{h c}{\lambda} \quad (3.2)$$

Donde  $h$  es la constante de plank ( $6,626 \times 10^{-34}$  J s),  $c$  es la velocidad de la luz en el vacío ( $3,0 \times 10^8$  m/s) y  $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19}$  J. El valor obtenido con la ecuación anterior, 2,0 eV, corresponde al bandgap del tinte ( $\Delta E_{0-0}$ ), ya que es la energía necesaria para promover un electrón del HOMO al LUMO. De modo que el LUMO del Z907 se calcula según la ecuación (3.3), y se obtiene un valor de -2,6 eV.

$$\Delta E (LUMO) = \Delta E (HOMO) + \Delta E_{0-0} \quad (3.3)$$

En la literatura se encuentran reportados los estados energéticos para el HOMO y el LUMO del Z907 contra la escala de vacío, y corresponden a valores alrededor de -4,99 eV y -3,35 eV para el HOMO y LUMO respectivamente (Yu et al., 2009). El valor obtenido para el HOMO (-4,6 eV) es muy parecido al reportado en la literatura, sin embargo el valor obtenido para el LUMO es (-2,6 eV) difiere bastante del valor esperado; esto se debe a que el bandgap obtenido experimentalmente a partir del espectro UV-Vis es mayor que el reportado en la literatura (1,64 eV). El valor del bandgap obtenido para el tinte Z907 de 2,0 eV, corresponde a 620 nm, de modo que todos los fotones desde el UV hasta los 620 nm tienen la energía suficiente para excitar electrones del HOMO al LUMO, y de que de ahí se inyecten al  $\text{TiO}_2$ , este ámbito es un poco más angosto que el esperado ya que para 1,64 eV, se requieren longitudes de onda de 756 nm, que corresponden a fotones de menor energía, y con ello se aprovechan más longitudes de onda.

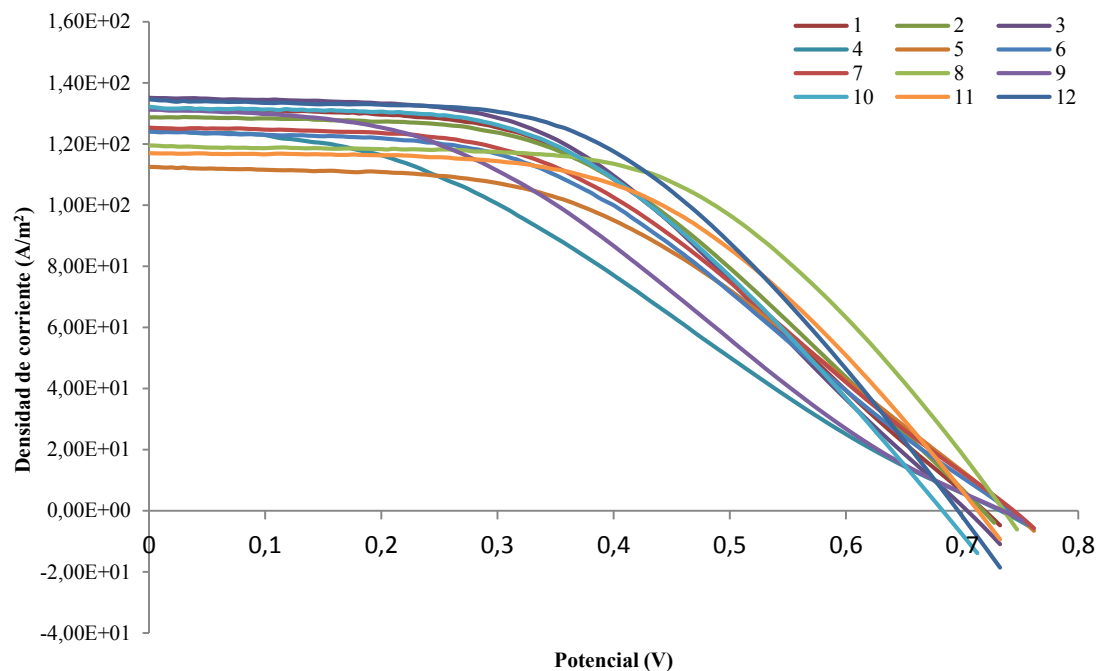


**Figura 3.4.** Niveles energéticos para celdas sensibilizadas con diferentes tintes, usando TiO<sub>2</sub> como semiconductor y electrolito de I<sup>-</sup>/I<sub>3</sub><sup>-</sup>, reportados en la literatura, (Lu et al., 2011)

Como se observa en la Figura 3.4, la CB del TiO<sub>2</sub> se encuentra a alrededor de -4,0 eV, y está por debajo del LUMO del tinte, y esta es la fuerza motriz de la difusión de los electrones del estado excitado del tinte al semiconductor. Además el potencial redox del electrolito se encuentra por encima del HOMO del Z907, y esta es la fuerza motriz para la difusión de electrones del par redox al estado oxidado del tinte (regeneración).

### ***Reproducibilidad del ensamblado***

Se ensamblaron 12 celdas sensibilizadas con el tinte Z907 para caracterizar su eficiencia, comparar los valores obtenidos con valores reportados en la literatura y determinar la variabilidad entre celdas ensambladas bajo las mismas condiciones, en la Figura 3.5 se muestran las curvas I-V obtenidas para cada una de las celdas.



**Figura 3.5.** Curvas corriente-voltaje, para las celdas sensibilizadas con el tinte de referencia Z907.

Como se puede observar en la Figura 3.5, las curvas I-V obtenidas para las celdas, presentan comportamientos diferentes entre sí, sin embargo para poder comparar su desempeño se requieren los parámetros característicos de cada celda, mostrados en el Cuadro 3.1.

**Cuadro 3.1.** Datos obtenidos para la caracterización de celdas sensibilizadas con tinte de referencia Z-907 0,5 mM.

Celda	Área (m <sup>2</sup> )	J <sub>SC</sub> (mA/cm <sup>2</sup> )	V <sub>OC</sub> (V)	P <sub>máx</sub> (W/m <sup>2</sup> )	FF	%η
1	3.00E-05	13.1	0.71	44.3	0.48	4.43
2	3.00E-05	12.9	0.71	45.0	0.49	4.50
3	3.00E-05	13.5	0.69	45.1	0.48	4.51
4	3.25E-05	12.4	0.73	33.0	0.36	3.30
5	3.58E-05	11.3	0.74	39.5	0.48	3.95
6	3.58E-05	12.4	0.74	41.6	0.45	4.16
7	2.75E-05	12.5	0.74	43.2	0.47	4.32
8	2.75E-05	12.0	0.73	50.1	0.58	5.01
9	3.03E-05	13.1	0.73	37.9	0.40	3.79
10	3.60E-05	13.2	0.66	42.9	0.49	4.29
11	3.90E-05	11.7	0.67	45.1	0.57	4.51
12	3.30E-05	13.5	0.67	48.7	0.54	4.87
Prom	3,23E-05	12,6	0,71	43,0	0,48	4,30
Desv. Est.	3,68E-06	0,7	0,03	4,6	0,06	0,46



Como se puede observar en el Cuadro 3.1, se obtuvieron los valores promedio para los valores característicos de la celdas,  $J_{SC} = 12,6 \text{ mA/cm}^2$ ,  $V_{OC} = 0,71 \text{ V}$ ,  $P_{\text{máx}} = 43,05 \text{ W/m}^2$ ,  $FF = 0,48$ , y  $\% \eta$  de 4,30.

En el Cuadro 3.2 se muestran valores reportados en la literatura para los parámetros de  $J_{SC}$ ,  $V_{OC}$ ,  $FF$  y  $\% \eta$ , así como el electrolito utilizado, para celdas sensibilizadas con el tinte Z907. Como se puede observar en dicho cuadro, los valores reportados varían mucho entre grupos de investigación, y también dependen del electrolito utilizado; se han reportado valores desde 10,2-16,0  $\text{mA/cm}^2$  para  $J_{SC}$ , de 0,60-0,83 V para  $V_{OC}$ , desde 0,46-0,75 para el factor de llenado  $FF$ , y de 4,2-8,4% de eficiencia de conversión de energía solar en energía eléctrica.

**Cuadro 3.2.** Valores obtenidos para la caracterización de celdas solares sensibilizadas con el tinte de referencia Z907 reportados en la literatura.

#	$J_{sc}$ ( $\text{mA/cm}^2$ )	$V_{oc}$ (V)	FF	$\% \eta$	Electrolito	Referencia
1	16,0	0,74	0,67	8,4	BMII, LiI, I <sub>2</sub> , TBP (0,6/0,05/0,05/0,5)M	(Yin et al., 2012)
2	14,8	0,70	0,71	7,5	Electrolito de referencia Z496.	(Mishra et al., 2011)
3	13,34	0,713	0,75	7,2	Líquido iónico DMII/EMII/EMITCB/I <sub>2</sub> /TBP/GNCS, (12/12/16/1,67/3,33/0,67)M.	(Zeng et al., 2010)
4	15,09	0,700	0,68	7,18	BMII, I <sub>2</sub> , LiI, TBP, (0,6/0,05/0,1/0,5)M, ACN/Val (85:15)	(Jang et al., 2009)
5	14,10	0,691	0,71	6,92	PMII, LiI I <sub>2</sub> , GuNCS yTBP (0,6/0,1/0,05/0,1/0,05)M en MPN	(Ni et al., 2012)
6	15,12	0,768	0,56	6,6	N,N,N-trietil-3-silica-propano-1-aminio al 31% wt, I <sub>2</sub> , GuNCS, TBP (0,08/0,1/0,5)M, ACN	(Cerneaux et al., 2007)
7	12,81	0,676	0,75	6,48	DMII/I <sub>2</sub> (0,8 M/0,4 M)	(Wang et al., 2010)
8	14,16	0,68	0,66	6,36	I <sub>2</sub> , LiI, TBP.(0,05/0,5/0,5)M, ACN	(Lu et al., 2011)
9	14,231	0,696	0,58	5,79	T <sub>2</sub> /T <sup>-</sup> , TBP, LiClO <sub>4</sub> , (0,4/0,4/0,5/0,05)M	(Wang, et al., 2010)
10	11,93	0,65	0,66	5,17	Electrolito de referencia, Z5801	(Chandrasekharam et al., 2011)
11	11,5	0,61	0,73	5,1	I <sub>2</sub> , GNCS, TBP, FIL (0,03/0,01/0,5/0,6)M ACN/Val (85:15)	(Abate et al., 2012)
12	10,7	0,830	0,58	5,1	N,N,N-trietil-3-silica-propano-1-aminio al 28% wt, I <sub>2</sub> , TBP (0,08/0,1/0,5) MMPN.	(Cerneaux et al., 2007)
13	10,6	0,65	0,68	4,6	I <sub>2</sub> , GNCS, TBP, BMII (0,03/0,01/0,5/0,6)M, ACN/Val (85:15)	(Abate et al., 2012)
14	10,205	0,655	0,62	4,13	T <sub>2</sub> /T <sup>-</sup> , (0,1 M/0,4 M) donde T es el ion mercapto-1-metiltetrazólio	(Wang et al., 2010)
15	15,29	0,60	0,46	4,20	PMII, LiI, I <sub>2</sub> , TBP, (0,6/0,1/0,05/0,5) en 3- metoxipropionitrilo.	(Zafer et al., 2010)

El electrolito utilizado para la elaboración de las celdas de Cuadro 3.1. está constituido por 0,6M de yoduro de 1-butil-3-metilimidazólio (BMII), 0,03 M de  $I_2$  y 0,5 M de TBP, en una mezcla ACN/Val (85:15); muy similar al mostrado en la referencia #8 del cuadro anterior, donde se puede notar que obtuvieron valores de  $J_{SC}$  14,16mA/cm<sup>2</sup>,  $V_{OC}$  0,68, FF 0,66 y % $\eta$  de 6,36%, mayores que el promedio obtenido para las celdas elaboradas en el laboratorio, y muestra que el proceso de ensamblado todavía se puede mejorar hasta obtener valores de eficiencia entre 6-7%, sin embargo los valores obtenidos son comparables con los publicados por otros grupos de investigación ya que encuentran dentro de los ámbitos reportados para este tinte como se observa en el Cuadro 3.2.

En la investigación de Torres (2012), se obtuvo como máximo 0,36% de eficiencia de conversión energética para celdas sensibilizadas con el tinte Z907, por lo que al hacer pequeños cambios en los distintos pasos del proceso de ensamblado se logró aumentar significativamente el porcentaje de eficiencia alcanzado por la celda, lo cual indica que el método es bastante bueno, pero como se mencionó anteriormente se debe mejorar hasta obtener valores de eficiencia entre 6-7% para obtener datos más cercanos a los reportados en la literatura.

El valor promedio obtenido para el  $V_{OC}$ , de 0,71 V es alto, y muy similar a los valores reportados para celdas con mayores eficiencias que las obtenidas experimentalmente, de modo que para mejorar las eficiencias obtenidas, se requiere mejorar los parámetros de  $J_{SC}$  y FF.

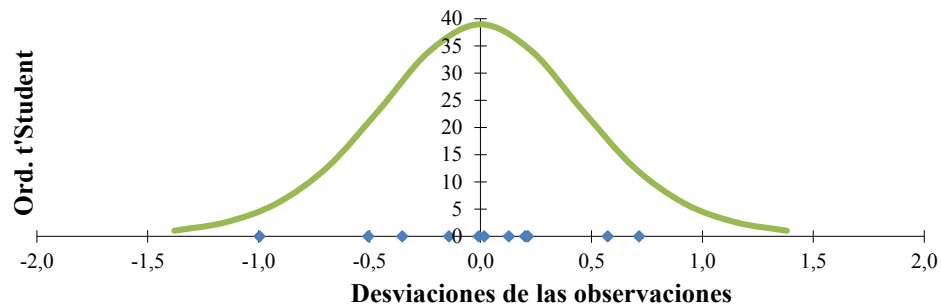
El FF obtenido para las celdas es muy bajo (0,48), y esto puede ser a raíz de varias razones, una de ellas puede ser un sobrecalentamiento de la celda, ya que la lámpara utilizada para las mediciones de eficiencia es una lámpara de tungsteno, y parte de la radiación que emite se encuentra en el IR y esta radiación se transforma en calor; y generalmente el FF aumenta con la temperatura hasta los 50-60°C, y para temperaturas mayores empieza a decaer (Torres, 2012).

Además, el FF de una celda también es una medida de la resistencia en serie, la resistencia de shunt (relacionada con las recombinaciones en la celda); de modo que un buen FF, entre

0,75-0,9 es una medida de que la resistencia en serie de la celda es baja, y la resistencia de shunt en la celda es alta, y hay menos recombinaciones. Como se mostró en la ecuación (1.14), el FF es la razón entre la potencia máxima alcanzada por la celda, y el valor teórico de potencia máxima ( $J_{SC} \cdot V_{OC}$ ), de modo que un valor de FF de 0,48 indica que un 52 % de la energía se disipa en pérdidas de dentro de la celda. Se puede decir, que para un FF de 0,48, la resistencia en serie es alta, y la resistencia de shunt de es baja, y ello lleva a tener una mayor tasa de recombinación de electrones con el electrolito, y a una disminución de la inyección de electrones en el  $TiO_2$ , y esto se ve reflejado en una disminución de la potencia máxima alcanzada, afectando la eficiencia obtenida, la cual es apenas de un 4,3 %.

Hay que tomar en cuenta además, que el espesor de la capa de  $TiO_2$  generalmente utilizado está entre 10-12  $\mu m$ , mientras que el espesor de las celdas ensambladas es 3,3  $\mu m$  en promedio; al disminuir el espesor del semiconductor disminuye significativamente el número de moléculas de tinte sensibilizante, por lo que hay menos electrones fotogenerados, y al recolectar menos electrones la eficiencia disminuye, por lo que aumentar el grosor de la capa de  $TiO_2$  puede ayudar a alcanzar los valores de eficiencia entre 6-7 %.

En la Figura 3.6 se muestra la curva de distribución t-Student para una desviación estándar, S de 0,46. Como se puede notar en dicha figura, al graficar las desviaciones de los datos con respecto a la media, y la mayoría se encuentran entre  $\pm 1 S$  y todos caen dentro de  $\pm 2 S$ , por lo que la reproducibilidad de las muestras obtenidas es confiable, y la variabilidad de los datos se encuentra en un ámbito de  $\pm 0,46$  %.



**Figura 3.6.** Gráfico de distribución de t de Student y las desviaciones de los datos con respecto a la media

### ***Caracterización con espectroscopía de impedancia electrónica (EIS)***

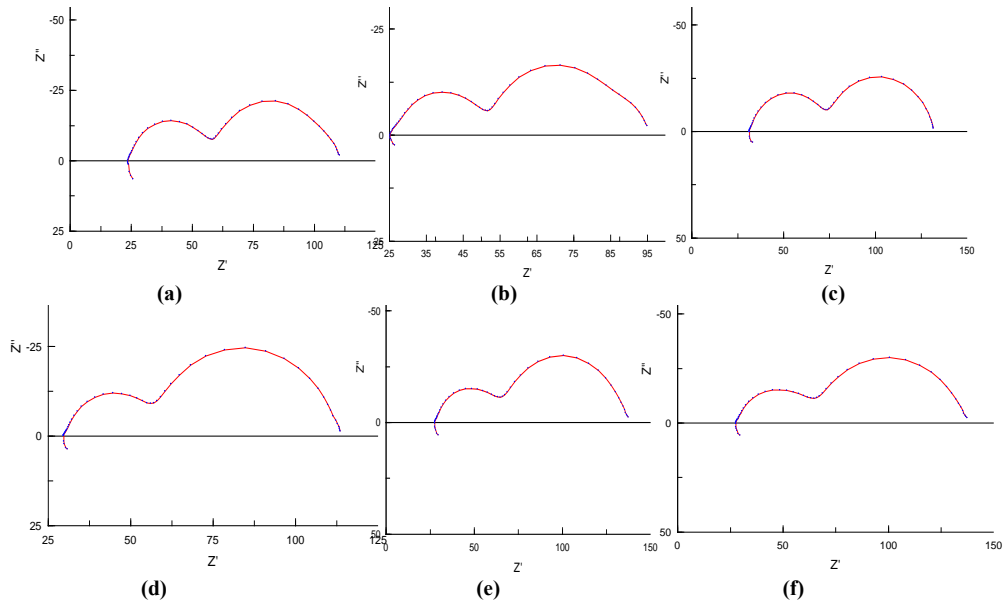
Como se mencionó anteriormente, con mediciones de EIS en la oscuridad se obtiene información valiosa sobre los procesos de transferencia de los electrones inducidos al sistema, y en las mediciones realizadas en el laboratorio, se tomaron solo los datos de EIS en la oscuridad, ya que el barrido completo de impedancia para una celda toma alrededor de una hora y media, y al no contar con un simulador solar con lámpara de Xe, las celdas se calentarían mucho debido a la radiación IR emitida por la lámpara de W utilizada en el laboratorio, y ello conlleva el deterioro de la celda, y los datos obtenidos no reflejarían el comportamiento de la celda en buen estado.

Con el equipo utilizado, el Potenciostato-Galvanostato, Metrohm Autolab, las mediciones de EIS utilizando el programa GPES, se tarda aproximadamente 1,5 h para hacer un barrido de impedancia desde 0,1 mH hasta 1 GHz para 16 valores de voltaje determinados, por ello, se escogieron al azar, solo 6 de las celdas sensibilizadas con el tinte Z907 para obtener sus datos de EIS, las celdas 1, 2, 4, 6, 7 y 8. Los datos obtenidos se modelaron utilizando el programa ZView2.

Los barridos de impedancia se realizaron cada 0,05 V, comenzando en 0 hasta 0,8 V, por lo que se obtuvieron 17 diagramas de Nyquist para cada celda, y cada una de estas gráficas debe ser modelada con el programa ZView2 para obtener los datos de impedancia de una sola celda.

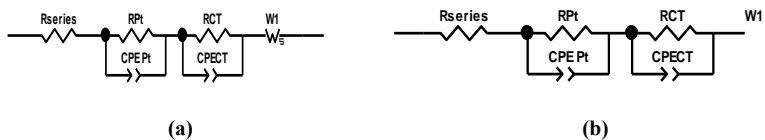
En la Figura 3.7 se muestran las gráficas de Nyquist para cada celda, a 0,8 V (potencial alto). Como se puede observar, las curvas son muy parecidas para cada celda y en ninguna se observa un tercer semicírculo a frecuencias bajas, como el de la Figura 1.36; dicho semicírculo corresponde al elemento de Warburg ( $Z_d$ ), de difusión de iones en el electrolito, por lo que no se pudo obtener información de la difusión de iones en las celdas de control. Para el modelado de potenciales altos con el programa ZView2 se utiliza el circuito equivalente de la Figura 3.8 (a), sin embargo como en las gráficas de Nyquist obtenidas para

las celdas no se observa el semicírculo asociado a la difusión de iones, se elimina este elemento del circuito equivalente y se modelan las gráficas con el circuito (b).



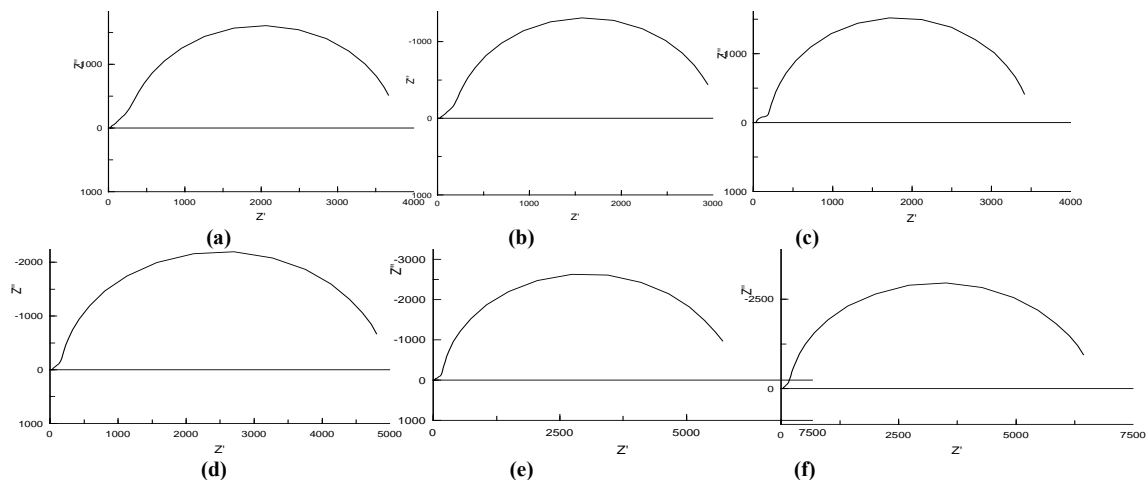
**Figura 3.7.** Diagramas de Nyquist obtenidas a potencial 0,8 V (potencial alto) para las celdas (a) 1, (b) 2, (c) 4, (d) 6, (e) 7 y (f) 8, sensibilizadas con el tinte de referencia Z907.

En el circuito equivalente,  $R_{series}$  corresponde a la resistencia en serie,  $R_{Pt}$  a la resistencia de transferencia de carga en el contraelectrodo, CPE (constant phase element), es un elemento capacitivo que modela el comportamiento de capacitancias de doble capa (en interfases semiconductor/líquido, metal/líquido), es un capacitor imperfecto,  $CPE_{Pt}$  corresponde a la capacitancia de doble capa en la interfase electrolito/Pt-FTO en el contraelectrodo,  $R_{CT}$  corresponde a la transferencia de carga entre el  $TiO_2$  y el electrolito, o sea, es la resistencia a la recombinación,  $CPE_{CT}$  corresponde a la capacitancia de doble capa en la interfase  $TiO_2$ /electrolito.



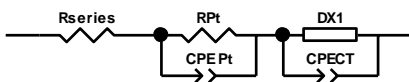
**Figura 3.8.** Circuito equivalente para una DSSC a potenciales altos, (a) teórico, (b) utilizado para el modelado de los datos obtenidos.

En la Figura 3.9 se muestran las gráficas de Nyquist obtenidas a potenciales medios, para las celdas sensibilizadas con el tinte Z907.



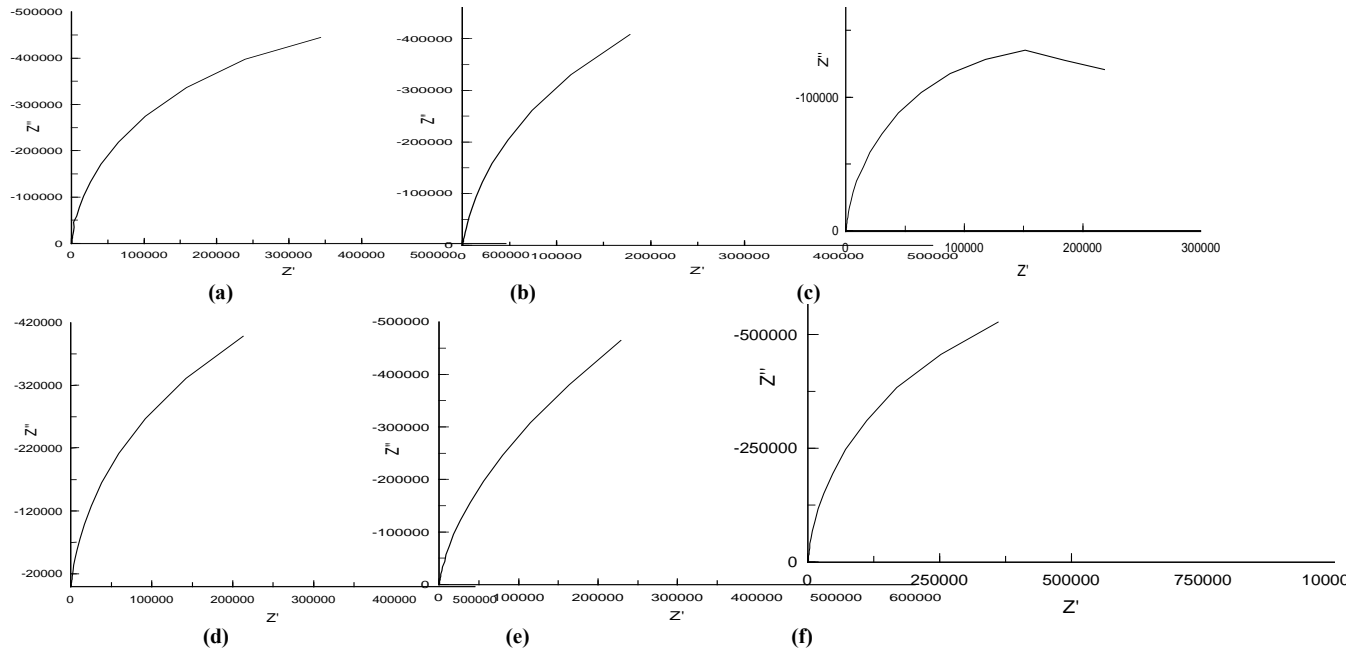
**Figura 3.9.** Diagramas de Nyquist obtenidas a potencial 0,55 V (potenciales medios) para las celdas (a) 1, (b) 2, (c) 4, (d) 6, (e) 7 y (f) 8, sensibilizadas con el tinte de referencia Z907.

Como se puede observar en la Figura 3.9, las curvas de Nyquist obtenidas a potenciales medios constan de un solo semicírculo grande y corresponde a la transferencia de carga en la interfase  $\text{TiO}_2/\text{electrolito}$ , el semicírculo del contraelectrodo es muy pequeño en comparación con el de transferencia de carga y casi no se aprecia en las gráficas. Al inicio del semicírculo, a frecuencias altas, se puede observar una pequeña tendencia línea, con una pendiente de  $45^\circ$ , la cual se asocia con el transporte de electrones en la línea de transmisión (Memming, 1998). El circuito equivalente utilizado para modelar las curvas de Nyquist a potenciales medios se muestra en la Figura 3.10, donde DX1 es un elemento extendido, del programa ZView2, que se utiliza para procesos de transferencia más complicados, una de sus opciones es la del elemento Bisquert#2, el cual se utiliza para modelar la transferencia de electrones tanto en la línea de transmisión, como desde el  $\text{TiO}_2$  al electrolito.



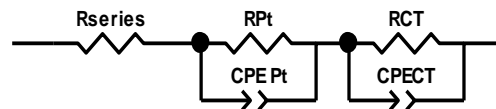
**Figura 3.10.** Circuito equivalente para una DSSC a potenciales medios.

En la Figura 3.11 se muestran las gráficas de Nyquist obtenidas a 0,05 V (potenciales bajos), para las celdas sensibilizadas con el tinte Z907. Y como se puede apreciar los diagramas de Nyquist solo constan de un semicírculo incompleto, que corresponde básicamente, a la interfase FTO-electrolito.



**Figura 3.11.** Diagramas de Nyquist obtenidas a potencial 0,05 V (potenciales bajos) para las celdas (a) 1, (b) 2, (c) 4, (d) 6, (e) 7 y (f) 8, sensibilizadas con el tinte de referencia Z907.

Para potenciales bajos, como se mencionó anteriormente, el  $\text{TiO}_2$  se comporta como un material aislante, por lo que los electrones se recombinan desde el FTO al electrolito, y el circuito equivalente utilizado para el modelado de los datos es el mostrado en la Figura 3.12.



**Figura 3.12.** Circuito equivalente para una DSSC a potenciales bajos.

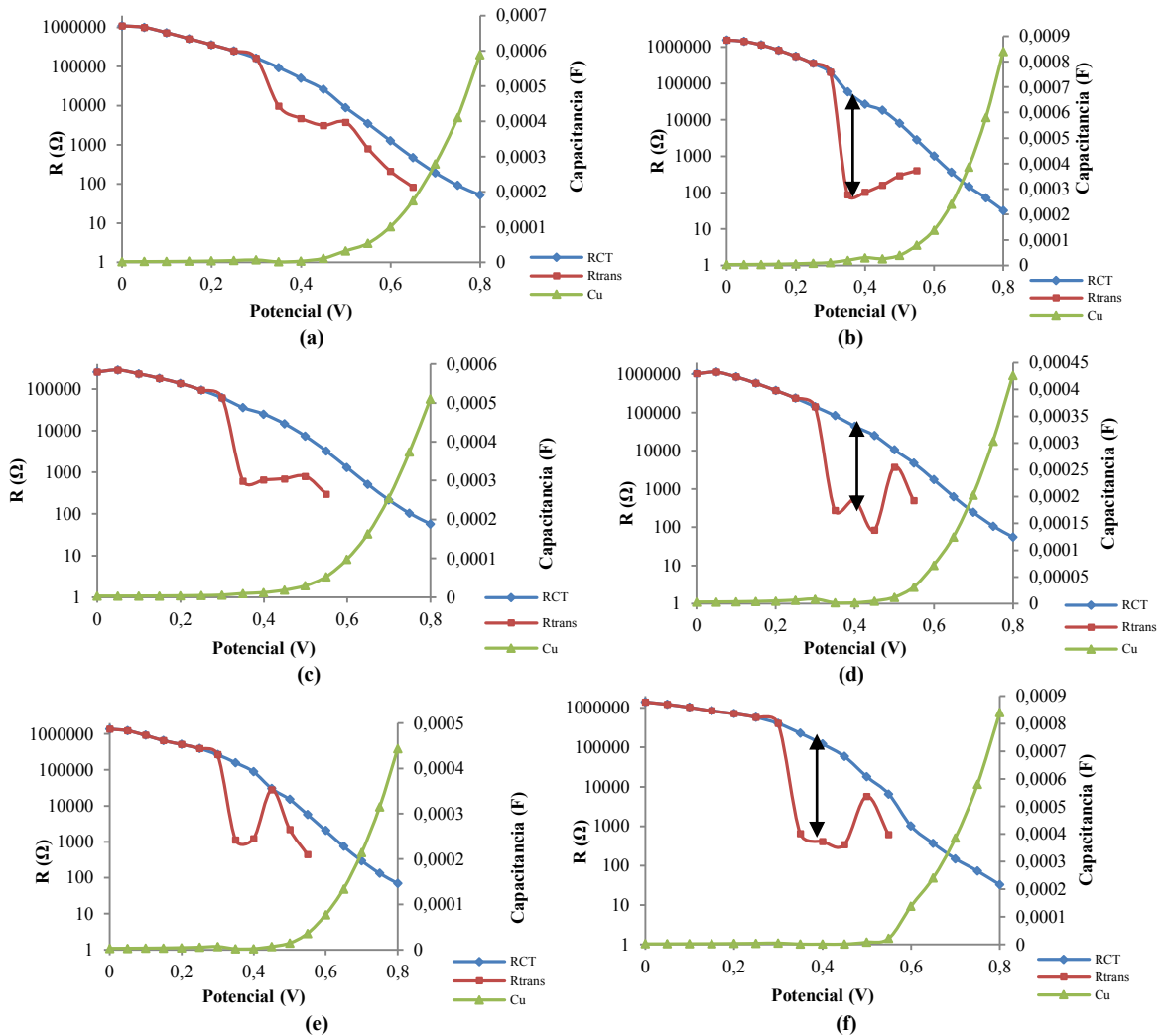
Del modelado de las curvas de Nyquist para el barrido completo de impedancia para cada celda, se obtienen los valores de los parámetros  $R_{series}$ ,  $R_{Pt}$ , CPE- $T_{Pt}$ , CPE- $P_{Pt}$ ,  $R_{CT}$ , CPE- $T_{CT}$ , CPE- $P_{CT}$ , donde los valores CPE-T son los valores de capacitancia química, y CPE-P son valores entre 0,8-1 que indican la idealidad del elemento capacitivo; y los parámetros DX1-R, DX1-D y DX1-E, que corresponden a la resistencia al transporte en la línea de transmisión, la capacitancia del  $TiO_2$  y la idealidad del capacitor, respectivamente.

Con los parámetros obtenidos del análisis de EIS, se calcula la capacitancia química corregida,  $C_{corr}$  y a partir de este parámetro se puede calcular el tiempo de vida media de los electrones,  $\tau_e$  y el tiempo de transporte de los electrones en el  $TiO_2$ ,  $\tau_{trans}$ , así como la densidad de estados, DOS.

En la Figura 3.13 se muestran las gráficas de  $R_{CT}$  y  $R_{trans}$  en función del voltaje, así como de la capacitancia química ( $C_{corr}$ ) en función del voltaje, para cada una de las celdas analizadas con impedancia electroquímica. Como se puede observar todas presentan un comportamiento similar, sin embargo las diferencias en las resistencias de transferencia de carga y de transporte de electrones puede explicar las eficiencias de conversión energéticas, mostradas en el Cuadro 3.1.

Como ya se mencionó anteriormente, la resistencia a la transferencia de carga,  $R_{CT}$ , es la resistencia a la recombinación de los electrones en el  $TiO_2$  hacia el electrolito, por lo que idealmente se espera obtener valores altos de  $R_{CT}$ , de modo que la recombinación con el electrolito sea la mínima posible. La resistencia de transporte de electrones en el  $TiO_2$ ,  $R_{trans}$ , es la resistencia al paso de los electrones a través de la estructura mesoporosa de  $TiO_2$ , de modo que idealmente se espera que este valor sea el mínimo posible, para que los electrones sean transportados a través del semiconductor hasta llegar al sustrato de FTO y así poder salir al circuito externo, llegar al contraelectrodo y terminar el ciclo regenerando el par redox del electrolito.





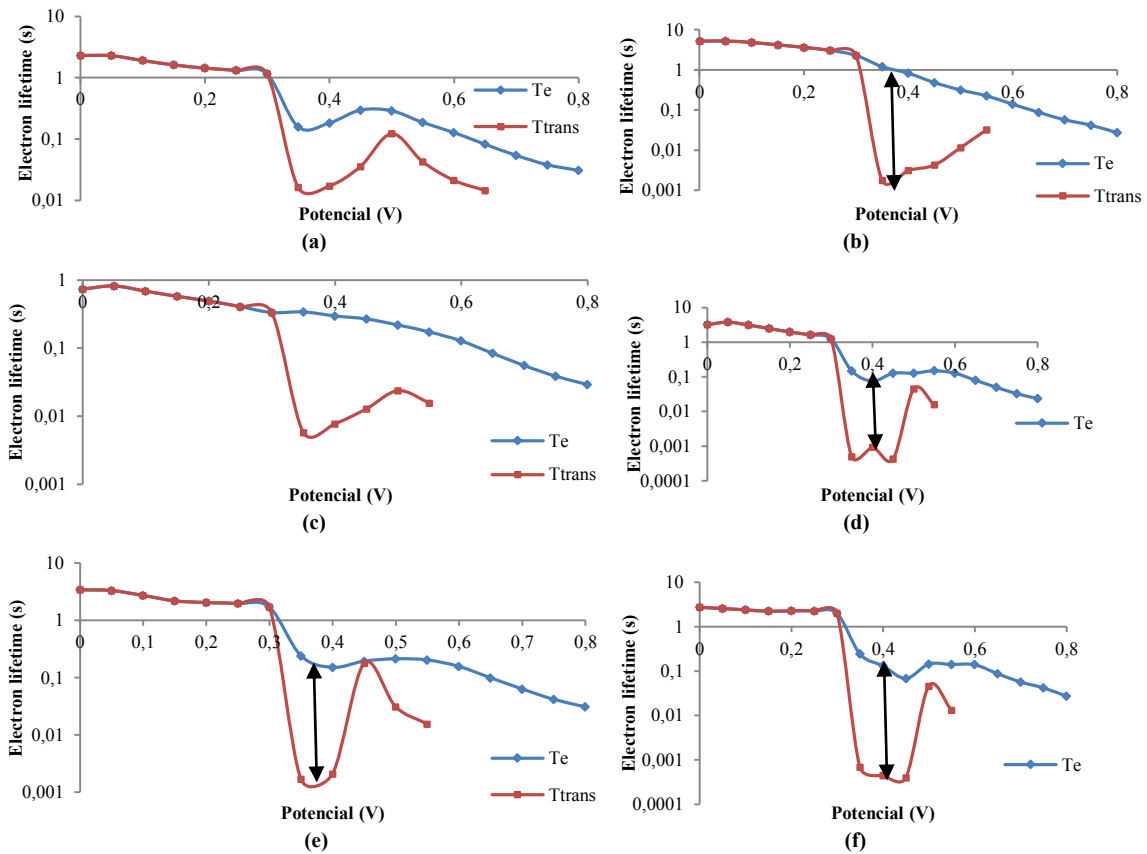
**Figura 3.13.** Gráficas de resistencia a la transferencia de carga (recombinación),  $R_{CT}$ , resistencia al transporte de electrones en el  $TiO_2$ ,  $R_{trans}$ , y de capacitancia química,  $C_u$ , en función del potencial aplicado, de las celdas (a) 1, (b) 2, (c) 4, (d) 6, (e) 7 y (f) 8, sensibilizadas con el tinte de referencia Z907.

A potenciales bajos, como ya se mencionó con anterioridad, prácticamente no hay transporte de electrones en el  $TiO_2$ , por lo que a potenciales medios y altos si se puede observar el comportamiento de dicho transporte en las celdas. Para un buen funcionamiento de la celda, y para obtener mayores eficiencias, la  $R_{CT}$  debe ser mayor que  $R_{trans}$ , idealmente  $R_{CT} \gg R_{trans}$ , a potenciales medios y altos, para que la mayoría de los electrones fotogenerados sean transportados desde el  $TiO_2$  al FTO, y entre mayor sea  $R_{CT}$  con respecto a  $R_{trans}$ , más favorecido se ve el transporte de electrones y no la recombinación de los mismos (Q. Wang

et al., 2005). Como se puede observar las celdas 2, 6 y 8 presentan una mayor diferencia entre  $R_{CT}$  y  $R_{trans}$  que el resto de las celdas, por lo que se podría decir que esta es una de las razones por las que estas celdas presentan eficiencias altas, sin embargo se requiere analizar otros parámetros para explicar mejor los resultados de eficiencia obtenidos.

Como se puede observar en las gráficas anteriores, el comportamiento de la capacitancia química de las celdas es muy similar para todas las celdas medidas, y se obtuvo un comportamiento exponencial, según lo reportado por la literatura. Para las celdas 2 y 8, a potenciales altos (0,8 V), el sistema llegó aproximadamente 8 mF, mientras que para las demás celdas se obtuvieron valores entre 0,45-0,6 mF, lo que significa que en las celdas 2 y 8, se llenaron más electrones en las trampas del  $TiO_2$ , y poseen más electrones en la banda de conducción, que se pueden transportar hasta el FTO; esta es otra de las razones por las cuales estas celdas presentan eficiencias más altas en comparación con las demás celdas medidas.

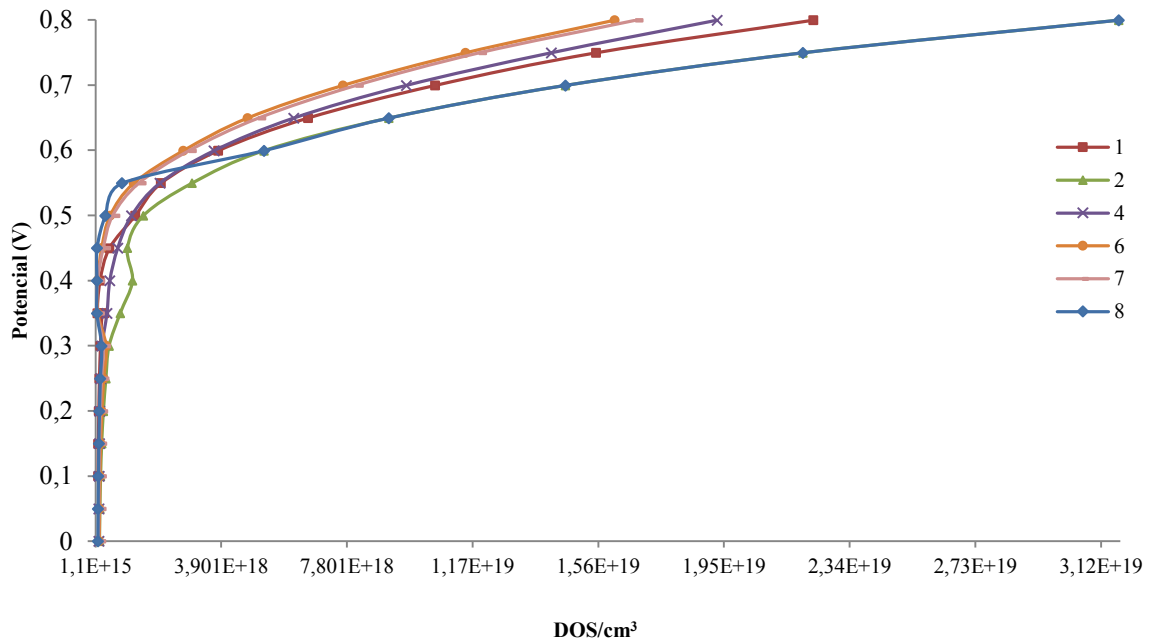
En la figura 3.14 se muestran las gráficas de vida media del electrón,  $\tau_e$ , y tiempo de transporte de los electrones en el  $TiO_2$ ,  $\tau_{trans}$  en función del potencial aplicado a las celdas. Para un buen funcionamiento de las DSSCs se requiere que los tiempos de transporte de los electrones en el  $TiO_2$  sean mucho menores que los tiempos de vida media del electrón en la celda; es decir, que el proceso de transporte a través del semiconductor sea más rápido. En la literatura se ha reportado que para una buena recolección de los electrones,  $\tau_{trans} > \tau_e$  en al menos  $10^2$  órdenes de magnitud. Como se puede observar en la figura, las celdas 2, 6, 7 y 8 presentan tiempos de transporte de electrones mucho menores que las vidas medias de los electrones en la celdas, y en general, si presentan diferencias de  $10^2$  ordenes de magnitud con respecto a  $\tau_e$ , por lo que esta es otra de las razones por las cuales estas celdas presentan altos valores de eficiencia.



**Figura 3.14.** Gráficas de vida media del electrón y tiempo de transporte, en función del potencial aplicado, de las celdas (a) 1, (b) 2, (c) 4, (d) 6, (e) 7 y (f) 8, sensibilizadas con el tinte de referencia Z907.

En la Figura 3.15 se muestran las gráficas de comportamiento de la densidad de estados del  $\text{TiO}_2$  para el potencial aplicado a la celda. Como ya se explicó anteriormente, la capacitancia química es proporcional a la densidad de estados, y presentan un comportamiento exponencial tal y como se obtuvo para las celdas analizadas. Entre mayor sea el voltaje aplicado hay mayor cantidad de electrones en el  $\text{TiO}_2$ , y a potenciales altos, se mueve el nivel Fermi hacia la CB del semiconductor, favoreciendo el transporte de electrones dentro del  $\text{TiO}_2$ , por medio de los estados de superficie. En las celdas en las que hay una mayor densidad de estados, DOS, hay más probabilidades de transporte de electrones dentro del  $\text{TiO}_2$ , y no hacia el electrolito, y se espera que presenten eficiencias mayores. Como el comportamiento de todas las celdas es muy similar, sin embargo para las celdas 2 y 8 se obtuvo la mayor

DOS, tal y como se esperaba, ya que estas celdas poseen eficiencias de conversión energética mayores que las demás celdas analizadas.



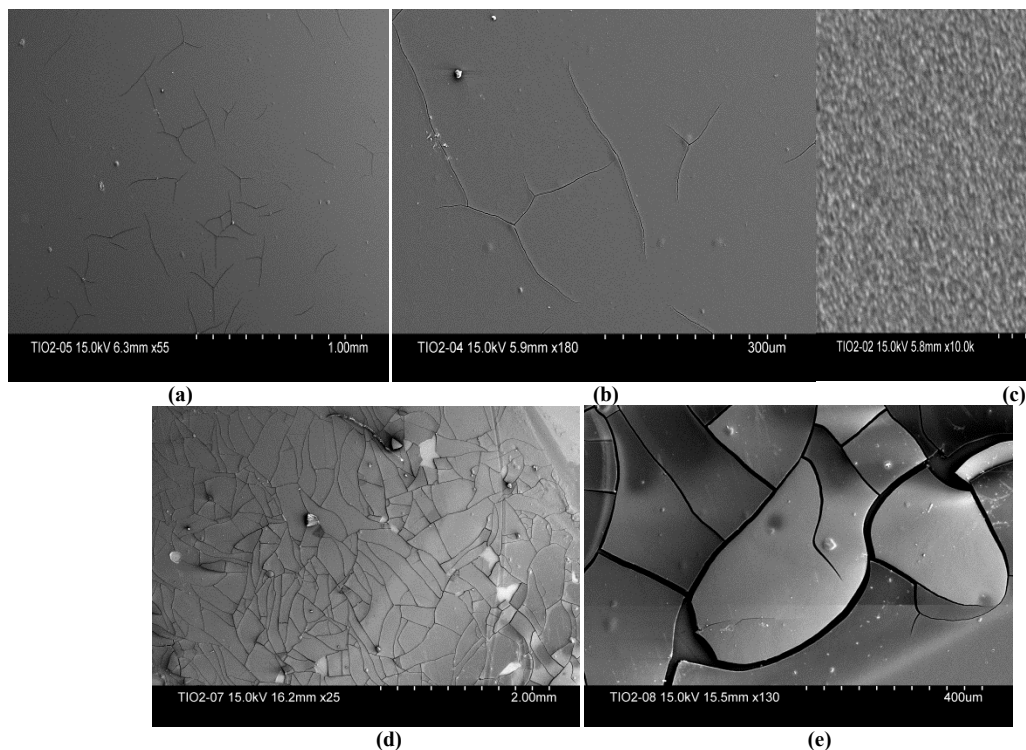
**Figura 3.15.** Gráfica de densidad de estados, DOS, para las celdas sensibilizadas con el tinte Z907.

Con el análisis de EIS de las celdas sensibilizadas con el tinte de referencia Z907, se evidencia que las celdas con menores eficiencias presentan mayores tasas de recombinación de los electrones con el electrolito, ya que su resistencia a la recombinación no es tan alta en comparación con la resistencia al transporte de electrones en el  $\text{TiO}_2$ ; además sus tiempos de transporte de electrones en el semiconductor no son tan bajos como se esperaría, causando que los electrones tengan tiempo de recombinarse con el electrolito, y que sus densidades de estados son más bajas con respecto a las celdas de mayor eficiencia, de modo que hay menos trampas en donde se puedan acumular los electrones y con ello disminuyen los procesos de captura/liberación de los electrones entre los estados superficiales del  $\text{TiO}_2$ , resultando en una menor inyección de electrones y con ello menores eficiencias.

Los resultados anteriores revelan que algún paso del ensamblamiento de las celdas no es uniforme, ya que las celdas fueron armadas de la misma forma y bajo las mismas condiciones,

utilizando el mismo tinte, por lo que se esperarían obtener resultados muy similares para todas las celdas ensambladas con el mismo tinte. Uno de los factores que más puede estar influyendo en la recombinación de los electrones, es la morfología de la pasta de  $\text{TiO}_2$  utilizada en el electrodo de trabajo o fotoánodo.

Para que haya un buen transporte de electrones, la pasta de  $\text{TiO}_2$ , porosa y de partículas nanométricas, se sinteriza a  $450\text{ }^\circ\text{C}$  para eliminar cualquier impureza orgánica, y sobre todo para mejorar el empaquetamiento de las partículas, ya que se unen mejor y esto permite un mejor transporte de los electrones. Sin embargo con la pasta utilizada para el ensamble de las celdas analizadas, la pasta Ti-Nanoxide-T 1145 de Solaronix S.A, se presenta el problema de craquelado de la pasta después del sinterizado. En la figura 3.16, se muestran imágenes SEM de dos tipos de pastas de  $\text{TiO}_2$  sinterizadas, de la pasta comercial Ti-Nanoxide-T de Solaronix



**Figura 3.16.** Imágenes de microscopía de barrido electrónico (SEM), para dos muestras de electrodos de  $\text{TiO}_2$  sinterizados, (a), (b) y (c) para un electrodo en buenas condiciones aparentes y (d) y (e) para un electrodo en mal estado.

Para un buen funcionamiento de la celda, la capa del semiconductor debe ser lo más uniforme posible para promover el transporte de los electrones dentro del mismo, sin embargo como se puede notar en las imágenes 3.16 (a)-(c) que corresponden a un electrodo que a simple vista se veía en perfectas condiciones, sí presenta canalizaciones (craquelado), y estas representan lugares ideales para que los electrones se recombinen con el electrolito, ya que las partículas del semiconductor se separan. En las Figuras 3.16 (d)-(e), se muestran imágenes SEM de un electrodo en donde a simple vista se podía notar el craquelado de la pasta después del sinterizado, y como se puede notar, la pasta presenta canalizaciones muy grandes que facilitan la recombinación de los electrones con el electrolito.

La aplicación de la pasta se realiza mediante la técnica Dr. Blading explicada en el anexo D, y el grosor de la pasta aplicada no se puede controlar para que sea uniforme y siempre el mismo, y en el laboratorio se observó que en pastas con algunas secciones más gruesas que otras, estas se craquea con las altas temperaturas del sinterizado, de modo que para tratar de evitar este craquelado, se trató de realizar la aplicación de la pasta lo más uniforme posible y tratando de hacer pastas muy delgadas. Sin embargo como se mostró en la figura anterior, aún cuando la pasta se ve uniforme después del sinterizado a simple vista, puede presentar pequeñas canalizaciones por donde se pierden los electrones; por ello es necesario utilizar otro tipo de pasta que sea más viscosa y permita una aplicación más uniforme, y que no se craquee con el sinterizado. También se puede utilizar otra técnica de aplicación de la pasta, “screen printing”, en el cual se usa una máquina que realiza una aplicación de la pasta, similar a la serigrafía, y con esta técnica se obtienen pastas uniformes del grosor adecuado.

Como se mencionó con anterioridad, el grosor promedio de las pastas de  $\text{TiO}_2$  aplicadas es de  $3,3 \mu\text{m}$ , que se obtiene con una sola aplicación de la pasta sobre el FTO; sin embargo los grosores óptimos reportados en la literatura se encuentran entre  $10\text{-}12 \mu\text{m}$  por lo que se trató de realizar una segunda o tercera aplicación de pasta sobre la primera para aumentar el grosor, y siempre se obtuvieron pastas craqueladas; por lo que de nuevo se presenta la necesidad de utilizar otro tipo de pasta y método de aplicación de la misma para mejorar los electrodos, y

con ello mejorar el funcionamiento de la celda y obtener mejores eficiencias de conversión energética.

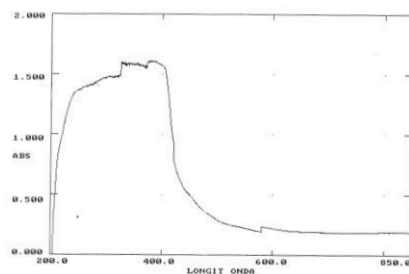
### 3.2. Celdas solares sensibilizadas con pigmentos naturales

Se escogieron cuatro pigmentos naturales para utilizarlos como sensibilizantes en DSSC y caracterizar la eficiencia de conversión de energía solar en energía eléctrica; dichos pigmentos son extractos de Picramnia, curcumina, caimito y rosa de jamaica.

#### Picramnia

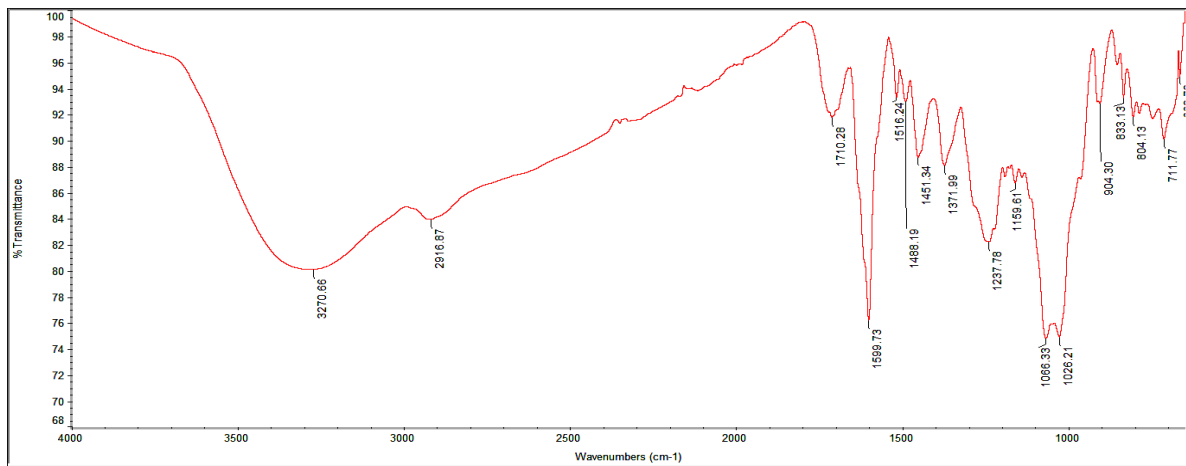
La Picramnia es una planta perteneciente a la familia Simaroubaceae, de las cuales hay cerca de 90 especies distintas encontradas en Centroamérica, principalmente en Costa Rica y Panamá, y en menor cantidad en Honduras y México. El nombre científico de la especie utilizada es *Picramnia latifolia* Tul (Diaz et al., 2004), y fue recolectada en la Reserva privada Cantarranas, en Bajo los Calvo, Acosta. Para la extracción del pigmento se utilizaron solo los frutos de esta planta, los cuales son de color anaranjado-rojizo. No se ha reportado en la literatura los componentes.

En la Figura 3.17 se muestra el espectro UV-Vis del extracto de la Picramnia en metanol (MeOH), y como se puede observar este pigmento absorbe en la parte ultravioleta del espectro electromagnético, con un máximo de absorción,  $\lambda_{\text{máx}}$ , de 325 nm, sin embargo, aunque con una menor intensidad, absorbe en la región de 400 nm a 600 nm, que cae dentro de la región visible, y este pigmento se puede utilizar para absorber radiación visible proveniente del sol.



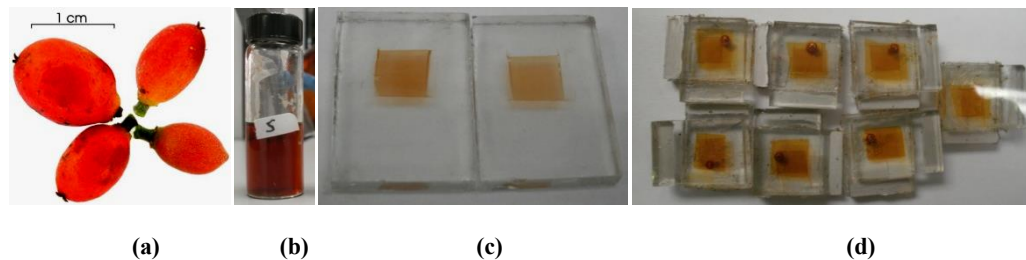
**Figura 3.17.** Espectro UV-Vis del extracto de Picramnia en MeOH.

En la Figura 3.18 se muestra el espectro FT-IR del extracto de Picramnia. Como se puede observar, entre sus bandas características en ( $\text{cm}^{-1}$ ) se encuentran 3270,66 (a), asignada a vibraciones O-H, 1710(d) asignada a tensiones del grupo C=O carboxílico, 1599,73(f) asignada a tensiones del C=O de un grupo carboxilato, 1451,34(d) debida a tensiones C-O del y 1066,33(d) a tensiones O-H. Los grupos funcionales encontrados son adecuados para el anclaje al  $\text{TiO}_2$  por lo que es un pigmento apto para su uso en DSSC.



**Figura 3.18.** Espectro FT-IR del extracto de Picramnia.

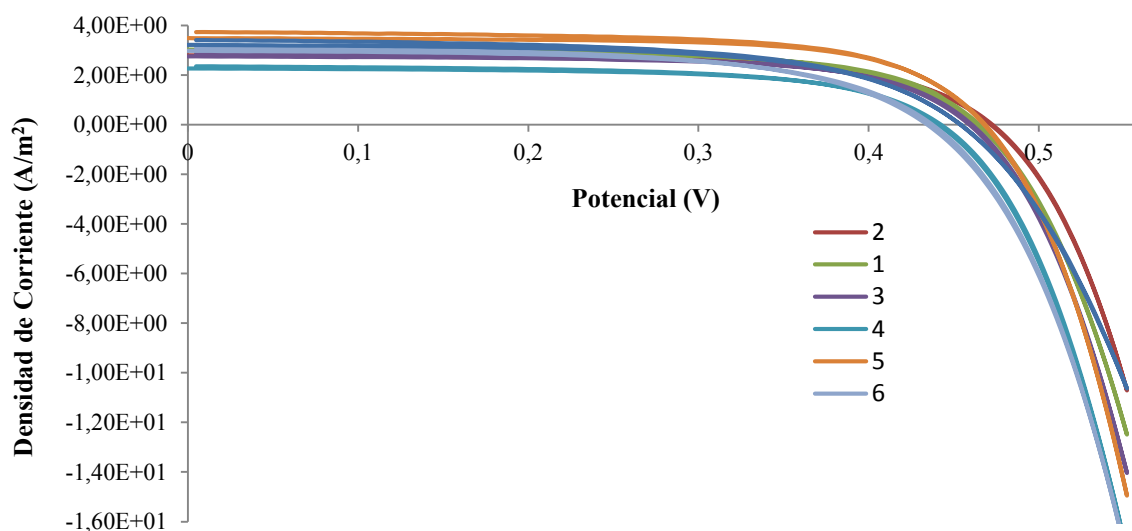
Con la interpretación de los espectros anteriores se determina que este pigmento posee algunas de las características necesarias para ser utilizado como sensibilizante en DSSC, por lo que se ensamblaron siete celdas con dicho pigmento, tal y como las que se muestran en la Figura 3.19.



**Figura 3.19.** Fotografía de (a) frutos de Picramnia, (b) extracto de picarnia, (c) electrodos de  $\text{TiO}_2$  con el pigmento adsorbido y (d) celdas solares sensibilizadas con el extracto de picarnia (Smithsonian, 2006).



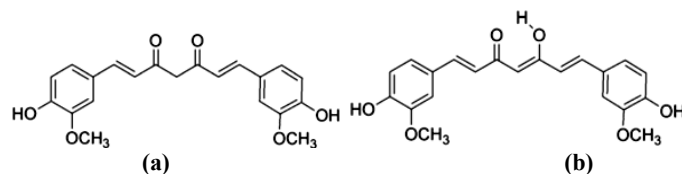
Se obtuvieron las curvas I-V para cada una de las celdas ensambladas, y se muestran en la Figura 3.20. Como se puede observar en dicha figura, las curvas de I-V obtenidas para las celdas sensibilizadas con el extracto de Picramnia presentan el comportamiento esperado, que es el comportamiento análogo a un diodo tal y como se explicó con anterioridad. Además se puede observar que las curvas son muy similares entre sí, por lo que se espera que la variabilidad entre las eficiencias obtenidas no sea muy grande, o sea, que la desviación estándar con respecto a la media de las eficiencias sea pequeña.



**Figura 3.20.** Curvas de densidad de corriente en función del potencial para las celdas sensibilizadas con el pimiento natural extraído de la Picramnia.

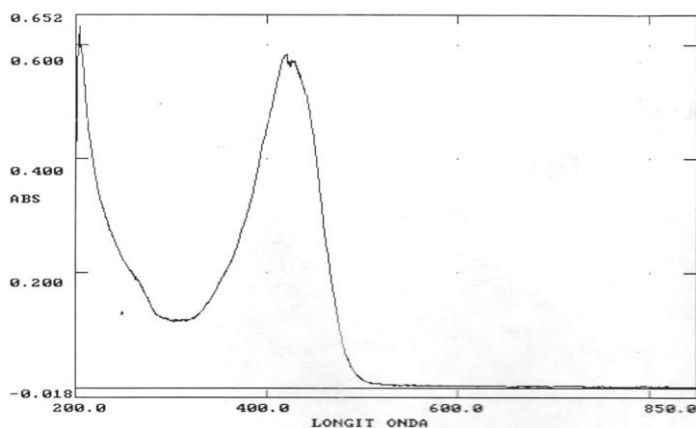
### Curcumina

La curcumina (curcumin en inglés), es un compuesto presente en el extracto de la planta *Curcuma longa L*, la cual es miembro de la familia de los jengibres, *Zingiberaceae*, y es una planta herbácea monocotiledónea perenial. Es utilizado como colorante natural debido a su color amarillo intenso y es proveniente de regiones subtropicales de Asia, particularmente China e India. En la figura 3.21 se muestran los tautómeros de uno de los compuestos encontrados en la curcumina, que presenta equilibrio ceto-enol.



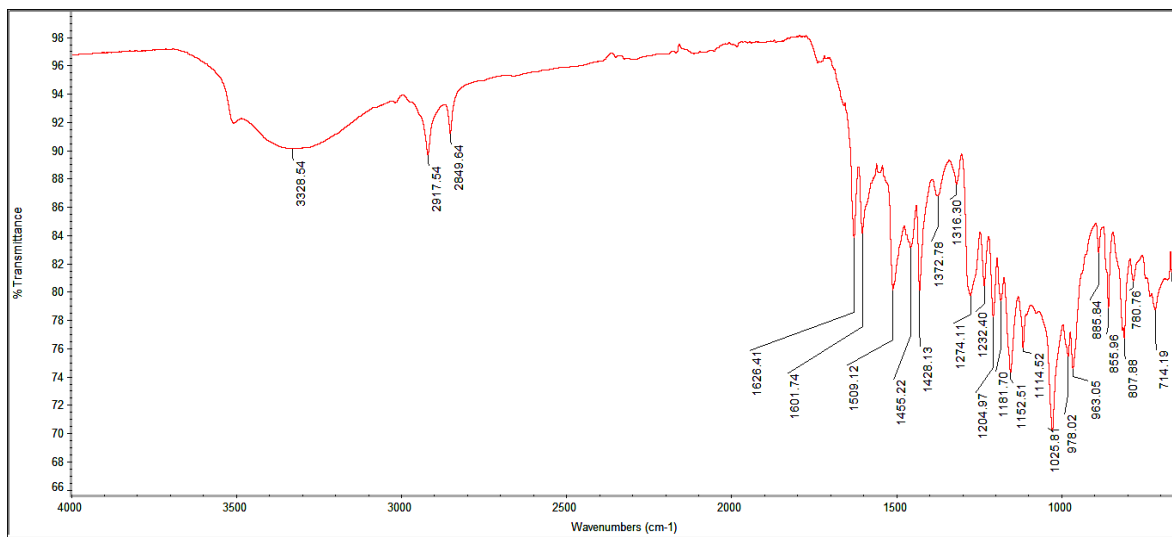
**Figura 3.21.** Estructuras moleculares de la curcumina (a) en su forma ceto y (b) en su forma enólica.(Esatbeyoglu et al., 2012)

En la Figura 3.22 se muestra el espectro UV-Vis del extracto de curcumina en MeOH, y como se puede observar este extracto posee un máximo de absorción,  $\lambda_{\text{máx}}$ , de 435 nm, el cual se encuentra dentro de la región visible del espectro electromagnético, lo cual indica que este extracto se podría usar como un potencial sensibilizante en celdas solares, ya que absorbe en la región deseada.



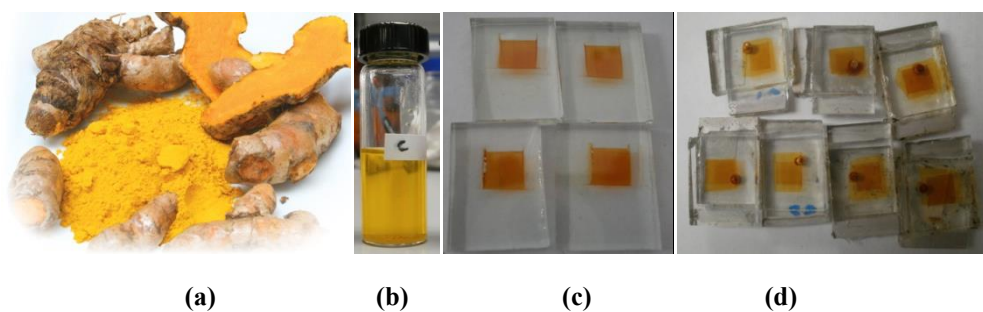
**Figura 3.22.** Espectro UV-Vis del extracto de curcumina.

El espectro FT-IR del extracto de curcumina se muestra en la Figura 3.23, y como se puede observar, entre sus bandas características en ( $\text{cm}^{-1}$ ) se encuentran 3328,54 (d), asignada a vibraciones O-H, 2917,54(d) asignada a tensiones O-H de un ácido carboxílico, 1626,41(m) y 1509,12(f) asignada a tensiones del C=O de un grupo carboxilato, 1428,13(d) debida a tensiones C-O del grupo carboxilato, 1152,51(m) asignada a tensiones C-O de grupos éter, 1025,18(f) a tensiones O-H, 807,88(m) de tensiones C-H aromáticos; bandas que concuerdan con las esperadas para las estructuras mostradas en la figura 3.21, y muestran que este extracto posee grupos funcionales que se pueden anclar al  $\text{TiO}_2$ .



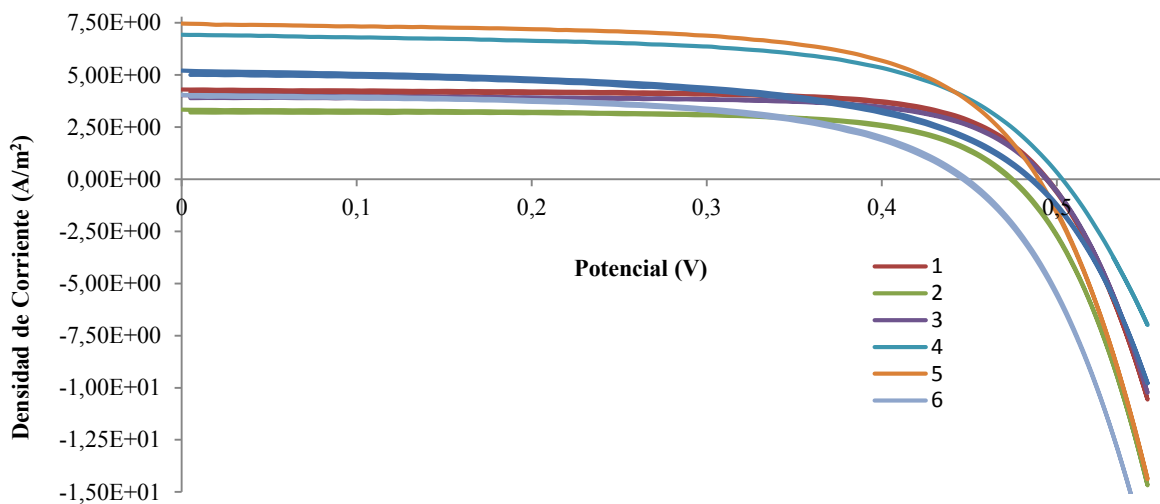
**Figura 3.23.** Espectro FT-IR del extracto de curcumina.

Debido a las características del extracto, se determinó que tiene potencial para funcionar como sensibilizante en DSSC, por lo que se ensamblaron siete celdas solares con este pigmento para obtener su eficiencia de conversión energética, así como información del comportamiento de las mismas; en la Figura 3.24 se muestran fotografías de algunos electrodos de TiO<sub>2</sub> con el pigmento adsorbido y de algunas de las celdas ensambladas con este pigmento.



**Figura 3.24.** Fotografía de (a) curcumina, (b) extracto de curcumina, (c) electrodos de TiO<sub>2</sub> con el pigmento adsorbido y (d) celdas solares sensibilizadas con el extracto de curcumina.

Se obtuvieron las curvas características de I-V para cada una de las celdas sensibilizadas con el pigmento de la curcumina, y se muestran en la Figura 3.25.



**Figura 3.25.** Curvas de densidad de corriente en función del potencial para las celdas sensibilizadas con el pimiento natural extraído de la Curcumina.

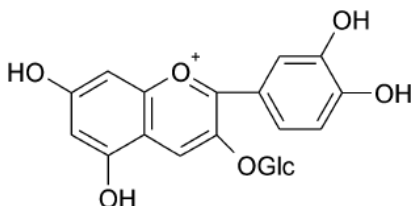
El comportamiento de las curvas I-V mostradas en la figura anterior es muy similar al comportamiento esperado, sin embargo, para este pigmento se observa una mayor diferencia entre las curvas que para las obtenidas con la Picramnia, por lo que se espera obtener un mayor valor de la desviación estándar de los datos de eficiencia alcanzados por cada celda.

### **Caimito**

El caimito (star apple en inglés), también conocido como guayabillo es un fruto comestible, de color morado púrpura (cuando está maduro), de la familia Sapotaceae, cuyo nombre científico es *Chrysophyllum cainito* L. Es de origen exótico, de Centroamérica e islas del Caribe y se ha distribuido hasta África, Australia, Asia sureste, etc; en Costa Rica es un fruto abundante que se encuentra en el este y oeste del Valle Central. (Rojas-Rodríguez & Torres-Córdoba, 2012)

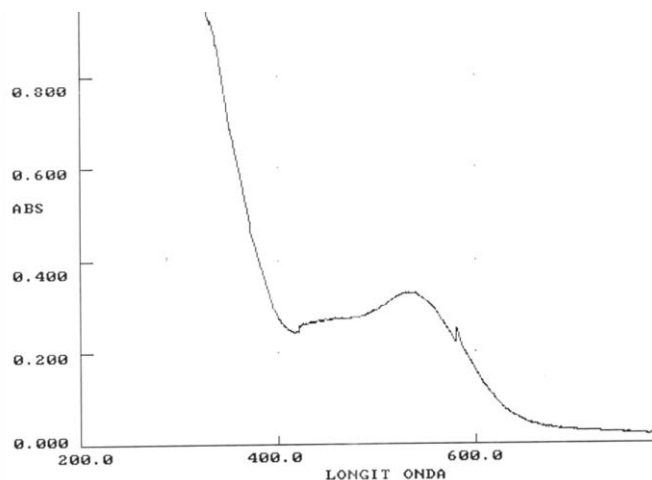
El extracto utilizado como sensibilizante para celdas solares, es el extracto etanólico de caimito, pasado por una columna cromatográfica de HP20 para eliminar azúcares y grasas, y ajustado a un pH de 3.

El color vino del caimito, y sus extractos se debe a grupos antocianinas; se ha encontrado que una de las antocianinas presentes en el caimito es cianidin-3-glucosida, que se muestra en la Figura 3.26 (Einbond et al., 2004).



**Figura 3.26.** Estructura molecular de la cianidin-3-glucosida encontrada en el caimito.(Einbond et al., 2004)

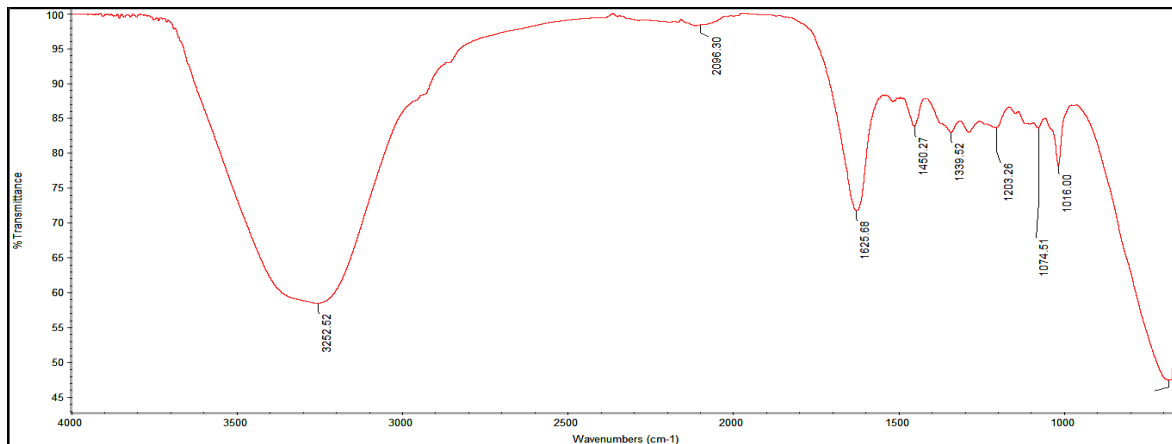
El espectro UV-Vis del extracto de caimito en EtOH se muestra en la Figura 3.27, y como se puede observar, este pigmento absorbe tanto en la parte UV, como en la visible, en donde presenta un máximo de absorción,  $\lambda_{\text{máx}}$ , de 535 nm, por lo cual este pigmento es un posible candidato para su uso como sensibilizante en DSSC.



**Figura 3.27.** Espectro UV-Vis del extracto de caimito.

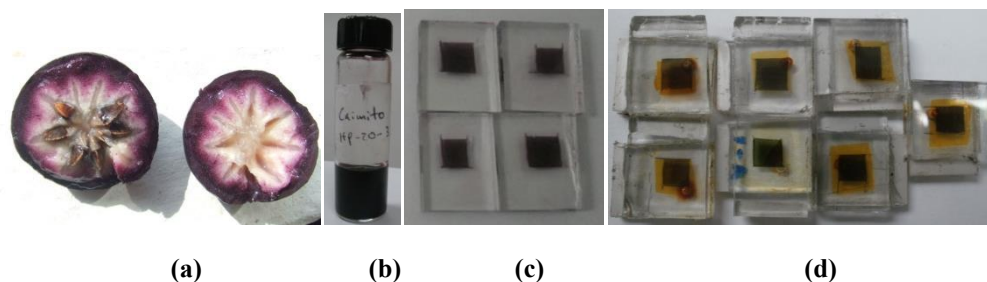
El espectro FT-IR del extracto de caimito se muestra en la figura 3.28, y entre sus bandas características en ( $\text{cm}^{-1}$ ) se encuentran 3252,52 (a), asignada a vibraciones O-H, 1625,68(m) asignada a tensiones del C=O de un grupo cetona, 1450,27(d) debida a tensiones C-O y

1016,0(d) a tensiones O-H. Este extracto no posee grupos ácidos pero si posee otros grupos funcionales que se pueden anclar al TiO<sub>2</sub>.



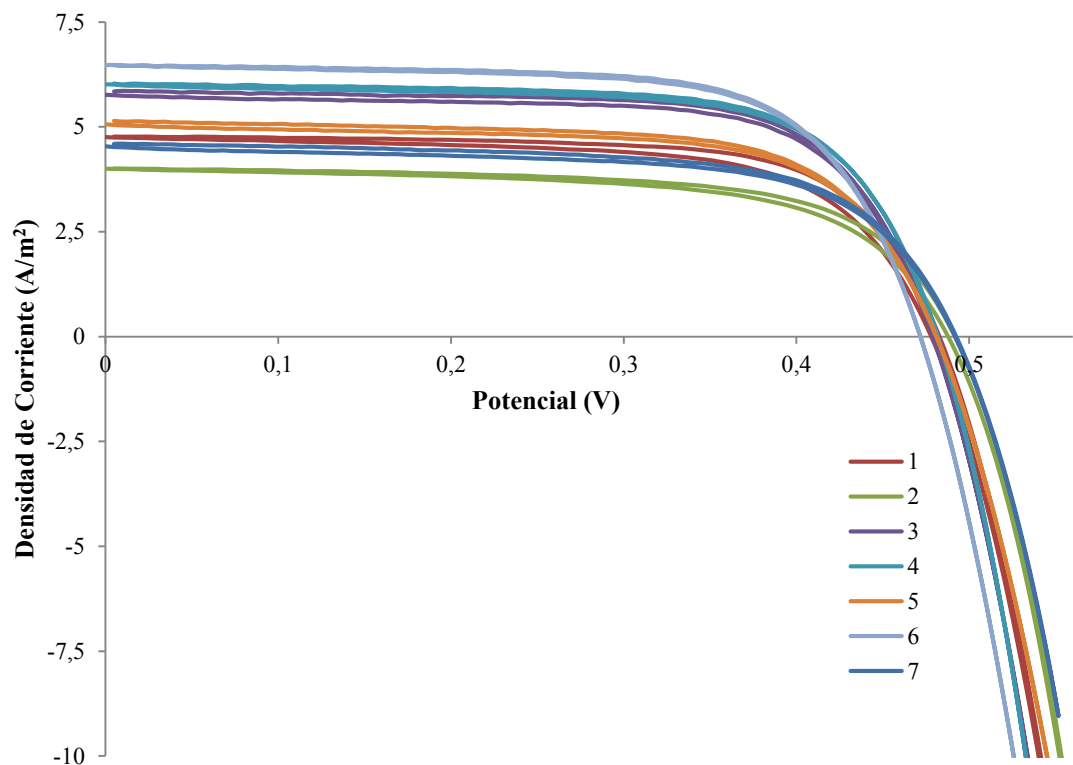
**Figura 3.28.** Espectro FT-IR del extracto de caimito.

Se ensamblaron siete celdas solares con este pigmento, ya que se determinó que posee la capacidad para funcionar como sensibilizante en DSSC; en la Figura 3.29 se muestran algunas de estas celdas.



**Figura 3.29.** Fotografía de (a) caimito, (b) extracto de caimito, (c) electrodos de TiO<sub>2</sub> con el pigmento adsorbido y (d) celdas solares sensibilizadas con el extracto de caimito.

Las curvas características I-V para las celdas sensibilizadas con extracto de caimito se muestran en la Figura 3.30. Al igual que para los dos extractos anteriores, las curvas presentan el comportamiento esperado según la literatura, y como se se puede observar, las curvas son muy similares para todas las celdas, por lo que se espera obtener un valor pequeño de desviación estándar con respecto a la media de las eficiencias alcanzadas por las celdas.

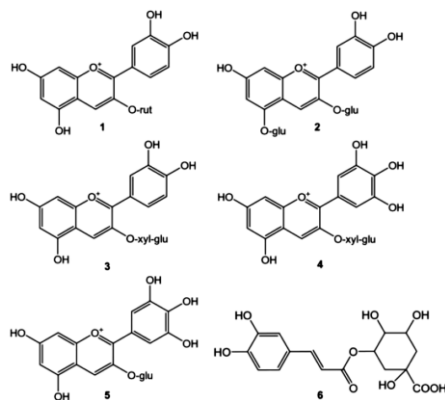


**Figura 3.30.** Curvas de densidad de corriente en función del potencial para las celdas sensibilizadas con el pimiento natural extraído del caimito.

### **Rosa de Jamaica**

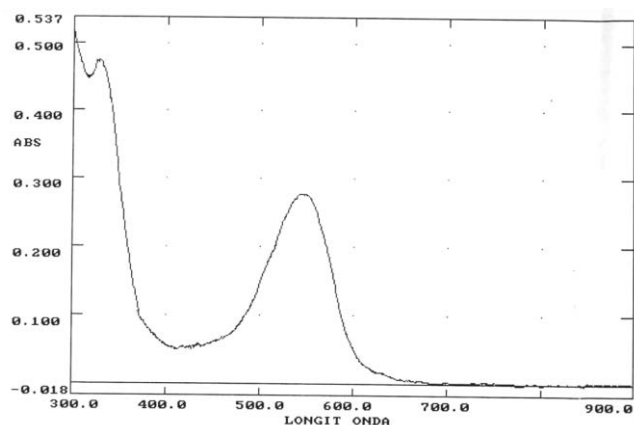
La rosa de Jamaica (Roselle en inglés), también conocida como flor de Jamaica o rosa Abisinia, es un hibisco perteneciente a la familia de las Malváceas, su nombre científico es *Hibiscus sabdariffa*, y es originaria de países tropicales de Asia, y su cultivo se ha extendido a México, América central y del Sur y en el sureste de Asia, siendo China, India y Sudán los mayores productores.(Galicía-Flores et al., 2008)

El color rojo-vino del extracto de la rosa de Jamaica, al igual que el caimito se debe a grupos antocianinas, y se han logrado caracterizar en su mayoría como se muestra en la Figura 3.31.



**Figura 3.31.** Estructuras moleculares de varias antocianinas encontradas en el extracto de rosa de Jamaica, cuyos nombres son (1) Cy-3-O-rutinosida, (2) Cy-3,5-diglucosida, (3) Cy-3-sambubiosida, (4) Dp-3-sambubiosida, (5) Dp-3-O-glucosida y (6) ácido clorogénico.(Segura-Carretero et al., 2008)

En la figura 3.32 se muestra el espectro UV-Vis del extracto de rosa de Jamaica, y como se puede observar, presenta un máximo de absorción en la región visible del espectro electromagnético,  $\lambda_{\text{máx}}$ , a 550 nm, por lo que es un buen candidato para ser usado como sensibilizante en DSSC.

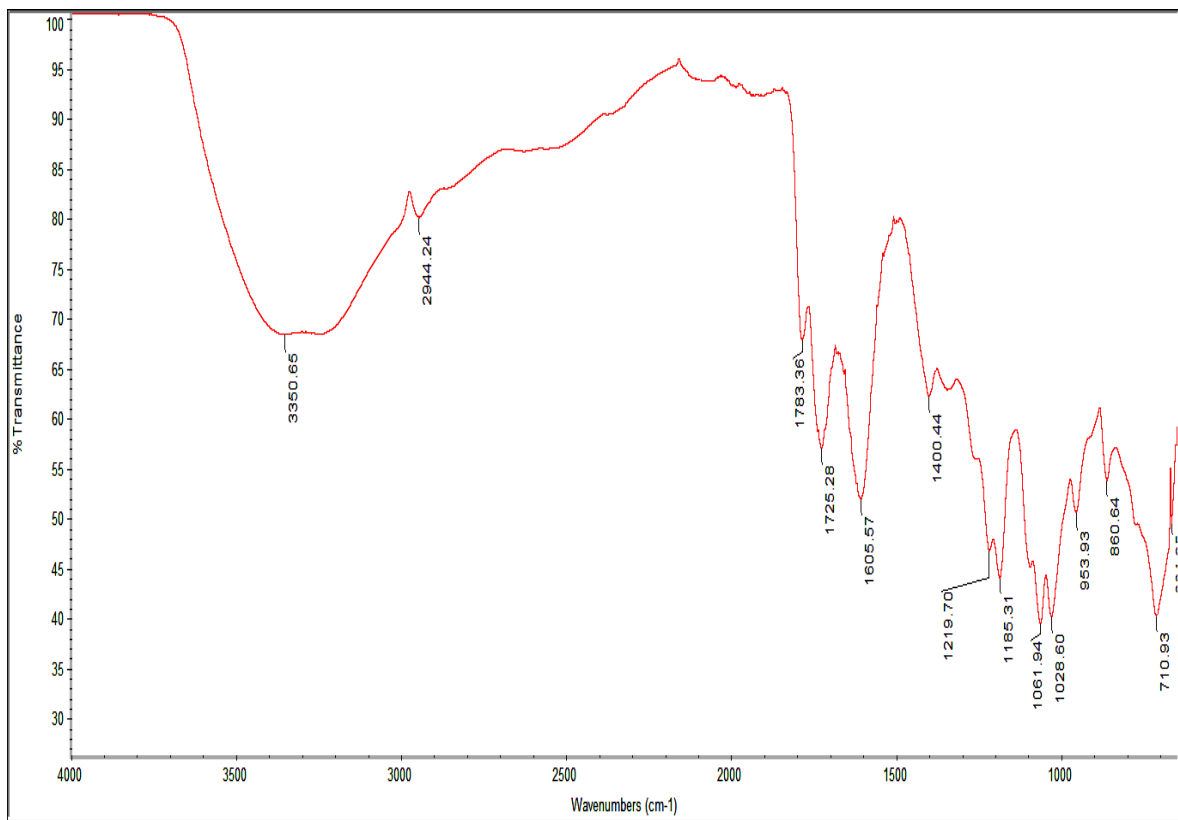


**Figura 3.32.** Espectro UV-Vis del extracto de rosa de jamaica.

El espectro FT-IR del extracto de la rosa de Jamaica se muestra en la Figura 3.33. Como se puede observar en dicho espectro, las bandas principales en  $\text{cm}^{-1}$  son: 3350(a) que se asigna a vibraciones de tensión de grupos O-H, 1725(m) se asigna a vibraciones de tensión de grupos

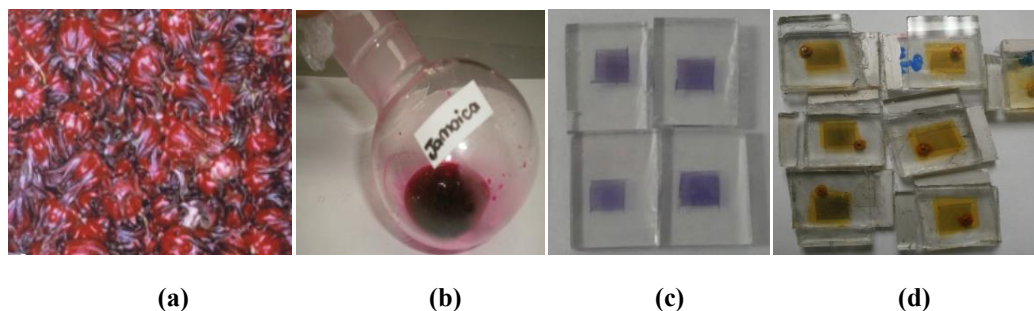


C=O carboxílicos, 1605(m) se asigna a vibraciones de deformación de grupos  $-CO_2^-$ , la banda a 1185(d)  $cm^{-1}$  se asigna a vibraciones de deformación de grupos C-O fenólicos, y la banda a 1061,94(d) se asigna a torsiones de grupos O-H. Estos grupos funcionales están presentes en las antocianinas mostradas en la figura 3.31, y se puede decir que el pigmento de rosa de Jamaica contiene los grupos anclantes necesarios para el buen funcionamiento de la celda solar.



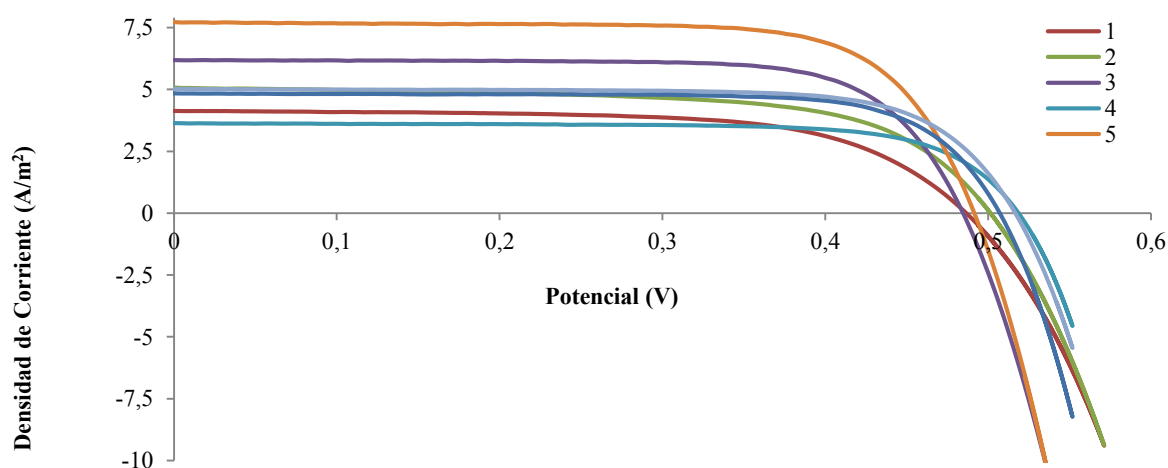
**Figura 3.33.** Espectro FT-IR del extracto de rosa de jamaica.

El pigmento de rosa de jamaica presenta buenas características para su uso como sensibilizante en DSSC, por lo que se ensamblaron siete celdas solares con este pigmento, como las mostradas en la Figura 3.34.



**Figura 3.34.** Fotografía de (a) rosa de Jamaica, (b) extracto de rosa de jamaica, (c) electrodos de  $\text{TiO}_2$  con el pigmento adsorbido y (d) celdas solares sensibilizadas con el extracto de rosa de Jamaica (Ismail, et al; 2008).

Se obtuvieron las curvas características de I-V para cada una de las celdas sensibilizadas con el extracto de rosa de Jamaica y se muestran en la Figura 3.35.



**Figura 3.35.** Curvas de densidad de corriente en función del potencial para las celdas sensibilizadas con el pigmento natural extraído de la jamaica.

Como se puede observar en la curvas I-V, para este pigmento también se obtuvo el comportamiento teórico esperado para todas las celdas, sin embargo, se observa una gran diferencia entre las muestras, por lo que se espera que haya una gran variabilidad entre las eficiencias alcanzadas por cada una.

En el Cuadro 3.3 se muestran los valores de los parámetros obtenidos de la caracterización de la eficiencia para todas las celdas ensambladas con los pigmentos naturales, a partir de sus curvas corriente-voltaje.

**Cuadro 3.3.** Datos obtenidos en la caracterización de las celdas sensibilizadas con extractos de Picramnia, curcumina, caimito y rosa de jamaica.

Pigmento	Celda	area (m <sup>2</sup> )	J <sub>sc</sub> (A/m <sup>2</sup> )	V <sub>oc</sub> (V)	P <sub>máx</sub> (W/m <sup>2</sup> )	FF	%n
Pic.	1	0,000033	2,793	0,469	0,851	0,650	0,085
Pic.	2	0,000030	3,024	0,464	0,850	0,606	0,085
Pic.	3	0,000030	2,755	0,459	0,833	0,659	0,083
Pic.	4	0,000036	2,267	0,439	0,643	0,646	0,064
Pic.	5	0,000033	3,485	0,464	1,161	0,718	0,116
Pic.	6	0,000033	2,971	0,435	0,783	0,607	0,078
Pic.	7	0,000033	3,217	0,454	0,947	0,648	0,095
Curc.	1	0,000039	4,297	0,493	1,383	0,652	0,138
Curc.	2	0,000030	3,344	0,474	0,981	0,619	0,098
Curc.	3	0,000036	4,020	0,493	1,284	0,648	0,128
Curc.	4	0,000033	6,925	0,503	1,925	0,553	0,192
Curc.	5	0,000033	7,472	0,488	1,865	0,511	0,186
Curc.	6	0,000033	4,043	0,444	0,970	0,540	0,097
Curc.	7	0,000033	5,206	0,483	1,268	0,504	0,127
Caim.	1	0,000029	4,760	0,469	1,599	0,717	0,160
Caim.	2	0,000027	4,005	0,479	1,290	0,673	0,129
Caim.	3	0,000039	5,764	0,479	1,959	0,710	0,196
Caim.	4	0,000028	6,011	0,479	1,965	0,683	0,197
Caim.	5	0,000036	5,061	0,479	1,651	0,682	0,165
Caim.	6	0,000028	6,470	0,469	2,066	0,681	0,207
Caim.	7	0,000030	4,534	0,488	1,484	0,670	0,148
Jam.	1	0,000030	4,133	0,486	1,311	0,653	0,131
Jam.	2	0,000033	5,077	0,500	1,654	0,652	0,165
Jam.	3	0,000036	6,186	0,483	2,242	0,750	0,224
Jam.	4	0,000028	3,640	0,518	1,377	0,731	0,138
Jam.	5	0,000033	7,729	0,488	2,823	0,748	0,282
Jam.	6	0,000039	5,028	0,513	1,961	0,761	0,196
Jam.	7	0,000036	4,848	0,503	1,879	0,771	0,188

En el Cuadro 3.4 se muestran los promedios para los parámetros característicos de una celda solar sensibilizada de cada uno de los pigmentos naturales utilizados.

**Cuadro 3.4.** Promedios de los parámetros característicos de las celdas solares sensibilizadas con extractos naturales.

Pigmento	J <sub>sc</sub> (A/m <sup>2</sup> )	V <sub>oc</sub> (V)	P <sub>máx</sub> (W/m <sup>2</sup> )	FF	%n
Picramnia	2,938±0,398	0,455±0,013	0,868±0,148	0,648±0,038	0,087±0,015
Curcumina	5,124±1,689	0,483±0,019	1,405±0,422	0,575±0,063	0,140±0,042
Caimito	5,229±0,882	0,477±0,007	1,716±0,288	0,688±0,018	0,172±0,029
Rosa de jamaica	5,235±1,360	0,499±0,013	1,892±0,525	0,723±0,050	0,189±0,052

Como se puede observar en el Cuadro 3.4 el caimito y la jamaica son los pigmentos con los que se obtienen mayores valores de corriente de corto circuito  $J_{SC}$ , y fillfactor FF, por lo que llevan a los valores más altos de potencia máxima y de eficiencia de conversión de energía. La rosa de jamaica presenta los valores más altos de los parámetros mencionados, por lo que se podría decir que es el mejor sensibilizante para DSSC de estos cuatro pigmentos; sin embargo, como se puede notar en el Cuadro 3.4, para todos sus parámetros, la rosa de jamaica presenta las desviaciones estándar más altas, por lo que el caimito es una buena alternativa ya que presenta una de las eficiencias más altas y la variabilidad dentro de sus muestras es menor, lo que es muy importante en la estandarización de un proceso.

En el Cuadro 3.4 también se puede notar que los valores de voltaje de circuito abierto,  $V_{OC}$ , alcanzados para todos los pigmentos es muy similar, se encuentran entre 0,455 V-0,499 V, que son valores comunes para DSSC sensibilizadas con pigmentos naturales; la diferencia entre los pigmentos radica en la corriente de corto circuito  $J_{SC}$  alcanzada por cada uno de ellos, la cual es una medida de que tan bien ancladas se encuentran las moléculas del pigmento al  $TiO_2$ , y con ello una mejor recolección de los electrones fotogenerados. Se obtuvo un valor promedio de  $J_{SC}$  de 2,94 A/m<sup>2</sup> para la Picramnia, mientras que para la rosa de Jamaica se obtuvo un valor promedio de 5,24 A/m<sup>2</sup>, por lo que se puede decir que las moléculas sensibilizantes del extracto de rosa de Jamaica se anclan en mayor medida al  $TiO_2$ , y hay una mejor recolección de los electrones generados con la absorción de luz solar.

Se escogió un diseño experimental completamente al azar (DCA), para comparar el efecto en la eficiencia de conversión energética, al utilizar los pigmentos Picramnia, curcumina, caimito y Jamaica como sensibilizantes; los cuales son los tratamientos,  $\tau_A$ ,  $\tau_B$ ,  $\tau_C$  y  $\tau_D$  respectivamente, y se utilizó un análisis de varianza ANOVA, para determinar la contribución de cada fuente de variación en la variación total observada en la eficiencia de conversión energética de las celdas solares sensibilizadas con dichos pigmentos.

En el DCA, las fuentes de variabilidad son los tratamientos y el error aleatorio; es decir solo se toma en cuenta un factor de bloque.

En el Cuadro 3.5 se muestran los datos obtenidos para el análisis de variancias, ANOVA, utilizando Excel como herramienta de análisis estadístico.

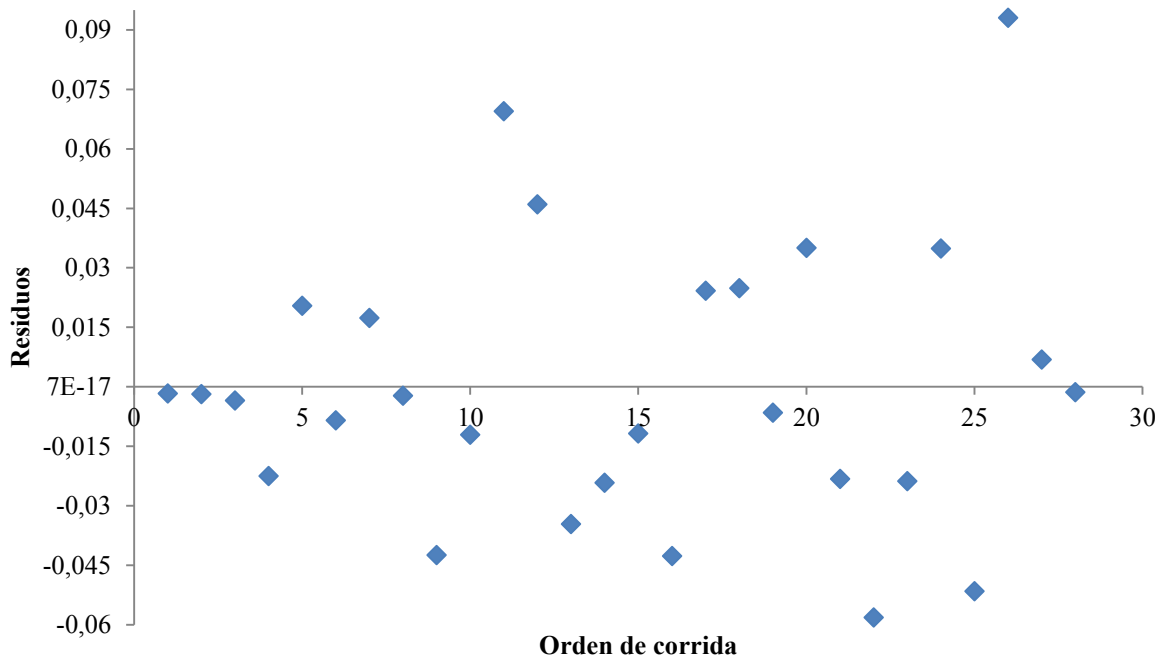
**Cuadro 3.5.** Datos obtenidos para el análisis de varianza ANOVA, obtenido con Excel.

Origen variaciones	Suma cuadrados	G.L	Prom de cuadrados	F	Prob	Valor crítico F
Entre grupos	0,0424	3	0,0141	10,13	0,000169	3,01
Dentro de los grupos	0,0335	24	0,0014			
Total	0,0759	27				

Las variaciones entre grupos mostradas en el Cuadro 3.5, corresponde a los efectos de los tratamientos, de modo que  $SC_{TRAT}=0,0424$  y  $CM_{TRAT}=0,0141$ , mientras que las variaciones dentro de los grupos corresponde al error aleatorio, de modo que  $SC_E=0,0335$  y  $CM_E=0,0014$ , Como se puede observar el valor de estadístico de prueba,  $F_o = 10,13$  es mayor que 3,01 que es el valor crítico de F, para una significancia de  $\alpha=0,05$  con 3 g,l en el denominador y 24 g,l en el numerador, por lo que se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias de los tratamientos, y se acepta la hipótesis alternativa.

Al rechazar la hipótesis nula de igualdad de medias, se verifica que la variabilidad en los datos de eficiencia de las celdas se debe a los tratamientos (a los pigmentos naturales) y no al error aleatorio. El valor del cuadrado medio del error es muy pequeño (0,0014), y eso indica que la variabilidad dentro de cada tratamiento es pequeña, y la mayor causa de variabilidad se debe a los pigmentos, Con esto se comprueba que la metodología utilizada para el ensamblamiento de las celdas es bueno ya que la variabilidad entre muestras de diferentes tratamientos se debe al efecto del tratamiento y no al error aleatorio.

En la Figura 3.36 se muestra la gráfica de residuos contra orden de corrida, para comprobar el supuesto de independencia. Como se puede apreciar, los datos no presentan ningún patrón o tendencia, por lo que se puede decir que los datos si son aleatorios, y nos hay una correlación entre sus errores, y se cumple el supuesto de independencia.

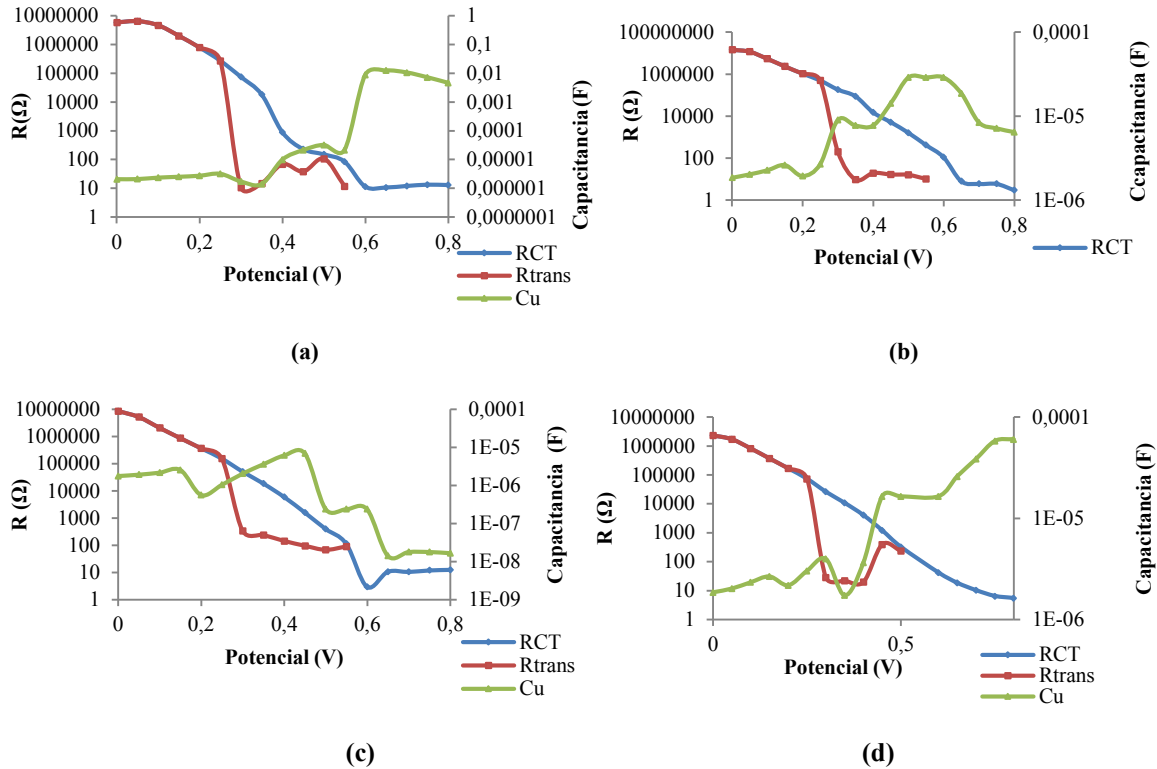


**Figura 3.36.** Gráfica de residuos contra orden de corrida para verificar supuesto de independencia,

### **Análisis EIS**

Se tomaron los datos de EIS para una celda sensibilizada con cada uno de los cuatro pigmentos naturales discutidos. Los datos obtenidos se modelaron utilizando el programa ZView2 y a partir del análisis de los datos se obtuvieron valores de,  $R_{CT}$ ,  $R_{trans}$ ,  $\tau_e$  y  $\tau_{trans}$ .

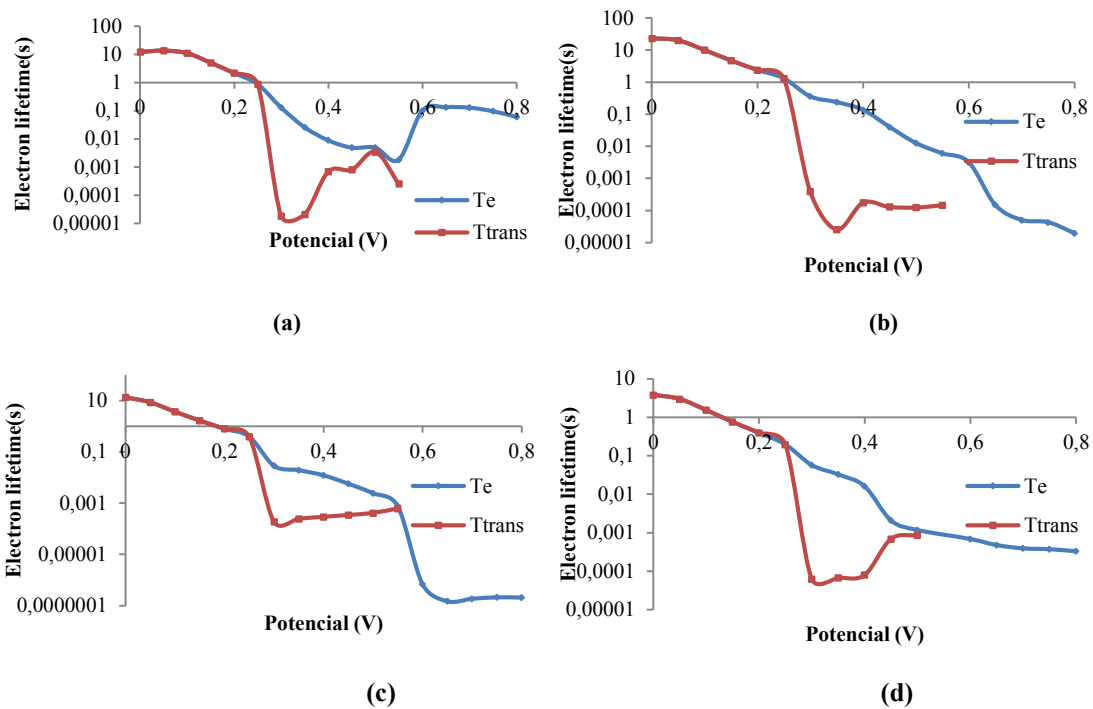
En la figura 3.37 se muestran las gráficas de  $R_{CT}$ ,  $R_{trans}$ , y  $C_{\mu}$  en función del potencial. Como se puede observar, las gráficas que se acercan más al comportamiento esperado son las obtenidas para las celdas sensibilizadas con caimito y con rosa de Jamaica, ya que presentan menores valores de  $R_{trans}$  en un mayor ámbito de potencial, y la diferencia entre  $R_{CT}$  y  $R_{trans}$  es mayor, lo que favorece el transporte de electrones en el  $TiO_2$  y no hacia el electrolito. Además para las celdas sensibilizadas con caimito y rosa de Jamaica se obtuvieron mayores valores de capacitancia, lo cual indica que para estas celdas hay una mayor densidad de estados.



**Figura 3.37.** Gráficas de capacitancia química y resistencias de carga y de transporte en función del potencial, para celdas sensibilizadas con (a) Caimito, (b) rosa de Jamaica, (c) curcumina, (d) picramnia.

De la misma forma, los pigmentos que mostraron un mejor comportamiento del tiempo de transporte de los electrones fotogenerados fueron las sensibilizadas con los pigmentos de caimito y rosa de Jamaica como se muestra en la Figura 3.38.

Debido al comportamiento mostrado con el análisis de EIS, con los datos de la caracterización de corriente-voltaje, y con los datos del análisis de varianza, se puede decir que los mejores pigmentos naturales son la rosa de Jamaica y el del caimito; sin embargo, aunque para el caimito la eficiencia sea un poco menor que para la de jamaica, es una mejor opción como sensibilizante, ya que presenta una variabilidad entre muestras más baja para la eficiencia obtenida, y presenta los mejores datos de  $R_{CT}$ ,  $R_{trans}$ , y  $\tau_e$ .



**Figura 3.38.** Gráficas de vida media del electrón y tiempo de transporte en función del potencial, para celdas sensibilizadas con (a) Caimito, (b) rosa de Jamaica, (c) curcumina, (d) picramnia.

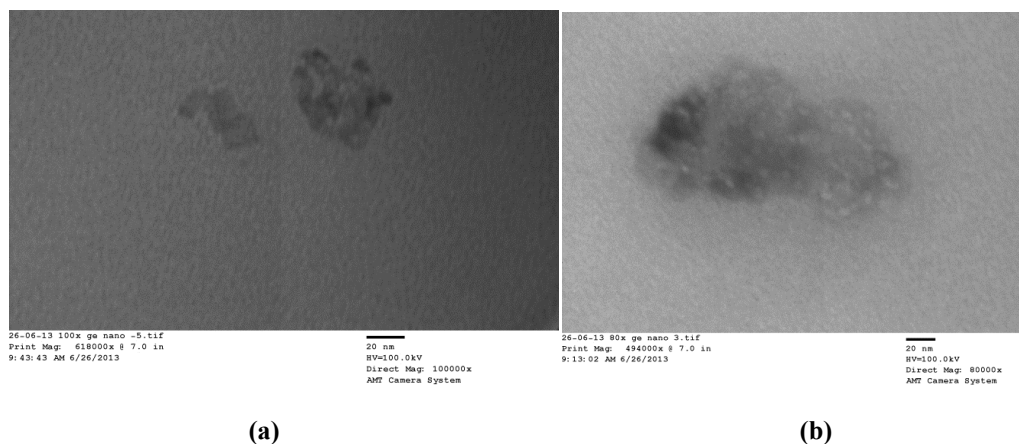


### 3.3. Celdas solares co-sensibilizadas con nanopartículas de germanio

Como se mencionó anteriormente, las nanopartículas de materiales semiconductores son una alternativa promisoría para su uso en celdas solares. Las nanopartículas de Ge poseen un ámbito amplio de bandgap, entre 0,67-6 eV, dependiendo del tamaño de las partículas, por lo que pueden absorber fotones en la región visible del espectro electromagnético, e incluso se puede llegar a tener bandgas cercanos a 1,3-1,4 eV, que según el límite de Shockley y Queisser es el rango en el que se obtienen mayores eficiencias de conversión energética.

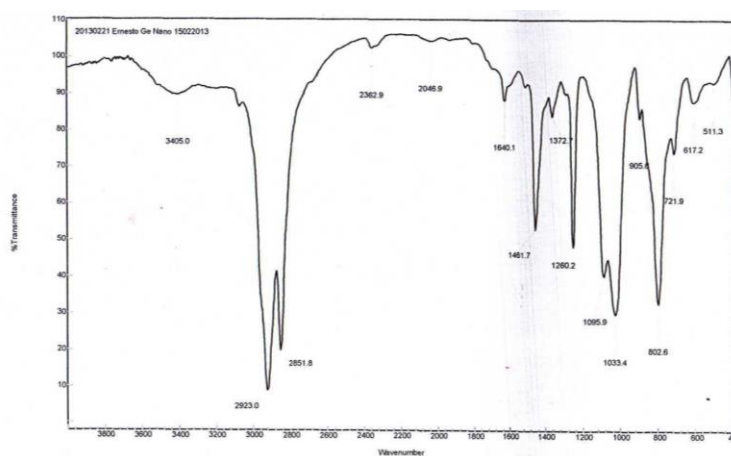
Recientemente se reportó el incremento de la eficiencia de conversión energética de celdas sensibilizadas con el tinte N19 al agregar nanopartículas de germanio funcionalizadas con grupos COOH como co-sensibilizante (Kim, et al., 2011), por lo que se estudió el efecto de nanopartículas de germanio en la eficiencia de celdas sensibilizadas con el tinte Z907.

Se utilizaron nanopartículas de Ge proporcionadas por el investigador Bach. Ernesto Ballesterero del CELEQ, cuya síntesis se muestra en el apéndice E, las cuales consisten en nanocristales de germanio con moléculas de oleilamina ( $C_{18}H_{37}N$ ) en la superficie, la cual es una amina primaria con una cadena de carbono larga, que estabilizan las nanopartículas y previene las atracciones entre las nanopartículas y además actúan como agentes surfactantes. En la Figura 3.39 se muestran las imágenes TEM de las nanopartículas utilizadas.



**Figura 3.39.** Imágenes TEM de las nano partículas de Ge, (a) a 100000X y (b) 80000X, ambos a escala de 20 nm.

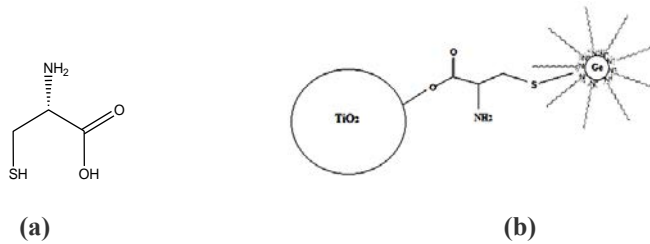
En la Figura 3.40 se muestra el espectro IR de las nanopartículas utilizadas, y sus bandas características en  $\text{cm}^{-1}$  son: 3405(d) asignadas a estiramiento N-H, 2923,0(f) y 2851,8(f) estiramiento de las cadenas de carbono de la oleilamina, 1640,1(d) y 1461,7(m) flexión N-H, 1260,2(m) y 1033,4(f) estiramientos C-N, 802,6(f) posible estiramiento Ge-O. Gerung y su equipo, 2005, reportan picos en  $\text{cm}^{-1}$  para estas nanopartículas a 2922, 2850, 1568, 1042, 964, 850, picos muy similares a los obtenidos. Se obtuvo el espectro UV-Vis de las nanopartículas, y se observó una intensa absorción en la región entre 250-550 nm, tal y como reporta Gerung para las nanopartículas sintetizadas en las mismas condiciones, por lo que se puede decir que sí se utilizaron nanopartículas de Ge.



**Figura 3.40.** Espectro IR en KBr de las nanopartículas de germanio.

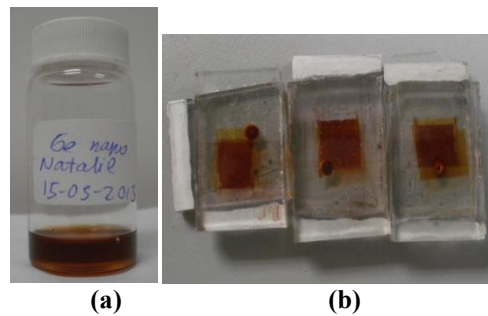
Los electrodos de  $\text{TiO}_2$  se funcionalizaron primero con una disolución 0,0857 M de L-Cisteína en metanol por 24 h. Después se limpiaron y sumergieron en una disolución de las nanopartículas de germanio en tolueno también por 24 h, y por último con el tinte Z-907, y se siguió el proceso de ensamblado del anexo D.

La L-cisteína es un aminoácido simple, con un grupo tiol, esta molécula se utiliza como unión bifuncional, ya que el grupo carboxilo se ancla al  $\text{TiO}_2$  y el grupo tiol a las nanopartículas de Ge, que de otra forma no se anclarían al  $\text{TiO}_2$  ya que no poseen los grupos funcionales necesarios, y no se podrían inyectar los electrones fotogenerados al  $\text{TiO}_2$ .



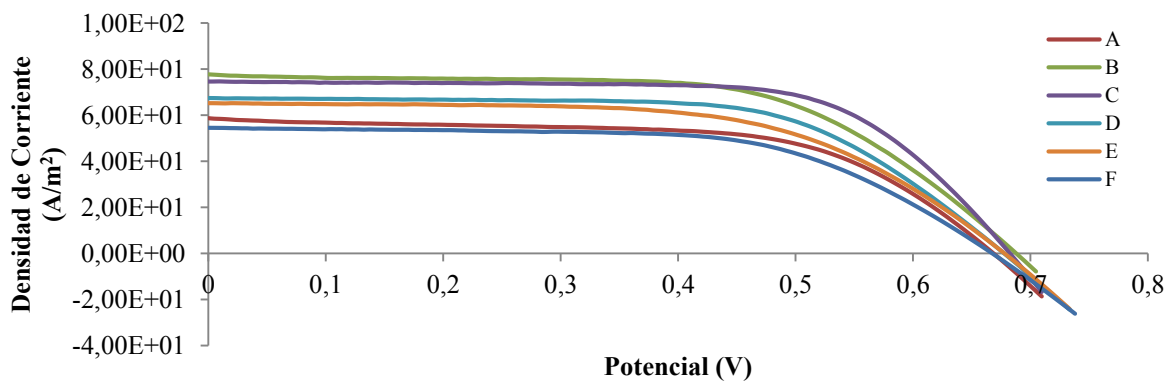
**Figura 3.41.** Representación de (a) estructura de L-cisteína, (b) bifuncionalización con cisteína.

Se ensamblaron seis celdas con el procedimiento mencionado anteriormente para estudiar el efecto de las nanopartículas de germanio en los parámetros característicos de las celdas.



**Figura 3.42.** (a) Disolución en tolueno de las nanopartículas de germanio, (b) celdas co-sensibilizadas con nanopartículas de germanio.

En la Figura 3.43 se muestran las gráficas de densidad de corriente en función del voltaje de las celdas ensambladas.



**Figura 3.43.** Gráfica de densidad de corriente en función del potencial para las celdas co-sensibilizadas con nanopartículas de germanio.

En el Cuadro 3.6 se muestran los valores de los parámetros característicos de las celdas ensambladas.

**Cuadro 3.6.** Datos obtenidos de la caracterización I-V de las celdas sensibilizadas con tinte Z907 y nanopartículas de Ge.

Celda	area	Jsc	Voc	Pmáx	FF	%n
LCM-A	0.000036	58.7	0.66	25.1	0.64	2.51
LCM-B	0.000025	77.7	0.68	33.7	0.63	3.37
LCM-C	0.000028	74.7	0.68	34.9	0.69	3.50
LCM-D	0.000025	67.5	0.67	29.1	0.64	2.91
LCM-E	0.000036	65.3	0.67	26.9	0.61	2.70
LCM-F	0.000035	54.5	0.66	22.6	0.62	2.26

Como se puede observar tanto en la figura, como en el cuadro anterior, el comportamiento y los valores obtenidos en la caracterización de las celdas es muy similar entre muestras, sin embargo los valores son menores que los obtenidos para las celdas sensibilizadas solo con el tinte Z907. En el cuadro 3.7 se muestra la comparación de los datos obtenidos para las celdas con y sin nanopartículas de germanio.

**Cuadro 3.7.** Comparación de los datos obtenidos para la caracterización de celdas co-sensibilizadas y sin co-sensibilizar con nanopartículas de Ge.

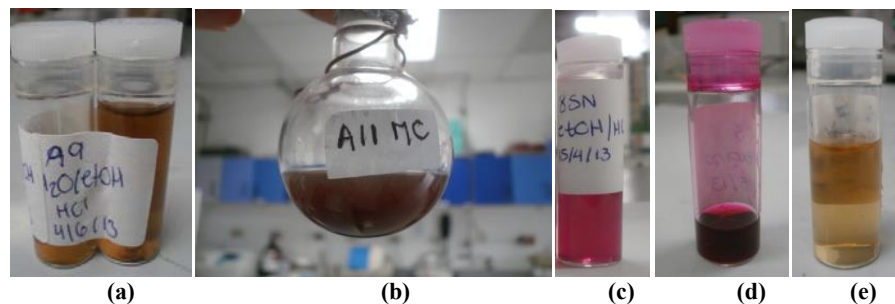
Celda	Jsc (mA/cm <sup>2</sup> )	Voc (V)	Pmáx (W/m <sup>2</sup> )	FF	%η
Z907	12,6±0,7	0,71±0,03	43,0±4,6	0,48±0,06	4,30±0,46
n-Ge	6,64±0,90	0,67±0,01	28,75±4,8	0,63±0,02	2,87±0,48

Los valores de los parámetros característicos de las celdas disminuyeron casi todos a la mitad en comparación con las celdas sensibilizadas solo con el tinte Z907, a diferencia de lo esperado según lo reportado para nanopartículas de germanio funcionalizadas. Una de las causas por las que la eficiencia no aumentara, se puede deber a un mal anclaje de las nanopartículas, de modo que utilizar una molécula bifuncional como la L-cisteína no es la mejor forma de anclar las nanopartículas al TiO<sub>2</sub>, por lo que se deberían sintetizar nanopartículas que ya tengan grupos ácidos en las cadenas largas de las moléculas utilizadas para estabilizarlas. Otra causa de las bajas eficiencias es la disminución de moléculas de Z907 ancladas al TiO<sub>2</sub>, y con ello disminuyen los electrones fotogenerados y con ello el J<sub>SC</sub>.

### 3.4. Celdas solares sensibilizadas con pigmentos extraídos de microorganismos (MO)

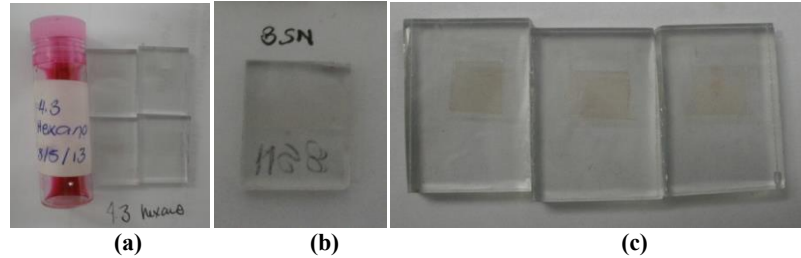
Muchos microorganismos como bacterias, cianobacterias, actinomicetes, hongos, levaduras etc, producen pigmentos de diversos colores dependiendo del medio de cultivo, temperatura, pH, entre otros factores (Ahmad, et al.; 2012). En Costa Rica hay una gran biodiversidad, y se han aislado miles de microorganismos diferentes, lo que abre una amplia alternativa para la extracción de pigmentos naturales y su uso en celdas solares sensibilizadas.

Se probaron cinco diferentes pigmentos extraídos de microorganismos, fermentados en el CIEMIC (Centro de Investigación en Estructuras Microscópicas) y extraídos del medio de cultivo en el CIPRONA. Los pigmentos probados tienen los códigos A9, de color café amarillento débil como se muestra en la Figura 3.44, A11, de color café oscuro, 8 de color rosado claro, 4.3 de color rosado intenso, y 10.2 de color amarillento. Los pigmentos A11 y A9 fueron producidos por el mismo actinomicete, pero en diferente medio de cultivo, el A11 en maní y el A9 en un medio con malta y glucosa, el pigmento. El pigmento 10.2 proviene de una bacteria cultivada en un medio con sacarosa, triptona y sales de Na, Fe y Mg. Los pigmento 4.3 y 8 provienen de bacterias fermentadas en maní macerado en agua.



**Figura 3.44.** Pigmentos extraídos de microorganismos, (a) A9, (b) A11, (c) 8, (d)4.3, 10.2.

Se realizaron pruebas de adsorción de los pigmentos anteriores en electrodos de TiO<sub>2</sub>, y se muestran en la figura 3.45.



**Figura 3.45.** Prueba de adsorción de los pigmentos en electrodos de TiO<sub>2</sub>, (a) pigmento 4.3, (b) 8, (c) de izquierda a derecha, A11, A9 y 10.2

En el proceso de ensamblado en general se determinó como prueba preliminar para determinar si se procedía con el ensamblado total, la adsorción del tinte en el semiconductor; ya que con la experiencia en el laboratorio se encontró que si no hay una fuerte coloración de los electrodos de TiO<sub>2</sub> después de la inmersión en el tinte (como se obtuvo para las celdas sensibilizados con el tinte Z907 y los pigmentos naturales), la celda alcanza valores muy pequeños de corriente, y las eficiencias obtenidas son menores a 0,01%; por lo que no vale la pena ensamblar toda la celda.

Como se puede observar en la Figura 3.45, ninguno de los pigmentos se adsorbió en una cantidad apreciable a las partículas de TiO<sub>2</sub>, por lo cual no se pudo ensamblar las celdas con estos pigmentos por las razones mencionadas anteriormente. Como se ha mencionado, entre las características necesarias para el buen funcionamiento de la celda el sensibilizante debe tener un buen coeficiente de extinción en la parte visible del espectro (coloración fuerte), y tener los grupos funcionales necesarios para el anclaje. Como se puede observar en la Figura 3.45 los pigmentos extraídos de los microorganismos sí eran coloreados, pero no se anclaron al TiO<sub>2</sub>, y se puede decir que esto se debe a la carencia de los grupos funcionales necesarios. Sin embargo no se descarta el uso de estos pigmentos en futuras investigaciones ya que si se pueden purificar y caracterizar para obtener su estructura, esta se puede modificar para añadir grupos ácidos en la misma y así lograr un buen anclaje al semiconductor. Además, la cantidad y diversidad de microorganismos es tan grande que falta una gran cantidad de pigmentos por extraer y probar en DSSC.

### 3.5. Estimación de los costos de ensamblado de celdas solares sensibilizadas

Se estimó el costo de ensamblado de una celda sensibilizada con el tinte de referencia Z907 a escala de laboratorio (0,30 cm<sup>2</sup>), así como la inversión mínima para poder ensamblar DSSC. Según Kalowekamo y Baker, (2009), los costos generales (overhead costs) para la manufactura de DSSC, se aproximan a los \$14,5/m<sup>2</sup>, tomando en cuenta pagos de renta, agua, luz, misceláneos, etc; por lo que se utilizó este valor para estimar el costo final del ensamblado de las celdas y se muestra en el Cuadro 3.8.

**Cuadro 3.8.** Estimación de los costos de ensamblado de celdas solares sensibilizadas a escala de laboratorio, 0,30 cm<sup>2</sup>.

Material	Compañía	Cant. Mín.	Cost. (\$)	Costo imp. (\$)	Cant. Prep.	Costo/cant . Prep. (\$)	Cant./Celda	Cost./Celda (\$)
Electrodos FTO NSG C15, 3cmx2cmx3mm	XOP Glass, XOP fisica, S.L	500 u	300	614,18			0,5	3,07
Contraelectrodos FTO NSG C15, 3cmx2cmx3mm	XOP Glass, XOP fisica, S.L	500 u	300	590,30			0,5	0,59
Pasta TiO <sub>2</sub> , Ti Nanoxide T	Solaronix S.A	10 g	250	410,82			0,06	2,46
Acetonitrilo (85% v)	Sigma Aldrich	100 mL	62,1	93,15	42,50	26,39		
Valeronitrilo (25% v)	Merck Millipore	100 mL	54,9	82,35	7,50	4,12		
Yodo 99,999% (0,03M)	Sigma Aldrich	20 g	125	187,50	0,19	1,19		
Yoduro de 1-butil-3-metilimidazolio (0,6 M)	Sigma Aldrich	50 g	261	391,50	7,84	40,90		
4-tertbutilpiridina (0,5 M)	Sigma Aldrich	25 g	123	184,50	1,69	8,32		
Electrolito		50 mL	626	939,00	50,00	80,92	0,1	0,16
Surlyn 25 um	DuPont, Solaronix	30x20 cm	32	52,59			4	0,21
Tinte Z-907 (0,5mM)	Sigma Aldrich	1g	332	545,57	0,02	11,87	0,00009	0,05
Etanol 99,5% absoluto	Merck Millipore	1000mL	43,7	65,55				
Acetona grado Ph	Merck Millipore	1000mL	45	67,50				
Metanol grado Ph	Merck Millipore	1000mL	40,5	60,75				
Vidrio microscopía	Fisher Scientific	100piezas	24,7	37,05			0,25	0,09

**Cuadro 3.10. (Continuación).** Estimación de los costos de ensamblado de celdas solares sensibilizadas a escala de laboratorio, 0,30 cm<sup>2</sup>.

Material	Compañía	Cant. Mín.	Cost. (\$)	Costo imp. (\$)	Cant. Prep.	Costo/cant. Prep. (\$)	Cant./Celda	Cost./Celda (\$)
Placa platino (foil, 0,025 mm, 99,9%) ácido hexacloroplatínico (10mM)	Sigma Aldrich	350mg	167	250,50			0,35	0,25
pintura de plata thinner para pintura de plata	SPI supplies	15.5g	46,41	69,62			0,05167	0,23
Cinta Scotch	Scotch 3M	1cinta	10	3,00			0,03	0,05
Cutter para vidrio				50,64				
sellador de pulso				49,11				
Mototool				50,00				
			Gastos Inversión (\$)	4986,90			Costo por celda(\$)	7,35
							Gastos generales (\$)	0,00145

Como se puede observar en el cuadro anterior, se requiere de una inversión de \$4986,90 para la compra de los materiales necesarios para el ensamblado de las celdas prototipo, cada una de las cuales representa un costo aproximado de \$7,35. Al dividir el costo de manufactura de cada celda prototipo por la potencia máxima, mostrada anteriormente en el cuadro 3.1, se obtiene un valor de \$0,17/W<sub>p</sub> para una celda de 0,30 cm<sup>2</sup>, con una eficiencia del 4,3%.



---

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

### Conclusiones

Se mejoró significativamente el proceso de ensamblado de las celdas, logrando aumentar la eficiencia de celdas sensibilizadas con el tinte de referencia Z907 de un 0,36% a un 4,3%.

Se obtuvieron los promedios de los parámetros característicos para las celdas sensibilizadas con el tinte de referencia Z907,  $J_{SC}$   $12,6 \pm 0,7$  mA/cm<sup>2</sup>,  $V_{OC}$   $0,71 \pm 0,03$  V,  $P_{m\acute{a}x}$   $43,0 \pm 4,6$  W/m<sup>2</sup>, FF  $0,48 \pm 0,02$  y  $\% \eta$   $4,30 \pm 0,46\%$ ; valores que se encuentran dentro de los valores generalmente reportados en la literatura para celdas sensibilizadas con Z907, sin embargo, para el electrolito utilizado en las celdas, 0,6 M BMII, 0,3 M I<sub>2</sub>, y 0,5 M TBP se reportan valores de eficiencia entre 6-7%, por lo que el valor promedio obtenido todavía es bajo y se debe mejorar hasta obtener valores similares a los mencionados.

El valor de FF indica que en promedio hay un 52% de pérdidas energéticas en la celda, lo cual se debe a razones como una alta tasa de recombinación de los electrones fotogenerados con el electrolito, alta resistencia en serie, agregación de las moléculas del tinte en la superficie del TiO<sub>2</sub>, entre otras; y esto se ve reflejado en el bajo porcentaje de eficiencia obtenido.

Otra causa del valor promedio de eficiencia obtenido es el espesor de la capa de TiO<sub>2</sub>, la cual en promedio tiene un valor de 3,3  $\mu$ m y generalmente se usan grosores entre 10-12  $\mu$ m, de modo que hay menos partículas de semiconductor y con ello menos partículas de tinte que inyecten electrones al mismo con la absorción de luz solar.

Con el análisis de EIS de estas celdas se determinó que las celdas con mayores eficiencias, tenían mayores valores de  $R_{CT}$  (recombinación con el electrolito), menores resistencias de transporte  $R_{trans}$ , mayores valores de capacitancia química,  $C_{\mu}$ , y con ello mayor densidad de estados (DOS); y tiempos para el transporte de electrones más rápidos. Sin embargo el

comportamiento obtenido con este análisis, así como en sus curvas de I-V difería entre las mismas por lo que algún paso del proceso de ensamblaje no es uniforme, ya que todas se trataron con las mismas condiciones. Mediante imágenes SEM de pasta de TiO<sub>2</sub> sinterizadas se observó que habían canalizaciones en la misma, por donde los electrones se pueden recombinar con el electrolito, y la morfología de las pastas varía entre cada muestra ya que la aplicación de la misma es manual.

Se obtuvo el comportamiento de las desviaciones de los datos de eficiencia de las 12 celdas con respecto a la media, y la mayoría se encuentran entre  $\pm 1$  S y todos caen dentro de  $\pm 2$  S, dentro de una distribución t-Student, por lo que se puede decir que la reproducibilidad de las muestras obtenidas es confiable.

Se obtuvieron los parámetros característicos para la picramnia  $J_{SC}$  2,398 $\pm$ 0,398 mA/cm<sup>2</sup>,  $V_{OC}$  0,455 $\pm$ 0,013 V,  $P_{m\acute{a}x}$  0,868 $\pm$ 0,148 W/m<sup>2</sup>, FF 0,648 $\pm$ 0,038 y % $\eta$  0,087 $\pm$ 0,015%.

Para el pigmento de curcumina  $J_{SC}$  5,124 $\pm$ 1,689 mA/cm<sup>2</sup>,  $V_{OC}$  0,483 $\pm$ 0,019 V,  $P_{m\acute{a}x}$  1,405 $\pm$ 0,422 W/m<sup>2</sup>, FF 0,575 $\pm$ 0,063 y % $\eta$  0,140 $\pm$ 0,042%.

El extracto de caimito obtuvo  $J_{SC}$  5,229 $\pm$ 0,882 mA/cm<sup>2</sup>,  $V_{OC}$  0,477 $\pm$ 0,007 V,  $P_{m\acute{a}x}$  1,716 $\pm$ 0,288 W/m<sup>2</sup>, FF 0,688 $\pm$ 0,018 y % $\eta$  0,172 $\pm$ 0,029%.

Para el pigmento de rosa de jamaica se obtuvo  $J_{SC}$  5,235 $\pm$ 1,360 mA/cm<sup>2</sup>,  $V_{OC}$  0,499 $\pm$ 0,013 V,  $P_{m\acute{a}x}$  1,892 $\pm$ 0,525 W/m<sup>2</sup>, FF 0,723 $\pm$ 0,050 y % $\eta$  0,189 $\pm$ 0,052%.

Con el análisis ANOVA, se encontró las variaciones entre grupos, correspondientes a los efectos de los tratamientos,  $SC_{TRAT}$  =0,0424 y  $CM_{TRAT}$  =0,0141, y las variaciones dentro de los grupos correspondientes al error aleatorio,  $SC_E$  =0,0335 y  $CM_E$  =0,0014.

Con el valor del estadístico,  $F_o = 10,13$ , se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias de los tratamientos ( $F_c=3,01$ ), para una significancia de  $\alpha=0,05$  con 3 g,l en el denominador y 24 g,l en el numerador. Con esto se verifica que la variabilidad en los datos de eficiencia de las celdas se debe a los tratamientos (a los pigmentos) y no al error aleatorio. Además el valor

del cuadrado medio del error es muy pequeño (0,0014), y eso indica que la variabilidad dentro de cada tratamiento es pequeña, e indica que el proceso de ensamblaje de las celdas es bueno.

Con el comportamiento mostrado con el análisis de EIS, y con los datos de I-V, se puede decir que los mejores pigmentos naturales son la rosa de Jamaica y el del caimito; sin embargo, aunque para el caimito la eficiencia sea un poco menor, es una mejor opción como sensibilizante, ya que presenta una variabilidad entre muestras más baja para la eficiencia obtenida, y presenta los mejores datos de  $R_{CT}$ ,  $R_{trans}$ , y  $\tau_e$ .

Se obtuvieron los parámetros característicos de las celdas co-sensibilizadas con nanopartículas de germanio,  $J_{SC}$   $6,64 \pm 0,90$  mA/cm<sup>2</sup>,  $V_{OC}$   $0,67 \pm 0,01$  V,  $P_{m\acute{a}x}$   $28,75 \pm 4,8$  W/m<sup>2</sup>, FF  $0,63 \pm 0,02$  y  $\% \eta$   $2,897 \pm 0,48\%$ . Estos valores son más bajos que los obtenidos para el tinte Z907, casi en un 50% para todos los parámetros; por lo que el uso de la nanopartículas no mejora el comportamiento de la celda, sino que lo afecta significativamente. Esto se puede deber a que no se dio un buen anclaje de las nanopartículas al TiO<sub>2</sub> con la molécula bifuncional, cisteína.

Se utilizaron los pigmentos obtenidos a partir de actinomicetes y bacterias, A9, A11, 8, 4.3, y 10.2; para sensibilizar electrodos de TiO<sub>2</sub>, sin embargo, estos no se adsorbieron en cantidad apreciable al semiconductor, por lo que no se pudieron utilizar para celdas. Esto se puede deber a la falta de grupos funcionales adecuados para el anclaje.

Se estimó el costo económico de la producción de cada celda prototipo (0,3 cm<sup>2</sup>) y se obtuvo un costo aproximado de \$7,35, y según la potencia máxima alcanzada por estas celdas en el laboratorio esto equivale a un valor de \$0,17/W<sub>p</sub> para una celda de 0,30 cm<sup>2</sup>, con una eficiencia del 4,3%.

### Recomendaciones

Se recomienda el uso de surfactantes como ácido deoxicólico, ácido chenodeoxicólico, entre otros, para disminuir la agregación del tinte y disminuir la recombinación de los electrones con el electrolito, tanto para tintes inorgánicos como en extractos naturales.

Se recomienda cambiar el método de aplicación de pasta de uno manual, a uno automático como el “screen printing”, para aumentar el grosor de las pastas, controlar dicho parámetro y obtener muestras lo más homogéneas posibles.

Además se recomienda el uso de una capa bloqueadora de  $\text{TiO}_2$  con partículas más pequeñas para evitar el contacto de la capa más gruesa con el electrolito. También la aplicación de una capa de moléculas más grandes, 400-500 nm, para el efecto de “scattering” y mejorar la absorción de la luz, así como el tratamiento con  $\text{TiCl}_4$  para mejorar la homogeneidad de la capa conductora de  $\text{TiO}_2$ .

Se recomienda cambiar el electrolito utilizado por uno de referencia para obtener mejores resultados en general.

Es importante cambiar la lámpara de tungsteno por una de xenón para evitar el recalentado de las celdas, y para mejorar la simulación del sol, y emitir más radiación en la parte visible del espectro.

Se recomienda la purificación de los extractos naturales para eliminar la mayor cantidad de moléculas que no se anclan ni absorben en la región visible, pero que están presentes en los extractos, como azúcares, sales, etc, y con esto mejorar las eficiencias alcanzadas con dichos pigmentos.

Se recomienda realizar la síntesis de las nanopartículas de germanio de manera tal que los grupos utilizados para la estabilización de las mismas, posean grupos ácidos que se puedan anclar al  $\text{TiO}_2$  e inyectar efectivamente electrones con la fotoexcitación.

Se recomienda purificar, y separar y caracterizar los componentes de los extractos obtenidos de microorganismos, con el fin de mejorar las estructuras de los componentes e introducir grupos funcionales que sí se anclen al  $\text{TiO}_2$ .

---

## 5. BIBLIOGRAFÍA

---

- Abate, A., Petrozza, A., Roiati, V., Guarnera, S., Snaith, H., Matteucci, F., Resnati, G. (2012). A polyfluoroalkyl imidazolium ionic liquid as iodide ion source in dye sensitized solar cells. *Organic Electronics*, 13(11), 2474–2478. doi:10.1016/j.orgel.2012.07.009
- Abrams, Z. R., Gharghi, M., Niv, A., Gladden, C., & Zhang, X. (2012). Theoretical efficiency of 3rd generation solar cells: Comparison between carrier multiplication and down-conversion. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 99, 308–315. doi:10.1016/j.solmat.2011.12.019
- Ahmad, W. A., Wan Ahmad, W. Y., Zakaria, Z. A., & Yusof, N. Z. (2012). Application of Bacterial Pigments as Colorant. In Springer (Ed.), *Application of bacterial pigments as colorantes* (pp. 25–44). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-24520-6
- Ajayaghosh, A. (2005). Chemistry of squaraine-derived materials: near-IR dyes, low band gap systems, and cation sensors. *Accounts of chemical research*, 38(6), 449–59. doi:10.1021/ar0401000
- Alibabaei, L., Kim, J.-H., Wang, M., Pootrakulchote, N., Teuscher, J., Di Censo, D., Grätzel, M. (2010). Molecular design of metal-free D- $\pi$ -A substituted sensitizers for dye-sensitized solar cells. *Energy & Environmental Science*, 3(11), 1757. doi:10.1039/c0ee00218f
- Bae, E., Choi, W., Park, J., Shin, H. S., Kim, S. Bin, & Lee, J. S. (2004). Effects of Surface Anchoring Groups ( Carboxylate vs Phosphonate ) in Ruthenium-Complex-Sensitized TiO<sub>2</sub> on Visible Light Reactivity in Aqueous Suspensions. *J. Phys. Chem*, 108, 14093–14101.
- Bisquert, J. (2010). Theory of the impedance of charge transfer via surface states in dye-sensitized solar cells. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 646(1-2), 43–51. doi:10.1016/j.jelechem.2010.01.007
- Bisquert, J., Fabregat-Santiago, F., Mora-Seró, I., Garcia-Belmonte, G., Barea, E. M., & Palomares, E. (2008). A review of recent results on electrochemical determination of the density of electronic states of nanostructured metal-oxide semiconductors and organic hole conductors. *Inorganica Chimica Acta*, 361(3), 684–698. doi:10.1016/j.ica.2007.05.032

- Calogero, G., Yum, J.-H., Sinopoli, A., Di Marco, G., Grätzel, M., & Nazeeruddin, M. K. (2012). Anthocyanins and betalains as light-harvesting pigments for dye-sensitized solar cells. *Solar Energy*, *86*(5), 1563–1575. doi:10.1016/j.solener.2012.02.018
- Cerneaux, S., Zakeeruddin, S. M., Pringle, J. M., Cheng, Y.-B., Grätzel, M., & Spiccia, L. (2007). Novel Nano-Structured Silica-Based Electrolytes Containing Quaternary Ammonium Iodide Moieties. *Advanced Functional Materials*, *17*(16), 3200–3206. doi:10.1002/adfm.200700391
- Chandrasekharam, M., Rajkumar, G., Rao, C. H. S., Suresh, T., Reddy, P. Y., & Soujanya, Y. (2011). Ruthenium ( II ) - bipyridyl with extended  $\pi$  -system : Improved thermostable sensitizer for efficient and long-term durable dye sensitized solar cells. *J. Chem. Sci.*, *123*(5), 555–565.
- Diaz, F., Chai, H.-B., Mi, Q., Su, B.-N., Vigo, J. S., Graham, J. G., Kinghorn, a D. (2004). Anthrone and oxanthrone C-glycosides from *Picramnia latifolia* collected in Peru. *Journal of natural products*, *67*(3), 352–6. doi:10.1021/np030479j
- Einbond, L. S., Reynertson, K. a., Luo, X.-D., Basile, M. J., & Kennelly, E. J. (2004). Anthocyanin antioxidants from edible fruits. *Food Chemistry*, *84*(1), 23–28. doi:10.1016/S0308-8146(03)00162-6
- Emin, S., Singh, S. P., Han, L., Satoh, N., & Islam, A. (2011). Colloidal quantum dot solar cells. *Solar Energy*, *85*(6), 1264–1282. doi:10.1016/j.solener.2011.02.005
- Emin, S., Yanagida, M., Peng, W., & Han, L. (2012). Evaluation of carrier transport and recombinations in cadmium selenide quantum-dot-sensitized solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, *101*, 5–10. doi:10.1016/j.solmat.2012.02.014
- Esatbeyoglu, T., Huebbe, P., Ernst, I. M. a, Chin, D., Wagner, A. E., & Rimbach, G. (2012). Curcumin--from molecule to biological function. *Angewandte Chemie (International ed. in English)*, *51*(22), 5308–32. doi:10.1002/anie.201107724
- Etgar, L., Moehl, T., Gabriel, S., Hickey, S. G., Eychmüller, A., & Grätzel, M. (2012). Light Energy Conversion by Heterojunction Solar Cells, (4), 3092–3099.
- Fabregat-Santiago, F., Bisquert, J., Garcia-Belmonte, G., Boschloo, G., & Hagfeldt, A. (2005). Influence of electrolyte in transport and recombination in dye-sensitized solar cells studied by impedance spectroscopy. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, *87*(1-4), 117–131. doi:10.1016/j.solmat.2004.07.017
- Fonash, S. J. (2010). *Solar Cell Device Physics* (Second edi.). United States: Elsevier Inc.

- Fu, C., Lei, L., Sun, K., Xia, P., Yuan, H., Xiao, D., & Li, Z. (2012). VIS harvesting unsymmetrical squaraine dye for dye-sensitized solar cells. *Renewable Energy*, 38(1), 163–168. doi:10.1016/j.renene.2011.07.017
- Galicia-Flores, L. A., Salinas Moreno, Y., Espinoza-García, B. M., & Sánchez-Feria, C. (2008). CARACTERIZACIÓN Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE EXTRACTOS DE JAMAICA ( *Hibiscus sabdariffa* L . ) NACIONAL E IMPORTADA. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 14(2), 121–129.
- Gerung, H., Bunge, S. D., Boyle, T. J., Brinker, C. J., & Han, S. M. (2005). Anhydrous solution synthesis of germanium nanocrystals from the germanium(II) precursor Ge[N(SiMe<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]<sub>2</sub>. *Chemical communications (Cambridge, England)*, (14), 1914–6. doi:10.1039/b416066e
- Grätzel, M. (2005). Solar energy conversion by dye-sensitized photovoltaic cells. *Inorganic chemistry*, 44(20), 6841–51. doi:10.1021/ic0508371
- Hagfeld, A., & Gratzel, M. (2000). Molecular Photovoltaics, 33(5), 269–277.
- Hagfeldt, A., Boschloo, G., Sun, L., Kloo, L., & Pettersson, H. (2010). Dye-sensitized solar cells. *Chemical reviews*, 110(11), 6595–663. doi:10.1021/cr900356p
- Hagfeldt, A., Cappel, U. B., Boschloo, G., & Sun, L. (2013). *Dye-Sensitized Photoelectrochemical Cells. Solar Cells* (Second Edi., pp. 385–441). Elsevier Ltd. doi:10.1016/B978-0-12-386964-7.00013-5
- Hahlin, M., Johansson, E. M. J., Plogmaker, S., Odélius, M., Hagberg, D. P., Sun, L., Rensmo, H. (2010). Electronic and molecular structures of organic dye/TiO<sub>2</sub> interfaces for solar cell applications: a core level photoelectron spectroscopy study. *Physical chemistry chemical physics : PCCP*, 12(7), 1507–17. doi:10.1039/b913548k
- Halme, J. (2002). Dye-sensitized nanostructured and organic photovoltaic cells : technical review and preliminary tests. Master 's thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Technology Supervisor : Professor Peter Lun.
- Halme, J., Vahermaa, P., Miettunen, K., & Lund, P. (2010). Device physics of dye solar cells. *Advanced materials (Deerfield Beach, Fla.)*, 22(35), E210–34. doi:10.1002/adma.201000726
- Hao, F., Wang, X., Zhou, C., Jiao, X., Li, X., Li, J., & Lin, H. (2012). Efficient Light Harvesting and Charge Collection of Dye-Sensitized Solar Cells with (001) Faceted Single Crystalline Anatase Nanoparticles. *The Journal of Physical Chemistry C*, 116(36), 19164–19172. doi:10.1021/jp3053967

- Hao, S., Wu, J., Huang, Y., & Lin, J. (2006). Natural dyes as photosensitizers for dye-sensitized solar cell. *Solar Energy*, *80*(2), 209–214. doi:10.1016/j.solener.2005.05.009
- Hardin, B. E., Snaith, H. J., & McGehee, M. D. (2012). The renaissance of dye-sensitized solar cells. *Nature Photonics*, *6*(3), 162–169. doi:10.1038/nphoton.2012.22
- Horiuchi, T., Miura, H., Sumioka, K., & Uchida, S. (2004). High efficiency of dye-sensitized solar cells based on metal-free indoline dyes. *Journal of the American Chemical Society*, *126*(39), 12218–9. doi:10.1021/ja0488277
- Ismail, A., Hainida, E., Ikram, K., Saadiah, H., & Nazri, M. (2008). Roselle ( *Hibiscus sabdariffa* L .) Seeds – Nutritional Composition , Protein Quality and Health Benefits. *Food*, *2*(1), 1–16.
- Jang, S., Yum, J., Klein, C., Kim, K., Wagner, P., & Officer, D. (2009). High Molar Extinction Coefficient Ruthenium Sensitizers for Thin Film Dye-Sensitized Solar Cells, (ii), 1998–2003.
- Julian, C. (2011). *Physics of Solar Energy*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Jung, H. S., & Lee, J.-K. (2013). Dye Sensitized Solar Cells for Economically Viable Photovoltaic Systems. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, *4*(10), 1682–1693. doi:10.1021/jz400112n
- Kadish, K. M., Smith, K. M., & Guillard, R. (2010). *Handbook of Porphyrin Science* (Vol. 11–15). Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. doi:10.1142/9789814322386
- Kalowekamo, J., & Baker, E. (2009). Estimating the manufacturing cost of purely organic solar cells. *Solar Energy*, *83*(8), 1224–1231. doi:10.1016/j.solener.2009.02.003
- Kalyanasundaram, K. (2010). *Dye-Sensitized Solar Cells* (First.). Lausanne, Switzerland: EPFL Press.
- Kim, C.-H., Ha, E.-S., Baik, H., & Kim, K.-J. (2011). Treatment of TiO<sub>2</sub> with COOH-functionalized germanium nanoparticles to enhance the photocurrent of dye-sensitized solar cells. *Chemistry, an Asian journal*, *6*(3), 850–5. doi:10.1002/asia.201000646
- Ko, K. H., Lee, Y. C., & Jung, Y. J. (2005). Enhanced efficiency of dye-sensitized TiO<sub>2</sub> solar cells (DSSC) by doping of metal ions. *Journal of colloid and interface science*, *283*(2), 482–7. doi:10.1016/j.jcis.2004.09.009
- Kong, F.-T., Dai, S.-Y., & Wang, K.-J. (2007). Review of Recent Progress in Dye-Sensitized Solar Cells. *Advances in OptoElectronics*, *2007*, 1–13. doi:10.1155/2007/75384



- Lee, K.-M., Chen, C.-Y., Wu, S.-J., Chen, S.-C., & Wu, C.-G. (2013). Surface passivation: The effects of CDCA co-adsorbent and dye bath solvent on the durability of dye-sensitized solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, *108*, 70–77. doi:10.1016/j.solmat.2012.08.008
- Lee, S.-M., Lee, S.-B., Kim, K.-H., Cho, S.-E., Kim, Y.-K., Park, H.-W., Kim, M.-R. (2011). Syntheses and photovoltaic properties of polymeric sensitizers using thiophene-based copolymer derivatives for dye-sensitized solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, *95*(1), 306–309. doi:10.1016/j.solmat.2010.05.009
- Li, D., Li, H., Luo, Y., Li, K., Meng, Q., Armand, M., & Chen, L. (2010). Non-Corrosive, Non-Absorbing Organic Redox Couple for Dye-Sensitized Solar Cells. *Advanced Functional Materials*, *20*(19), 3358–3365. doi:10.1002/adfm.201000150
- Lu, N., Shing, J.-S., Tu, W.-H., Hsu, Y.-C., & Lin, J. T. (2011). Novel fluorous amphiphilic heteroleptic Ru-based complexes for a dye-sensitized solar cell: the first fluorous bis-ponytailed amphiphilic Ru complexes. *Inorganic chemistry*, *50*(10), 4289–94. doi:10.1021/ic102192m
- Ludin, N. a., Al-Alwani Mahmoud, a. M., Bakar Mohamad, A., Kadhum, A. A. H., Sopian, K., & Abdul Karim, N. S. (2014). Review on the development of natural dye photosensitizer for dye-sensitized solar cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *31*, 386–396. doi:10.1016/j.rser.2013.12.001
- Luo, P., Niu, H., Zheng, G., Bai, X., Zhang, M., & Wang, W. (2009). From salmon pink to blue natural sensitizers for solar cells: *Canna indica* L., *Salvia splendens*, cowberry and *Solanum nigrum* L. *Spectrochimica acta. Part A, Molecular and biomolecular spectroscopy*, *74*(4), 936–42. doi:10.1016/j.saa.2009.08.039
- Ma, X., Hua, J., Wu, W., Jin, Y., Meng, F., Zhan, W., & Tian, H. (2008). A high-efficiency cyanine dye for dye-sensitized solar cells. *Tetrahedron*, *64*(2), 345–350. doi:10.1016/j.tet.2007.10.094
- Memming, R. (1998). *Semiconductor Electrochemistry*. Weinheim, Germany: Wiley-VCH.
- Mishra, A., Pootrakulchote, N., Wang, M., Moon, S.-J., Zakeeruddin, S. M., Grätzel, M., & Bäuerle, P. (2011). A Thiophene-Based Anchoring Ligand and Its Heteroleptic Ru(II)-Complex for Efficient Thin-Film Dye-Sensitized Solar Cells. *Advanced Functional Materials*, *21*(5), 963–970. doi:10.1002/adfm.201001863
- Mora-sero, I., & Bisquert, J. (2003). Fermi Level of Surface States in TiO<sub>2</sub> Nanoparticles. *Nano letters*, *3*(7), 945–949.

- Murakami, T. N., & Grätzel, M. (2008). Counter electrodes for DSC: Application of functional materials as catalysts. *Inorganica Chimica Acta*, *361*(3), 572–580. doi:10.1016/j.ica.2007.09.025
- Narayan, M. R. (2012). Review: Dye sensitized solar cells based on natural photosensitizers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *16*(1), 208–215. doi:10.1016/j.rser.2011.07.148
- Ni, J.-S., Hung, C.-Y., Liu, K.-Y., Chang, Y.-H., Ho, K.-C., & Lin, K.-F. (2012). Effects of tethering alkyl chains for amphiphilic ruthenium complex dyes on their adsorption to titanium oxide and photovoltaic properties. *Journal of colloid and interface science*, *386*(1), 359–65. doi:10.1016/j.jcis.2012.07.019
- NREL, (2014). Best Research-Cell Efficiencies, tomado de [http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency\\_chart.jpg](http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg)
- O'Reagan, B., & Grätzel, M. (1991). A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO<sub>2</sub> films. *Nature*, *353*, 737–740.
- O'Regan, B. C., & Durrant, J. R. (2009). Kinetic and energetic paradigms for dye-sensitized solar cells: moving from the ideal to the real. *Accounts of chemical research*, *42*(11), 1799–808. doi:10.1021/ar900145z
- Ooyama, Y., & Harima, Y. (2009). Molecular Designs and Syntheses of Organic Dyes for Dye-Sensitized Solar Cells. *European Journal of Organic Chemistry*, *2009*(18), 2903–2934. doi:10.1002/ejoc.200900236
- Ooyama, Y., & Harima, Y. (2012). Photophysical and electrochemical properties, and molecular structures of organic dyes for dye-sensitized solar cells. *Chemphyschem: a European journal of chemical physics and physical chemistry*, *13*(18), 4032–80. doi:10.1002/cphc.201200218
- Oprea, C. I., Dumbravă, A., Enache, I., Georgescu, A., & Gîrțu, M. a. (2012). A combined experimental and theoretical study of natural betalain pigments used in dye-sensitized solar cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, *240*, 5–13. doi:10.1016/j.jphotochem.2012.05.003
- Palewska, K., Sworakowski, J., & Lipiński, J. (2012). Molecular aggregation in soluble phthalocyanines – Chemical interactions vs.  $\pi$ -stacking. *Optical Materials*, *34*(10), 1717–1724. doi:10.1016/j.optmat.2012.02.009
- Panigrahi, M., Dash, S., Patel, S., & Mishra, B. K. (2012). Syntheses of cyanines: a review. *Tetrahedron*, *68*(3), 781–805. doi:10.1016/j.tet.2011.10.069

- Park, H., Bae, E., Lee, J.-J., Park, J., & Choi, W. (2006). Effect of the anchoring group in Ru-bipyridyl sensitizers on the photoelectrochemical behavior of dye-sensitized TiO<sub>2</sub> electrodes: carboxylate versus phosphonate linkages. *The journal of physical chemistry. B*, *110*(17), 8740–9. doi:10.1021/jp060397e
- Poortmans, J., & Arkhipov, V. (2006). *Thin Film Solar Cells Fabrication , Characterization and Applications*. Chichester, England: John Wiley & Sons,Ltd.
- Pootrakulchote, N. (2012). *Investigation on Functionalized Ruthenium-Based Sensitizers to Enhance Performance and Robustness of Dye-Sensitized Solar Cells*. ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRAL DE LAUSANNE.
- Ribeiro, F., Maçaira, J., Cruz, R., Gabriel, J., Andrade, L., & Mendes, A. (2012). Laser assisted glass frit sealing of dye-sensitized solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, *96*, 43–49. doi:10.1016/j.solmat.2011.09.009
- Rojas-Rodríguez, F., & Torres-Córdoba, G. (2012). Caimito. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú (Costa Rica)*, *9*(23), 45–46.
- Rühle, S., Shalom, M., & Zaban, A. (2010a). Quantum-dot-sensitized solar cells. *Chemphyschem : a European journal of chemical physics and physical chemistry*, *11*(11), 2290–304. doi:10.1002/cphc.201000069
- Rühle, S., Shalom, M., & Zaban, A. (2010b). Quantum-dot-sensitized solar cells. *Chemphyschem : a European journal of chemical physics and physical chemistry*, *11*(11), 2290–304. doi:10.1002/cphc.201000069
- Sarker, A. K., Kang, M. G., & Hong, J.-D. (2012). A near-infrared dye for dye-sensitized solar cell: Catecholate-functionalized zinc phthalocyanine. *Dyes and Pigments*, *92*(3), 1160–1165. doi:10.1016/j.dyepig.2011.07.002
- Segura-Carretero, A., Puertas-Mejía, M. a, Cortacero-Ramírez, S., Beltrán, R., Alonso-Villaverde, C., Joven, J., Fernández-Gutiérrez, A. (2008). Selective extraction, separation, and identification of anthocyanins from *Hibiscus sabdariffa* L. using solid phase extraction-capillary electrophoresis-mass spectrometry (time-of-flight /ion trap). *Electrophoresis*, *29*(13), 2852–61. doi:10.1002/elps.200700819
- Seo, K. D., Song, H. M., Lee, M. J., Pastore, M., Anselmi, C., De Angelis, F., Kim, H. K. (2011). Coumarin dyes containing low-band-gap chromophores for dye-sensitised solar cells. *Dyes and Pigments*, *90*(3), 304–310. doi:10.1016/j.dyepig.2011.01.009
- Shalom, M., Buhbut, S., Tirosh, S., & Zaban, A. (2012). Design Rules for High-Efficiency Quantum-Dot-Sensitized Solar Cells : *The Journal of Physical Chemistry Letters*.

- Smithsonian, (2006). *Picramnia Latifolia*, tul. Canjura. Tomado de <http://www.discoverlife.org/mp/20q?search=Picramnia+latifolia>
- Song, J.-G., Song, X., Ling, T., Du, X.-W., & Qiao, S. Z. (2012). Enhancing the Conversion Efficiency of Semiconductor Sensitized Solar Cells via the Cosensitization of Dual-Sized Quantum Dots. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, *51*(30), 10074–10078. doi:10.1021/ie300109u
- Song, X., Wang, M., Shi, Y., Deng, J., Yang, Z., & Yao, X. (2012). In situ hydrothermal growth of CdSe(S) nanocrystals on mesoporous TiO<sub>2</sub> films for quantum dot-sensitized solar cells. *Electrochimica Acta*, *81*, 260–267. doi:10.1016/j.electacta.2012.07.015
- Strekowski, L. (2008). *Heterocyclic Polymethine Dyes. Synthesis, Properties and Applications*. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Thavasi, V., Renugopalakrishnan, V., Jose, R., & Ramakrishna, S. (2009). Controlled electron injection and transport at materials interfaces in dye sensitized solar cells, *63*, 81–99. doi:10.1016/j.mser.2008.09.001
- Torres, K. (2012). *Caracterización de la eficiencia de tintes de celdas solares sensibilizadas*. Tesis sometida para optar por el grado de licenciatura en Ingeniería Química. Universidad de Costa Rica.
- Wang, B., & Kerr, L. L. (2011). Dye sensitized solar cells on paper substrates. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, *95*(8), 2531–2535. doi:10.1016/j.solmat.2011.02.032
- Wang, M., Chamberland, N., Breau, L., Humphry-baker, R., Zakeeruddin, S. M., & Gra, M. (2010). triiodide / iodide in dye-sensitized solar cells, *2*(April), 385–389. doi:10.1038/NCHEM.610
- Wang, M., Liu, J., Cevey-Ha, N.-L., Moon, S.-J., Liska, P., Humphry-Baker, R., ... Zakeeruddin, S. M. (2010). High efficiency solid-state sensitized heterojunction photovoltaic device. *Nano Today*, *5*(3), 169–174. doi:10.1016/j.nantod.2010.04.001
- Wang, Q., Moser, J.-E., & Grätzel, M. (2005). Electrochemical impedance spectroscopic analysis of dye-sensitized solar cells. *The journal of physical chemistry. B*, *109*(31), 14945–53. doi:10.1021/jp052768h
- Wu, M., & Ma, T. (2012). Platinum-free catalysts as counter electrodes in dye-sensitized solar cells. *ChemSusChem*, *5*(8), 1343–57. doi:10.1002/cssc.201100676
- Wyss, P., Moehl, T., Zakeeruddin, S. M., & Grätzel, M. (2012). Influence of cations of the electrolyte on the performance and stability of dye sensitized solar cells. *Journal of Materials Chemistry*, *22*(46), 24424. doi:10.1039/c2jm34706g

- Xu, X., Giménez, S., Mora-Seró, I., Abate, A., Bisquert, J., & Xu, G. (2010). Influence of cysteine adsorption on the performance of CdSe quantum dots sensitized solar cells. *Materials Chemistry and Physics*, *124*(1), 709–712. doi:10.1016/j.matchemphys.2010.07.041
- Yella, A., Lee, H.-W., Tsao, H. N., Yi, C., Chandiran, A. K., Nazeeruddin, M. K., Grätzel, M. (2011). Porphyrin-sensitized solar cells with cobalt (II/III)-based redox electrolyte exceed 12 percent efficiency. *Science (New York, N.Y.)*, *334*(6056), 629–34. doi:10.1126/science.1209688
- Yin, J.-F., Velayudham, M., Bhattacharya, D., Lin, H.-C., & Lu, K.-L. (2012). Structure optimization of ruthenium photosensitizers for efficient dye-sensitized solar cells – A goal toward a “bright” future. *Coordination Chemistry Reviews*, *In press*, 1–28. doi:10.1016/j.ccr.2012.06.022
- Yu, Q., Liu, S., Zhang, M., Cai, N., Wang, Y., & Wang, P. (2009). An Extremely High Molar Extinction Coefficient Ruthenium Sensitizer in Dye-Sensitized Solar Cells: The Effects of  $\pi$ -Conjugation Extension. *The Journal of Physical Chemistry C*, *113*(32), 14559–14566. doi:10.1021/jp904096g
- Zafer, C., Gultekin, B., Ozsoy, C., Tozlu, C., Aydin, B., & Icli, S. (2010). Carbazole-based organic dye sensitizers for efficient molecular photovoltaics. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, *94*(4), 655–661. doi:10.1016/j.solmat.2009.11.014
- Zeng, W., Cao, Y., Bai, Y., Wang, Y., Shi, Y., Zhang, M., ... Wang, P. (2010). Efficient Dye-Sensitized Solar Cells with an Organic Photosensitizer Featuring Orderly Conjugated Ethylenedioxythiophene and Dithienosilole Blocks. *Chemistry of Materials*, *22*(5), 1915–1925. doi:10.1021/cm9036988
- Zhang, D., Lanier, S. M., Downing, J. a., Avent, J. L., Lum, J., & McHale, J. L. (2008). Betalain pigments for dye-sensitized solar cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, *195*(1), 72–80. doi:10.1016/j.jphotochem.2007.07.038
- Zhou, H., Wu, L., Gao, Y., & Ma, T. (2011). Dye-sensitized solar cells using 20 natural dyes as sensitizers. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, *219*(2-3), 188–194. doi:10.1016/j.jphotochem.2011.02.008

---

**NOMENCLATURA**

---

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>	<b>Unidades</b>
AM	Air Mass	Adim
$\varphi$	Ángulo de elevación del sol con respecto a la vertical	°
G	global	Adim
D	Dye (tinte)	Adim
S	Sensibilizante (tinte)	
$e$	Electrón	C
A	Aceptor de electrones	Adim
h	hueco	
$h$	Constante de Plank	J s
$\nu$	Frecuencia	1/s
$c$	concentración	mol L <sup>-1</sup>
d	Espesor de capa de TiO <sub>2</sub>	µm
f	frecuencia	Hz
FF	Fill Factor	
CB	Conduction Band (banda de conducción)	eV
VB	Valence Band (banda de valencia)	eV
E	Energía, nivel energético	eV
IPCE	Incident monochromatic photon to current conversion efficiency	
I	Corriente	A
V	Voltaje	V
J	Densidad de corriente	A m <sup>-2</sup>
$\eta$	Eficiencia	Adim
W	Potencia	W m <sup>-2</sup>
R	Resistencia	Ω
C	Capacitancia	F
CPE	Constant phase element (element de fase constant)	F
$\tau$	tiempo	S
$\lambda$	Longitude de onda	Nm
kb	Constant de Boltzmann	J K <sup>-1</sup>
T	Temperatura	K
q	Carga protón	C
$\omega$	Frecuencia radial	s <sup>-1</sup>

---

<b>Subíndices</b>	<b>significado</b>
OC	Open circuit (circuito abierto)
SC	Short circuit (corto circuito)
g	Gap
C	Conducción
V	valencia
F	fermi
max	máxima
series	Serie
Shunt	Shunt
CT	Charge transfer (transferencia de carga)
CE	Contraelectrodo
mp	máxima
trans	transporte
e	Vida media del electrón
in	entrada
DOS	Densidad de estados
corr	corregida
<b>Superíndices</b>	<b>Significado</b>
+	Carga positiva
-	Carga negativa

## **APÉNDICES**



## Apéndice A. Datos Experimentales

**Cuadro A.1.** Datos de I-V para la celda 1, sensibilizada con tinte Z907.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	3.94E-03	-0.132	3.93E-03	-0.327	3.68E-03	-0.518	2.10E-03	-0.718	1.30E-05	-0.688	3.06E-04
-0.005	3.94E-03	-0.137	3.92E-03	-0.332	3.66E-03	-0.522	2.04E-03	-0.723	-3.74E-05	-0.684	3.53E-04
-0.010	3.94E-03	-0.142	3.92E-03	-0.337	3.64E-03	-0.527	1.99E-03	-0.728	-8.94E-05	-0.679	3.98E-04
-0.015	3.94E-03	-0.146	3.92E-03	-0.342	3.62E-03	-0.532	1.93E-03	-0.732	-1.43E-04	-0.674	4.45E-04
-0.020	3.94E-03	-0.151	3.91E-03	-0.347	3.59E-03	-0.537	1.88E-03	-0.737	-1.98E-04	-0.669	4.92E-04
-0.024	3.94E-03	-0.156	3.91E-03	-0.352	3.57E-03	-0.542	1.82E-03	-0.742	-2.55E-04	-0.664	5.39E-04
-0.029	3.95E-03	-0.161	3.91E-03	-0.356	3.54E-03	-0.547	1.77E-03	-0.747	-3.13E-04	-0.659	5.86E-04
-0.034	3.95E-03	-0.166	3.91E-03	-0.361	3.52E-03	-0.552	1.71E-03	-0.752	-3.73E-04	-0.654	6.34E-04
-0.039	3.95E-03	-0.171	3.91E-03	-0.366	3.48E-03	-0.557	1.66E-03	-0.757	-4.35E-04	-0.649	6.81E-04
-0.044	3.94E-03	-0.176	3.91E-03	-0.371	3.46E-03	-0.562	1.60E-03	-0.762	-4.99E-04	-0.645	7.30E-04
-0.049	3.94E-03	-0.181	3.90E-03	-0.376	3.43E-03	-0.566	1.55E-03	-0.767	-5.64E-04	-0.640	7.79E-04
-0.054	3.94E-03	-0.186	3.90E-03	-0.381	3.40E-03	-0.571	1.49E-03	-0.771	-6.31E-04	-0.635	8.29E-04
-0.059	3.94E-03	-0.190	3.90E-03	-0.386	3.36E-03	-0.576	1.44E-03	-0.776	-7.01E-04	-0.630	8.79E-04
-0.063	3.94E-03	-0.195	3.89E-03	-0.391	3.32E-03	-0.581	1.39E-03	-0.781	-7.72E-04	-0.625	9.29E-04
-0.068	3.94E-03	-0.200	3.89E-03	-0.396	3.29E-03	-0.586	1.33E-03	-0.786	-8.45E-04	-0.620	9.81E-04
-0.073	3.94E-03	-0.205	3.89E-03	-0.400	3.25E-03	-0.591	1.28E-03	-0.791	-9.20E-04	-0.615	1.03E-03
-0.078	3.94E-03	-0.210	3.88E-03	-0.405	3.21E-03	-0.596	1.23E-03	-0.796	-9.96E-04	-0.610	1.08E-03
-0.083	3.93E-03	-0.215	3.88E-03	-0.410	3.17E-03	-0.601	1.17E-03	-0.801	-1.07E-03	-0.605	1.14E-03
-0.088	3.93E-03	-0.220	3.88E-03	-0.415	3.13E-03	-0.605	1.12E-03	-0.796	-9.91E-04	-0.601	1.19E-03
-0.093	3.93E-03	-0.225	3.87E-03	-0.420	3.09E-03	-0.610	1.07E-03	-0.791	-9.12E-04	-0.596	1.24E-03
-0.098	3.93E-03	-0.229	3.87E-03	-0.425	3.05E-03	-0.615	1.02E-03	-0.786	-8.37E-04	-0.591	1.30E-03
-0.103	3.93E-03	-0.234	3.86E-03	-0.430	3.01E-03	-0.620	9.65E-04	-0.781	-7.64E-04	-0.586	1.35E-03
-0.107	3.93E-03	-0.239	3.86E-03	-0.435	2.97E-03	-0.625	9.14E-04	-0.776	-6.94E-04	-0.581	1.41E-03
-0.112	3.93E-03	-0.244	3.86E-03	-0.439	2.92E-03	-0.630	8.64E-04	-0.771	-6.25E-04	-0.576	1.46E-03
-0.117	3.93E-03	-0.249	3.86E-03	-0.444	2.87E-03	-0.635	8.15E-04	-0.767	-5.58E-04	-0.571	1.52E-03
-0.122	3.92E-03	-0.254	3.85E-03	-0.449	2.83E-03	-0.640	7.66E-04	-0.762	-4.93E-04	-0.566	1.57E-03
-0.127	3.92E-03	-0.259	3.84E-03	-0.454	2.78E-03	-0.645	7.18E-04	-0.757	-4.30E-04	-0.562	1.63E-03
0	3.94E-03	-0.264	3.83E-03	-0.459	2.73E-03	-0.649	6.70E-04	-0.752	-3.69E-04	-0.557	1.69E-03
-0.005	3.94E-03	-0.269	3.83E-03	-0.464	2.68E-03	-0.654	6.22E-04	-0.747	-3.09E-04	-0.552	1.74E-03
-0.010	3.94E-03	-0.273	3.82E-03	-0.469	2.62E-03	-0.659	5.75E-04	-0.742	-2.51E-04	-0.547	1.80E-03
-0.015	3.94E-03	-0.278	3.81E-03	-0.474	2.57E-03	-0.664	5.29E-04	-0.737	-1.95E-04	-0.542	1.85E-03
-0.020	3.94E-03	-0.283	3.80E-03	-0.479	2.52E-03	-0.669	4.83E-04	-0.732	-1.39E-04	-0.537	1.91E-03
-0.024	3.94E-03	-0.288	3.79E-03	-0.483	2.47E-03	-0.674	4.37E-04	-0.728	-8.58E-05	-0.532	1.96E-03
-0.029	3.95E-03	-0.293	3.78E-03	-0.488	2.42E-03	-0.679	3.91E-04	-0.723	-3.37E-05	-0.527	2.02E-03
-0.034	3.95E-03	-0.298	3.77E-03	-0.493	2.37E-03	-0.684	3.45E-04	-0.718	1.69E-05	-0.522	2.08E-03

**Cuadro A.2.** Datos de I-V para la celda 2, sensibilizada con tinte Z907.

Potential (V)	Scan 1(A)	Potential (V)	Scan 1(A)	Potential (V)	Scan 1(A)	Potential (V)	Scan 1(A)	Potential (V)	Scan 1(A)	Potential (V)	Scan 1(A)
0	3.86E-03	-0.186	3.83E-03	-0.405	3.22E-03	-0.620	1.09E-03	-0.767	-6.18E-04	-0.552	1.87E-03
-0.005	3.87E-03	-0.190	3.82E-03	-0.410	3.19E-03	-0.625	1.04E-03	-0.762	-5.51E-04	-0.547	1.93E-03
-0.010	3.86E-03	-0.195	3.82E-03	-0.415	3.15E-03	-0.630	9.84E-04	-0.757	-4.85E-04	-0.542	1.98E-03
-0.015	3.87E-03	-0.200	3.82E-03	-0.420	3.11E-03	-0.635	9.31E-04	-0.752	-4.20E-04	-0.537	2.03E-03
-0.020	3.87E-03	-0.205	3.82E-03	-0.425	3.07E-03	-0.640	8.78E-04	-0.747	-3.56E-04	-0.532	2.09E-03
-0.024	3.86E-03	-0.210	3.82E-03	-0.430	3.03E-03	-0.645	8.25E-04	-0.742	-2.92E-04	-0.527	2.14E-03
-0.029	3.87E-03	-0.215	3.82E-03	-0.435	2.99E-03	-0.649	7.71E-04	-0.737	-2.30E-04	-0.522	2.19E-03
-0.034	3.87E-03	-0.220	3.82E-03	-0.439	2.95E-03	-0.654	7.18E-04	-0.732	-1.68E-04	-0.518	2.24E-03
-0.039	3.87E-03	-0.225	3.81E-03	-0.444	2.91E-03	-0.659	6.65E-04	-0.728	-1.08E-04	-0.513	2.30E-03
-0.044	3.86E-03	-0.229	3.81E-03	-0.449	2.87E-03	-0.664	6.12E-04	-0.723	-4.79E-05	-0.508	2.35E-03
-0.049	3.86E-03	-0.234	3.81E-03	-0.454	2.83E-03	-0.669	5.58E-04	-0.718	1.13E-05	-0.503	2.40E-03
-0.054	3.86E-03	-0.239	3.81E-03	-0.459	2.78E-03	-0.674	5.04E-04	-0.713	6.93E-05	-0.498	2.45E-03
-0.059	3.86E-03	-0.244	3.80E-03	-0.464	2.74E-03	-0.679	4.50E-04	-0.708	1.27E-04	-0.493	2.50E-03
-0.063	3.86E-03	-0.249	3.80E-03	-0.469	2.69E-03	-0.684	3.96E-04	-0.703	1.84E-04	-0.488	2.55E-03
-0.068	3.86E-03	-0.254	3.79E-03	-0.474	2.64E-03	-0.688	3.41E-04	-0.698	2.41E-04	-0.483	2.60E-03
-0.073	3.86E-03	-0.259	3.79E-03	-0.479	2.60E-03	-0.693	2.85E-04	-0.693	2.97E-04	-0.479	2.65E-03
-0.078	3.86E-03	-0.264	3.78E-03	-0.483	2.55E-03	-0.698	2.30E-04	-0.688	3.52E-04	-0.474	2.70E-03
-0.083	3.85E-03	-0.269	3.78E-03	-0.488	2.50E-03	-0.703	1.73E-04	-0.684	4.08E-04	-0.469	2.74E-03
-0.088	3.85E-03	-0.273	3.77E-03	-0.493	2.45E-03	-0.708	1.17E-04	-0.679	4.63E-04	-0.464	2.79E-03
-0.093	3.85E-03	-0.278	3.76E-03	-0.498	2.40E-03	-0.713	5.88E-05	-0.674	5.17E-04	-0.459	2.84E-03
-0.098	3.85E-03	-0.283	3.75E-03	-0.503	2.35E-03	-0.718	4.15E-07	-0.669	5.72E-04	-0.454	2.88E-03
-0.103	3.85E-03	-0.288	3.74E-03	-0.508	2.30E-03	-0.723	-5.88E-05	-0.664	6.26E-04	-0.449	2.92E-03
-0.107	3.85E-03	-0.293	3.73E-03	-0.513	2.25E-03	-0.728	-1.19E-04	-0.659	6.80E-04	-0.444	2.97E-03
-0.112	3.85E-03	-0.298	3.72E-03	-0.518	2.20E-03	-0.732	-1.80E-04	-0.654	7.34E-04	-0.439	3.01E-03
-0.117	3.85E-03	-0.303	3.71E-03	-0.522	2.15E-03	-0.737	-2.41E-04	-0.649	7.88E-04	-0.435	3.05E-03
-0.122	3.85E-03	-0.308	3.70E-03	-0.527	2.10E-03	-0.742	-3.04E-04	-0.645	8.43E-04	-0.430	3.10E-03
-0.127	3.85E-03	-0.313	3.68E-03	-0.532	2.05E-03	-0.747	-3.68E-04	-0.640	8.97E-04	-0.425	3.13E-03
-0.132	3.85E-03	-0.317	3.67E-03	-0.537	1.99E-03	-0.752	-4.32E-04	-0.635	9.51E-04	-0.420	3.17E-03
-0.137	3.85E-03	-0.322	3.65E-03	-0.542	1.94E-03	-0.757	-4.98E-04	-0.630	1.00E-03	-0.415	3.21E-03
-0.142	3.84E-03	-0.327	3.64E-03	-0.547	1.89E-03	-0.762	-5.65E-04	-0.625	1.06E-03	-0.410	3.25E-03
-0.146	3.84E-03	-0.332	3.62E-03	-0.552	1.84E-03	-0.767	-6.33E-04	-0.620	1.11E-03	-0.405	3.29E-03
-0.151	3.84E-03	-0.337	3.60E-03	-0.557	1.78E-03	-0.771	-7.02E-04	-0.615	1.17E-03	-0.400	3.32E-03
-0.156	3.84E-03	-0.342	3.58E-03	-0.562	1.73E-03	-0.776	-7.71E-04	-0.610	1.22E-03	-0.396	3.36E-03
-0.161	3.84E-03	-0.347	3.56E-03	-0.566	1.68E-03	-0.781	-8.42E-04	-0.605	1.28E-03	-0.391	3.39E-03
-0.166	3.83E-03	-0.352	3.54E-03	-0.571	1.62E-03	-0.786	-9.13E-04	-0.601	1.33E-03	-0.386	3.42E-03
-0.171	3.84E-03	-0.356	3.52E-03	-0.576	1.57E-03	-0.791	-9.85E-04	-0.596	1.39E-03	-0.381	3.45E-03
-0.176	3.83E-03	-0.361	3.49E-03	-0.581	1.52E-03	-0.796	-1.06E-03	-0.591	1.44E-03	-0.376	3.48E-03
-0.181	3.83E-03	-0.366	3.46E-03	-0.586	1.46E-03	-0.801	-1.13E-03	-0.586	1.49E-03	-0.371	3.51E-03

**Cuadro A.3.** Datos de I-V para la celda 3, sensibilizada con tinte Z907.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	4.06E-03	-0.190	4.01E-03	-0.435	2.97E-03	-0.649	5.66E-04	-0.737	-3.80E-04	-0.522	2.03E-03
-0.005	4.05E-03	-0.195	4.00E-03	-0.439	2.92E-03	-0.654	5.17E-04	-0.732	-3.19E-04	-0.518	2.09E-03
-0.010	4.05E-03	-0.200	4.00E-03	-0.444	2.87E-03	-0.659	4.67E-04	-0.728	-2.60E-04	-0.513	2.15E-03
-0.015	4.05E-03	-0.205	4.00E-03	-0.449	2.82E-03	-0.664	4.18E-04	-0.723	-2.01E-04	-0.508	2.21E-03
-0.020	4.05E-03	-0.210	4.00E-03	-0.454	2.77E-03	-0.669	3.69E-04	-0.718	-1.44E-04	-0.503	2.26E-03
-0.024	4.05E-03	-0.215	3.99E-03	-0.459	2.72E-03	-0.674	3.19E-04	-0.713	-8.86E-05	-0.498	2.32E-03
-0.029	4.05E-03	-0.220	3.99E-03	-0.464	2.67E-03	-0.679	2.70E-04	-0.708	-3.37E-05	-0.493	2.38E-03
-0.034	4.05E-03	-0.225	3.99E-03	-0.469	2.61E-03	-0.684	2.19E-04	-0.703	2.01E-05	-0.488	2.43E-03
-0.039	4.05E-03	-0.229	3.98E-03	-0.474	2.56E-03	-0.688	1.69E-04	-0.698	7.31E-05	-0.483	2.49E-03
-0.044	4.05E-03	-0.234	3.98E-03	-0.479	2.50E-03	-0.693	1.18E-04	-0.693	1.25E-04	-0.479	2.54E-03
-0.049	4.05E-03	-0.239	3.98E-03	-0.483	2.45E-03	-0.698	6.64E-05	-0.688	1.76E-04	-0.474	2.60E-03
-0.054	4.05E-03	-0.244	3.97E-03	-0.488	2.39E-03	-0.703	1.37E-05	-0.684	2.27E-04	-0.469	2.65E-03
-0.059	4.04E-03	-0.249	3.96E-03	-0.493	2.34E-03	-0.708	-4.00E-05	-0.679	2.77E-04	-0.464	2.71E-03
-0.063	4.04E-03	-0.254	3.96E-03	-0.498	2.28E-03	-0.713	-9.48E-05	-0.674	3.27E-04	-0.459	2.76E-03
-0.068	4.04E-03	-0.259	3.95E-03	-0.503	2.23E-03	-0.718	-1.51E-04	-0.669	3.77E-04	-0.454	2.82E-03
-0.073	4.04E-03	-0.264	3.94E-03	-0.508	2.17E-03	-0.723	-2.08E-04	-0.664	4.28E-04	-0.449	2.87E-03
-0.078	4.04E-03	-0.269	3.93E-03	-0.513	2.11E-03	-0.728	-2.66E-04	-0.659	4.78E-04	-0.444	2.92E-03
-0.083	4.04E-03	-0.273	3.92E-03	-0.518	2.05E-03	-0.732	-3.27E-04	-0.654	5.28E-04	-0.439	2.97E-03
-0.088	4.04E-03	-0.278	3.91E-03	-0.522	2.00E-03	-0.737	-3.88E-04	-0.649	5.78E-04	-0.435	3.02E-03
-0.093	4.04E-03	-0.283	3.91E-03	-0.527	1.94E-03	-0.742	-4.52E-04	-0.645	6.29E-04	-0.430	3.07E-03
-0.098	4.04E-03	-0.288	3.89E-03	-0.532	1.88E-03	-0.747	-5.17E-04	-0.640	6.81E-04	-0.425	3.12E-03
-0.103	4.04E-03	-0.293	3.88E-03	-0.537	1.82E-03	-0.752	-5.83E-04	-0.635	7.33E-04	-0.420	3.16E-03
-0.107	4.04E-03	-0.298	3.87E-03	-0.542	1.77E-03	-0.757	-6.51E-04	-0.630	7.85E-04	-0.415	3.21E-03
-0.112	4.04E-03	-0.303	3.85E-03	-0.547	1.71E-03	-0.762	-7.21E-04	-0.625	8.37E-04	-0.410	3.25E-03
-0.117	4.03E-03	-0.308	3.84E-03	-0.552	1.65E-03	-0.767	-7.92E-04	-0.620	8.91E-04	-0.405	3.30E-03
-0.122	4.03E-03	-0.313	3.82E-03	-0.557	1.59E-03	-0.771	-8.65E-04	-0.615	9.44E-04	-0.400	3.34E-03
-0.127	4.03E-03	-0.317	3.80E-03	-0.562	1.54E-03	-0.776	-9.40E-04	-0.610	9.99E-04	-0.396	3.38E-03
-0.132	4.03E-03	-0.322	3.78E-03	-0.566	1.48E-03	-0.781	-1.02E-03	-0.605	1.05E-03	-0.391	3.42E-03
-0.137	4.03E-03	-0.327	3.76E-03	-0.571	1.42E-03	-0.786	-1.09E-03	-0.601	1.11E-03	-0.386	3.46E-03
-0.142	4.03E-03	-0.332	3.74E-03	-0.576	1.37E-03	-0.791	-1.17E-03	-0.596	1.16E-03	-0.381	3.50E-03
-0.146	4.03E-03	-0.337	3.72E-03	-0.581	1.31E-03	-0.796	-1.25E-03	-0.591	1.22E-03	-0.376	3.53E-03
-0.151	4.02E-03	-0.342	3.69E-03	-0.586	1.25E-03	-0.801	-1.34E-03	-0.586	1.28E-03	-0.371	3.57E-03
-0.156	4.02E-03	-0.347	3.67E-03	-0.591	1.20E-03	-0.796	-1.25E-03	-0.581	1.33E-03	-0.366	3.60E-03
-0.161	4.02E-03	-0.352	3.64E-03	-0.596	1.14E-03	-0.791	-1.16E-03	-0.576	1.39E-03	-0.361	3.63E-03
-0.166	4.02E-03	-0.356	3.61E-03	-0.601	1.09E-03	-0.786	-1.08E-03	-0.571	1.45E-03	-0.356	3.66E-03
-0.171	4.02E-03	-0.361	3.58E-03	-0.605	1.03E-03	-0.781	-1.00E-03	-0.566	1.51E-03	-0.352	3.70E-03
-0.176	4.02E-03	-0.366	3.55E-03	-0.610	9.80E-04	-0.776	-9.26E-04	-0.562	1.56E-03	-0.347	3.72E-03
-0.181	4.01E-03	-0.371	3.51E-03	-0.615	9.27E-04	-0.771	-8.52E-04	-0.557	1.62E-03	-0.342	3.75E-03

**Cuadro A.4.** Datos de I-V para la celda 4, sensibilizada con tinte Z907.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	4.04E-03	-0.186	3.82E-03	-0.371	2.74E-03	-0.557	1.15E-03	-0.742	-5.63E-05	-0.674	3.53E-04
-0.005	4.05E-03	-0.190	3.81E-03	-0.376	2.70E-03	-0.562	1.11E-03	-0.747	-8.84E-05	-0.669	3.82E-04
-0.010	4.04E-03	-0.195	3.80E-03	-0.381	2.66E-03	-0.566	1.07E-03	-0.752	-1.22E-04	-0.664	4.12E-04
-0.015	4.04E-03	-0.200	3.78E-03	-0.386	2.62E-03	-0.571	1.04E-03	-0.757	-1.56E-04	-0.659	4.42E-04
-0.020	4.04E-03	-0.205	3.76E-03	-0.391	2.58E-03	-0.576	9.98E-04	-0.762	-1.93E-04	-0.654	4.74E-04
-0.024	4.04E-03	-0.210	3.74E-03	-0.396	2.54E-03	-0.581	9.59E-04	-0.767	-2.30E-04	-0.649	5.05E-04
-0.029	4.04E-03	-0.215	3.72E-03	-0.400	2.50E-03	-0.586	9.22E-04	-0.771	-2.69E-04	-0.645	5.37E-04
-0.034	4.02E-03	-0.220	3.70E-03	-0.405	2.46E-03	-0.591	8.84E-04	-0.776	-3.09E-04	-0.640	5.70E-04
-0.039	4.02E-03	-0.225	3.68E-03	-0.410	2.42E-03	-0.596	8.48E-04	-0.781	-3.51E-04	-0.635	6.03E-04
-0.044	4.02E-03	-0.229	3.66E-03	-0.415	2.38E-03	-0.601	8.12E-04	-0.786	-3.94E-04	-0.630	6.37E-04
-0.049	4.01E-03	-0.234	3.64E-03	-0.420	2.34E-03	-0.605	7.75E-04	-0.791	-4.39E-04	-0.625	6.71E-04
-0.054	4.02E-03	-0.239	3.61E-03	-0.425	2.29E-03	-0.610	7.40E-04	-0.796	-4.85E-04	-0.620	7.06E-04
-0.059	4.02E-03	-0.244	3.58E-03	-0.430	2.25E-03	-0.615	7.06E-04	-0.801	-5.33E-04	-0.615	7.42E-04
-0.063	4.02E-03	-0.249	3.56E-03	-0.435	2.21E-03	-0.620	6.72E-04	-0.796	-4.84E-04	-0.610	7.78E-04
-0.068	4.02E-03	-0.254	3.53E-03	-0.439	2.16E-03	-0.625	6.38E-04	-0.791	-4.38E-04	-0.605	8.15E-04
-0.073	4.02E-03	-0.259	3.51E-03	-0.444	2.12E-03	-0.630	6.05E-04	-0.786	-3.94E-04	-0.601	8.52E-04
-0.078	4.01E-03	-0.264	3.48E-03	-0.449	2.08E-03	-0.635	5.73E-04	-0.781	-3.51E-04	-0.596	8.90E-04
-0.083	4.01E-03	-0.269	3.46E-03	-0.454	2.04E-03	-0.640	5.41E-04	-0.776	-3.09E-04	-0.591	9.28E-04
-0.088	4.01E-03	-0.273	3.43E-03	-0.459	1.99E-03	-0.645	5.10E-04	-0.771	-2.69E-04	-0.586	9.66E-04
-0.093	4.00E-03	-0.278	3.40E-03	-0.464	1.95E-03	-0.649	4.79E-04	-0.767	-2.29E-04	-0.581	1.01E-03
-0.098	4.00E-03	-0.283	3.37E-03	-0.469	1.90E-03	-0.654	4.49E-04	-0.762	-1.92E-04	-0.576	1.04E-03
-0.103	3.99E-03	-0.288	3.34E-03	-0.474	1.86E-03	-0.659	4.20E-04	-0.757	-1.56E-04	-0.571	1.08E-03
-0.107	3.98E-03	-0.293	3.31E-03	-0.479	1.82E-03	-0.664	3.91E-04	-0.752	-1.21E-04	-0.566	1.13E-03
-0.112	3.97E-03	-0.298	3.28E-03	-0.483	1.78E-03	-0.669	3.62E-04	-0.747	-8.66E-05	-0.562	1.17E-03
-0.117	3.96E-03	-0.303	3.25E-03	-0.488	1.73E-03	-0.674	3.34E-04	-0.742	-5.38E-05	-0.557	1.21E-03
-0.122	3.95E-03	-0.308	3.21E-03	-0.493	1.69E-03	-0.679	3.07E-04	-0.737	-2.17E-05	-0.552	1.25E-03
-0.127	3.95E-03	-0.313	3.18E-03	-0.498	1.65E-03	-0.684	2.80E-04	-0.732	8.99E-06	-0.547	1.29E-03
-0.132	3.94E-03	-0.317	3.14E-03	-0.503	1.61E-03	-0.688	2.53E-04	-0.728	3.93E-05	-0.542	1.33E-03
-0.137	3.93E-03	-0.322	3.11E-03	-0.508	1.57E-03	-0.693	2.26E-04	-0.723	6.85E-05	-0.537	1.37E-03
-0.142	3.92E-03	-0.327	3.07E-03	-0.513	1.52E-03	-0.698	1.99E-04	-0.718	9.74E-05	-0.532	1.42E-03
-0.146	3.92E-03	-0.332	3.04E-03	-0.518	1.48E-03	-0.703	1.73E-04	-0.713	1.26E-04	-0.527	1.46E-03
-0.151	3.91E-03	-0.337	3.00E-03	-0.522	1.44E-03	-0.708	1.46E-04	-0.708	1.54E-04	-0.522	1.50E-03
-0.156	3.90E-03	-0.342	2.97E-03	-0.527	1.40E-03	-0.713	1.18E-04	-0.703	1.82E-04	-0.518	1.54E-03
-0.161	3.89E-03	-0.347	2.93E-03	-0.532	1.36E-03	-0.718	9.10E-05	-0.698	2.10E-04	-0.513	1.59E-03
-0.166	3.88E-03	-0.352	2.89E-03	-0.537	1.32E-03	-0.723	6.28E-05	-0.693	2.38E-04	-0.508	1.63E-03
-0.171	3.87E-03	-0.356	2.86E-03	-0.542	1.27E-03	-0.728	3.44E-05	-0.688	2.67E-04	-0.503	1.67E-03
-0.176	3.85E-03	-0.361	2.82E-03	-0.547	1.23E-03	-0.732	5.06E-06	-0.684	2.95E-04	-0.498	1.72E-03
-0.181	3.84E-03	-0.366	2.78E-03	-0.552	1.19E-03	-0.737	-2.50E-05	-0.679	3.24E-04	-0.493	1.76E-03

**Cuadro A.5.** Datos de I-V para la celda 5, sensibilizada con tinte Z907.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	4.02E-03	-0.186	3.97E-03	-0.371	3.57E-03	-0.527	2.30E-03	-0.742	2.71E-06	-0.674	7.54E-04
-0.005	4.02E-03	-0.190	3.97E-03	-0.376	3.54E-03	-0.532	2.26E-03	-0.747	-5.46E-05	-0.669	8.06E-04
-0.010	4.02E-03	-0.195	3.97E-03	-0.381	3.51E-03	-0.537	2.20E-03	-0.752	-1.13E-04	-0.664	8.59E-04
-0.015	4.01E-03	-0.200	3.96E-03	-0.386	3.48E-03	-0.542	2.15E-03	-0.757	-1.72E-04	-0.659	9.12E-04
-0.020	4.02E-03	-0.205	3.96E-03	-0.391	3.46E-03	-0.547	2.10E-03	-0.762	-2.33E-04	-0.654	9.64E-04
-0.024	4.01E-03	-0.210	3.95E-03	-0.396	3.43E-03	-0.552	2.05E-03	-0.767	-2.95E-04	-0.649	1.02E-03
-0.029	4.02E-03	-0.215	3.95E-03	-0.400	3.39E-03	-0.557	1.99E-03	-0.771	-3.58E-04	-0.645	1.07E-03
-0.034	4.01E-03	-0.220	3.95E-03	-0.405	3.36E-03	-0.562	1.94E-03	-0.776	-4.23E-04	-0.640	1.12E-03
-0.039	4.01E-03	-0.225	3.95E-03	-0.410	3.33E-03	-0.566	1.89E-03	-0.781	-4.90E-04	-0.635	1.17E-03
-0.044	4.00E-03	-0.229	3.94E-03	-0.415	3.30E-03	-0.571	1.84E-03	-0.786	-5.58E-04	-0.630	1.23E-03
-0.049	4.00E-03	-0.234	3.93E-03	-0.420	3.26E-03	-0.576	1.79E-03	-0.791	-6.28E-04	-0.625	1.28E-03
-0.054	4.00E-03	-0.239	3.93E-03	-0.425	3.23E-03	-0.581	1.74E-03	-0.796	-7.00E-04	-0.620	1.33E-03
-0.059	4.00E-03	-0.244	3.92E-03	-0.430	3.19E-03	-0.586	1.68E-03	-0.801	-7.73E-04	-0.615	1.39E-03
-0.063	4.00E-03	-0.249	3.92E-03	-0.435	3.15E-03	-0.591	1.63E-03	-0.796	-6.96E-04	-0.610	1.44E-03
-0.068	4.00E-03	-0.254	3.92E-03	-0.439	3.11E-03	-0.596	1.58E-03	-0.791	-6.23E-04	-0.605	1.49E-03
-0.073	4.00E-03	-0.259	3.91E-03	-0.444	3.07E-03	-0.601	1.52E-03	-0.786	-5.52E-04	-0.601	1.55E-03
-0.078	4.00E-03	-0.264	3.90E-03	-0.449	3.03E-03	-0.605	1.47E-03	-0.781	-4.84E-04	-0.596	1.60E-03
-0.083	4.00E-03	-0.269	3.89E-03	-0.454	2.99E-03	-0.610	1.42E-03	-0.776	-4.16E-04	-0.591	1.66E-03
-0.088	4.00E-03	-0.273	3.89E-03	-0.459	2.95E-03	-0.615	1.36E-03	-0.771	-3.51E-04	-0.586	1.71E-03
-0.093	3.99E-03	-0.278	3.88E-03	-0.464	2.91E-03	-0.620	1.31E-03	-0.767	-2.87E-04	-0.581	1.76E-03
-0.098	3.99E-03	-0.283	3.87E-03	-0.469	2.87E-03	-0.625	1.26E-03	-0.762	-2.25E-04	-0.576	1.82E-03
-0.103	3.99E-03	-0.288	3.86E-03	-0.474	2.83E-03	-0.630	1.21E-03	-0.757	-1.64E-04	-0.571	1.87E-03
-0.107	3.99E-03	-0.293	3.85E-03	-0.479	2.78E-03	-0.635	1.15E-03	-0.752	-1.05E-04	-0.566	1.92E-03
-0.112	3.98E-03	-0.298	3.84E-03	-0.483	2.74E-03	-0.640	1.10E-03	-0.747	-4.64E-05	-0.562	1.98E-03
-0.117	3.98E-03	-0.303	3.83E-03	-0.488	2.69E-03	-0.645	1.05E-03	-0.742	1.11E-05	-0.557	2.03E-03
-0.122	3.98E-03	-0.308	3.81E-03	-0.493	2.64E-03	-0.649	9.97E-04	-0.737	6.74E-05	-0.552	2.08E-03
-0.127	3.98E-03	-0.313	3.80E-03	-0.498	2.60E-03	-0.654	9.45E-04	-0.732	1.23E-04	-0.547	2.13E-03
-0.132	3.98E-03	-0.317	3.78E-03	-0.503	2.55E-03	-0.659	8.93E-04	-0.728	1.77E-04	-0.542	2.19E-03
-0.137	3.98E-03	-0.322	3.77E-03	-0.508	2.50E-03	-0.664	8.41E-04	-0.723	2.31E-04	-0.537	2.24E-03
-0.142	3.97E-03	-0.327	3.76E-03	-0.513	2.45E-03	-0.669	7.89E-04	-0.718	2.85E-04	-0.532	2.29E-03
-0.146	3.98E-03	-0.332	3.74E-03	-0.518	2.40E-03	-0.674	7.38E-04	-0.713	3.37E-04	-0.527	2.34E-03
-0.151	3.98E-03	-0.337	3.72E-03	-0.522	2.35E-03	-0.679	6.87E-04	-0.708	3.90E-04	-0.522	2.39E-03
-0.156	3.98E-03	-0.342	3.70E-03	-0.527	2.30E-03	-0.684	6.36E-04	-0.703	4.42E-04	-0.518	2.44E-03
-0.161	3.97E-03	-0.347	3.68E-03	-0.532	2.25E-03	-0.688	5.84E-04	-0.698	4.95E-04	-0.513	2.49E-03
-0.166	3.97E-03	-0.352	3.66E-03	-0.537	2.20E-03	-0.693	5.33E-04	-0.693	5.47E-04	-0.508	2.54E-03
-0.171	3.96E-03	-0.356	3.64E-03	-0.542	2.15E-03	-0.698	4.82E-04	-0.688	5.99E-04	-0.503	2.59E-03
-0.176	3.96E-03	-0.361	3.62E-03	-0.547	2.10E-03	-0.703	4.31E-04	-0.684	6.51E-04	-0.498	2.63E-03
-0.181	3.96E-03	-0.366	3.59E-03	-0.552	2.05E-03	-0.708	3.79E-04	-0.679	7.02E-04	-0.493	2.68E-03

**Cuadro A.6.** Datos de I-V para la celda 6, sensibilizada con tinte Z907.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	4.44E-03	-0.186	4.37E-03	-0.371	3.79E-03	-0.571	1.74E-03	-0.742	-5.79E-06	-0.659	7.94E-04
-0.005	4.43E-03	-0.190	4.37E-03	-0.376	3.75E-03	-0.576	1.68E-03	-0.747	-5.62E-05	-0.654	8.44E-04
-0.010	4.43E-03	-0.195	4.36E-03	-0.381	3.72E-03	-0.581	1.63E-03	-0.752	-1.08E-04	-0.649	8.94E-04
-0.015	4.43E-03	-0.200	4.36E-03	-0.386	3.68E-03	-0.586	1.57E-03	-0.757	-1.61E-04	-0.645	9.45E-04
-0.020	4.43E-03	-0.205	4.35E-03	-0.391	3.64E-03	-0.591	1.51E-03	-0.762	-2.16E-04	-0.640	9.97E-04
-0.024	4.43E-03	-0.210	4.35E-03	-0.396	3.61E-03	-0.596	1.46E-03	-0.767	-2.73E-04	-0.635	1.05E-03
-0.029	4.43E-03	-0.215	4.34E-03	-0.400	3.57E-03	-0.601	1.40E-03	-0.771	-3.31E-04	-0.630	1.10E-03
-0.034	4.43E-03	-0.220	4.34E-03	-0.405	3.53E-03	-0.605	1.35E-03	-0.776	-3.91E-04	-0.625	1.16E-03
-0.039	4.43E-03	-0.225	4.34E-03	-0.410	3.49E-03	-0.610	1.29E-03	-0.781	-4.54E-04	-0.620	1.21E-03
-0.044	4.42E-03	-0.229	4.33E-03	-0.415	3.44E-03	-0.615	1.24E-03	-0.786	-5.18E-04	-0.615	1.27E-03
-0.049	4.42E-03	-0.234	4.32E-03	-0.420	3.39E-03	-0.620	1.18E-03	-0.791	-5.84E-04	-0.610	1.32E-03
-0.054	4.42E-03	-0.239	4.31E-03	-0.425	3.35E-03	-0.625	1.13E-03	-0.796	-6.52E-04	-0.605	1.38E-03
-0.059	4.42E-03	-0.244	4.31E-03	-0.430	3.30E-03	-0.630	1.08E-03	-0.801	-7.22E-04	-0.601	1.43E-03
-0.063	4.41E-03	-0.249	4.30E-03	-0.435	3.25E-03	-0.635	1.03E-03	-0.796	-6.50E-04	-0.596	1.49E-03
-0.068	4.41E-03	-0.254	4.29E-03	-0.439	3.21E-03	-0.640	9.77E-04	-0.791	-5.81E-04	-0.591	1.55E-03
-0.073	4.41E-03	-0.259	4.28E-03	-0.444	3.16E-03	-0.645	9.26E-04	-0.786	-5.15E-04	-0.586	1.60E-03
-0.078	4.40E-03	-0.264	4.28E-03	-0.449	3.11E-03	-0.649	8.76E-04	-0.781	-4.51E-04	-0.581	1.66E-03
-0.083	4.41E-03	-0.269	4.26E-03	-0.454	3.06E-03	-0.654	8.27E-04	-0.776	-3.89E-04	-0.576	1.72E-03
-0.088	4.41E-03	-0.273	4.25E-03	-0.459	3.01E-03	-0.659	7.79E-04	-0.771	-3.28E-04	-0.571	1.78E-03
-0.093	4.40E-03	-0.278	4.24E-03	-0.464	2.96E-03	-0.664	7.30E-04	-0.767	-2.70E-04	-0.566	1.83E-03
-0.098	4.40E-03	-0.283	4.23E-03	-0.469	2.91E-03	-0.669	6.83E-04	-0.762	-2.14E-04	-0.562	1.89E-03
-0.103	4.40E-03	-0.288	4.21E-03	-0.474	2.86E-03	-0.674	6.36E-04	-0.757	-1.59E-04	-0.557	1.95E-03
-0.107	4.40E-03	-0.293	4.20E-03	-0.479	2.80E-03	-0.679	5.90E-04	-0.752	-1.05E-04	-0.552	2.01E-03
-0.112	4.39E-03	-0.298	4.18E-03	-0.483	2.75E-03	-0.684	5.44E-04	-0.747	-5.34E-05	-0.547	2.07E-03
-0.117	4.39E-03	-0.303	4.17E-03	-0.488	2.70E-03	-0.688	4.98E-04	-0.742	-3.02E-06	-0.542	2.12E-03
-0.122	4.40E-03	-0.308	4.15E-03	-0.493	2.64E-03	-0.693	4.53E-04	-0.737	4.64E-05	-0.537	2.18E-03
-0.127	4.39E-03	-0.313	4.13E-03	-0.498	2.58E-03	-0.698	4.08E-04	-0.732	9.45E-05	-0.532	2.24E-03
-0.132	4.40E-03	-0.317	4.11E-03	-0.503	2.53E-03	-0.703	3.64E-04	-0.728	1.42E-04	-0.527	2.30E-03
-0.137	4.39E-03	-0.322	4.08E-03	-0.508	2.47E-03	-0.708	3.19E-04	-0.723	1.89E-04	-0.522	2.36E-03
-0.142	4.39E-03	-0.327	4.06E-03	-0.513	2.42E-03	-0.713	2.74E-04	-0.718	2.35E-04	-0.518	2.41E-03
-0.146	4.38E-03	-0.332	4.03E-03	-0.518	2.36E-03	-0.718	2.29E-04	-0.713	2.80E-04	-0.513	2.47E-03
-0.151	4.38E-03	-0.337	4.01E-03	-0.522	2.30E-03	-0.723	1.84E-04	-0.708	3.26E-04	-0.508	2.53E-03
-0.156	4.39E-03	-0.342	3.98E-03	-0.527	2.25E-03	-0.728	1.38E-04	-0.703	3.71E-04	-0.503	2.58E-03
-0.161	4.38E-03	-0.347	3.95E-03	-0.532	2.19E-03	-0.732	9.06E-05	-0.698	4.17E-04	-0.498	2.64E-03
-0.166	4.38E-03	-0.352	3.92E-03	-0.537	2.14E-03	-0.737	4.32E-05	-0.693	4.62E-04	-0.493	2.70E-03
-0.171	4.38E-03	-0.356	3.89E-03	-0.542	2.08E-03	-0.576	1.68E-03	-0.688	5.08E-04	-0.488	2.75E-03
-0.176	4.37E-03	-0.361	3.85E-03	-0.547	2.02E-03	-0.581	1.63E-03	-0.684	5.55E-04	-0.483	2.81E-03
-0.181	4.37E-03	-0.366	3.82E-03	-0.552	1.97E-03	-0.586	1.57E-03	-0.679	6.02E-04	-0.479	2.86E-03

**Cuadro A.7.** Datos de I-V para la celda 7, sensibilizada con tinte Z907.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	3.45E-03	-0.186	3.41E-03	-0.371	2.98E-03	-0.557	1.55E-03	-0.742	1.97E-05	-0.674	5.61E-04
-0.005	3.45E-03	-0.190	3.41E-03	-0.376	2.96E-03	-0.562	1.51E-03	-0.747	-2.19E-05	-0.669	6.00E-04
-0.010	3.45E-03	-0.195	3.40E-03	-0.381	2.93E-03	-0.566	1.46E-03	-0.752	-6.49E-05	-0.664	6.40E-04
-0.015	3.44E-03	-0.200	3.40E-03	-0.386	2.91E-03	-0.571	1.42E-03	-0.757	-1.09E-04	-0.659	6.79E-04
-0.020	3.44E-03	-0.205	3.40E-03	-0.391	2.88E-03	-0.576	1.37E-03	-0.762	-1.55E-04	-0.654	7.19E-04
-0.024	3.44E-03	-0.210	3.40E-03	-0.396	2.85E-03	-0.581	1.33E-03	-0.767	-2.02E-04	-0.649	7.60E-04
-0.029	3.44E-03	-0.215	3.39E-03	-0.400	2.82E-03	-0.586	1.28E-03	-0.771	-2.52E-04	-0.645	8.01E-04
-0.034	3.44E-03	-0.220	3.39E-03	-0.405	2.79E-03	-0.591	1.24E-03	-0.776	-3.03E-04	-0.640	8.42E-04
-0.039	3.44E-03	-0.225	3.39E-03	-0.410	2.76E-03	-0.596	1.20E-03	-0.781	-3.55E-04	-0.635	8.84E-04
-0.044	3.44E-03	-0.229	3.38E-03	-0.415	2.72E-03	-0.601	1.15E-03	-0.786	-4.10E-04	-0.630	9.26E-04
-0.049	3.44E-03	-0.234	3.38E-03	-0.420	2.69E-03	-0.605	1.11E-03	-0.791	-4.66E-04	-0.625	9.69E-04
-0.054	3.44E-03	-0.239	3.37E-03	-0.425	2.66E-03	-0.610	1.07E-03	-0.796	-5.25E-04	-0.620	1.01E-03
-0.059	3.44E-03	-0.244	3.36E-03	-0.430	2.62E-03	-0.615	1.02E-03	-0.801	-5.85E-04	-0.615	1.05E-03
-0.063	3.44E-03	-0.249	3.36E-03	-0.435	2.59E-03	-0.620	9.80E-04	-0.796	-5.22E-04	-0.610	1.10E-03
-0.068	3.44E-03	-0.254	3.36E-03	-0.439	2.55E-03	-0.625	9.38E-04	-0.791	-4.63E-04	-0.605	1.14E-03
-0.073	3.44E-03	-0.259	3.35E-03	-0.444	2.51E-03	-0.630	8.97E-04	-0.786	-4.05E-04	-0.601	1.19E-03
-0.078	3.44E-03	-0.264	3.34E-03	-0.449	2.48E-03	-0.635	8.56E-04	-0.781	-3.50E-04	-0.596	1.23E-03
-0.083	3.44E-03	-0.269	3.33E-03	-0.454	2.44E-03	-0.640	8.15E-04	-0.776	-2.97E-04	-0.591	1.28E-03
-0.088	3.44E-03	-0.273	3.32E-03	-0.459	2.40E-03	-0.645	7.75E-04	-0.771	-2.46E-04	-0.586	1.32E-03
-0.093	3.44E-03	-0.278	3.32E-03	-0.464	2.36E-03	-0.649	7.35E-04	-0.767	-1.97E-04	-0.581	1.37E-03
-0.098	3.43E-03	-0.283	3.31E-03	-0.469	2.32E-03	-0.654	6.95E-04	-0.762	-1.49E-04	-0.576	1.41E-03
-0.103	3.43E-03	-0.288	3.30E-03	-0.474	2.28E-03	-0.659	6.56E-04	-0.757	-1.03E-04	-0.571	1.46E-03
-0.107	3.43E-03	-0.293	3.28E-03	-0.479	2.24E-03	-0.664	6.18E-04	-0.752	-5.81E-05	-0.566	1.50E-03
-0.112	3.43E-03	-0.298	3.27E-03	-0.483	2.20E-03	-0.669	5.80E-04	-0.747	-1.48E-05	-0.562	1.55E-03
-0.117	3.43E-03	-0.303	3.26E-03	-0.488	2.16E-03	-0.674	5.43E-04	-0.742	2.72E-05	-0.557	1.59E-03
-0.122	3.43E-03	-0.308	3.24E-03	-0.493	2.12E-03	-0.679	5.05E-04	-0.737	6.82E-05	-0.552	1.64E-03
-0.127	3.43E-03	-0.313	3.23E-03	-0.498	2.08E-03	-0.684	4.69E-04	-0.732	1.08E-04	-0.547	1.69E-03
-0.132	3.42E-03	-0.317	3.22E-03	-0.503	2.03E-03	-0.688	4.32E-04	-0.728	1.48E-04	-0.542	1.73E-03
-0.137	3.42E-03	-0.322	3.20E-03	-0.508	1.99E-03	-0.693	3.96E-04	-0.723	1.86E-04	-0.537	1.78E-03
-0.142	3.42E-03	-0.327	3.18E-03	-0.513	1.95E-03	-0.698	3.59E-04	-0.718	2.24E-04	-0.532	1.82E-03
-0.146	3.42E-03	-0.332	3.17E-03	-0.518	1.90E-03	-0.703	3.23E-04	-0.713	2.62E-04	-0.527	1.87E-03
-0.151	3.42E-03	-0.337	3.15E-03	-0.522	1.86E-03	-0.708	2.87E-04	-0.708	2.99E-04	-0.522	1.91E-03
-0.156	3.42E-03	-0.342	3.13E-03	-0.527	1.82E-03	-0.713	2.50E-04	-0.703	3.36E-04	-0.518	1.96E-03
-0.161	3.41E-03	-0.347	3.11E-03	-0.532	1.77E-03	-0.718	2.13E-04	-0.698	3.73E-04	-0.513	2.00E-03
-0.166	3.41E-03	-0.352	3.09E-03	-0.537	1.73E-03	-0.723	1.76E-04	-0.693	4.10E-04	-0.508	2.05E-03
-0.171	3.41E-03	-0.356	3.06E-03	-0.542	1.68E-03	-0.728	1.38E-04	-0.688	4.48E-04	-0.503	2.09E-03
-0.176	3.41E-03	-0.361	3.04E-03	-0.547	1.64E-03	-0.732	9.97E-05	-0.684	4.85E-04	-0.498	2.13E-03
-0.181	3.41E-03	-0.366	3.01E-03	-0.552	1.60E-03	-0.737	6.02E-05	-0.679	5.23E-04	-0.493	2.17E-03

**Cuadro A.8.** Datos de I-V para la celda 8, sensibilizada con tinte Z907.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	3.29E-03	-0.186	3.26E-03	-0.371	3.17E-03	-0.557	2.18E-03	-0.742	-9.62E-05	-0.674	8.63E-04
-0.005	3.29E-03	-0.190	3.26E-03	-0.376	3.17E-03	-0.562	2.13E-03	-0.747	-1.69E-04	-0.669	9.27E-04
-0.010	3.28E-03	-0.195	3.26E-03	-0.381	3.16E-03	-0.566	2.08E-03	-0.752	-2.44E-04	-0.664	9.88E-04
-0.015	3.28E-03	-0.200	3.25E-03	-0.386	3.15E-03	-0.571	2.04E-03	-0.757	-3.19E-04	-0.659	1.05E-03
-0.020	3.28E-03	-0.205	3.25E-03	-0.391	3.14E-03	-0.576	1.99E-03	-0.762	-3.95E-04	-0.654	1.11E-03
-0.024	3.28E-03	-0.210	3.26E-03	-0.396	3.13E-03	-0.581	1.94E-03	-0.767	-4.72E-04	-0.649	1.17E-03
-0.029	3.28E-03	-0.215	3.25E-03	-0.400	3.12E-03	-0.586	1.89E-03	-0.771	-5.50E-04	-0.645	1.23E-03
-0.034	3.28E-03	-0.220	3.25E-03	-0.405	3.11E-03	-0.591	1.84E-03	-0.776	-6.29E-04	-0.640	1.29E-03
-0.039	3.27E-03	-0.225	3.25E-03	-0.410	3.09E-03	-0.596	1.78E-03	-0.781	-7.09E-04	-0.635	1.35E-03
-0.044	3.27E-03	-0.229	3.25E-03	-0.415	3.08E-03	-0.601	1.73E-03	-0.786	-7.89E-04	-0.630	1.41E-03
-0.049	3.27E-03	-0.234	3.25E-03	-0.420	3.07E-03	-0.605	1.68E-03	-0.791	-8.69E-04	-0.625	1.47E-03
-0.054	3.27E-03	-0.239	3.25E-03	-0.425	3.05E-03	-0.610	1.62E-03	-0.796	-9.52E-04	-0.620	1.53E-03
-0.059	3.27E-03	-0.244	3.25E-03	-0.430	3.04E-03	-0.615	1.57E-03	-0.801	-1.03E-03	-0.615	1.58E-03
-0.063	3.27E-03	-0.249	3.25E-03	-0.435	3.03E-03	-0.620	1.51E-03	-0.796	-9.45E-04	-0.610	1.64E-03
-0.068	3.27E-03	-0.254	3.25E-03	-0.439	3.01E-03	-0.625	1.46E-03	-0.791	-8.60E-04	-0.605	1.69E-03
-0.073	3.27E-03	-0.259	3.25E-03	-0.444	2.98E-03	-0.630	1.40E-03	-0.786	-7.78E-04	-0.601	1.75E-03
-0.078	3.27E-03	-0.264	3.25E-03	-0.449	2.96E-03	-0.635	1.34E-03	-0.781	-6.97E-04	-0.596	1.80E-03
-0.083	3.27E-03	-0.269	3.24E-03	-0.454	2.94E-03	-0.640	1.28E-03	-0.776	-6.18E-04	-0.591	1.86E-03
-0.088	3.26E-03	-0.273	3.24E-03	-0.459	2.91E-03	-0.645	1.22E-03	-0.771	-5.40E-04	-0.586	1.91E-03
-0.093	3.26E-03	-0.278	3.23E-03	-0.464	2.89E-03	-0.649	1.16E-03	-0.767	-4.62E-04	-0.581	1.96E-03
-0.098	3.26E-03	-0.283	3.23E-03	-0.469	2.86E-03	-0.654	1.10E-03	-0.762	-3.86E-04	-0.576	2.01E-03
-0.103	3.26E-03	-0.288	3.23E-03	-0.474	2.83E-03	-0.659	1.04E-03	-0.757	-3.10E-04	-0.571	2.06E-03
-0.107	3.27E-03	-0.293	3.23E-03	-0.479	2.80E-03	-0.664	9.79E-04	-0.752	-2.35E-04	-0.566	2.11E-03
-0.112	3.27E-03	-0.298	3.23E-03	-0.483	2.77E-03	-0.669	9.17E-04	-0.747	-1.60E-04	-0.562	2.16E-03
-0.117	3.27E-03	-0.303	3.23E-03	-0.488	2.74E-03	-0.674	8.54E-04	-0.742	-8.69E-05	-0.557	2.20E-03
-0.122	3.27E-03	-0.308	3.22E-03	-0.493	2.71E-03	-0.679	7.92E-04	-0.737	-1.42E-05	-0.552	2.25E-03
-0.127	3.26E-03	-0.313	3.22E-03	-0.498	2.67E-03	-0.684	7.28E-04	-0.732	5.74E-05	-0.547	2.29E-03
-0.132	3.26E-03	-0.317	3.22E-03	-0.503	2.64E-03	-0.688	6.63E-04	-0.728	1.28E-04	-0.542	2.34E-03
-0.137	3.26E-03	-0.322	3.22E-03	-0.508	2.60E-03	-0.693	5.98E-04	-0.723	1.99E-04	-0.537	2.38E-03
-0.142	3.26E-03	-0.327	3.21E-03	-0.513	2.56E-03	-0.698	5.33E-04	-0.718	2.68E-04	-0.532	2.43E-03
-0.146	3.26E-03	-0.332	3.21E-03	-0.518	2.52E-03	-0.703	4.65E-04	-0.713	3.36E-04	-0.527	2.47E-03
-0.151	3.26E-03	-0.337	3.21E-03	-0.522	2.48E-03	-0.708	3.98E-04	-0.708	4.05E-04	-0.522	2.51E-03
-0.156	3.26E-03	-0.342	3.20E-03	-0.527	2.44E-03	-0.713	3.30E-04	-0.703	4.73E-04	-0.518	2.55E-03
-0.161	3.26E-03	-0.347	3.20E-03	-0.532	2.40E-03	-0.718	2.61E-04	-0.698	5.39E-04	-0.513	2.59E-03
-0.166	3.26E-03	-0.352	3.20E-03	-0.537	2.36E-03	-0.723	1.91E-04	-0.693	6.05E-04	-0.508	2.63E-03
-0.171	3.26E-03	-0.356	3.19E-03	-0.542	2.31E-03	-0.728	1.21E-04	-0.688	6.71E-04	-0.503	2.67E-03
-0.176	3.26E-03	-0.361	3.19E-03	-0.547	2.27E-03	-0.732	4.99E-05	-0.684	7.35E-04	-0.498	2.70E-03
-0.181	3.26E-03	-0.366	3.18E-03	-0.552	2.22E-03	-0.737	-2.23E-05	-0.679	8.00E-04	-0.493	2.74E-03



**Cuadro A.9.** Datos de I-V para la celda 9, sensibilizada con tinte Z907.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	3.29E-03	-0.186	3.26E-03	-0.371	3.17E-03	-0.557	2.18E-03	-0.742	-9.62E-05	-0.674	8.63E-04
-0.005	3.29E-03	-0.190	3.26E-03	-0.376	3.17E-03	-0.562	2.13E-03	-0.747	-1.69E-04	-0.669	9.27E-04
-0.010	3.28E-03	-0.195	3.26E-03	-0.381	3.16E-03	-0.566	2.08E-03	-0.752	-2.44E-04	-0.664	9.88E-04
-0.015	3.28E-03	-0.200	3.25E-03	-0.386	3.15E-03	-0.571	2.04E-03	-0.757	-3.19E-04	-0.659	1.05E-03
-0.020	3.28E-03	-0.205	3.25E-03	-0.391	3.14E-03	-0.576	1.99E-03	-0.762	-3.95E-04	-0.654	1.11E-03
-0.024	3.28E-03	-0.210	3.26E-03	-0.396	3.13E-03	-0.581	1.94E-03	-0.767	-4.72E-04	-0.649	1.17E-03
-0.029	3.28E-03	-0.215	3.25E-03	-0.400	3.12E-03	-0.586	1.89E-03	-0.771	-5.50E-04	-0.645	1.23E-03
-0.034	3.28E-03	-0.220	3.25E-03	-0.405	3.11E-03	-0.591	1.84E-03	-0.776	-6.29E-04	-0.640	1.29E-03
-0.039	3.27E-03	-0.225	3.25E-03	-0.410	3.09E-03	-0.596	1.78E-03	-0.781	-7.09E-04	-0.635	1.35E-03
-0.044	3.27E-03	-0.229	3.25E-03	-0.415	3.08E-03	-0.601	1.73E-03	-0.786	-7.89E-04	-0.630	1.41E-03
-0.049	3.27E-03	-0.234	3.25E-03	-0.420	3.07E-03	-0.605	1.68E-03	-0.791	-8.69E-04	-0.625	1.47E-03
-0.054	3.27E-03	-0.239	3.25E-03	-0.425	3.05E-03	-0.610	1.62E-03	-0.796	-9.52E-04	-0.620	1.53E-03
-0.059	3.27E-03	-0.244	3.25E-03	-0.430	3.04E-03	-0.615	1.57E-03	-0.801	-1.03E-03	-0.615	1.58E-03
-0.063	3.27E-03	-0.249	3.25E-03	-0.435	3.03E-03	-0.620	1.51E-03	-0.796	-9.45E-04	-0.610	1.64E-03
-0.068	3.27E-03	-0.254	3.25E-03	-0.439	3.01E-03	-0.625	1.46E-03	-0.791	-8.60E-04	-0.605	1.69E-03
-0.073	3.27E-03	-0.259	3.25E-03	-0.444	2.98E-03	-0.630	1.40E-03	-0.786	-7.78E-04	-0.601	1.75E-03
-0.078	3.27E-03	-0.264	3.25E-03	-0.449	2.96E-03	-0.635	1.34E-03	-0.781	-6.97E-04	-0.596	1.80E-03
-0.083	3.27E-03	-0.269	3.24E-03	-0.454	2.94E-03	-0.640	1.28E-03	-0.776	-6.18E-04	-0.591	1.86E-03
-0.088	3.26E-03	-0.273	3.24E-03	-0.459	2.91E-03	-0.645	1.22E-03	-0.771	-5.40E-04	-0.586	1.91E-03
-0.093	3.26E-03	-0.278	3.23E-03	-0.464	2.89E-03	-0.649	1.16E-03	-0.767	-4.62E-04	-0.581	1.96E-03
-0.098	3.26E-03	-0.283	3.23E-03	-0.469	2.86E-03	-0.654	1.10E-03	-0.762	-3.86E-04	-0.576	2.01E-03
-0.103	3.26E-03	-0.288	3.23E-03	-0.474	2.83E-03	-0.659	1.04E-03	-0.757	-3.10E-04	-0.571	2.06E-03
-0.107	3.27E-03	-0.293	3.23E-03	-0.479	2.80E-03	-0.664	9.79E-04	-0.752	-2.35E-04	-0.566	2.11E-03
-0.112	3.27E-03	-0.298	3.23E-03	-0.483	2.77E-03	-0.669	9.17E-04	-0.747	-1.60E-04	-0.562	2.16E-03
-0.117	3.27E-03	-0.303	3.23E-03	-0.488	2.74E-03	-0.674	8.54E-04	-0.742	-8.69E-05	-0.557	2.20E-03
-0.122	3.27E-03	-0.308	3.22E-03	-0.493	2.71E-03	-0.679	7.92E-04	-0.737	-1.42E-05	-0.552	2.25E-03
-0.127	3.26E-03	-0.313	3.22E-03	-0.498	2.67E-03	-0.684	7.28E-04	-0.732	5.74E-05	-0.547	2.29E-03
-0.132	3.26E-03	-0.317	3.22E-03	-0.503	2.64E-03	-0.688	6.63E-04	-0.728	1.28E-04	-0.542	2.34E-03
-0.137	3.26E-03	-0.322	3.22E-03	-0.508	2.60E-03	-0.693	5.98E-04	-0.723	1.99E-04	-0.537	2.38E-03
-0.142	3.26E-03	-0.327	3.21E-03	-0.513	2.56E-03	-0.698	5.33E-04	-0.718	2.68E-04	-0.532	2.43E-03
-0.146	3.26E-03	-0.332	3.21E-03	-0.518	2.52E-03	-0.703	4.65E-04	-0.713	3.36E-04	-0.527	2.47E-03
-0.151	3.26E-03	-0.337	3.21E-03	-0.522	2.48E-03	-0.708	3.98E-04	-0.708	4.05E-04	-0.522	2.51E-03
-0.156	3.26E-03	-0.342	3.20E-03	-0.527	2.44E-03	-0.713	3.30E-04	-0.703	4.73E-04	-0.518	2.55E-03
-0.161	3.26E-03	-0.347	3.20E-03	-0.532	2.40E-03	-0.718	2.61E-04	-0.698	5.39E-04	-0.513	2.59E-03
-0.166	3.26E-03	-0.352	3.20E-03	-0.537	2.36E-03	-0.723	1.91E-04	-0.693	6.05E-04	-0.508	2.63E-03
-0.171	3.26E-03	-0.356	3.19E-03	-0.542	2.31E-03	-0.728	1.21E-04	-0.688	6.71E-04	-0.503	2.67E-03
-0.176	3.26E-03	-0.361	3.19E-03	-0.547	2.27E-03	-0.732	4.99E-05	-0.684	7.35E-04	-0.498	2.70E-03
-0.181	3.26E-03	-0.366	3.18E-03	-0.552	2.22E-03	-0.737	-2.23E-05	-0.679	8.00E-04	-0.493	2.74E-03

**Cuadro A.10.** Datos de I-V para la celda 10, sensibilizada con tinte Z907.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	3.97E-03	-0.186	3.83E-03	-0.371	2.87E-03	-0.557	1.17E-03	-0.742	-4.02E-05	-0.674	3.43E-04
-0.005	3.97E-03	-0.190	3.82E-03	-0.376	2.83E-03	-0.562	1.13E-03	-0.747	-6.86E-05	-0.669	3.73E-04
-0.010	3.97E-03	-0.195	3.80E-03	-0.381	2.78E-03	-0.566	1.09E-03	-0.752	-9.84E-05	-0.664	4.04E-04
-0.015	3.96E-03	-0.200	3.79E-03	-0.386	2.74E-03	-0.571	1.05E-03	-0.757	-1.29E-04	-0.659	4.35E-04
-0.020	3.96E-03	-0.205	3.78E-03	-0.391	2.70E-03	-0.576	1.01E-03	-0.762	-1.62E-04	-0.654	4.68E-04
-0.024	3.96E-03	-0.210	3.77E-03	-0.396	2.66E-03	-0.581	9.64E-04	-0.767	-1.96E-04	-0.649	5.00E-04
-0.029	3.96E-03	-0.215	3.75E-03	-0.400	2.62E-03	-0.586	9.24E-04	-0.771	-2.32E-04	-0.645	5.35E-04
-0.034	3.96E-03	-0.220	3.74E-03	-0.405	2.57E-03	-0.591	8.84E-04	-0.776	-2.69E-04	-0.640	5.69E-04
-0.039	3.96E-03	-0.225	3.73E-03	-0.410	2.53E-03	-0.596	8.45E-04	-0.781	-3.09E-04	-0.635	6.05E-04
-0.044	3.96E-03	-0.229	3.71E-03	-0.415	2.49E-03	-0.601	8.07E-04	-0.786	-3.50E-04	-0.630	6.41E-04
-0.049	3.96E-03	-0.234	3.69E-03	-0.420	2.44E-03	-0.605	7.68E-04	-0.791	-3.93E-04	-0.625	6.78E-04
-0.054	3.95E-03	-0.239	3.67E-03	-0.425	2.40E-03	-0.610	7.31E-04	-0.796	-4.38E-04	-0.620	7.16E-04
-0.059	3.95E-03	-0.244	3.65E-03	-0.430	2.35E-03	-0.615	6.94E-04	-0.801	-4.84E-04	-0.615	7.54E-04
-0.063	3.95E-03	-0.249	3.63E-03	-0.435	2.31E-03	-0.620	6.58E-04	-0.796	-4.36E-04	-0.610	7.93E-04
-0.068	3.94E-03	-0.254	3.61E-03	-0.439	2.26E-03	-0.625	6.23E-04	-0.791	-3.91E-04	-0.605	8.33E-04
-0.073	3.95E-03	-0.259	3.58E-03	-0.444	2.22E-03	-0.630	5.88E-04	-0.786	-3.48E-04	-0.601	8.73E-04
-0.078	3.94E-03	-0.264	3.56E-03	-0.449	2.17E-03	-0.635	5.55E-04	-0.781	-3.07E-04	-0.596	9.14E-04
-0.083	3.94E-03	-0.269	3.54E-03	-0.454	2.13E-03	-0.640	5.22E-04	-0.776	-2.67E-04	-0.591	9.56E-04
-0.088	3.94E-03	-0.273	3.51E-03	-0.459	2.08E-03	-0.645	4.91E-04	-0.771	-2.30E-04	-0.586	9.98E-04
-0.093	3.94E-03	-0.278	3.49E-03	-0.464	2.04E-03	-0.649	4.60E-04	-0.767	-1.94E-04	-0.581	1.04E-03
-0.098	3.93E-03	-0.283	3.46E-03	-0.469	1.99E-03	-0.654	4.30E-04	-0.762	-1.60E-04	-0.576	1.08E-03
-0.103	3.93E-03	-0.288	3.44E-03	-0.474	1.95E-03	-0.659	4.01E-04	-0.757	-1.27E-04	-0.571	1.13E-03
-0.107	3.92E-03	-0.293	3.41E-03	-0.479	1.90E-03	-0.664	3.72E-04	-0.752	-9.60E-05	-0.566	1.17E-03
-0.112	3.92E-03	-0.298	3.38E-03	-0.483	1.85E-03	-0.669	3.44E-04	-0.747	-6.59E-05	-0.562	1.22E-03
-0.117	3.92E-03	-0.303	3.35E-03	-0.488	1.81E-03	-0.674	3.17E-04	-0.742	-3.68E-05	-0.557	1.26E-03
-0.122	3.91E-03	-0.308	3.32E-03	-0.493	1.76E-03	-0.679	2.90E-04	-0.737	-8.52E-06	-0.552	1.31E-03
-0.127	3.91E-03	-0.313	3.29E-03	-0.498	1.72E-03	-0.684	2.64E-04	-0.732	1.88E-05	-0.547	1.35E-03
-0.132	3.90E-03	-0.317	3.26E-03	-0.503	1.67E-03	-0.688	2.38E-04	-0.728	4.56E-05	-0.542	1.40E-03
-0.137	3.90E-03	-0.322	3.23E-03	-0.508	1.62E-03	-0.693	2.13E-04	-0.723	7.19E-05	-0.537	1.44E-03
-0.142	3.89E-03	-0.327	3.19E-03	-0.513	1.58E-03	-0.698	1.88E-04	-0.718	9.80E-05	-0.532	1.49E-03
-0.146	3.89E-03	-0.332	3.16E-03	-0.518	1.53E-03	-0.703	1.63E-04	-0.713	1.24E-04	-0.527	1.54E-03
-0.151	3.88E-03	-0.337	3.13E-03	-0.522	1.48E-03	-0.708	1.39E-04	-0.708	1.50E-04	-0.522	1.58E-03
-0.156	3.87E-03	-0.342	3.09E-03	-0.527	1.44E-03	-0.713	1.14E-04	-0.703	1.76E-04	-0.518	1.63E-03
-0.161	3.87E-03	-0.347	3.06E-03	-0.532	1.39E-03	-0.718	8.96E-05	-0.698	2.03E-04	-0.513	1.68E-03
-0.166	3.86E-03	-0.352	3.02E-03	-0.537	1.35E-03	-0.723	6.46E-05	-0.693	2.30E-04	-0.508	1.72E-03
-0.171	3.85E-03	-0.356	2.98E-03	-0.542	1.30E-03	-0.728	3.95E-05	-0.688	2.57E-04	-0.503	1.77E-03
-0.176	3.84E-03	-0.361	2.94E-03	-0.547	1.26E-03	-0.732	1.38E-05	-0.684	2.85E-04	-0.498	1.82E-03
-0.181	3.84E-03	-0.366	2.90E-03	-0.552	1.22E-03	-0.737	-1.27E-05	-0.679	3.14E-04	-0.493	1.86E-03

**Cuadro A.11.** Datos de I-V para la celda 11, sensibilizada con tinte Z907.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	4.80E+03	-0.186	4.34E+03	-0.371	2.90E+03	-0.557	1.14E+03	-0.742	-7.96E+02	-0.674	4.78E+01
-0.005	4.79E+03	-0.190	4.31E+03	-0.376	2.86E+03	-0.562	1.09E+03	-0.747	-8.50E+02	-0.669	3.89E+00
-0.010	4.79E+03	-0.195	4.28E+03	-0.381	2.81E+03	-0.566	1.04E+03	-0.752	-9.05E+02	-0.664	5.55E+01
-0.015	4.79E+03	-0.200	4.25E+03	-0.386	2.77E+03	-0.571	9.95E+02	-0.757	-9.60E+02	-0.659	1.07E+02
-0.020	4.79E+03	-0.205	4.22E+03	-0.391	2.72E+03	-0.576	9.48E+02	-0.762	-1.02E+03	-0.654	1.58E+02
-0.024	4.78E+03	-0.210	4.19E+03	-0.396	2.68E+03	-0.581	8.99E+02	-0.767	-1.07E+03	-0.649	2.09E+02
-0.029	4.78E+03	-0.215	4.16E+03	-0.400	2.63E+03	-0.586	8.51E+02	-0.771	-1.13E+03	-0.645	2.60E+02
-0.034	4.78E+03	-0.220	4.13E+03	-0.405	2.58E+03	-0.591	8.02E+02	-0.776	-1.18E+03	-0.640	3.11E+02
-0.039	4.78E+03	-0.225	4.10E+03	-0.410	2.54E+03	-0.596	7.54E+02	-0.781	-1.24E+03	-0.635	3.61E+02
-0.044	4.77E+03	-0.229	4.07E+03	-0.415	2.50E+03	-0.601	7.05E+02	-0.786	-1.29E+03	-0.630	4.12E+02
-0.049	4.75E+03	-0.234	4.03E+03	-0.420	2.45E+03	-0.605	6.56E+02	-0.791	-1.35E+03	-0.625	4.62E+02
-0.054	4.75E+03	-0.239	4.00E+03	-0.425	2.41E+03	-0.610	6.07E+02	-0.796	-1.41E+03	-0.620	5.12E+02
-0.059	4.74E+03	-0.244	3.96E+03	-0.430	2.36E+03	-0.615	5.58E+02	-0.801	-1.46E+03	-0.615	5.62E+02
-0.063	4.74E+03	-0.249	3.93E+03	-0.435	2.31E+03	-0.620	5.08E+02	-0.796	-1.41E+03	-0.610	6.12E+02
-0.068	4.74E+03	-0.254	3.89E+03	-0.439	2.27E+03	-0.625	4.58E+02	-0.791	-1.35E+03	-0.605	6.62E+02
-0.073	4.73E+03	-0.259	3.85E+03	-0.444	2.22E+03	-0.630	4.09E+02	-0.786	-1.29E+03	-0.601	7.11E+02
-0.078	4.72E+03	-0.264	3.81E+03	-0.449	2.17E+03	-0.635	3.59E+02	-0.781	-1.24E+03	-0.596	7.60E+02
-0.083	4.71E+03	-0.269	3.77E+03	-0.454	2.13E+03	-0.640	3.08E+02	-0.776	-1.18E+03	-0.591	8.10E+02
-0.088	4.70E+03	-0.273	3.74E+03	-0.459	2.08E+03	-0.645	2.58E+02	-0.771	-1.12E+03	-0.586	8.59E+02
-0.093	4.69E+03	-0.278	3.70E+03	-0.464	2.04E+03	-0.649	2.07E+02	-0.767	-1.07E+03	-0.581	9.08E+02
-0.098	4.68E+03	-0.283	3.66E+03	-0.469	1.99E+03	-0.654	1.57E+02	-0.762	-1.01E+03	-0.576	9.57E+02
-0.103	4.67E+03	-0.288	3.62E+03	-0.474	1.94E+03	-0.659	1.05E+02	-0.757	-9.58E+02	-0.571	1.00E+03
-0.107	4.66E+03	-0.293	3.58E+03	-0.479	1.90E+03	-0.664	5.41E+01	-0.752	-9.03E+02	-0.566	1.05E+03
-0.112	4.65E+03	-0.298	3.54E+03	-0.483	1.85E+03	-0.669	2.55E+00	-0.747	-8.48E+02	-0.562	1.10E+03
-0.117	4.63E+03	-0.303	3.50E+03	-0.488	1.80E+03	-0.674	-4.92E+01	-0.742	-7.94E+02	-0.557	1.15E+03
-0.122	4.62E+03	-0.308	3.46E+03	-0.493	1.76E+03	-0.679	-1.01E+02	-0.737	-7.39E+02	-0.552	1.20E+03
-0.127	4.60E+03	-0.313	3.42E+03	-0.498	1.71E+03	-0.684	-1.53E+02	-0.732	-6.85E+02	-0.547	1.25E+03
-0.132	4.59E+03	-0.317	3.38E+03	-0.503	1.66E+03	-0.688	-2.05E+02	-0.728	-6.30E+02	-0.542	1.30E+03
-0.137	4.57E+03	-0.322	3.33E+03	-0.508	1.62E+03	-0.693	-2.58E+02	-0.723	-5.76E+02	-0.537	1.34E+03
-0.142	4.55E+03	-0.327	3.29E+03	-0.513	1.57E+03	-0.698	-3.10E+02	-0.718	-5.22E+02	-0.532	1.39E+03
-0.146	4.53E+03	-0.332	3.25E+03	-0.518	1.52E+03	-0.703	-3.63E+02	-0.713	-4.69E+02	-0.527	1.44E+03
-0.151	4.51E+03	-0.337	3.21E+03	-0.522	1.47E+03	-0.708	-4.17E+02	-0.708	-4.16E+02	-0.522	1.49E+03
-0.156	4.49E+03	-0.342	3.16E+03	-0.527	1.43E+03	-0.713	-4.69E+02	-0.703	-3.63E+02	-0.518	1.54E+03
-0.161	4.47E+03	-0.347	3.12E+03	-0.532	1.38E+03	-0.718	-5.23E+02	-0.698	-3.10E+02	-0.513	1.58E+03
-0.166	4.44E+03	-0.352	3.08E+03	-0.537	1.33E+03	-0.723	-5.78E+02	-0.693	-2.57E+02	-0.508	1.63E+03
-0.171	4.42E+03	-0.356	3.03E+03	-0.542	1.28E+03	-0.728	-6.32E+02	-0.688	-2.04E+02	-0.503	1.68E+03
-0.176	4.39E+03	-0.361	2.99E+03	-0.547	1.24E+03	-0.732	-6.87E+02	-0.684	-1.52E+02	-0.498	1.73E+03
-0.181	4.37E+03	-0.366	2.94E+03	-0.552	1.19E+03	-0.737	-7.41E+02	-0.679	-9.96E+01	-0.493	1.77E+03

**Cuadro A.12.** Datos de I-V para la celda 12, sensibilizada con tinte Z907.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	2.49E-03	-0.186	2.49E-03	-0.371	2.44E-03	-0.557	1.73E-03	-0.742	-1.21E-04	-0.674	6.92E-04
-0.005	2.49E-03	-0.190	2.49E-03	-0.376	2.44E-03	-0.562	1.70E-03	-0.747	-1.82E-04	-0.669	7.45E-04
-0.010	2.49E-03	-0.195	2.49E-03	-0.381	2.43E-03	-0.566	1.66E-03	-0.752	-2.45E-04	-0.664	7.97E-04
-0.015	2.49E-03	-0.200	2.49E-03	-0.386	2.43E-03	-0.571	1.62E-03	-0.757	-3.08E-04	-0.659	8.48E-04
-0.020	2.49E-03	-0.205	2.49E-03	-0.391	2.42E-03	-0.576	1.58E-03	-0.762	-3.72E-04	-0.654	8.99E-04
-0.024	2.49E-03	-0.210	2.49E-03	-0.396	2.41E-03	-0.581	1.54E-03	-0.767	-4.37E-04	-0.649	9.50E-04
-0.029	2.49E-03	-0.215	2.49E-03	-0.400	2.41E-03	-0.586	1.50E-03	-0.771	-5.03E-04	-0.645	1.00E-03
-0.034	2.49E-03	-0.220	2.49E-03	-0.405	2.40E-03	-0.591	1.46E-03	-0.776	-5.70E-04	-0.640	1.05E-03
-0.039	2.49E-03	-0.225	2.49E-03	-0.410	2.39E-03	-0.596	1.42E-03	-0.781	-6.38E-04	-0.635	1.10E-03
-0.044	2.49E-03	-0.229	2.49E-03	-0.415	2.38E-03	-0.601	1.37E-03	-0.786	-7.06E-04	-0.630	1.15E-03
-0.049	2.49E-03	-0.234	2.49E-03	-0.420	2.37E-03	-0.605	1.33E-03	-0.791	-7.76E-04	-0.625	1.20E-03
-0.054	2.49E-03	-0.239	2.49E-03	-0.425	2.36E-03	-0.610	1.29E-03	-0.796	-8.47E-04	-0.620	1.24E-03
-0.059	2.49E-03	-0.244	2.49E-03	-0.430	2.35E-03	-0.615	1.24E-03	-0.801	-9.18E-04	-0.615	1.29E-03
-0.063	2.48E-03	-0.249	2.49E-03	-0.435	2.33E-03	-0.620	1.20E-03	-0.796	-8.33E-04	-0.610	1.34E-03
-0.068	2.49E-03	-0.254	2.49E-03	-0.439	2.32E-03	-0.625	1.15E-03	-0.791	-7.56E-04	-0.605	1.39E-03
-0.073	2.49E-03	-0.259	2.49E-03	-0.444	2.31E-03	-0.630	1.10E-03	-0.786	-6.83E-04	-0.601	1.43E-03
-0.078	2.49E-03	-0.264	2.48E-03	-0.449	2.29E-03	-0.635	1.06E-03	-0.781	-6.12E-04	-0.596	1.48E-03
-0.083	2.49E-03	-0.269	2.48E-03	-0.454	2.28E-03	-0.640	1.01E-03	-0.776	-5.44E-04	-0.591	1.52E-03
-0.088	2.48E-03	-0.273	2.48E-03	-0.459	2.26E-03	-0.645	9.60E-04	-0.771	-4.76E-04	-0.586	1.56E-03
-0.093	2.49E-03	-0.278	2.48E-03	-0.464	2.25E-03	-0.649	9.12E-04	-0.767	-4.10E-04	-0.581	1.61E-03
-0.098	2.48E-03	-0.283	2.48E-03	-0.469	2.23E-03	-0.654	8.63E-04	-0.762	-3.45E-04	-0.576	1.65E-03
-0.103	2.49E-03	-0.288	2.48E-03	-0.474	2.21E-03	-0.659	8.13E-04	-0.757	-2.82E-04	-0.571	1.69E-03
-0.107	2.49E-03	-0.293	2.48E-03	-0.479	2.19E-03	-0.664	7.63E-04	-0.752	-2.19E-04	-0.566	1.73E-03
-0.112	2.49E-03	-0.298	2.48E-03	-0.483	2.17E-03	-0.669	7.12E-04	-0.747	-1.57E-04	-0.562	1.77E-03
-0.117	2.49E-03	-0.303	2.48E-03	-0.488	2.15E-03	-0.674	6.60E-04	-0.742	-9.58E-05	-0.557	1.81E-03
-0.122	2.49E-03	-0.308	2.47E-03	-0.493	2.12E-03	-0.679	6.09E-04	-0.737	-3.53E-05	-0.552	1.85E-03
-0.127	2.49E-03	-0.313	2.47E-03	-0.498	2.10E-03	-0.684	5.56E-04	-0.732	2.44E-05	-0.547	1.89E-03
-0.132	2.49E-03	-0.317	2.47E-03	-0.503	2.07E-03	-0.688	5.04E-04	-0.728	8.32E-05	-0.542	1.93E-03
-0.137	2.49E-03	-0.322	2.47E-03	-0.508	2.05E-03	-0.693	4.51E-04	-0.723	1.41E-04	-0.537	1.96E-03
-0.142	2.49E-03	-0.327	2.47E-03	-0.513	2.02E-03	-0.698	3.97E-04	-0.718	1.99E-04	-0.532	2.00E-03
-0.146	2.49E-03	-0.332	2.47E-03	-0.518	1.99E-03	-0.703	3.42E-04	-0.713	2.56E-04	-0.527	2.03E-03
-0.151	2.49E-03	-0.337	2.46E-03	-0.522	1.96E-03	-0.708	2.86E-04	-0.708	3.12E-04	-0.522	2.06E-03
-0.156	2.49E-03	-0.342	2.46E-03	-0.527	1.93E-03	-0.713	2.30E-04	-0.703	3.69E-04	-0.518	2.09E-03
-0.161	2.49E-03	-0.347	2.46E-03	-0.532	1.90E-03	-0.718	1.73E-04	-0.698	4.24E-04	-0.513	2.13E-03
-0.166	2.49E-03	-0.352	2.46E-03	-0.537	1.87E-03	-0.723	1.16E-04	-0.693	4.78E-04	-0.508	2.16E-03
-0.171	2.49E-03	-0.356	2.45E-03	-0.542	1.84E-03	-0.728	5.83E-05	-0.688	5.33E-04	-0.503	2.18E-03
-0.176	2.49E-03	-0.361	2.45E-03	-0.547	1.80E-03	-0.732	-7.05E-07	-0.684	5.86E-04	-0.498	2.21E-03
-0.181	2.49E-03	-0.366	2.44E-03	-0.552	1.77E-03	-0.737	-6.04E-05	-0.679	6.39E-04	-0.493	2.24E-03

**Cuadro A.13.** Datos de I-V para la celda 1, sensibilizada con el pigmento de Picramnia.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	9.22E+01	-0.186	8.94E+01	-0.371	7.53E+01	-0.547	-3.16E+02	-0.366	7.66E+01	-0.181	9.14E+01
-0.005	9.21E+01	-0.190	8.91E+01	-0.376	7.42E+01	-0.542	-2.81E+02	-0.361	7.77E+01	-0.176	9.17E+01
-0.010	9.20E+01	-0.195	8.91E+01	-0.381	7.29E+01	-0.537	-2.49E+02	-0.356	7.87E+01	-0.171	9.16E+01
-0.015	9.20E+01	-0.200	8.91E+01	-0.386	7.15E+01	-0.532	-2.19E+02	-0.352	7.94E+01	-0.166	9.16E+01
-0.020	9.20E+01	-0.205	8.88E+01	-0.391	7.00E+01	-0.527	-1.91E+02	-0.347	8.03E+01	-0.161	9.19E+01
-0.024	9.19E+01	-0.210	8.87E+01	-0.396	6.83E+01	-0.522	-1.65E+02	-0.342	8.10E+01	-0.156	9.20E+01
-0.029	9.17E+01	-0.215	8.86E+01	-0.400	6.65E+01	-0.518	-1.41E+02	-0.337	8.17E+01	-0.151	9.20E+01
-0.034	9.17E+01	-0.220	8.85E+01	-0.405	6.46E+01	-0.513	-1.19E+02	-0.332	8.25E+01	-0.146	9.22E+01
-0.039	9.17E+01	-0.225	8.85E+01	-0.410	6.25E+01	-0.508	-9.96E+01	-0.327	8.31E+01	-0.142	9.21E+01
-0.044	9.15E+01	-0.229	8.83E+01	-0.415	6.00E+01	-0.503	-8.15E+01	-0.322	8.36E+01	-0.137	9.22E+01
-0.049	9.16E+01	-0.234	8.80E+01	-0.420	5.73E+01	-0.498	-6.51E+01	-0.317	8.44E+01	-0.132	9.26E+01
-0.054	9.14E+01	-0.239	8.79E+01	-0.425	5.45E+01	-0.493	-5.02E+01	-0.313	8.49E+01	-0.127	9.25E+01
-0.059	9.14E+01	-0.244	8.77E+01	-0.430	5.11E+01	-0.488	-3.67E+01	-0.308	8.52E+01	-0.122	9.27E+01
-0.063	9.12E+01	-0.249	8.75E+01	-0.435	4.75E+01	-0.483	-2.45E+01	-0.303	8.58E+01	-0.117	9.29E+01
-0.068	9.11E+01	-0.254	8.73E+01	-0.439	4.33E+01	-0.479	-1.35E+01	-0.298	8.62E+01	-0.112	9.29E+01
-0.073	9.11E+01	-0.259	8.70E+01	-0.444	3.88E+01	-0.474	-3.60E+00	-0.293	8.64E+01	-0.107	9.29E+01
-0.078	9.12E+01	-0.264	8.68E+01	-0.449	3.38E+01	-0.469	5.30E+00	-0.288	8.70E+01	-0.103	9.30E+01
-0.083	9.10E+01	-0.269	8.66E+01	-0.454	2.81E+01	-0.464	1.34E+01	-0.283	8.73E+01	-0.098	9.30E+01
-0.088	9.11E+01	-0.273	8.63E+01	-0.459	2.18E+01	-0.459	2.06E+01	-0.278	8.76E+01	-0.093	9.32E+01
-0.093	9.10E+01	-0.278	8.59E+01	-0.464	1.48E+01	-0.454	2.70E+01	-0.273	8.81E+01	-0.088	9.31E+01
-0.098	9.10E+01	-0.283	8.59E+01	-0.469	6.91E+00	-0.449	3.26E+01	-0.269	8.82E+01	-0.083	9.32E+01
-0.103	9.11E+01	-0.288	8.55E+01	-0.474	-1.86E+00	-0.444	3.79E+01	-0.264	8.84E+01	-0.078	9.34E+01
-0.107	9.09E+01	-0.293	8.51E+01	-0.479	-1.16E+01	-0.439	4.24E+01	-0.259	8.89E+01	-0.073	9.35E+01
-0.112	9.08E+01	-0.298	8.49E+01	-0.483	-2.25E+01	-0.435	4.65E+01	-0.254	8.90E+01	-0.068	9.33E+01
-0.117	9.09E+01	-0.303	8.46E+01	-0.488	-3.47E+01	-0.430	5.04E+01	-0.249	8.91E+01	-0.063	9.34E+01
-0.122	9.08E+01	-0.308	8.43E+01	-0.493	-4.80E+01	-0.425	5.38E+01	-0.244	8.95E+01	-0.059	9.33E+01
-0.127	9.06E+01	-0.313	8.38E+01	-0.498	-6.31E+01	-0.420	5.68E+01	-0.239	8.97E+01	-0.054	9.34E+01
-0.132	9.06E+01	-0.317	8.32E+01	-0.503	-7.96E+01	-0.415	5.98E+01	-0.234	8.98E+01	-0.049	9.35E+01
-0.137	9.06E+01	-0.322	8.29E+01	-0.508	-9.75E+01	-0.410	6.22E+01	-0.229	9.01E+01	-0.044	9.34E+01
-0.142	9.06E+01	-0.327	8.25E+01	-0.513	-1.18E+02	-0.405	6.43E+01	-0.225	9.01E+01	-0.039	9.35E+01
-0.146	9.04E+01	-0.332	8.17E+01	-0.518	-1.39E+02	-0.400	6.66E+01	-0.220	9.05E+01	-0.034	9.38E+01
-0.151	9.01E+01	-0.337	8.12E+01	-0.522	-1.63E+02	-0.396	6.84E+01	-0.215	9.08E+01	-0.029	9.38E+01
-0.156	8.96E+01	-0.342	8.06E+01	-0.527	-1.89E+02	-0.391	7.01E+01	-0.210	9.07E+01	-0.024	9.39E+01
-0.161	8.99E+01	-0.347	7.98E+01	-0.532	-2.17E+02	-0.386	7.16E+01	-0.205	9.09E+01	-0.020	9.38E+01
-0.166	8.98E+01	-0.352	7.90E+01	-0.537	-2.48E+02	-0.381	7.29E+01	-0.200	9.11E+01	-0.015	9.39E+01
-0.171	8.98E+01	-0.356	7.82E+01	-0.542	-2.81E+02	-0.376	7.43E+01	-0.195	9.12E+01	-0.010	9.42E+01
-0.176	8.95E+01	-0.361	7.73E+01	-0.547	-3.16E+02	-0.371	7.56E+01	-0.190	9.13E+01	-0.005	9.41E+01
-0.181	8.94E+01	-0.366	7.65E+01	-0.552	-3.54E+02	-0.366	7.66E+01	-0.186	9.15E+01		

**Cuadro A.14.** Datos de I-V para la celda 2, sensibilizada con el pigmento de Picramnia.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	9.15E+01	-0.186	8.86E+01	-0.371	7.37E+01	-0.547	-3.42E+02	-0.361	7.53E+01	-0.181	9.12E+01
-0.005	9.14E+01	-0.190	8.84E+01	-0.376	7.27E+01	-0.542	-3.09E+02	-0.356	7.64E+01	-0.176	9.14E+01
-0.010	9.13E+01	-0.195	8.81E+01	-0.381	7.13E+01	-0.537	-2.78E+02	-0.352	7.74E+01	-0.171	9.16E+01
-0.015	9.12E+01	-0.200	8.81E+01	-0.386	7.00E+01	-0.532	-2.48E+02	-0.347	7.84E+01	-0.166	9.18E+01
-0.020	9.13E+01	-0.205	8.80E+01	-0.391	6.82E+01	-0.527	-2.21E+02	-0.342	7.91E+01	-0.161	9.19E+01
-0.024	9.10E+01	-0.210	8.79E+01	-0.396	6.64E+01	-0.522	-1.95E+02	-0.337	7.98E+01	-0.156	9.21E+01
-0.029	9.09E+01	-0.215	8.77E+01	-0.400	6.45E+01	-0.518	-1.71E+02	-0.332	8.07E+01	-0.151	9.21E+01
-0.034	9.09E+01	-0.220	8.74E+01	-0.405	6.23E+01	-0.513	-1.48E+02	-0.327	8.14E+01	-0.146	9.23E+01
-0.039	9.08E+01	-0.225	8.73E+01	-0.410	5.98E+01	-0.508	-1.27E+02	-0.322	8.18E+01	-0.142	9.24E+01
-0.044	9.08E+01	-0.229	8.71E+01	-0.415	5.72E+01	-0.503	-1.07E+02	-0.317	8.26E+01	-0.137	9.25E+01
-0.049	9.08E+01	-0.234	8.69E+01	-0.420	5.40E+01	-0.498	-8.94E+01	-0.313	8.32E+01	-0.132	9.28E+01
-0.054	9.08E+01	-0.239	8.67E+01	-0.425	5.08E+01	-0.493	-7.28E+01	-0.308	8.37E+01	-0.127	9.28E+01
-0.059	9.08E+01	-0.244	8.65E+01	-0.430	4.69E+01	-0.488	-5.77E+01	-0.303	8.43E+01	-0.122	9.29E+01
-0.063	9.06E+01	-0.249	8.63E+01	-0.435	4.25E+01	-0.483	-4.39E+01	-0.298	8.45E+01	-0.117	9.30E+01
-0.068	9.04E+01	-0.254	8.61E+01	-0.439	3.79E+01	-0.479	-3.13E+01	-0.293	8.50E+01	-0.112	9.29E+01
-0.073	9.04E+01	-0.259	8.58E+01	-0.444	3.10E+01	-0.474	-1.97E+01	-0.288	8.56E+01	-0.107	9.30E+01
-0.078	9.04E+01	-0.264	8.57E+01	-0.449	2.50E+01	-0.469	-9.45E+00	-0.283	8.59E+01	-0.103	9.33E+01
-0.083	9.03E+01	-0.269	8.53E+01	-0.454	1.82E+01	-0.464	-1.59E+01	-0.278	8.63E+01	-0.098	9.37E+01
-0.088	9.03E+01	-0.273	8.50E+01	-0.459	1.07E+01	-0.459	8.34E+00	-0.273	8.67E+01	-0.093	9.37E+01
-0.093	9.02E+01	-0.278	8.48E+01	-0.464	2.31E+00	-0.454	1.61E+01	-0.269	8.69E+01	-0.088	9.40E+01
-0.098	9.00E+01	-0.283	8.46E+01	-0.469	-6.79E+00	-0.449	2.28E+01	-0.264	8.72E+01	-0.083	9.41E+01
-0.103	9.01E+01	-0.288	8.41E+01	-0.474	-1.72E+01	-0.444	2.90E+01	-0.259	8.77E+01	-0.078	9.41E+01
-0.107	8.98E+01	-0.293	8.38E+01	-0.479	-2.86E+01	-0.439	3.43E+01	-0.254	8.79E+01	-0.073	9.44E+01
-0.112	8.98E+01	-0.298	8.33E+01	-0.483	-4.10E+01	-0.435	3.92E+01	-0.249	8.84E+01	-0.068	9.44E+01
-0.117	8.97E+01	-0.303	8.31E+01	-0.488	-5.50E+01	-0.430	4.37E+01	-0.244	8.87E+01	-0.063	9.45E+01
-0.122	8.96E+01	-0.308	8.27E+01	-0.493	-7.02E+01	-0.425	4.77E+01	-0.239	8.88E+01	-0.059	9.48E+01
-0.127	8.95E+01	-0.313	8.22E+01	-0.498	-8.67E+01	-0.420	5.13E+01	-0.234	8.91E+01	-0.054	9.49E+01
-0.132	8.94E+01	-0.317	8.18E+01	-0.503	-1.05E+02	-0.415	5.47E+01	-0.229	8.94E+01	-0.049	9.51E+01
-0.137	8.93E+01	-0.322	8.14E+01	-0.508	-1.25E+02	-0.410	5.76E+01	-0.225	8.96E+01	-0.044	9.54E+01
-0.142	8.95E+01	-0.327	8.08E+01	-0.513	-1.46E+02	-0.405	6.02E+01	-0.220	8.98E+01	-0.039	9.53E+01
-0.146	8.94E+01	-0.332	8.03E+01	-0.518	-1.69E+02	-0.400	6.25E+01	-0.215	9.01E+01	-0.034	9.53E+01
-0.151	8.92E+01	-0.337	7.97E+01	-0.522	-1.94E+02	-0.396	6.45E+01	-0.210	9.02E+01	-0.029	9.55E+01
-0.156	8.92E+01	-0.342	7.90E+01	-0.527	-2.20E+02	-0.391	6.65E+01	-0.205	9.04E+01	-0.024	9.54E+01
-0.161	8.91E+01	-0.347	7.84E+01	-0.532	-2.48E+02	-0.386	6.82E+01	-0.200	9.05E+01	-0.020	9.54E+01
-0.166	8.88E+01	-0.352	7.75E+01	-0.537	-2.77E+02	-0.381	6.97E+01	-0.195	9.07E+01	-0.015	9.56E+01
-0.171	8.88E+01	-0.356	7.66E+01	-0.542	-3.09E+02	-0.376	7.13E+01	-0.190	9.09E+01	-0.010	9.52E+01
-0.176	8.87E+01	-0.361	7.58E+01	-0.547	-3.43E+02	-0.371	7.28E+01	-0.186	9.12E+01	-0.005	8.79E+01
-0.181	8.87E+01	-0.366	7.49E+01	-0.552	-3.78E+02	-0.366	7.40E+01	-0.361	7.53E+01		

**Cuadro A.15.** Datos de I-V para la celda 3, sensibilizada con el pigmento de Picramnia.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	8.26E+01	-0.186	8.06E+01	-0.371	6.74E+01	-0.547	-3.83E+02	-0.361	6.96E+01	-0.176	8.29E+01
-0.005	8.27E+01	-0.190	8.05E+01	-0.376	6.62E+01	-0.542	-3.46E+02	-0.356	7.06E+01	-0.171	8.30E+01
-0.010	8.26E+01	-0.195	8.05E+01	-0.381	6.48E+01	-0.537	-3.12E+02	-0.352	7.14E+01	-0.166	8.30E+01
-0.015	8.25E+01	-0.200	8.04E+01	-0.386	6.34E+01	-0.532	-2.80E+02	-0.347	7.23E+01	-0.161	8.32E+01
-0.020	8.25E+01	-0.205	8.03E+01	-0.391	6.17E+01	-0.527	-2.50E+02	-0.342	7.31E+01	-0.156	8.32E+01
-0.024	8.25E+01	-0.210	8.01E+01	-0.396	6.00E+01	-0.522	-2.21E+02	-0.337	7.38E+01	-0.151	8.34E+01
-0.029	8.25E+01	-0.215	8.00E+01	-0.400	5.80E+01	-0.518	-1.94E+02	-0.332	7.44E+01	-0.146	8.34E+01
-0.034	8.24E+01	-0.220	7.99E+01	-0.405	5.57E+01	-0.513	-1.70E+02	-0.327	7.50E+01	-0.142	8.34E+01
-0.039	8.23E+01	-0.225	7.97E+01	-0.410	5.32E+01	-0.508	-1.46E+02	-0.322	7.54E+01	-0.137	8.35E+01
-0.044	8.24E+01	-0.229	7.96E+01	-0.415	5.03E+01	-0.503	-1.25E+02	-0.317	7.60E+01	-0.132	8.36E+01
-0.049	8.23E+01	-0.234	7.96E+01	-0.420	4.71E+01	-0.498	-1.05E+02	-0.313	7.64E+01	-0.127	8.36E+01
-0.054	8.22E+01	-0.239	7.94E+01	-0.425	4.35E+01	-0.493	-8.74E+01	-0.308	7.69E+01	-0.122	8.38E+01
-0.059	8.22E+01	-0.244	7.90E+01	-0.430	3.95E+01	-0.488	-7.10E+01	-0.303	7.75E+01	-0.117	8.38E+01
-0.063	8.21E+01	-0.249	7.86E+01	-0.435	3.51E+01	-0.483	-5.60E+01	-0.298	7.78E+01	-0.112	8.39E+01
-0.068	8.21E+01	-0.254	7.84E+01	-0.439	3.01E+01	-0.479	-4.23E+01	-0.293	7.80E+01	-0.107	8.41E+01
-0.073	8.21E+01	-0.259	7.82E+01	-0.444	2.44E+01	-0.474	-2.99E+01	-0.288	7.86E+01	-0.103	8.41E+01
-0.078	8.20E+01	-0.264	7.81E+01	-0.449	1.81E+01	-0.469	-1.87E+01	-0.283	7.88E+01	-0.098	8.41E+01
-0.083	8.19E+01	-0.269	7.79E+01	-0.454	1.11E+01	-0.464	-8.57E+00	-0.278	7.90E+01	-0.093	8.42E+01
-0.088	8.18E+01	-0.273	7.77E+01	-0.459	2.93E+00	-0.459	4.33E-01	-0.273	7.96E+01	-0.088	8.43E+01
-0.093	8.17E+01	-0.278	7.75E+01	-0.464	-5.95E+00	-0.454	8.55E+00	-0.269	7.97E+01	-0.083	8.43E+01
-0.098	8.19E+01	-0.283	7.72E+01	-0.469	-1.58E+01	-0.449	1.59E+01	-0.264	7.99E+01	-0.078	8.44E+01
-0.103	8.18E+01	-0.288	7.71E+01	-0.474	-2.69E+01	-0.444	2.24E+01	-0.259	8.03E+01	-0.073	8.45E+01
-0.107	8.18E+01	-0.293	7.68E+01	-0.479	-3.92E+01	-0.439	2.82E+01	-0.254	8.04E+01	-0.068	8.46E+01
-0.112	8.18E+01	-0.298	7.65E+01	-0.483	-5.27E+01	-0.435	3.34E+01	-0.249	8.06E+01	-0.063	8.47E+01
-0.117	8.18E+01	-0.303	7.63E+01	-0.488	-6.78E+01	-0.430	3.80E+01	-0.244	8.10E+01	-0.059	8.47E+01
-0.122	8.16E+01	-0.308	7.58E+01	-0.493	-8.43E+01	-0.425	4.22E+01	-0.239	8.10E+01	-0.054	8.48E+01
-0.127	8.16E+01	-0.313	7.55E+01	-0.498	-1.02E+02	-0.420	4.58E+01	-0.234	8.12E+01	-0.049	8.49E+01
-0.132	8.15E+01	-0.317	7.51E+01	-0.503	-1.22E+02	-0.415	4.92E+01	-0.229	8.14E+01	-0.044	8.49E+01
-0.137	8.14E+01	-0.322	7.46E+01	-0.508	-1.43E+02	-0.410	5.22E+01	-0.225	8.15E+01	-0.039	8.52E+01
-0.142	8.15E+01	-0.327	7.41E+01	-0.513	-1.67E+02	-0.405	5.48E+01	-0.220	8.17E+01	-0.034	8.51E+01
-0.146	8.13E+01	-0.332	7.36E+01	-0.518	-1.92E+02	-0.400	5.73E+01	-0.215	8.19E+01	-0.029	8.50E+01
-0.151	8.13E+01	-0.337	7.30E+01	-0.522	-2.19E+02	-0.396	5.94E+01	-0.210	8.17E+01	-0.024	8.53E+01
-0.156	8.13E+01	-0.342	7.24E+01	-0.527	-2.48E+02	-0.391	6.13E+01	-0.205	8.20E+01	-0.020	8.52E+01
-0.161	8.11E+01	-0.347	7.18E+01	-0.532	-2.78E+02	-0.386	6.33E+01	-0.200	8.22E+01	-0.015	8.51E+01
-0.166	8.11E+01	-0.352	7.10E+01	-0.537	-3.11E+02	-0.381	6.48E+01	-0.195	8.22E+01	-0.010	8.54E+01
-0.171	8.10E+01	-0.356	7.02E+01	-0.542	-3.46E+02	-0.376	6.61E+01	-0.190	8.26E+01	-0.005	8.52E+01
-0.176	8.08E+01	-0.361	6.94E+01	-0.547	-3.83E+02	-0.371	6.75E+01	-0.186	8.27E+01		
-0.181	8.07E+01	-0.366	6.83E+01	-0.552	-4.21E+02	-0.366	6.86E+01	-0.181	8.27E+01		

**Cuadro A.16.** Datos de I-V para la celda 4, sensibilizada con el pigmento de Picramnia.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	8.11E+01	-0.186	7.84E+01	-0.371	5.95E+01	-0.547	-5.65E+02	-0.361	6.26E+01	-0.176	8.09E+01
-0.005	8.10E+01	-0.190	7.84E+01	-0.376	5.77E+01	-0.542	-5.16E+02	-0.356	6.39E+01	-0.171	8.10E+01
-0.010	8.10E+01	-0.195	7.82E+01	-0.381	5.58E+01	-0.537	-4.70E+02	-0.352	6.52E+01	-0.166	8.14E+01
-0.015	8.11E+01	-0.200	7.81E+01	-0.386	5.37E+01	-0.532	-4.27E+02	-0.347	6.64E+01	-0.161	8.15E+01
-0.020	8.08E+01	-0.205	7.80E+01	-0.391	5.13E+01	-0.527	-3.85E+02	-0.342	6.74E+01	-0.156	8.15E+01
-0.024	8.08E+01	-0.210	7.78E+01	-0.396	4.87E+01	-0.522	-3.46E+02	-0.337	6.85E+01	-0.151	8.18E+01
-0.029	8.09E+01	-0.215	7.75E+01	-0.400	4.57E+01	-0.518	-3.10E+02	-0.332	6.94E+01	-0.146	8.18E+01
-0.034	8.09E+01	-0.220	7.76E+01	-0.405	4.24E+01	-0.513	-2.76E+02	-0.327	7.01E+01	-0.142	8.19E+01
-0.039	8.07E+01	-0.225	7.73E+01	-0.410	3.87E+01	-0.508	-2.44E+02	-0.322	7.10E+01	-0.137	8.21E+01
-0.044	8.07E+01	-0.229	7.70E+01	-0.415	3.46E+01	-0.503	-2.15E+02	-0.317	7.17E+01	-0.132	8.21E+01
-0.049	8.07E+01	-0.234	7.68E+01	-0.420	2.99E+01	-0.498	-1.87E+02	-0.313	7.23E+01	-0.127	8.22E+01
-0.054	8.07E+01	-0.239	7.66E+01	-0.425	2.47E+01	-0.493	-1.62E+02	-0.308	7.29E+01	-0.122	8.24E+01
-0.059	8.06E+01	-0.244	7.64E+01	-0.430	1.87E+01	-0.488	-1.39E+02	-0.303	7.35E+01	-0.117	8.24E+01
-0.063	8.04E+01	-0.249	7.62E+01	-0.435	1.22E+01	-0.483	-1.18E+02	-0.298	7.40E+01	-0.112	8.26E+01
-0.068	8.05E+01	-0.254	7.59E+01	-0.439	4.95E+00	-0.479	-9.88E+01	-0.293	7.46E+01	-0.107	8.26E+01
-0.073	8.04E+01	-0.259	7.57E+01	-0.444	-3.15E+00	-0.474	-8.11E+01	-0.288	7.50E+01	-0.103	8.26E+01
-0.078	8.03E+01	-0.264	7.55E+01	-0.449	-1.23E+01	-0.469	-6.54E+01	-0.283	7.54E+01	-0.098	8.29E+01
-0.083	8.02E+01	-0.269	7.51E+01	-0.454	-2.24E+01	-0.464	-5.10E+01	-0.278	7.60E+01	-0.093	8.28E+01
-0.088	8.02E+01	-0.273	7.49E+01	-0.459	-3.38E+01	-0.459	-3.79E+01	-0.273	7.63E+01	-0.088	8.29E+01
-0.093	8.01E+01	-0.278	7.46E+01	-0.464	-4.65E+01	-0.454	-2.61E+01	-0.269	7.66E+01	-0.083	8.31E+01
-0.098	8.01E+01	-0.283	7.42E+01	-0.469	-6.07E+01	-0.449	-1.57E+01	-0.264	7.71E+01	-0.078	8.31E+01
-0.103	8.00E+01	-0.288	7.39E+01	-0.474	-7.65E+01	-0.444	-6.37E+00	-0.259	7.73E+01	-0.073	8.30E+01
-0.107	8.00E+01	-0.293	7.34E+01	-0.479	-9.37E+01	-0.439	1.88E+00	-0.254	7.76E+01	-0.068	8.33E+01
-0.112	7.99E+01	-0.298	7.29E+01	-0.483	-1.13E+02	-0.435	9.43E+00	-0.249	7.81E+01	-0.063	8.33E+01
-0.117	7.99E+01	-0.303	7.25E+01	-0.488	-1.34E+02	-0.430	1.63E+01	-0.244	7.82E+01	-0.059	8.34E+01
-0.122	7.98E+01	-0.308	7.18E+01	-0.493	-1.57E+02	-0.425	2.23E+01	-0.239	7.86E+01	-0.054	8.34E+01
-0.127	7.97E+01	-0.313	7.13E+01	-0.498	-1.82E+02	-0.420	2.78E+01	-0.234	7.89E+01	-0.049	8.35E+01
-0.132	7.96E+01	-0.317	7.06E+01	-0.503	-2.10E+02	-0.415	3.27E+01	-0.229	7.90E+01	-0.044	8.38E+01
-0.137	7.96E+01	-0.322	6.99E+01	-0.508	-2.39E+02	-0.410	3.72E+01	-0.225	7.93E+01	-0.039	8.37E+01
-0.142	7.95E+01	-0.327	6.92E+01	-0.513	-2.71E+02	-0.405	4.11E+01	-0.220	7.96E+01	-0.034	8.37E+01
-0.146	7.94E+01	-0.332	6.84E+01	-0.518	-3.06E+02	-0.400	4.45E+01	-0.215	7.97E+01	-0.029	8.39E+01
-0.151	7.93E+01	-0.337	6.76E+01	-0.522	-3.43E+02	-0.396	4.77E+01	-0.210	8.00E+01	-0.024	8.39E+01
-0.156	7.91E+01	-0.342	6.70E+01	-0.527	-3.82E+02	-0.391	5.06E+01	-0.205	8.01E+01	-0.020	8.40E+01
-0.161	7.91E+01	-0.347	6.59E+01	-0.532	-4.24E+02	-0.386	5.31E+01	-0.200	8.02E+01	-0.015	8.42E+01
-0.166	7.89E+01	-0.352	6.48E+01	-0.537	-4.69E+02	-0.381	5.54E+01	-0.195	8.05E+01	-0.010	8.41E+01
-0.171	7.88E+01	-0.356	6.37E+01	-0.542	-5.16E+02	-0.376	5.75E+01	-0.190	8.07E+01	-0.005	8.41E+01
-0.176	7.87E+01	-0.361	6.24E+01	-0.547	-5.65E+02	-0.371	5.94E+01	-0.186	8.06E+01		
-0.181	7.87E+01	-0.366	6.11E+01	-0.552	-6.17E+02	-0.366	6.09E+01	-0.181	8.09E+01		



**Cuadro A.17.** Datos de I-V para la celda 5, sensibilizada con el pigmento de Picramnia.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	1.15E-04	-0.186	1.13E-04	-0.371	9.89E-05	-0.547	-4.44E-04	-0.361	1.04E-04	-0.176	1.20E-04
-0.005	1.15E-04	-0.190	1.13E-04	-0.376	9.76E-05	-0.542	-3.98E-04	-0.356	1.05E-04	-0.171	1.20E-04
-0.010	1.15E-04	-0.195	1.13E-04	-0.381	9.60E-05	-0.537	-3.56E-04	-0.352	1.06E-04	-0.166	1.20E-04
-0.015	1.15E-04	-0.200	1.13E-04	-0.386	9.42E-05	-0.532	-3.16E-04	-0.347	1.07E-04	-0.161	1.20E-04
-0.020	1.15E-04	-0.205	1.13E-04	-0.391	9.23E-05	-0.527	-2.79E-04	-0.342	1.08E-04	-0.156	1.20E-04
-0.024	1.15E-04	-0.210	1.13E-04	-0.396	9.01E-05	-0.522	-2.44E-04	-0.337	1.08E-04	-0.151	1.20E-04
-0.029	1.15E-04	-0.215	1.12E-04	-0.400	8.76E-05	-0.518	-2.11E-04	-0.332	1.09E-04	-0.146	1.20E-04
-0.034	1.15E-04	-0.220	1.13E-04	-0.405	8.47E-05	-0.513	-1.81E-04	-0.327	1.10E-04	-0.142	1.20E-04
-0.039	1.15E-04	-0.225	1.12E-04	-0.410	8.11E-05	-0.508	-1.54E-04	-0.322	1.11E-04	-0.137	1.20E-04
-0.044	1.15E-04	-0.229	1.12E-04	-0.415	7.79E-05	-0.503	-1.28E-04	-0.317	1.11E-04	-0.132	1.21E-04
-0.049	1.15E-04	-0.234	1.12E-04	-0.420	7.45E-05	-0.498	-1.05E-04	-0.313	1.12E-04	-0.127	1.21E-04
-0.054	1.15E-04	-0.239	1.12E-04	-0.425	7.00E-05	-0.493	-8.36E-05	-0.308	1.12E-04	-0.122	1.21E-04
-0.059	1.14E-04	-0.244	1.12E-04	-0.430	6.50E-05	-0.488	-6.40E-05	-0.303	1.13E-04	-0.117	1.21E-04
-0.063	1.14E-04	-0.249	1.12E-04	-0.435	5.98E-05	-0.483	-4.62E-05	-0.298	1.13E-04	-0.112	1.21E-04
-0.068	1.14E-04	-0.254	1.12E-04	-0.439	5.36E-05	-0.479	-3.02E-05	-0.293	1.14E-04	-0.107	1.21E-04
-0.073	1.14E-04	-0.259	1.11E-04	-0.444	4.69E-05	-0.474	-1.56E-05	-0.288	1.14E-04	-0.103	1.21E-04
-0.078	1.14E-04	-0.264	1.11E-04	-0.449	3.94E-05	-0.469	-2.50E-06	-0.283	1.15E-04	-0.098	1.21E-04
-0.083	1.14E-04	-0.269	1.11E-04	-0.454	3.10E-05	-0.464	9.47E-06	-0.278	1.15E-04	-0.093	1.22E-04
-0.088	1.14E-04	-0.273	1.11E-04	-0.459	2.16E-05	-0.459	2.01E-05	-0.273	1.15E-04	-0.088	1.22E-04
-0.093	1.14E-04	-0.278	1.11E-04	-0.464	1.10E-05	-0.454	2.98E-05	-0.269	1.16E-04	-0.083	1.22E-04
-0.098	1.14E-04	-0.283	1.10E-04	-0.469	-6.71E-07	-0.449	3.85E-05	-0.264	1.16E-04	-0.078	1.22E-04
-0.103	1.14E-04	-0.288	1.10E-04	-0.474	-1.37E-05	-0.444	4.63E-05	-0.259	1.16E-04	-0.073	1.22E-04
-0.107	1.14E-04	-0.293	1.10E-04	-0.479	-2.83E-05	-0.439	5.32E-05	-0.254	1.16E-04	-0.068	1.22E-04
-0.112	1.14E-04	-0.298	1.09E-04	-0.483	-4.43E-05	-0.435	5.94E-05	-0.249	1.17E-04	-0.063	1.22E-04
-0.117	1.14E-04	-0.303	1.09E-04	-0.488	-6.19E-05	-0.430	6.51E-05	-0.244	1.17E-04	-0.059	1.22E-04
-0.122	1.14E-04	-0.308	1.09E-04	-0.493	-8.15E-05	-0.425	7.01E-05	-0.239	1.17E-04	-0.054	1.22E-04
-0.127	1.14E-04	-0.313	1.08E-04	-0.498	-1.03E-04	-0.420	7.47E-05	-0.234	1.17E-04	-0.049	1.23E-04
-0.132	1.14E-04	-0.317	1.08E-04	-0.503	-1.27E-04	-0.415	7.87E-05	-0.229	1.18E-04	-0.044	1.22E-04
-0.137	1.14E-04	-0.322	1.07E-04	-0.508	-1.52E-04	-0.410	8.23E-05	-0.225	1.18E-04	-0.039	1.23E-04
-0.142	1.14E-04	-0.327	1.07E-04	-0.513	-1.80E-04	-0.405	8.58E-05	-0.220	1.18E-04	-0.034	1.23E-04
-0.146	1.14E-04	-0.332	1.06E-04	-0.518	-2.10E-04	-0.400	8.87E-05	-0.215	1.18E-04	-0.029	1.23E-04
-0.151	1.14E-04	-0.337	1.06E-04	-0.522	-2.43E-04	-0.396	9.12E-05	-0.210	1.18E-04	-0.024	1.23E-04
-0.156	1.14E-04	-0.342	1.05E-04	-0.527	-2.79E-04	-0.391	9.38E-05	-0.205	1.18E-04	-0.020	1.23E-04
-0.161	1.13E-04	-0.347	1.04E-04	-0.532	-3.16E-04	-0.386	9.59E-05	-0.200	1.18E-04	-0.015	1.23E-04
-0.166	1.13E-04	-0.352	1.03E-04	-0.537	-3.57E-04	-0.381	9.77E-05	-0.195	1.19E-04	-0.010	1.23E-04
-0.171	1.13E-04	-0.356	1.02E-04	-0.542	-4.00E-04	-0.376	9.95E-05	-0.190	1.19E-04	-0.005	1.23E-04
-0.176	1.13E-04	-0.361	1.01E-04	-0.547	-4.45E-04	-0.371	1.01E-04	-0.186	1.19E-04		
-0.181	1.13E-04	-0.366	1.00E-04	-0.552	-4.93E-04	-0.366	1.02E-04	-0.181	1.19E-04		

**Cuadro A.18.** Datos de I-V para la celda 6, sensibilizada con el pigmento de Picramnia.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	9.81E-05	-0.186	9.40E-05	-0.371	6.27E-05	-0.547	-5.30E-04	-0.361	6.60E-05	-0.176	9.80E-05
-0.005	9.80E-05	-0.190	9.39E-05	-0.376	6.01E-05	-0.542	-4.86E-04	-0.356	6.82E-05	-0.171	9.81E-05
-0.010	9.80E-05	-0.195	9.38E-05	-0.381	5.75E-05	-0.537	-4.45E-04	-0.352	7.02E-05	-0.166	9.82E-05
-0.015	9.80E-05	-0.200	9.35E-05	-0.386	5.45E-05	-0.532	-4.06E-04	-0.347	7.21E-05	-0.161	9.86E-05
-0.020	9.77E-05	-0.205	9.34E-05	-0.391	5.12E-05	-0.527	-3.69E-04	-0.342	7.40E-05	-0.156	9.87E-05
-0.024	9.77E-05	-0.210	9.30E-05	-0.396	4.78E-05	-0.522	-3.34E-04	-0.337	7.55E-05	-0.151	9.88E-05
-0.029	9.77E-05	-0.215	9.28E-05	-0.400	4.39E-05	-0.518	-3.02E-04	-0.332	7.69E-05	-0.146	9.90E-05
-0.034	9.75E-05	-0.220	9.27E-05	-0.405	3.97E-05	-0.513	-2.71E-04	-0.327	7.84E-05	-0.142	9.92E-05
-0.039	9.76E-05	-0.225	9.22E-05	-0.410	3.51E-05	-0.508	-2.43E-04	-0.322	7.98E-05	-0.137	9.95E-05
-0.044	9.76E-05	-0.229	9.19E-05	-0.415	3.01E-05	-0.503	-2.16E-04	-0.317	8.10E-05	-0.132	9.97E-05
-0.049	9.74E-05	-0.234	9.15E-05	-0.420	2.44E-05	-0.498	-1.91E-04	-0.313	8.23E-05	-0.127	9.96E-05
-0.054	9.74E-05	-0.239	9.11E-05	-0.425	1.85E-05	-0.493	-1.68E-04	-0.308	8.32E-05	-0.122	9.99E-05
-0.059	9.74E-05	-0.244	9.07E-05	-0.430	1.17E-05	-0.488	-1.47E-04	-0.303	8.42E-05	-0.117	1.00E-04
-0.063	9.73E-05	-0.249	9.01E-05	-0.435	4.45E-06	-0.483	-1.28E-04	-0.298	8.52E-05	-0.112	1.00E-04
-0.068	9.73E-05	-0.254	8.97E-05	-0.439	-3.67E-06	-0.479	-1.10E-04	-0.293	8.60E-05	-0.107	1.00E-04
-0.073	9.71E-05	-0.259	8.94E-05	-0.444	-1.25E-05	-0.474	-9.28E-05	-0.288	8.70E-05	-0.103	1.01E-04
-0.078	9.71E-05	-0.264	8.89E-05	-0.449	-2.22E-05	-0.469	-7.75E-05	-0.283	8.77E-05	-0.098	1.01E-04
-0.083	9.70E-05	-0.269	8.83E-05	-0.454	-3.29E-05	-0.464	-6.33E-05	-0.278	8.84E-05	-0.093	1.01E-04
-0.088	9.69E-05	-0.273	8.78E-05	-0.459	-4.47E-05	-0.459	-5.04E-05	-0.273	8.93E-05	-0.088	1.01E-04
-0.093	9.69E-05	-0.278	8.73E-05	-0.464	-5.76E-05	-0.454	-3.85E-05	-0.269	8.98E-05	-0.083	1.01E-04
-0.098	9.69E-05	-0.283	8.66E-05	-0.469	-7.18E-05	-0.449	-2.77E-05	-0.264	9.04E-05	-0.078	1.01E-04
-0.103	9.68E-05	-0.288	8.59E-05	-0.474	-8.72E-05	-0.444	-1.77E-05	-0.259	9.13E-05	-0.073	1.01E-04
-0.107	9.66E-05	-0.293	8.51E-05	-0.479	-1.04E-04	-0.439	-8.65E-06	-0.254	9.18E-05	-0.068	1.01E-04
-0.112	9.65E-05	-0.298	8.44E-05	-0.483	-1.22E-04	-0.435	-2.66E-07	-0.249	9.23E-05	-0.063	1.01E-04
-0.117	9.63E-05	-0.303	8.34E-05	-0.488	-1.42E-04	-0.430	7.23E-06	-0.244	9.29E-05	-0.059	1.01E-04
-0.122	9.63E-05	-0.308	8.25E-05	-0.493	-1.64E-04	-0.425	1.42E-05	-0.239	9.33E-05	-0.054	1.02E-04
-0.127	9.62E-05	-0.313	8.17E-05	-0.498	-1.87E-04	-0.420	2.06E-05	-0.234	9.38E-05	-0.049	1.02E-04
-0.132	9.60E-05	-0.317	8.07E-05	-0.503	-2.12E-04	-0.415	2.64E-05	-0.229	9.43E-05	-0.044	1.02E-04
-0.137	9.60E-05	-0.322	7.96E-05	-0.508	-2.39E-04	-0.410	3.18E-05	-0.225	9.46E-05	-0.039	1.02E-04
-0.142	9.58E-05	-0.327	7.83E-05	-0.513	-2.68E-04	-0.405	3.66E-05	-0.220	9.50E-05	-0.034	1.02E-04
-0.146	9.56E-05	-0.332	7.70E-05	-0.518	-2.99E-04	-0.400	4.10E-05	-0.215	9.53E-05	-0.029	1.02E-04
-0.151	9.56E-05	-0.337	7.57E-05	-0.522	-3.32E-04	-0.396	4.52E-05	-0.210	9.56E-05	-0.024	1.02E-04
-0.156	9.54E-05	-0.342	7.43E-05	-0.527	-3.67E-04	-0.391	4.89E-05	-0.205	9.61E-05	-0.020	1.02E-04
-0.161	9.54E-05	-0.347	7.27E-05	-0.532	-4.05E-04	-0.386	5.23E-05	-0.200	9.64E-05	-0.015	1.02E-04
-0.166	9.51E-05	-0.352	7.10E-05	-0.537	-4.44E-04	-0.381	5.57E-05	-0.195	9.67E-05	-0.010	1.03E-04
-0.171	9.48E-05	-0.356	6.92E-05	-0.542	-4.86E-04	-0.376	5.85E-05	-0.190	9.71E-05	-0.005	1.03E-04
-0.176	9.47E-05	-0.361	6.71E-05	-0.547	-5.30E-04	-0.371	6.12E-05	-0.186	9.72E-05	-0.176	9.80E-05
-0.181	9.43E-05	-0.366	6.51E-05	-0.552	-5.76E-04	-0.366	6.38E-05	-0.181	9.76E-05	-0.171	9.81E-05

**Cuadro A.19.** Datos de I-V para la celda 7, sensibilizada con el pigmento de Picramnia.

Potential	Scan 1	Potential	Scan 1	Potential	Scan 1	Potential	Scan 1	Potential	Scan 1	Potential	Scan 1
0	1.06E-04	-0.186	1.02E-04	-0.371	7.62E-05	-0.547	-3.24E-04	-0.361	8.13E-05	-0.176	1.08E-04
-0.005	1.06E-04	-0.190	1.02E-04	-0.376	7.42E-05	-0.542	-2.98E-04	-0.356	8.32E-05	-0.171	1.08E-04
-0.010	1.06E-04	-0.195	1.02E-04	-0.381	7.19E-05	-0.537	-2.72E-04	-0.352	8.47E-05	-0.166	1.08E-04
-0.015	1.06E-04	-0.200	1.02E-04	-0.386	6.94E-05	-0.532	-2.47E-04	-0.347	8.63E-05	-0.161	1.08E-04
-0.020	1.06E-04	-0.205	1.02E-04	-0.391	6.67E-05	-0.527	-2.24E-04	-0.342	8.76E-05	-0.156	1.08E-04
-0.024	1.06E-04	-0.210	1.01E-04	-0.396	6.38E-05	-0.522	-2.02E-04	-0.337	8.88E-05	-0.151	1.08E-04
-0.029	1.06E-04	-0.215	1.01E-04	-0.400	6.06E-05	-0.518	-1.80E-04	-0.332	9.01E-05	-0.146	1.09E-04
-0.034	1.06E-04	-0.220	1.01E-04	-0.405	5.71E-05	-0.513	-1.61E-04	-0.327	9.13E-05	-0.142	1.09E-04
-0.039	1.06E-04	-0.225	1.01E-04	-0.410	5.33E-05	-0.508	-1.42E-04	-0.322	9.23E-05	-0.137	1.09E-04
-0.044	1.06E-04	-0.229	1.01E-04	-0.415	4.93E-05	-0.503	-1.25E-04	-0.317	9.34E-05	-0.132	1.10E-04
-0.049	1.06E-04	-0.234	1.00E-04	-0.420	4.47E-05	-0.498	-1.08E-04	-0.313	9.42E-05	-0.127	1.10E-04
-0.054	1.05E-04	-0.239	9.99E-05	-0.425	4.00E-05	-0.493	-9.25E-05	-0.308	9.50E-05	-0.122	1.10E-04
-0.059	1.05E-04	-0.244	9.95E-05	-0.430	3.46E-05	-0.488	-7.80E-05	-0.303	9.58E-05	-0.117	1.10E-04
-0.063	1.05E-04	-0.249	9.92E-05	-0.435	2.88E-05	-0.483	-6.45E-05	-0.298	9.65E-05	-0.112	1.10E-04
-0.068	1.05E-04	-0.254	9.89E-05	-0.439	2.25E-05	-0.479	-5.19E-05	-0.293	9.71E-05	-0.107	1.10E-04
-0.073	1.05E-04	-0.259	9.84E-05	-0.444	1.56E-05	-0.474	-4.00E-05	-0.288	9.81E-05	-0.103	1.10E-04
-0.078	1.05E-04	-0.264	9.79E-05	-0.449	8.00E-06	-0.469	-2.89E-05	-0.283	9.86E-05	-0.098	1.10E-04
-0.083	1.05E-04	-0.269	9.74E-05	-0.454	6.10E-08	-0.464	-1.87E-05	-0.278	9.92E-05	-0.093	1.11E-04
-0.088	1.05E-04	-0.273	9.70E-05	-0.459	-8.89E-06	-0.459	-9.18E-06	-0.273	1.00E-04	-0.088	1.11E-04
-0.093	1.05E-04	-0.278	9.63E-05	-0.464	-1.85E-05	-0.454	-2.84E-07	-0.269	1.01E-04	-0.083	1.11E-04
-0.098	1.05E-04	-0.283	9.59E-05	-0.469	-2.88E-05	-0.449	7.87E-06	-0.264	1.01E-04	-0.078	1.11E-04
-0.103	1.05E-04	-0.288	9.52E-05	-0.474	-4.01E-05	-0.444	1.55E-05	-0.259	1.02E-04	-0.073	1.11E-04
-0.107	1.05E-04	-0.293	9.46E-05	-0.479	-5.21E-05	-0.439	2.24E-05	-0.254	1.02E-04	-0.068	1.11E-04
-0.112	1.05E-04	-0.298	9.40E-05	-0.483	-6.50E-05	-0.435	2.87E-05	-0.249	1.03E-04	-0.063	1.12E-04
-0.117	1.05E-04	-0.303	9.32E-05	-0.488	-7.89E-05	-0.430	3.47E-05	-0.244	1.03E-04	-0.059	1.12E-04
-0.122	1.04E-04	-0.308	9.24E-05	-0.493	-9.38E-05	-0.425	4.01E-05	-0.239	1.03E-04	-0.054	1.12E-04
-0.127	1.04E-04	-0.313	9.17E-05	-0.498	-1.10E-04	-0.420	4.50E-05	-0.234	1.04E-04	-0.049	1.12E-04
-0.132	1.04E-04	-0.317	9.09E-05	-0.503	-1.26E-04	-0.415	4.96E-05	-0.229	1.04E-04	-0.044	1.12E-04
-0.137	1.04E-04	-0.322	9.00E-05	-0.508	-1.45E-04	-0.410	5.39E-05	-0.225	1.05E-04	-0.039	1.12E-04
-0.142	1.04E-04	-0.327	8.92E-05	-0.513	-1.63E-04	-0.405	5.77E-05	-0.220	1.05E-04	-0.034	1.12E-04
-0.146	1.04E-04	-0.332	8.82E-05	-0.518	-1.83E-04	-0.400	6.14E-05	-0.215	1.05E-04	-0.029	1.12E-04
-0.151	1.04E-04	-0.337	8.69E-05	-0.522	-2.04E-04	-0.396	6.45E-05	-0.210	1.06E-04	-0.024	1.12E-04
-0.156	1.04E-04	-0.342	8.58E-05	-0.527	-2.26E-04	-0.391	6.75E-05	-0.205	1.06E-04	-0.020	1.12E-04
-0.161	1.04E-04	-0.347	8.44E-05	-0.532	-2.49E-04	-0.386	7.05E-05	-0.200	1.06E-04	-0.015	1.12E-04
-0.166	1.03E-04	-0.352	8.30E-05	-0.537	-2.74E-04	-0.381	7.29E-05	-0.195	1.06E-04	-0.010	1.13E-04
-0.171	1.03E-04	-0.356	8.15E-05	-0.542	-2.98E-04	-0.376	7.52E-05	-0.190	1.07E-04	-0.005	1.13E-04
-0.176	1.03E-04	-0.361	7.98E-05	-0.547	-3.24E-04	-0.371	7.75E-05	-0.186	1.07E-04		
-0.181	1.03E-04	-0.366	7.81E-05	-0.552	-3.51E-04	-0.366	7.94E-05	-0.181	1.07E-04		

**Cuadro A.20.** Datos de I-V para la celda 1, sensibilizada con el pigmento de curcumina.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	1.68E+02	-0.186	1.64E+02	-0.371	1.53E+02	-0.547	-3.60E+02	-0.361	1.52E+02	-0.176	1.61E+02
-0.005	1.67E+02	-0.190	1.64E+02	-0.376	1.52E+02	-0.542	-3.12E+02	-0.356	1.52E+02	-0.171	1.61E+02
-0.010	1.68E+02	-0.195	1.64E+02	-0.381	1.51E+02	-0.537	-2.68E+02	-0.352	1.53E+02	-0.166	1.62E+02
-0.015	1.68E+02	-0.200	1.64E+02	-0.386	1.50E+02	-0.532	-2.27E+02	-0.347	1.54E+02	-0.161	1.61E+02
-0.020	1.67E+02	-0.205	1.64E+02	-0.391	1.49E+02	-0.527	-1.88E+02	-0.342	1.55E+02	-0.156	1.61E+02
-0.024	1.67E+02	-0.210	1.64E+02	-0.396	1.47E+02	-0.522	-1.53E+02	-0.337	1.55E+02	-0.151	1.62E+02
-0.029	1.67E+02	-0.215	1.64E+02	-0.400	1.46E+02	-0.518	-1.20E+02	-0.332	1.55E+02	-0.146	1.62E+02
-0.034	1.67E+02	-0.220	1.63E+02	-0.405	1.44E+02	-0.513	-9.13E+01	-0.327	1.56E+02	-0.142	1.61E+02
-0.039	1.67E+02	-0.225	1.63E+02	-0.410	1.42E+02	-0.508	-6.39E+01	-0.322	1.57E+02	-0.137	1.61E+02
-0.044	1.67E+02	-0.229	1.63E+02	-0.415	1.39E+02	-0.503	-3.93E+01	-0.317	1.57E+02	-0.132	1.61E+02
-0.049	1.67E+02	-0.234	1.63E+02	-0.420	1.36E+02	-0.498	-1.74E+01	-0.313	1.57E+02	-0.127	1.61E+02
-0.054	1.66E+02	-0.239	1.63E+02	-0.425	1.33E+02	-0.493	2.32E+00	-0.308	1.58E+02	-0.122	1.61E+02
-0.059	1.66E+02	-0.244	1.63E+02	-0.430	1.30E+02	-0.488	2.03E+01	-0.303	1.58E+02	-0.117	1.61E+02
-0.063	1.66E+02	-0.249	1.63E+02	-0.435	1.26E+02	-0.483	3.62E+01	-0.298	1.58E+02	-0.112	1.62E+02
-0.068	1.66E+02	-0.254	1.63E+02	-0.439	1.22E+02	-0.479	5.03E+01	-0.293	1.58E+02	-0.107	1.62E+02
-0.073	1.66E+02	-0.259	1.62E+02	-0.444	1.17E+02	-0.474	6.24E+01	-0.288	1.59E+02	-0.103	1.62E+02
-0.078	1.66E+02	-0.264	1.62E+02	-0.449	1.11E+02	-0.469	7.39E+01	-0.283	1.59E+02	-0.098	1.62E+02
-0.083	1.66E+02	-0.269	1.62E+02	-0.454	1.04E+02	-0.464	8.39E+01	-0.278	1.59E+02	-0.093	1.62E+02
-0.088	1.66E+02	-0.273	1.62E+02	-0.459	9.66E+01	-0.459	9.25E+01	-0.273	1.59E+02	-0.088	1.62E+02
-0.093	1.66E+02	-0.278	1.61E+02	-0.464	8.80E+01	-0.454	1.00E+02	-0.269	1.59E+02	-0.083	1.62E+02
-0.098	1.66E+02	-0.283	1.62E+02	-0.469	7.82E+01	-0.449	1.07E+02	-0.264	1.59E+02	-0.078	1.62E+02
-0.103	1.66E+02	-0.288	1.62E+02	-0.474	6.69E+01	-0.444	1.13E+02	-0.259	1.60E+02	-0.073	1.62E+02
-0.107	1.66E+02	-0.293	1.61E+02	-0.479	5.47E+01	-0.439	1.18E+02	-0.254	1.60E+02	-0.068	1.62E+02
-0.112	1.66E+02	-0.298	1.61E+02	-0.483	4.06E+01	-0.435	1.22E+02	-0.249	1.60E+02	-0.063	1.62E+02
-0.117	1.66E+02	-0.303	1.61E+02	-0.488	2.46E+01	-0.430	1.27E+02	-0.244	1.60E+02	-0.059	1.62E+02
-0.122	1.65E+02	-0.308	1.61E+02	-0.493	6.43E+00	-0.425	1.30E+02	-0.239	1.60E+02	-0.054	1.62E+02
-0.127	1.65E+02	-0.313	1.60E+02	-0.498	-1.32E+01	-0.420	1.33E+02	-0.234	1.60E+02	-0.049	1.62E+02
-0.132	1.65E+02	-0.317	1.59E+02	-0.503	-3.55E+01	-0.415	1.36E+02	-0.229	1.61E+02	-0.044	1.62E+02
-0.137	1.65E+02	-0.322	1.59E+02	-0.508	-6.03E+01	-0.410	1.39E+02	-0.225	1.61E+02	-0.039	1.62E+02
-0.142	1.65E+02	-0.327	1.59E+02	-0.513	-8.78E+01	-0.405	1.41E+02	-0.220	1.61E+02	-0.034	1.62E+02
-0.146	1.65E+02	-0.332	1.58E+02	-0.518	-1.18E+02	-0.400	1.43E+02	-0.215	1.61E+02	-0.029	1.62E+02
-0.151	1.65E+02	-0.337	1.57E+02	-0.522	-1.51E+02	-0.396	1.44E+02	-0.210	1.61E+02	-0.024	1.61E+02
-0.156	1.65E+02	-0.342	1.57E+02	-0.527	-1.86E+02	-0.391	1.46E+02	-0.205	1.61E+02	-0.020	1.61E+02
-0.161	1.65E+02	-0.347	1.57E+02	-0.532	-2.25E+02	-0.386	1.47E+02	-0.200	1.61E+02	-0.015	1.61E+02
-0.166	1.65E+02	-0.352	1.56E+02	-0.537	-2.67E+02	-0.381	1.49E+02	-0.195	1.61E+02	-0.010	1.61E+02
-0.171	1.65E+02	-0.356	1.55E+02	-0.542	-3.12E+02	-0.376	1.50E+02	-0.190	1.61E+02	-0.005	1.61E+02
-0.176	1.64E+02	-0.361	1.55E+02	-0.547	-3.60E+02	-0.371	1.51E+02	-0.186	1.61E+02		
-0.181	1.64E+02	-0.366	1.54E+02	-0.552	-4.12E+02	-0.366	1.52E+02	-0.181	1.61E+02		

**Cuadro A.21.** Datos de I-V para la celda 2, sensibilizada con el pigmento de curcumina.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	1.01E+02	-0.186	9.83E+01	-0.371	8.66E+01	-0.547	-3.95E+02	-0.361	8.69E+01	-0.176	9.62E+01
-0.005	1.01E+02	-0.190	9.82E+01	-0.376	8.56E+01	-0.542	-3.50E+02	-0.356	8.77E+01	-0.171	9.65E+01
-0.010	1.01E+02	-0.195	9.81E+01	-0.381	8.44E+01	-0.537	-3.08E+02	-0.352	8.81E+01	-0.166	9.66E+01
-0.015	1.01E+02	-0.200	9.80E+01	-0.386	8.35E+01	-0.532	-2.70E+02	-0.347	8.91E+01	-0.161	9.65E+01
-0.020	1.01E+02	-0.205	9.80E+01	-0.391	8.22E+01	-0.527	-2.34E+02	-0.342	8.95E+01	-0.156	9.65E+01
-0.024	1.00E+02	-0.210	9.79E+01	-0.396	8.06E+01	-0.522	-2.01E+02	-0.337	8.99E+01	-0.151	9.66E+01
-0.029	1.01E+02	-0.215	9.79E+01	-0.400	7.89E+01	-0.518	-1.71E+02	-0.332	9.04E+01	-0.146	9.66E+01
-0.034	1.00E+02	-0.220	9.74E+01	-0.405	7.71E+01	-0.513	-1.43E+02	-0.327	9.10E+01	-0.142	9.68E+01
-0.039	1.00E+02	-0.225	9.74E+01	-0.410	7.49E+01	-0.508	-1.18E+02	-0.322	9.14E+01	-0.137	9.66E+01
-0.044	1.00E+02	-0.229	9.70E+01	-0.415	7.26E+01	-0.503	-9.53E+01	-0.317	9.19E+01	-0.132	9.67E+01
-0.049	1.00E+02	-0.234	9.69E+01	-0.420	6.97E+01	-0.498	-7.49E+01	-0.313	9.20E+01	-0.127	9.69E+01
-0.054	1.00E+02	-0.239	9.65E+01	-0.425	6.67E+01	-0.493	-5.65E+01	-0.308	9.24E+01	-0.122	9.64E+01
-0.059	1.00E+02	-0.244	9.65E+01	-0.430	6.33E+01	-0.488	-4.02E+01	-0.303	9.29E+01	-0.117	9.62E+01
-0.063	1.00E+02	-0.249	9.64E+01	-0.435	5.94E+01	-0.483	-2.51E+01	-0.298	9.30E+01	-0.112	9.66E+01
-0.068	1.00E+02	-0.254	9.63E+01	-0.439	5.49E+01	-0.479	-1.19E+01	-0.293	9.30E+01	-0.107	9.67E+01
-0.073	1.00E+02	-0.259	9.61E+01	-0.444	5.00E+01	-0.474	-1.43E-01	-0.288	9.35E+01	-0.103	9.68E+01
-0.078	1.00E+02	-0.264	9.59E+01	-0.449	4.43E+01	-0.469	1.01E+01	-0.283	9.35E+01	-0.098	9.67E+01
-0.083	9.98E+01	-0.269	9.58E+01	-0.454	3.79E+01	-0.464	1.98E+01	-0.278	9.36E+01	-0.093	9.66E+01
-0.088	9.99E+01	-0.273	9.57E+01	-0.459	3.05E+01	-0.459	2.81E+01	-0.273	9.38E+01	-0.088	9.67E+01
-0.093	9.98E+01	-0.278	9.54E+01	-0.464	2.24E+01	-0.454	3.56E+01	-0.269	9.41E+01	-0.083	9.69E+01
-0.098	9.98E+01	-0.283	9.52E+01	-0.469	1.31E+01	-0.449	4.17E+01	-0.264	9.42E+01	-0.078	9.67E+01
-0.103	9.96E+01	-0.288	9.52E+01	-0.474	2.65E+00	-0.444	4.78E+01	-0.259	9.45E+01	-0.073	9.66E+01
-0.107	9.97E+01	-0.293	9.48E+01	-0.479	-9.23E+00	-0.439	5.27E+01	-0.254	9.44E+01	-0.068	9.68E+01
-0.112	9.97E+01	-0.298	9.44E+01	-0.483	-2.24E+01	-0.435	5.73E+01	-0.249	9.46E+01	-0.063	9.67E+01
-0.117	9.96E+01	-0.303	9.42E+01	-0.488	-3.72E+01	-0.430	6.12E+01	-0.244	9.50E+01	-0.059	9.68E+01
-0.122	9.95E+01	-0.308	9.40E+01	-0.493	-5.40E+01	-0.425	6.48E+01	-0.239	9.52E+01	-0.054	9.70E+01
-0.127	9.96E+01	-0.313	9.37E+01	-0.498	-7.27E+01	-0.420	6.77E+01	-0.234	9.51E+01	-0.049	9.70E+01
-0.132	9.95E+01	-0.317	9.33E+01	-0.503	-9.31E+01	-0.415	7.05E+01	-0.229	9.56E+01	-0.044	9.70E+01
-0.137	9.93E+01	-0.322	9.27E+01	-0.508	-1.16E+02	-0.410	7.26E+01	-0.225	9.56E+01	-0.039	9.70E+01
-0.142	9.92E+01	-0.327	9.24E+01	-0.513	-1.41E+02	-0.405	7.49E+01	-0.220	9.57E+01	-0.034	9.68E+01
-0.146	9.93E+01	-0.332	9.20E+01	-0.518	-1.69E+02	-0.400	7.69E+01	-0.215	9.56E+01	-0.029	9.70E+01
-0.151	9.92E+01	-0.337	9.15E+01	-0.522	-2.00E+02	-0.396	7.86E+01	-0.210	9.59E+01	-0.024	9.70E+01
-0.156	9.90E+01	-0.342	9.09E+01	-0.527	-2.33E+02	-0.391	8.02E+01	-0.205	9.60E+01	-0.020	9.69E+01
-0.161	9.87E+01	-0.347	9.04E+01	-0.532	-2.69E+02	-0.386	8.18E+01	-0.200	9.62E+01	-0.015	9.70E+01
-0.166	9.88E+01	-0.352	8.95E+01	-0.537	-3.08E+02	-0.381	8.30E+01	-0.195	9.60E+01	-0.010	9.71E+01
-0.171	9.88E+01	-0.356	8.88E+01	-0.542	-3.50E+02	-0.376	8.42E+01	-0.190	9.63E+01	-0.005	9.70E+01
-0.176	9.87E+01	-0.361	8.81E+01	-0.547	-3.95E+02	-0.371	8.50E+01	-0.186	9.64E+01		
-0.181	9.83E+01	-0.366	8.75E+01	-0.552	-4.44E+02	-0.366	8.60E+01	-0.181	9.64E+01		

**Cuadro A.22.** Datos de I-V para la celda 3, sensibilizada con el pigmento de curcumina.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	1.44E+02	-0.186	1.40E+02	-0.371	1.30E+02	-0.547	-3.19E+02	-0.361	1.31E+02	-0.176	1.38E+02
-0.005	1.44E+02	-0.190	1.40E+02	-0.376	1.30E+02	-0.542	-2.76E+02	-0.356	1.32E+02	-0.171	1.39E+02
-0.010	1.44E+02	-0.195	1.40E+02	-0.381	1.29E+02	-0.537	-2.36E+02	-0.352	1.32E+02	-0.166	1.38E+02
-0.015	1.43E+02	-0.200	1.40E+02	-0.386	1.28E+02	-0.532	-1.99E+02	-0.347	1.33E+02	-0.161	1.38E+02
-0.020	1.44E+02	-0.205	1.40E+02	-0.391	1.27E+02	-0.527	-1.65E+02	-0.342	1.33E+02	-0.156	1.39E+02
-0.024	1.43E+02	-0.210	1.39E+02	-0.396	1.25E+02	-0.522	-1.34E+02	-0.337	1.34E+02	-0.151	1.39E+02
-0.029	1.43E+02	-0.215	1.40E+02	-0.400	1.24E+02	-0.518	-1.05E+02	-0.332	1.34E+02	-0.146	1.38E+02
-0.034	1.43E+02	-0.220	1.40E+02	-0.405	1.22E+02	-0.513	-7.91E+01	-0.327	1.35E+02	-0.142	1.39E+02
-0.039	1.43E+02	-0.225	1.40E+02	-0.410	1.20E+02	-0.508	-5.55E+01	-0.322	1.34E+02	-0.137	1.39E+02
-0.044	1.43E+02	-0.229	1.39E+02	-0.415	1.18E+02	-0.503	-3.43E+01	-0.317	1.35E+02	-0.132	1.39E+02
-0.049	1.43E+02	-0.234	1.39E+02	-0.420	1.16E+02	-0.498	-1.54E+01	-0.313	1.35E+02	-0.127	1.39E+02
-0.054	1.43E+02	-0.239	1.39E+02	-0.425	1.13E+02	-0.493	1.98E+00	-0.308	1.36E+02	-0.122	1.39E+02
-0.059	1.43E+02	-0.244	1.39E+02	-0.430	1.10E+02	-0.488	1.73E+01	-0.303	1.36E+02	-0.117	1.38E+02
-0.063	1.43E+02	-0.249	1.39E+02	-0.435	1.07E+02	-0.483	3.11E+01	-0.298	1.36E+02	-0.112	1.39E+02
-0.068	1.43E+02	-0.254	1.39E+02	-0.439	1.03E+02	-0.479	4.31E+01	-0.293	1.36E+02	-0.107	1.38E+02
-0.073	1.42E+02	-0.259	1.39E+02	-0.444	9.81E+01	-0.474	5.40E+01	-0.288	1.37E+02	-0.103	1.38E+02
-0.078	1.42E+02	-0.264	1.39E+02	-0.449	9.32E+01	-0.469	6.34E+01	-0.283	1.37E+02	-0.098	1.39E+02
-0.083	1.42E+02	-0.269	1.38E+02	-0.454	8.77E+01	-0.464	7.20E+01	-0.278	1.37E+02	-0.093	1.39E+02
-0.088	1.42E+02	-0.273	1.38E+02	-0.459	8.12E+01	-0.459	7.93E+01	-0.273	1.37E+02	-0.088	1.38E+02
-0.093	1.42E+02	-0.278	1.38E+02	-0.464	7.39E+01	-0.454	8.59E+01	-0.269	1.37E+02	-0.083	1.39E+02
-0.098	1.42E+02	-0.283	1.38E+02	-0.469	6.57E+01	-0.449	9.18E+01	-0.264	1.37E+02	-0.078	1.39E+02
-0.103	1.42E+02	-0.288	1.37E+02	-0.474	5.63E+01	-0.444	9.69E+01	-0.259	1.38E+02	-0.073	1.39E+02
-0.107	1.42E+02	-0.293	1.37E+02	-0.479	4.57E+01	-0.439	1.01E+02	-0.254	1.38E+02	-0.068	1.39E+02
-0.112	1.41E+02	-0.298	1.37E+02	-0.483	3.35E+01	-0.435	1.05E+02	-0.249	1.38E+02	-0.063	1.39E+02
-0.117	1.42E+02	-0.303	1.37E+02	-0.488	1.99E+01	-0.430	1.09E+02	-0.244	1.38E+02	-0.059	1.39E+02
-0.122	1.42E+02	-0.308	1.36E+02	-0.493	4.45E+00	-0.425	1.12E+02	-0.239	1.38E+02	-0.054	1.39E+02
-0.127	1.41E+02	-0.313	1.36E+02	-0.498	-1.28E+01	-0.420	1.14E+02	-0.234	1.38E+02	-0.049	1.39E+02
-0.132	1.41E+02	-0.317	1.36E+02	-0.503	-3.21E+01	-0.415	1.17E+02	-0.229	1.38E+02	-0.044	1.39E+02
-0.137	1.41E+02	-0.322	1.36E+02	-0.508	-5.35E+01	-0.410	1.19E+02	-0.225	1.38E+02	-0.039	1.39E+02
-0.142	1.41E+02	-0.327	1.35E+02	-0.513	-7.73E+01	-0.405	1.21E+02	-0.220	1.38E+02	-0.034	1.39E+02
-0.146	1.41E+02	-0.332	1.35E+02	-0.518	-1.04E+02	-0.400	1.22E+02	-0.215	1.38E+02	-0.029	1.39E+02
-0.151	1.41E+02	-0.337	1.35E+02	-0.522	-1.33E+02	-0.396	1.24E+02	-0.210	1.38E+02	-0.024	1.39E+02
-0.156	1.41E+02	-0.342	1.34E+02	-0.527	-1.64E+02	-0.391	1.25E+02	-0.205	1.38E+02	-0.020	1.39E+02
-0.161	1.41E+02	-0.347	1.34E+02	-0.532	-1.99E+02	-0.386	1.27E+02	-0.200	1.38E+02	-0.015	1.39E+02
-0.166	1.41E+02	-0.352	1.33E+02	-0.537	-2.36E+02	-0.381	1.27E+02	-0.195	1.38E+02	-0.010	1.39E+02
-0.171	1.40E+02	-0.356	1.33E+02	-0.542	-2.76E+02	-0.376	1.29E+02	-0.190	1.38E+02	-0.005	1.39E+02
-0.176	1.41E+02	-0.361	1.32E+02	-0.547	-3.20E+02	-0.371	1.30E+02	-0.186	1.38E+02		
-0.181	1.41E+02	-0.366	1.31E+02	-0.552	-3.66E+02	-0.366	1.30E+02	-0.181	1.38E+02		

**Cuadro A.23.** Datos de I-V para la celda 4, sensibilizada con el pigmento de curcumina.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	2.29E-04	-0.186	2.20E-04	-0.371	1.91E-04	-0.547	-2.02E-04	-0.361	1.89E-04	-0.176	2.10E-04
-0.005	2.28E-04	-0.190	2.20E-04	-0.376	1.89E-04	-0.542	-1.75E-04	-0.356	1.90E-04	-0.171	2.10E-04
-0.010	2.28E-04	-0.195	2.19E-04	-0.381	1.86E-04	-0.537	-1.49E-04	-0.352	1.92E-04	-0.166	2.10E-04
-0.015	2.28E-04	-0.200	2.19E-04	-0.386	1.84E-04	-0.532	-1.24E-04	-0.347	1.93E-04	-0.161	2.10E-04
-0.020	2.28E-04	-0.205	2.19E-04	-0.391	1.81E-04	-0.527	-1.01E-04	-0.342	1.94E-04	-0.156	2.10E-04
-0.024	2.28E-04	-0.210	2.18E-04	-0.396	1.79E-04	-0.522	-7.88E-05	-0.337	1.96E-04	-0.151	2.10E-04
-0.029	2.27E-04	-0.215	2.18E-04	-0.400	1.76E-04	-0.518	-5.76E-05	-0.332	1.97E-04	-0.146	2.10E-04
-0.034	2.27E-04	-0.220	2.18E-04	-0.405	1.72E-04	-0.513	-3.80E-05	-0.327	1.97E-04	-0.142	2.10E-04
-0.039	2.27E-04	-0.225	2.17E-04	-0.410	1.69E-04	-0.508	-1.96E-05	-0.322	1.99E-04	-0.137	2.10E-04
-0.044	2.27E-04	-0.229	2.17E-04	-0.415	1.65E-04	-0.503	-2.13E-06	-0.317	1.99E-04	-0.132	2.09E-04
-0.049	2.27E-04	-0.234	2.17E-04	-0.420	1.61E-04	-0.498	1.37E-05	-0.313	2.00E-04	-0.127	2.10E-04
-0.054	2.27E-04	-0.239	2.16E-04	-0.425	1.56E-04	-0.493	2.89E-05	-0.308	2.01E-04	-0.122	2.10E-04
-0.059	2.26E-04	-0.244	2.16E-04	-0.430	1.52E-04	-0.488	4.31E-05	-0.303	2.02E-04	-0.117	2.10E-04
-0.063	2.26E-04	-0.249	2.16E-04	-0.435	1.46E-04	-0.483	5.60E-05	-0.298	2.02E-04	-0.112	2.11E-04
-0.068	2.26E-04	-0.254	2.15E-04	-0.439	1.40E-04	-0.479	6.81E-05	-0.293	2.03E-04	-0.107	2.10E-04
-0.073	2.25E-04	-0.259	2.15E-04	-0.444	1.35E-04	-0.474	7.93E-05	-0.288	2.03E-04	-0.103	2.10E-04
-0.078	2.25E-04	-0.264	2.14E-04	-0.449	1.28E-04	-0.469	8.93E-05	-0.283	2.04E-04	-0.098	2.10E-04
-0.083	2.25E-04	-0.269	2.13E-04	-0.454	1.20E-04	-0.464	9.90E-05	-0.278	2.05E-04	-0.093	2.10E-04
-0.088	2.25E-04	-0.273	2.13E-04	-0.459	1.12E-04	-0.459	1.08E-04	-0.273	2.05E-04	-0.088	2.10E-04
-0.093	2.25E-04	-0.278	2.12E-04	-0.464	1.03E-04	-0.454	1.15E-04	-0.269	2.05E-04	-0.083	2.11E-04
-0.098	2.24E-04	-0.283	2.12E-04	-0.469	9.35E-05	-0.449	1.23E-04	-0.264	2.06E-04	-0.078	2.10E-04
-0.103	2.24E-04	-0.288	2.11E-04	-0.474	8.33E-05	-0.444	1.30E-04	-0.259	2.06E-04	-0.073	2.11E-04
-0.107	2.24E-04	-0.293	2.11E-04	-0.479	7.19E-05	-0.439	1.36E-04	-0.254	2.06E-04	-0.068	2.11E-04
-0.112	2.24E-04	-0.298	2.10E-04	-0.483	5.96E-05	-0.435	1.42E-04	-0.249	2.07E-04	-0.063	2.11E-04
-0.117	2.24E-04	-0.303	2.10E-04	-0.488	4.62E-05	-0.430	1.47E-04	-0.244	2.07E-04	-0.059	2.11E-04
-0.122	2.23E-04	-0.308	2.08E-04	-0.493	3.21E-05	-0.425	1.52E-04	-0.239	2.08E-04	-0.054	2.11E-04
-0.127	2.23E-04	-0.313	2.07E-04	-0.498	1.70E-05	-0.420	1.56E-04	-0.234	2.08E-04	-0.049	2.10E-04
-0.132	2.23E-04	-0.317	2.06E-04	-0.503	4.67E-07	-0.415	1.60E-04	-0.229	2.08E-04	-0.044	2.11E-04
-0.137	2.23E-04	-0.322	2.05E-04	-0.508	-1.71E-05	-0.410	1.64E-04	-0.225	2.08E-04	-0.039	2.11E-04
-0.142	2.22E-04	-0.327	2.04E-04	-0.513	-3.58E-05	-0.405	1.67E-04	-0.220	2.08E-04	-0.034	2.11E-04
-0.146	2.22E-04	-0.332	2.03E-04	-0.518	-5.59E-05	-0.400	1.71E-04	-0.215	2.08E-04	-0.029	2.11E-04
-0.151	2.22E-04	-0.337	2.02E-04	-0.522	-7.75E-05	-0.396	1.74E-04	-0.210	2.09E-04	-0.024	2.11E-04
-0.156	2.22E-04	-0.342	2.01E-04	-0.527	-9.95E-05	-0.391	1.77E-04	-0.205	2.09E-04	-0.020	2.11E-04
-0.161	2.22E-04	-0.347	2.00E-04	-0.532	-1.23E-04	-0.386	1.79E-04	-0.200	2.09E-04	-0.015	2.11E-04
-0.166	2.21E-04	-0.352	1.98E-04	-0.537	-1.49E-04	-0.381	1.81E-04	-0.195	2.10E-04	-0.010	2.11E-04
-0.171	2.21E-04	-0.356	1.96E-04	-0.542	-1.75E-04	-0.376	1.83E-04	-0.190	2.10E-04	-0.005	2.11E-04
-0.176	2.21E-04	-0.361	1.95E-04	-0.547	-2.02E-04	-0.371	1.85E-04	-0.186	2.10E-04		
-0.181	2.20E-04	-0.366	1.93E-04	-0.552	-2.31E-04	-0.366	1.87E-04	-0.181	2.10E-04		

**Cuadro A.24.** Datos de I-V para la celda 5, sensibilizada con el pigmento de curcumina.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	2.47E-04	-0.186	2.39E-04	-0.371	2.06E-04	-0.547	-4.20E-04	-0.361	2.05E-04	-0.176	2.33E-04
-0.005	2.46E-04	-0.190	2.38E-04	-0.376	2.04E-04	-0.542	-3.70E-04	-0.356	2.08E-04	-0.171	2.33E-04
-0.010	2.46E-04	-0.195	2.38E-04	-0.381	2.01E-04	-0.537	-3.22E-04	-0.352	2.10E-04	-0.166	2.33E-04
-0.015	2.46E-04	-0.200	2.38E-04	-0.386	1.98E-04	-0.532	-2.78E-04	-0.347	2.11E-04	-0.161	2.33E-04
-0.020	2.45E-04	-0.205	2.37E-04	-0.391	1.94E-04	-0.527	-2.36E-04	-0.342	2.13E-04	-0.156	2.33E-04
-0.024	2.45E-04	-0.210	2.37E-04	-0.396	1.91E-04	-0.522	-1.98E-04	-0.337	2.14E-04	-0.151	2.33E-04
-0.029	2.45E-04	-0.215	2.36E-04	-0.400	1.87E-04	-0.518	-1.62E-04	-0.332	2.15E-04	-0.146	2.34E-04
-0.034	2.44E-04	-0.220	2.36E-04	-0.405	1.83E-04	-0.513	-1.29E-04	-0.327	2.17E-04	-0.142	2.33E-04
-0.039	2.45E-04	-0.225	2.36E-04	-0.410	1.79E-04	-0.508	-9.77E-05	-0.322	2.18E-04	-0.137	2.34E-04
-0.044	2.44E-04	-0.229	2.36E-04	-0.415	1.74E-04	-0.503	-6.95E-05	-0.317	2.19E-04	-0.132	2.34E-04
-0.049	2.44E-04	-0.234	2.35E-04	-0.420	1.68E-04	-0.498	-4.38E-05	-0.313	2.20E-04	-0.127	2.34E-04
-0.054	2.44E-04	-0.239	2.35E-04	-0.425	1.63E-04	-0.493	-1.98E-05	-0.308	2.21E-04	-0.122	2.34E-04
-0.059	2.44E-04	-0.244	2.34E-04	-0.430	1.57E-04	-0.488	1.85E-06	-0.303	2.22E-04	-0.117	2.34E-04
-0.063	2.44E-04	-0.249	2.34E-04	-0.435	1.49E-04	-0.483	2.15E-05	-0.298	2.23E-04	-0.112	2.34E-04
-0.068	2.43E-04	-0.254	2.34E-04	-0.439	1.42E-04	-0.479	3.98E-05	-0.293	2.23E-04	-0.107	2.34E-04
-0.073	2.43E-04	-0.259	2.33E-04	-0.444	1.34E-04	-0.474	5.61E-05	-0.288	2.24E-04	-0.103	2.34E-04
-0.078	2.43E-04	-0.264	2.33E-04	-0.449	1.24E-04	-0.469	7.11E-05	-0.283	2.25E-04	-0.098	2.34E-04
-0.083	2.43E-04	-0.269	2.32E-04	-0.454	1.14E-04	-0.464	8.49E-05	-0.278	2.25E-04	-0.093	2.34E-04
-0.088	2.42E-04	-0.273	2.31E-04	-0.459	1.03E-04	-0.459	9.75E-05	-0.273	2.26E-04	-0.088	2.34E-04
-0.093	2.42E-04	-0.278	2.31E-04	-0.464	9.00E-05	-0.454	1.09E-04	-0.269	2.26E-04	-0.083	2.34E-04
-0.098	2.42E-04	-0.283	2.30E-04	-0.469	7.62E-05	-0.449	1.19E-04	-0.264	2.27E-04	-0.078	2.34E-04
-0.103	2.42E-04	-0.288	2.29E-04	-0.474	6.10E-05	-0.444	1.28E-04	-0.259	2.28E-04	-0.073	2.34E-04
-0.107	2.42E-04	-0.293	2.28E-04	-0.479	4.43E-05	-0.439	1.37E-04	-0.254	2.28E-04	-0.068	2.34E-04
-0.112	2.42E-04	-0.298	2.28E-04	-0.483	2.60E-05	-0.435	1.45E-04	-0.249	2.28E-04	-0.063	2.35E-04
-0.117	2.41E-04	-0.303	2.27E-04	-0.488	6.00E-06	-0.430	1.52E-04	-0.244	2.29E-04	-0.059	2.34E-04
-0.122	2.41E-04	-0.308	2.26E-04	-0.493	-1.61E-05	-0.425	1.58E-04	-0.239	2.29E-04	-0.054	2.34E-04
-0.127	2.41E-04	-0.313	2.25E-04	-0.498	-4.03E-05	-0.420	1.64E-04	-0.234	2.29E-04	-0.049	2.34E-04
-0.132	2.41E-04	-0.317	2.24E-04	-0.503	-6.63E-05	-0.415	1.69E-04	-0.229	2.30E-04	-0.044	2.34E-04
-0.137	2.41E-04	-0.322	2.22E-04	-0.508	-9.53E-05	-0.410	1.75E-04	-0.225	2.30E-04	-0.039	2.35E-04
-0.142	2.41E-04	-0.327	2.21E-04	-0.513	-1.26E-04	-0.405	1.79E-04	-0.220	2.30E-04	-0.034	2.35E-04
-0.146	2.40E-04	-0.332	2.20E-04	-0.518	-1.60E-04	-0.400	1.82E-04	-0.215	2.31E-04	-0.029	2.35E-04
-0.151	2.40E-04	-0.337	2.18E-04	-0.522	-1.97E-04	-0.396	1.87E-04	-0.210	2.31E-04	-0.024	2.35E-04
-0.156	2.40E-04	-0.342	2.17E-04	-0.527	-2.36E-04	-0.391	1.90E-04	-0.205	2.31E-04	-0.020	2.34E-04
-0.161	2.40E-04	-0.347	2.16E-04	-0.532	-2.78E-04	-0.386	1.93E-04	-0.200	2.31E-04	-0.015	2.35E-04
-0.166	2.40E-04	-0.352	2.14E-04	-0.537	-3.23E-04	-0.381	1.96E-04	-0.195	2.32E-04	-0.010	2.35E-04
-0.171	2.39E-04	-0.356	2.12E-04	-0.542	-3.70E-04	-0.376	1.98E-04	-0.190	2.32E-04	-0.005	2.35E-04
-0.176	2.39E-04	-0.361	2.10E-04	-0.547	-4.21E-04	-0.371	2.01E-04	-0.186	2.32E-04		
-0.181	2.39E-04	-0.366	2.08E-04	-0.552	-4.75E-04	-0.366	2.04E-04	-0.181	2.32E-04		



**Cuadro A.25.** Datos de I-V para la celda 6, sensibilizada con el pigmento de curcumina.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	1.33E-04	-0.186	1.26E-04	-0.371	8.65E-05	-0.547	-5.45E-04	-0.361	8.76E-05	-0.176	1.25E-04
-0.005	1.33E-04	-0.190	1.26E-04	-0.376	8.38E-05	-0.542	-4.96E-04	-0.356	8.98E-05	-0.171	1.25E-04
-0.010	1.33E-04	-0.195	1.26E-04	-0.381	8.07E-05	-0.537	-4.50E-04	-0.352	9.19E-05	-0.166	1.25E-04
-0.015	1.33E-04	-0.200	1.25E-04	-0.386	7.75E-05	-0.532	-4.07E-04	-0.347	9.42E-05	-0.161	1.26E-04
-0.020	1.33E-04	-0.205	1.25E-04	-0.391	7.43E-05	-0.527	-3.66E-04	-0.342	9.59E-05	-0.156	1.26E-04
-0.024	1.33E-04	-0.210	1.25E-04	-0.396	7.04E-05	-0.522	-3.28E-04	-0.337	9.75E-05	-0.151	1.26E-04
-0.029	1.33E-04	-0.215	1.24E-04	-0.400	6.63E-05	-0.518	-2.93E-04	-0.332	9.94E-05	-0.146	1.26E-04
-0.034	1.32E-04	-0.220	1.24E-04	-0.405	6.21E-05	-0.513	-2.60E-04	-0.327	1.01E-04	-0.142	1.26E-04
-0.039	1.32E-04	-0.225	1.23E-04	-0.410	5.71E-05	-0.508	-2.29E-04	-0.322	1.02E-04	-0.137	1.27E-04
-0.044	1.32E-04	-0.229	1.23E-04	-0.415	5.20E-05	-0.503	-2.01E-04	-0.317	1.04E-04	-0.132	1.27E-04
-0.049	1.32E-04	-0.234	1.22E-04	-0.420	4.63E-05	-0.498	-1.74E-04	-0.313	1.05E-04	-0.127	1.27E-04
-0.054	1.32E-04	-0.239	1.22E-04	-0.425	4.00E-05	-0.493	-1.50E-04	-0.308	1.07E-04	-0.122	1.27E-04
-0.059	1.32E-04	-0.244	1.21E-04	-0.430	3.33E-05	-0.488	-1.28E-04	-0.303	1.08E-04	-0.117	1.27E-04
-0.063	1.32E-04	-0.249	1.21E-04	-0.435	2.59E-05	-0.483	-1.08E-04	-0.298	1.09E-04	-0.112	1.27E-04
-0.068	1.31E-04	-0.254	1.20E-04	-0.439	1.77E-05	-0.479	-8.90E-05	-0.293	1.10E-04	-0.107	1.28E-04
-0.073	1.31E-04	-0.259	1.19E-04	-0.444	8.82E-06	-0.474	-7.18E-05	-0.288	1.11E-04	-0.103	1.28E-04
-0.078	1.31E-04	-0.264	1.19E-04	-0.449	-8.27E-07	-0.469	-5.63E-05	-0.283	1.12E-04	-0.098	1.28E-04
-0.083	1.31E-04	-0.269	1.18E-04	-0.454	-1.16E-05	-0.464	-4.21E-05	-0.278	1.13E-04	-0.093	1.29E-04
-0.088	1.30E-04	-0.273	1.17E-04	-0.459	-2.35E-05	-0.459	-2.91E-05	-0.273	1.14E-04	-0.088	1.29E-04
-0.093	1.31E-04	-0.278	1.16E-04	-0.464	-3.65E-05	-0.454	-1.73E-05	-0.269	1.15E-04	-0.083	1.29E-04
-0.098	1.31E-04	-0.283	1.15E-04	-0.469	-5.09E-05	-0.449	-6.53E-06	-0.264	1.16E-04	-0.078	1.29E-04
-0.103	1.30E-04	-0.288	1.14E-04	-0.474	-6.64E-05	-0.444	3.31E-06	-0.259	1.16E-04	-0.073	1.29E-04
-0.107	1.30E-04	-0.293	1.13E-04	-0.479	-8.37E-05	-0.439	1.23E-05	-0.254	1.17E-04	-0.068	1.29E-04
-0.112	1.30E-04	-0.298	1.12E-04	-0.483	-1.03E-04	-0.435	2.04E-05	-0.249	1.18E-04	-0.063	1.29E-04
-0.117	1.30E-04	-0.303	1.11E-04	-0.488	-1.23E-04	-0.430	2.80E-05	-0.244	1.18E-04	-0.059	1.29E-04
-0.122	1.30E-04	-0.308	1.10E-04	-0.493	-1.46E-04	-0.425	3.45E-05	-0.239	1.19E-04	-0.054	1.30E-04
-0.127	1.29E-04	-0.313	1.09E-04	-0.498	-1.70E-04	-0.420	4.08E-05	-0.234	1.20E-04	-0.049	1.30E-04
-0.132	1.29E-04	-0.317	1.08E-04	-0.503	-1.97E-04	-0.415	4.66E-05	-0.229	1.20E-04	-0.044	1.30E-04
-0.137	1.29E-04	-0.322	1.06E-04	-0.508	-2.26E-04	-0.410	5.18E-05	-0.225	1.20E-04	-0.039	1.30E-04
-0.142	1.29E-04	-0.327	1.05E-04	-0.513	-2.57E-04	-0.405	5.70E-05	-0.220	1.21E-04	-0.034	1.30E-04
-0.146	1.29E-04	-0.332	1.03E-04	-0.518	-2.90E-04	-0.400	6.15E-05	-0.215	1.21E-04	-0.029	1.30E-04
-0.151	1.28E-04	-0.337	1.02E-04	-0.522	-3.26E-04	-0.396	6.56E-05	-0.210	1.22E-04	-0.024	1.31E-04
-0.156	1.28E-04	-0.342	9.98E-05	-0.527	-3.65E-04	-0.391	6.96E-05	-0.205	1.22E-04	-0.020	1.31E-04
-0.161	1.28E-04	-0.347	9.79E-05	-0.532	-4.06E-04	-0.386	7.29E-05	-0.200	1.22E-04	-0.015	1.30E-04
-0.166	1.28E-04	-0.352	9.58E-05	-0.537	-4.50E-04	-0.381	7.58E-05	-0.195	1.23E-04	-0.010	1.31E-04
-0.171	1.27E-04	-0.356	9.37E-05	-0.542	-4.96E-04	-0.376	7.93E-05	-0.190	1.23E-04	-0.005	1.31E-04
-0.176	1.27E-04	-0.361	9.17E-05	-0.547	-5.45E-04	-0.371	8.22E-05	-0.186	1.24E-04		
-0.181	1.27E-04	-0.366	8.93E-05	-0.552	-5.97E-04	-0.366	8.49E-05	-0.181	1.24E-04		

**Cuadro A.26.** Datos de I-V para la celda 7, sensibilizada con el pigmento de curcumina.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	1.72E-04	-0.186	1.61E-04	-0.371	1.23E-04	-0.547	-2.85E-04	-0.361	1.23E-04	-0.176	1.57E-04
-0.005	1.71E-04	-0.190	1.60E-04	-0.376	1.21E-04	-0.542	-2.50E-04	-0.356	1.25E-04	-0.171	1.58E-04
-0.010	1.71E-04	-0.195	1.60E-04	-0.381	1.19E-04	-0.537	-2.18E-04	-0.352	1.26E-04	-0.166	1.58E-04
-0.015	1.71E-04	-0.200	1.59E-04	-0.386	1.17E-04	-0.532	-1.88E-04	-0.347	1.28E-04	-0.161	1.58E-04
-0.020	1.70E-04	-0.205	1.59E-04	-0.391	1.14E-04	-0.527	-1.60E-04	-0.342	1.30E-04	-0.156	1.59E-04
-0.024	1.70E-04	-0.210	1.58E-04	-0.396	1.12E-04	-0.522	-1.35E-04	-0.337	1.31E-04	-0.151	1.59E-04
-0.029	1.70E-04	-0.215	1.58E-04	-0.400	1.09E-04	-0.518	-1.12E-04	-0.332	1.32E-04	-0.146	1.60E-04
-0.034	1.70E-04	-0.220	1.57E-04	-0.405	1.06E-04	-0.513	-9.04E-05	-0.327	1.34E-04	-0.142	1.60E-04
-0.039	1.70E-04	-0.225	1.57E-04	-0.410	1.03E-04	-0.508	-7.07E-05	-0.322	1.35E-04	-0.137	1.60E-04
-0.044	1.70E-04	-0.229	1.56E-04	-0.415	9.94E-05	-0.503	-5.31E-05	-0.317	1.36E-04	-0.132	1.61E-04
-0.049	1.69E-04	-0.234	1.56E-04	-0.420	9.53E-05	-0.498	-3.68E-05	-0.313	1.37E-04	-0.127	1.61E-04
-0.054	1.69E-04	-0.239	1.55E-04	-0.425	9.15E-05	-0.493	-2.23E-05	-0.308	1.38E-04	-0.122	1.61E-04
-0.059	1.69E-04	-0.244	1.54E-04	-0.430	8.68E-05	-0.488	-9.09E-06	-0.303	1.39E-04	-0.117	1.61E-04
-0.063	1.69E-04	-0.249	1.54E-04	-0.435	8.20E-05	-0.483	2.99E-06	-0.298	1.40E-04	-0.112	1.61E-04
-0.068	1.69E-04	-0.254	1.53E-04	-0.439	7.71E-05	-0.479	1.40E-05	-0.293	1.41E-04	-0.107	1.62E-04
-0.073	1.68E-04	-0.259	1.52E-04	-0.444	7.17E-05	-0.474	2.40E-05	-0.288	1.43E-04	-0.103	1.62E-04
-0.078	1.68E-04	-0.264	1.51E-04	-0.449	6.59E-05	-0.469	3.31E-05	-0.283	1.44E-04	-0.098	1.62E-04
-0.083	1.68E-04	-0.269	1.51E-04	-0.454	5.96E-05	-0.464	4.14E-05	-0.278	1.44E-04	-0.093	1.63E-04
-0.088	1.68E-04	-0.273	1.50E-04	-0.459	5.28E-05	-0.459	4.88E-05	-0.273	1.45E-04	-0.088	1.63E-04
-0.093	1.67E-04	-0.278	1.49E-04	-0.464	4.51E-05	-0.454	5.60E-05	-0.269	1.46E-04	-0.083	1.63E-04
-0.098	1.67E-04	-0.283	1.48E-04	-0.469	3.68E-05	-0.449	6.22E-05	-0.264	1.46E-04	-0.078	1.63E-04
-0.103	1.67E-04	-0.288	1.47E-04	-0.474	2.76E-05	-0.444	6.80E-05	-0.259	1.47E-04	-0.073	1.63E-04
-0.107	1.66E-04	-0.293	1.46E-04	-0.479	1.75E-05	-0.439	7.35E-05	-0.254	1.48E-04	-0.068	1.63E-04
-0.112	1.66E-04	-0.298	1.45E-04	-0.483	6.44E-06	-0.435	7.84E-05	-0.249	1.48E-04	-0.063	1.64E-04
-0.117	1.66E-04	-0.303	1.44E-04	-0.488	-5.85E-06	-0.430	8.29E-05	-0.244	1.50E-04	-0.059	1.64E-04
-0.122	1.66E-04	-0.308	1.43E-04	-0.493	-1.92E-05	-0.425	8.74E-05	-0.239	1.50E-04	-0.054	1.64E-04
-0.127	1.65E-04	-0.313	1.42E-04	-0.498	-3.39E-05	-0.420	9.11E-05	-0.234	1.51E-04	-0.049	1.64E-04
-0.132	1.65E-04	-0.317	1.41E-04	-0.503	-5.03E-05	-0.415	9.48E-05	-0.229	1.52E-04	-0.044	1.64E-04
-0.137	1.65E-04	-0.322	1.40E-04	-0.508	-6.84E-05	-0.410	9.85E-05	-0.225	1.52E-04	-0.039	1.64E-04
-0.142	1.64E-04	-0.327	1.39E-04	-0.513	-8.82E-05	-0.405	1.01E-04	-0.220	1.52E-04	-0.034	1.65E-04
-0.146	1.64E-04	-0.332	1.37E-04	-0.518	-1.10E-04	-0.400	1.04E-04	-0.215	1.53E-04	-0.029	1.65E-04
-0.151	1.63E-04	-0.337	1.36E-04	-0.522	-1.33E-04	-0.396	1.07E-04	-0.210	1.54E-04	-0.024	1.64E-04
-0.156	1.63E-04	-0.342	1.34E-04	-0.527	-1.59E-04	-0.391	1.10E-04	-0.205	1.54E-04	-0.020	1.65E-04
-0.161	1.63E-04	-0.347	1.32E-04	-0.532	-1.87E-04	-0.386	1.12E-04	-0.200	1.55E-04	-0.015	1.65E-04
-0.166	1.62E-04	-0.352	1.31E-04	-0.537	-2.17E-04	-0.381	1.15E-04	-0.195	1.55E-04	-0.010	1.65E-04
-0.171	1.62E-04	-0.356	1.29E-04	-0.542	-2.50E-04	-0.376	1.17E-04	-0.190	1.56E-04	-0.005	1.65E-04
-0.176	1.62E-04	-0.361	1.27E-04	-0.547	-2.85E-04	-0.371	1.19E-04	-0.186	1.56E-04		
-0.181	1.61E-04	-0.366	1.25E-04	-0.552	-3.23E-04	-0.366	1.21E-04	-0.181	1.56E-04		

**Cuadro A.27.** Datos de I-V para la celda 1, sensibilizada con el pigmento de caimito.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	1.39E+02	-0.186	1.34E+02	-0.371	1.18E+02	-0.557	-4.17E+02	-0.459	5.68E+01	-0.254	1.36E+02
-0.005	1.39E+02	-0.190	1.34E+02	-0.376	1.17E+02	-0.562	-4.58E+02	-0.454	6.52E+01	-0.249	1.36E+02
-0.010	1.39E+02	-0.195	1.34E+02	-0.381	1.15E+02	-0.566	-5.01E+02	-0.449	7.29E+01	-0.244	1.36E+02
-0.015	1.39E+02	-0.200	1.34E+02	-0.386	1.13E+02	-0.571	-5.45E+02	-0.444	7.98E+01	-0.239	1.36E+02
-0.020	1.39E+02	-0.205	1.33E+02	-0.391	1.12E+02	-0.576	-5.91E+02	-0.439	8.61E+01	-0.234	1.36E+02
-0.024	1.38E+02	-0.210	1.33E+02	-0.396	1.09E+02	-0.581	-6.38E+02	-0.435	9.16E+01	-0.229	1.37E+02
-0.029	1.38E+02	-0.215	1.33E+02	-0.400	1.07E+02	-0.586	-6.88E+02	-0.430	9.63E+01	-0.225	1.37E+02
-0.034	1.38E+02	-0.220	1.33E+02	-0.405	1.04E+02	-0.591	-7.38E+02	-0.425	1.01E+02	-0.220	1.37E+02
-0.039	1.38E+02	-0.225	1.33E+02	-0.410	1.01E+02	-0.596	-7.89E+02	-0.420	1.04E+02	-0.215	1.37E+02
-0.044	1.38E+02	-0.229	1.33E+02	-0.415	9.77E+01	-0.601	-8.43E+02	-0.415	1.08E+02	-0.210	1.37E+02
-0.049	1.38E+02	-0.234	1.32E+02	-0.420	9.39E+01	-0.596	-7.86E+02	-0.410	1.11E+02	-0.205	1.37E+02
-0.054	1.38E+02	-0.239	1.32E+02	-0.425	8.98E+01	-0.591	-7.32E+02	-0.405	1.14E+02	-0.200	1.37E+02
-0.059	1.38E+02	-0.244	1.32E+02	-0.430	8.51E+01	-0.586	-6.81E+02	-0.400	1.16E+02	-0.195	1.37E+02
-0.063	1.37E+02	-0.249	1.32E+02	-0.435	7.99E+01	-0.581	-6.31E+02	-0.396	1.18E+02	-0.190	1.37E+02
-0.068	1.37E+02	-0.254	1.32E+02	-0.439	7.40E+01	-0.576	-5.83E+02	-0.391	1.20E+02	-0.186	1.37E+02
-0.073	1.37E+02	-0.259	1.31E+02	-0.444	6.75E+01	-0.571	-5.37E+02	-0.386	1.22E+02	-0.181	1.38E+02
-0.078	1.37E+02	-0.264	1.31E+02	-0.449	6.05E+01	-0.566	-4.93E+02	-0.381	1.23E+02	-0.176	1.38E+02
-0.083	1.37E+02	-0.269	1.31E+02	-0.454	5.26E+01	-0.562	-4.50E+02	-0.376	1.25E+02	-0.171	1.38E+02
-0.088	1.37E+02	-0.273	1.30E+02	-0.459	4.39E+01	-0.557	-4.09E+02	-0.371	1.26E+02	-0.166	1.38E+02
-0.093	1.37E+02	-0.278	1.30E+02	-0.464	3.43E+01	-0.552	-3.69E+02	-0.366	1.27E+02	-0.161	1.38E+02
-0.098	1.37E+02	-0.283	1.30E+02	-0.469	2.36E+01	-0.547	-3.31E+02	-0.361	1.28E+02	-0.156	1.38E+02
-0.103	1.36E+02	-0.288	1.30E+02	-0.474	1.19E+01	-0.542	-2.95E+02	-0.356	1.29E+02	-0.151	1.38E+02
-0.107	1.36E+02	-0.293	1.29E+02	-0.479	-9.55E-01	-0.537	-2.61E+02	-0.352	1.29E+02	-0.146	1.38E+02
-0.112	1.36E+02	-0.298	1.29E+02	-0.483	-1.49E+01	-0.532	-2.29E+02	-0.347	1.30E+02	-0.142	1.38E+02
-0.117	1.36E+02	-0.303	1.29E+02	-0.488	-3.02E+01	-0.527	-1.98E+02	-0.342	1.31E+02	-0.137	1.38E+02
-0.122	1.36E+02	-0.308	1.28E+02	-0.493	-4.69E+01	-0.522	-1.70E+02	-0.337	1.31E+02	-0.132	1.38E+02
-0.127	1.36E+02	-0.313	1.28E+02	-0.498	-6.52E+01	-0.518	-1.43E+02	-0.332	1.32E+02	-0.127	1.39E+02
-0.132	1.36E+02	-0.317	1.27E+02	-0.503	-8.51E+01	-0.513	-1.17E+02	-0.327	1.32E+02	-0.122	1.39E+02
-0.137	1.35E+02	-0.322	1.27E+02	-0.508	-1.07E+02	-0.508	-9.41E+01	-0.322	1.32E+02	-0.117	1.39E+02
-0.142	1.35E+02	-0.327	1.26E+02	-0.513	-1.30E+02	-0.503	-7.24E+01	-0.317	1.33E+02	-0.112	1.39E+02
-0.146	1.35E+02	-0.332	1.26E+02	-0.518	-1.54E+02	-0.498	-5.24E+01	-0.313	1.33E+02	-0.107	1.39E+02
-0.151	1.35E+02	-0.337	1.25E+02	-0.522	-1.81E+02	-0.493	-3.40E+01	-0.308	1.33E+02	-0.103	1.39E+02
-0.156	1.35E+02	-0.342	1.24E+02	-0.527	-2.09E+02	-0.488	-1.71E+01	-0.303	1.33E+02	-0.098	1.39E+02
-0.161	1.35E+02	-0.347	1.24E+02	-0.532	-2.39E+02	-0.483	-1.56E+00	-0.298	1.34E+02	-0.093	1.39E+02
-0.166	1.35E+02	-0.352	1.23E+02	-0.537	-2.71E+02	-0.479	1.25E+01	-0.293	1.34E+02	-0.088	1.39E+02
-0.171	1.34E+02	-0.356	1.22E+02	-0.542	-3.05E+02	-0.474	2.54E+01	-0.288	1.34E+02	-0.083	1.39E+02
-0.176	1.34E+02	-0.361	1.21E+02	-0.547	-3.41E+02	-0.469	3.69E+01	-0.283	1.34E+02	-0.078	1.39E+02
-0.181	1.34E+02	-0.366	1.20E+02	-0.552	-3.78E+02	-0.464	4.74E+01	-0.278	1.34E+02	-0.073	1.39E+02

**Cuadro A.28.** Datos de I-V para la celda 2, sensibilizada con el pigmento de caimito.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	1.08E+02	-0.186	1.04E+02	-0.371	9.01E+01	-0.557	-3.01E+02	-0.459	5.29E+01	-0.273	1.02E+02
-0.005	1.08E+02	-0.190	1.04E+02	-0.376	8.91E+01	-0.562	-3.37E+02	-0.454	5.80E+01	-0.269	1.02E+02
-0.010	1.08E+02	-0.195	1.03E+02	-0.381	8.80E+01	-0.566	-3.76E+02	-0.449	6.24E+01	-0.264	1.03E+02
-0.015	1.08E+02	-0.200	1.03E+02	-0.386	8.69E+01	-0.571	-4.17E+02	-0.444	6.63E+01	-0.259	1.03E+02
-0.020	1.08E+02	-0.205	1.03E+02	-0.391	8.57E+01	-0.576	-4.60E+02	-0.439	6.98E+01	-0.254	1.03E+02
-0.024	1.07E+02	-0.210	1.03E+02	-0.396	8.44E+01	-0.581	-5.06E+02	-0.435	7.28E+01	-0.249	1.03E+02
-0.029	1.07E+02	-0.215	1.03E+02	-0.400	8.28E+01	-0.586	-5.53E+02	-0.430	7.56E+01	-0.244	1.04E+02
-0.034	1.07E+02	-0.220	1.03E+02	-0.405	8.12E+01	-0.591	-6.03E+02	-0.425	7.82E+01	-0.239	1.04E+02
-0.039	1.07E+02	-0.225	1.02E+02	-0.410	7.94E+01	-0.596	-6.55E+02	-0.420	8.04E+01	-0.234	1.04E+02
-0.044	1.07E+02	-0.229	1.02E+02	-0.415	7.74E+01	-0.601	-7.09E+02	-0.415	8.25E+01	-0.229	1.04E+02
-0.049	1.07E+02	-0.234	1.02E+02	-0.420	7.51E+01	-0.596	-6.51E+02	-0.410	8.42E+01	-0.225	1.04E+02
-0.054	1.07E+02	-0.239	1.02E+02	-0.425	7.27E+01	-0.591	-5.98E+02	-0.405	8.58E+01	-0.220	1.04E+02
-0.059	1.07E+02	-0.244	1.02E+02	-0.430	7.00E+01	-0.586	-5.47E+02	-0.400	8.72E+01	-0.215	1.04E+02
-0.063	1.07E+02	-0.249	1.01E+02	-0.435	6.70E+01	-0.581	-4.99E+02	-0.396	8.85E+01	-0.210	1.05E+02
-0.068	1.06E+02	-0.254	1.01E+02	-0.439	6.36E+01	-0.576	-4.52E+02	-0.391	8.98E+01	-0.205	1.05E+02
-0.073	1.06E+02	-0.259	1.01E+02	-0.444	5.98E+01	-0.571	-4.09E+02	-0.386	9.10E+01	-0.200	1.05E+02
-0.078	1.06E+02	-0.264	1.01E+02	-0.449	5.56E+01	-0.566	-3.68E+02	-0.381	9.20E+01	-0.195	1.05E+02
-0.083	1.06E+02	-0.269	1.00E+02	-0.454	5.09E+01	-0.562	-3.29E+02	-0.376	9.28E+01	-0.190	1.05E+02
-0.088	1.06E+02	-0.273	9.99E+01	-0.459	4.57E+01	-0.557	-2.92E+02	-0.371	9.36E+01	-0.186	1.05E+02
-0.093	1.06E+02	-0.278	9.96E+01	-0.464	3.99E+01	-0.552	-2.58E+02	-0.366	9.44E+01	-0.181	1.05E+02
-0.098	1.06E+02	-0.283	9.93E+01	-0.469	3.34E+01	-0.547	-2.26E+02	-0.361	9.50E+01	-0.176	1.05E+02
-0.103	1.06E+02	-0.288	9.91E+01	-0.474	2.62E+01	-0.542	-1.96E+02	-0.356	9.56E+01	-0.171	1.06E+02
-0.107	1.06E+02	-0.293	9.89E+01	-0.479	1.81E+01	-0.537	-1.68E+02	-0.352	9.63E+01	-0.166	1.06E+02
-0.112	1.06E+02	-0.298	9.85E+01	-0.483	9.16E+00	-0.532	-1.42E+02	-0.347	9.70E+01	-0.161	1.06E+02
-0.117	1.05E+02	-0.303	9.81E+01	-0.488	-7.45E-01	-0.527	-1.19E+02	-0.342	9.75E+01	-0.156	1.06E+02
-0.122	1.05E+02	-0.308	9.77E+01	-0.493	-1.18E+01	-0.522	-9.71E+01	-0.337	9.79E+01	-0.151	1.06E+02
-0.127	1.05E+02	-0.313	9.73E+01	-0.498	-2.40E+01	-0.518	-7.74E+01	-0.332	9.83E+01	-0.146	1.06E+02
-0.132	1.05E+02	-0.317	9.68E+01	-0.503	-3.74E+01	-0.513	-5.94E+01	-0.327	9.87E+01	-0.142	1.06E+02
-0.137	1.05E+02	-0.322	9.65E+01	-0.508	-5.23E+01	-0.508	-4.31E+01	-0.322	9.91E+01	-0.137	1.06E+02
-0.142	1.05E+02	-0.327	9.62E+01	-0.513	-6.88E+01	-0.503	-2.83E+01	-0.317	9.96E+01	-0.132	1.07E+02
-0.146	1.05E+02	-0.332	9.56E+01	-0.518	-8.68E+01	-0.498	-1.50E+01	-0.313	1.00E+02	-0.127	1.07E+02
-0.151	1.05E+02	-0.337	9.50E+01	-0.522	-1.07E+02	-0.493	-2.87E+00	-0.308	1.00E+02	-0.122	1.07E+02
-0.156	1.05E+02	-0.342	9.44E+01	-0.527	-1.28E+02	-0.488	7.94E+00	-0.303	1.00E+02	-0.117	1.07E+02
-0.161	1.04E+02	-0.347	9.38E+01	-0.532	-1.52E+02	-0.483	1.76E+01	-0.298	1.01E+02	-0.112	1.07E+02
-0.166	1.04E+02	-0.352	9.31E+01	-0.537	-1.77E+02	-0.479	2.64E+01	-0.293	1.01E+02	-0.107	1.07E+02
-0.171	1.04E+02	-0.356	9.25E+01	-0.542	-2.05E+02	-0.474	3.42E+01	-0.288	1.01E+02	-0.103	1.07E+02
-0.176	1.04E+02	-0.361	9.19E+01	-0.547	-2.34E+02	-0.469	4.11E+01	-0.283	1.02E+02	-0.098	1.07E+02
-0.181	1.04E+02	-0.366	9.11E+01	-0.552	-2.66E+02	-0.464	4.73E+01	-0.278	1.02E+02	-0.093	1.07E+02

**Cuadro A.29.** Datos de I-V para la celda 3, sensibilizada con el pigmento de caimito.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	2.25E+02	-0.186	2.19E+02	-0.371	2.01E+02	-0.547	-5.29E+02	-0.361	2.09E+02	-0.176	2.24E+02
-0.005	2.24E+02	-0.190	2.19E+02	-0.376	1.99E+02	-0.542	-4.74E+02	-0.356	2.11E+02	-0.171	2.24E+02
-0.010	2.24E+02	-0.195	2.18E+02	-0.381	1.97E+02	-0.537	-4.22E+02	-0.352	2.13E+02	-0.166	2.24E+02
-0.015	2.24E+02	-0.200	2.18E+02	-0.386	1.94E+02	-0.532	-3.74E+02	-0.347	2.14E+02	-0.161	2.24E+02
-0.020	2.23E+02	-0.205	2.18E+02	-0.391	1.90E+02	-0.527	-3.28E+02	-0.342	2.15E+02	-0.156	2.24E+02
-0.024	2.23E+02	-0.210	2.18E+02	-0.396	1.87E+02	-0.522	-2.84E+02	-0.337	2.16E+02	-0.151	2.25E+02
-0.029	2.23E+02	-0.215	2.18E+02	-0.400	1.83E+02	-0.518	-2.43E+02	-0.332	2.17E+02	-0.146	2.25E+02
-0.034	2.23E+02	-0.220	2.18E+02	-0.405	1.79E+02	-0.513	-2.04E+02	-0.327	2.17E+02	-0.142	2.25E+02
-0.039	2.22E+02	-0.225	2.18E+02	-0.410	1.73E+02	-0.508	-1.68E+02	-0.322	2.17E+02	-0.137	2.25E+02
-0.044	2.23E+02	-0.229	2.17E+02	-0.415	1.68E+02	-0.503	-1.34E+02	-0.317	2.18E+02	-0.132	2.26E+02
-0.049	2.22E+02	-0.234	2.17E+02	-0.420	1.61E+02	-0.498	-1.03E+02	-0.313	2.19E+02	-0.127	2.26E+02
-0.054	2.22E+02	-0.239	2.17E+02	-0.425	1.54E+02	-0.493	-7.29E+01	-0.308	2.19E+02	-0.122	2.26E+02
-0.059	2.22E+02	-0.244	2.17E+02	-0.430	1.46E+02	-0.488	-4.55E+01	-0.303	2.20E+02	-0.117	2.26E+02
-0.063	2.22E+02	-0.249	2.17E+02	-0.435	1.37E+02	-0.483	-2.00E+01	-0.298	2.20E+02	-0.112	2.26E+02
-0.068	2.21E+02	-0.254	2.17E+02	-0.439	1.28E+02	-0.479	3.05E+00	-0.293	2.20E+02	-0.107	2.26E+02
-0.073	2.21E+02	-0.259	2.17E+02	-0.444	1.17E+02	-0.474	2.48E+01	-0.288	2.21E+02	-0.103	2.26E+02
-0.078	2.21E+02	-0.264	2.16E+02	-0.449	1.04E+02	-0.469	4.46E+01	-0.283	2.21E+02	-0.098	2.26E+02
-0.083	2.21E+02	-0.269	2.16E+02	-0.454	9.12E+01	-0.464	6.26E+01	-0.278	2.21E+02	-0.093	2.26E+02
-0.088	2.21E+02	-0.273	2.16E+02	-0.459	7.63E+01	-0.459	7.89E+01	-0.273	2.22E+02	-0.088	2.26E+02
-0.093	2.21E+02	-0.278	2.16E+02	-0.464	6.02E+01	-0.454	9.43E+01	-0.269	2.22E+02	-0.083	2.26E+02
-0.098	2.20E+02	-0.283	2.16E+02	-0.469	4.20E+01	-0.449	1.08E+02	-0.264	2.22E+02	-0.078	2.27E+02
-0.103	2.21E+02	-0.288	2.15E+02	-0.474	2.28E+01	-0.444	1.20E+02	-0.259	2.22E+02	-0.073	2.27E+02
-0.107	2.21E+02	-0.293	2.15E+02	-0.479	1.56E+00	-0.439	1.31E+02	-0.254	2.22E+02	-0.068	2.27E+02
-0.112	2.21E+02	-0.298	2.15E+02	-0.483	-2.16E+01	-0.435	1.41E+02	-0.249	2.23E+02	-0.063	2.27E+02
-0.117	2.20E+02	-0.303	2.14E+02	-0.488	-4.70E+01	-0.430	1.51E+02	-0.244	2.23E+02	-0.059	2.27E+02
-0.122	2.20E+02	-0.308	2.14E+02	-0.493	-7.39E+01	-0.425	1.59E+02	-0.239	2.23E+02	-0.054	2.27E+02
-0.127	2.20E+02	-0.313	2.13E+02	-0.498	-1.03E+02	-0.420	1.66E+02	-0.234	2.23E+02	-0.049	2.27E+02
-0.132	2.20E+02	-0.317	2.13E+02	-0.503	-1.35E+02	-0.415	1.72E+02	-0.229	2.23E+02	-0.044	2.27E+02
-0.137	2.19E+02	-0.322	2.12E+02	-0.508	-1.69E+02	-0.410	1.78E+02	-0.225	2.23E+02	-0.039	2.28E+02
-0.142	2.20E+02	-0.327	2.12E+02	-0.513	-2.05E+02	-0.405	1.83E+02	-0.220	2.23E+02	-0.034	2.28E+02
-0.146	2.20E+02	-0.332	2.11E+02	-0.518	-2.44E+02	-0.400	1.88E+02	-0.215	2.24E+02	-0.029	2.28E+02
-0.151	2.19E+02	-0.337	2.10E+02	-0.522	-2.85E+02	-0.396	1.92E+02	-0.210	2.23E+02	-0.024	2.28E+02
-0.156	2.19E+02	-0.342	2.09E+02	-0.527	-3.30E+02	-0.391	1.95E+02	-0.205	2.24E+02	-0.020	2.28E+02
-0.161	2.19E+02	-0.347	2.08E+02	-0.532	-3.76E+02	-0.386	1.99E+02	-0.200	2.24E+02	-0.015	2.28E+02
-0.166	2.19E+02	-0.352	2.07E+02	-0.537	-4.25E+02	-0.381	2.01E+02	-0.195	2.24E+02	-0.010	2.28E+02
-0.171	2.19E+02	-0.356	2.06E+02	-0.542	-4.76E+02	-0.376	2.04E+02	-0.190	2.24E+02	-0.005	2.28E+02
-0.176	2.19E+02	-0.361	2.04E+02	-0.547	-5.31E+02	-0.371	2.06E+02	-0.186	2.24E+02		
-0.181	2.19E+02	-0.366	2.03E+02	-0.552	-5.88E+02	-0.366	2.08E+02	-0.181	2.24E+02		

**Cuadro A.30.** Datos de I-V para la celda 4, sensibilizada con el pigmento de caimito.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	1.65E+02	-0.186	1.61E+02	-0.371	1.47E+02	-0.547	-3.91E+02	-0.361	1.52E+02	-0.176	1.63E+02
-0.005	1.65E+02	-0.190	1.60E+02	-0.376	1.46E+02	-0.542	-3.48E+02	-0.356	1.53E+02	-0.171	1.63E+02
-0.010	1.65E+02	-0.195	1.60E+02	-0.381	1.44E+02	-0.537	-3.08E+02	-0.352	1.54E+02	-0.166	1.63E+02
-0.015	1.64E+02	-0.200	1.60E+02	-0.386	1.42E+02	-0.532	-2.71E+02	-0.347	1.54E+02	-0.161	1.64E+02
-0.020	1.64E+02	-0.205	1.60E+02	-0.391	1.40E+02	-0.527	-2.36E+02	-0.342	1.56E+02	-0.156	1.64E+02
-0.024	1.64E+02	-0.210	1.60E+02	-0.396	1.38E+02	-0.522	-2.02E+02	-0.337	1.56E+02	-0.151	1.64E+02
-0.029	1.64E+02	-0.215	1.60E+02	-0.400	1.35E+02	-0.518	-1.71E+02	-0.332	1.56E+02	-0.146	1.64E+02
-0.034	1.64E+02	-0.220	1.60E+02	-0.405	1.32E+02	-0.513	-1.42E+02	-0.327	1.57E+02	-0.142	1.64E+02
-0.039	1.64E+02	-0.225	1.60E+02	-0.410	1.29E+02	-0.508	-1.15E+02	-0.322	1.58E+02	-0.137	1.64E+02
-0.044	1.64E+02	-0.229	1.60E+02	-0.415	1.25E+02	-0.503	-8.97E+01	-0.317	1.58E+02	-0.132	1.64E+02
-0.049	1.63E+02	-0.234	1.59E+02	-0.420	1.21E+02	-0.498	-6.61E+01	-0.313	1.59E+02	-0.127	1.64E+02
-0.054	1.63E+02	-0.239	1.59E+02	-0.425	1.17E+02	-0.493	-4.45E+01	-0.308	1.59E+02	-0.122	1.64E+02
-0.059	1.63E+02	-0.244	1.59E+02	-0.430	1.11E+02	-0.488	-2.47E+01	-0.303	1.59E+02	-0.117	1.64E+02
-0.063	1.63E+02	-0.249	1.59E+02	-0.435	1.05E+02	-0.483	-6.62E+00	-0.298	1.59E+02	-0.112	1.64E+02
-0.068	1.63E+02	-0.254	1.59E+02	-0.439	9.89E+01	-0.479	1.01E+01	-0.293	1.60E+02	-0.107	1.64E+02
-0.073	1.63E+02	-0.259	1.59E+02	-0.444	9.11E+01	-0.474	2.53E+01	-0.288	1.60E+02	-0.103	1.64E+02
-0.078	1.63E+02	-0.264	1.58E+02	-0.449	8.31E+01	-0.469	3.90E+01	-0.283	1.60E+02	-0.098	1.64E+02
-0.083	1.63E+02	-0.269	1.58E+02	-0.454	7.41E+01	-0.464	5.14E+01	-0.278	1.60E+02	-0.093	1.64E+02
-0.088	1.63E+02	-0.273	1.58E+02	-0.459	6.39E+01	-0.459	6.28E+01	-0.273	1.60E+02	-0.088	1.65E+02
-0.093	1.63E+02	-0.278	1.58E+02	-0.464	5.25E+01	-0.454	7.35E+01	-0.269	1.61E+02	-0.083	1.65E+02
-0.098	1.62E+02	-0.283	1.58E+02	-0.469	4.03E+01	-0.449	8.28E+01	-0.264	1.61E+02	-0.078	1.65E+02
-0.103	1.62E+02	-0.288	1.57E+02	-0.474	2.67E+01	-0.444	9.09E+01	-0.259	1.61E+02	-0.073	1.64E+02
-0.107	1.62E+02	-0.293	1.57E+02	-0.479	1.16E+01	-0.439	9.88E+01	-0.254	1.61E+02	-0.068	1.64E+02
-0.112	1.62E+02	-0.298	1.57E+02	-0.483	-5.20E+00	-0.435	1.06E+02	-0.249	1.61E+02	-0.063	1.65E+02
-0.117	1.62E+02	-0.303	1.57E+02	-0.488	-2.32E+01	-0.430	1.12E+02	-0.244	1.62E+02	-0.059	1.65E+02
-0.122	1.62E+02	-0.308	1.56E+02	-0.493	-4.30E+01	-0.425	1.17E+02	-0.239	1.62E+02	-0.054	1.65E+02
-0.127	1.62E+02	-0.313	1.56E+02	-0.498	-6.45E+01	-0.420	1.22E+02	-0.234	1.62E+02	-0.049	1.65E+02
-0.132	1.62E+02	-0.317	1.56E+02	-0.503	-8.82E+01	-0.415	1.26E+02	-0.229	1.62E+02	-0.044	1.65E+02
-0.137	1.62E+02	-0.322	1.55E+02	-0.508	-1.13E+02	-0.410	1.30E+02	-0.225	1.62E+02	-0.039	1.65E+02
-0.142	1.61E+02	-0.327	1.54E+02	-0.513	-1.41E+02	-0.405	1.34E+02	-0.220	1.62E+02	-0.034	1.65E+02
-0.146	1.61E+02	-0.332	1.54E+02	-0.518	-1.70E+02	-0.400	1.37E+02	-0.215	1.62E+02	-0.029	1.65E+02
-0.151	1.61E+02	-0.337	1.54E+02	-0.522	-2.02E+02	-0.396	1.40E+02	-0.210	1.63E+02	-0.024	1.65E+02
-0.156	1.61E+02	-0.342	1.53E+02	-0.527	-2.35E+02	-0.391	1.42E+02	-0.205	1.62E+02	-0.020	1.66E+02
-0.161	1.61E+02	-0.347	1.52E+02	-0.532	-2.71E+02	-0.386	1.44E+02	-0.200	1.63E+02	-0.015	1.66E+02
-0.166	1.61E+02	-0.352	1.52E+02	-0.537	-3.09E+02	-0.381	1.46E+02	-0.195	1.63E+02	-0.010	1.65E+02
-0.171	1.61E+02	-0.356	1.51E+02	-0.542	-3.50E+02	-0.376	1.48E+02	-0.190	1.63E+02	-0.005	1.66E+02
-0.176	1.61E+02	-0.361	1.49E+02	-0.547	-3.93E+02	-0.371	1.49E+02	-0.186	1.63E+02		
-0.181	1.60E+02	-0.366	1.48E+02	-0.552	-4.37E+02	-0.366	1.50E+02	-0.181	1.63E+02		

**Cuadro A.31.** Datos de I-V para la celda 5, sensibilizada con el pigmento de caimito.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	1.82E+02	-0.186	1.75E+02	-0.371	1.59E+02	-0.547	-3.74E+02	-0.361	1.65E+02	-0.176	1.80E+02
-0.005	1.82E+02	-0.190	1.75E+02	-0.376	1.57E+02	-0.542	-3.35E+02	-0.356	1.66E+02	-0.171	1.80E+02
-0.010	1.81E+02	-0.195	1.75E+02	-0.381	1.55E+02	-0.537	-2.99E+02	-0.352	1.68E+02	-0.166	1.80E+02
-0.015	1.81E+02	-0.200	1.75E+02	-0.386	1.53E+02	-0.532	-2.64E+02	-0.347	1.68E+02	-0.161	1.80E+02
-0.020	1.81E+02	-0.205	1.75E+02	-0.391	1.50E+02	-0.527	-2.31E+02	-0.342	1.69E+02	-0.156	1.81E+02
-0.024	1.81E+02	-0.210	1.74E+02	-0.396	1.48E+02	-0.522	-2.00E+02	-0.337	1.70E+02	-0.151	1.80E+02
-0.029	1.80E+02	-0.215	1.75E+02	-0.400	1.45E+02	-0.518	-1.71E+02	-0.332	1.71E+02	-0.146	1.81E+02
-0.034	1.80E+02	-0.220	1.74E+02	-0.405	1.41E+02	-0.513	-1.43E+02	-0.327	1.71E+02	-0.142	1.81E+02
-0.039	1.80E+02	-0.225	1.74E+02	-0.410	1.37E+02	-0.508	-1.16E+02	-0.322	1.72E+02	-0.137	1.81E+02
-0.044	1.79E+02	-0.229	1.74E+02	-0.415	1.33E+02	-0.503	-9.20E+01	-0.317	1.72E+02	-0.132	1.81E+02
-0.049	1.79E+02	-0.234	1.74E+02	-0.420	1.28E+02	-0.498	-6.88E+01	-0.313	1.73E+02	-0.127	1.82E+02
-0.054	1.79E+02	-0.239	1.74E+02	-0.425	1.23E+02	-0.493	-4.70E+01	-0.308	1.73E+02	-0.122	1.82E+02
-0.059	1.79E+02	-0.244	1.73E+02	-0.430	1.17E+02	-0.488	-2.69E+01	-0.303	1.74E+02	-0.117	1.82E+02
-0.063	1.79E+02	-0.249	1.73E+02	-0.435	1.10E+02	-0.483	-8.46E+00	-0.298	1.74E+02	-0.112	1.82E+02
-0.068	1.78E+02	-0.254	1.73E+02	-0.439	1.03E+02	-0.479	9.04E+00	-0.293	1.75E+02	-0.107	1.82E+02
-0.073	1.78E+02	-0.259	1.73E+02	-0.444	9.45E+01	-0.474	2.50E+01	-0.288	1.75E+02	-0.103	1.83E+02
-0.078	1.78E+02	-0.264	1.72E+02	-0.449	8.55E+01	-0.469	3.96E+01	-0.283	1.75E+02	-0.098	1.82E+02
-0.083	1.78E+02	-0.269	1.72E+02	-0.454	7.54E+01	-0.464	5.29E+01	-0.278	1.76E+02	-0.093	1.82E+02
-0.088	1.78E+02	-0.273	1.72E+02	-0.459	6.44E+01	-0.459	6.54E+01	-0.273	1.76E+02	-0.088	1.83E+02
-0.093	1.78E+02	-0.278	1.71E+02	-0.464	5.21E+01	-0.454	7.64E+01	-0.269	1.76E+02	-0.083	1.83E+02
-0.098	1.78E+02	-0.283	1.71E+02	-0.469	3.88E+01	-0.449	8.69E+01	-0.264	1.76E+02	-0.078	1.83E+02
-0.103	1.78E+02	-0.288	1.71E+02	-0.474	2.46E+01	-0.444	9.58E+01	-0.259	1.77E+02	-0.073	1.83E+02
-0.107	1.77E+02	-0.293	1.71E+02	-0.479	8.81E+00	-0.439	1.04E+02	-0.254	1.77E+02	-0.068	1.83E+02
-0.112	1.77E+02	-0.298	1.70E+02	-0.483	-8.45E+00	-0.435	1.12E+02	-0.249	1.77E+02	-0.063	1.83E+02
-0.117	1.77E+02	-0.303	1.70E+02	-0.488	-2.68E+01	-0.430	1.19E+02	-0.244	1.77E+02	-0.059	1.83E+02
-0.122	1.77E+02	-0.308	1.69E+02	-0.493	-4.68E+01	-0.425	1.25E+02	-0.239	1.78E+02	-0.054	1.83E+02
-0.127	1.77E+02	-0.313	1.69E+02	-0.498	-6.85E+01	-0.420	1.31E+02	-0.234	1.78E+02	-0.049	1.84E+02
-0.132	1.77E+02	-0.317	1.69E+02	-0.503	-9.16E+01	-0.415	1.36E+02	-0.229	1.78E+02	-0.044	1.84E+02
-0.137	1.77E+02	-0.322	1.68E+02	-0.508	-1.16E+02	-0.410	1.40E+02	-0.225	1.78E+02	-0.039	1.84E+02
-0.142	1.76E+02	-0.327	1.67E+02	-0.513	-1.43E+02	-0.405	1.44E+02	-0.220	1.78E+02	-0.034	1.84E+02
-0.146	1.76E+02	-0.332	1.67E+02	-0.518	-1.71E+02	-0.400	1.47E+02	-0.215	1.79E+02	-0.029	1.84E+02
-0.151	1.76E+02	-0.337	1.66E+02	-0.522	-2.01E+02	-0.396	1.51E+02	-0.210	1.78E+02	-0.024	1.84E+02
-0.156	1.76E+02	-0.342	1.65E+02	-0.527	-2.32E+02	-0.391	1.54E+02	-0.205	1.79E+02	-0.020	1.85E+02
-0.161	1.76E+02	-0.347	1.64E+02	-0.532	-2.65E+02	-0.386	1.56E+02	-0.200	1.79E+02	-0.015	1.85E+02
-0.166	1.75E+02	-0.352	1.64E+02	-0.537	-3.00E+02	-0.381	1.58E+02	-0.195	1.79E+02	-0.010	1.85E+02
-0.171	1.75E+02	-0.356	1.62E+02	-0.542	-3.37E+02	-0.376	1.60E+02	-0.190	1.79E+02	-0.005	1.85E+02
-0.176	1.75E+02	-0.361	1.61E+02	-0.547	-3.75E+02	-0.371	1.62E+02	-0.186	1.80E+02		
-0.181	1.75E+02	-0.366	1.60E+02	-0.552	-4.15E+02	-0.366	1.64E+02	-0.181	1.80E+02		

**Cuadro A.32.** Datos de I-V para la celda 6, sensibilizada con el pigmento de caimito.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	1.78E+02	-0.186	1.74E+02	-0.371	1.55E+02	-0.547	-4.30E+02	-0.361	1.60E+02	-0.176	1.75E+02
-0.005	1.78E+02	-0.190	1.73E+02	-0.376	1.52E+02	-0.542	-3.92E+02	-0.356	1.62E+02	-0.171	1.75E+02
-0.010	1.78E+02	-0.195	1.73E+02	-0.381	1.50E+02	-0.537	-3.55E+02	-0.352	1.63E+02	-0.166	1.75E+02
-0.015	1.77E+02	-0.200	1.73E+02	-0.386	1.47E+02	-0.532	-3.19E+02	-0.347	1.64E+02	-0.161	1.76E+02
-0.020	1.78E+02	-0.205	1.73E+02	-0.391	1.44E+02	-0.527	-2.85E+02	-0.342	1.65E+02	-0.156	1.75E+02
-0.024	1.77E+02	-0.210	1.73E+02	-0.396	1.41E+02	-0.522	-2.53E+02	-0.337	1.66E+02	-0.151	1.76E+02
-0.029	1.77E+02	-0.215	1.73E+02	-0.400	1.37E+02	-0.518	-2.22E+02	-0.332	1.67E+02	-0.146	1.76E+02
-0.034	1.77E+02	-0.220	1.73E+02	-0.405	1.32E+02	-0.513	-1.92E+02	-0.327	1.67E+02	-0.142	1.76E+02
-0.039	1.77E+02	-0.225	1.72E+02	-0.410	1.28E+02	-0.508	-1.64E+02	-0.322	1.68E+02	-0.137	1.76E+02
-0.044	1.77E+02	-0.229	1.72E+02	-0.415	1.23E+02	-0.503	-1.37E+02	-0.317	1.69E+02	-0.132	1.76E+02
-0.049	1.76E+02	-0.234	1.72E+02	-0.420	1.17E+02	-0.498	-1.12E+02	-0.313	1.70E+02	-0.127	1.76E+02
-0.054	1.76E+02	-0.239	1.72E+02	-0.425	1.10E+02	-0.493	-8.80E+01	-0.308	1.70E+02	-0.122	1.76E+02
-0.059	1.76E+02	-0.244	1.72E+02	-0.430	1.03E+02	-0.488	-6.56E+01	-0.303	1.71E+02	-0.117	1.76E+02
-0.063	1.76E+02	-0.249	1.72E+02	-0.435	9.45E+01	-0.483	-4.47E+01	-0.298	1.71E+02	-0.112	1.76E+02
-0.068	1.76E+02	-0.254	1.72E+02	-0.439	8.56E+01	-0.479	-2.50E+01	-0.293	1.71E+02	-0.107	1.77E+02
-0.073	1.76E+02	-0.259	1.71E+02	-0.444	7.54E+01	-0.474	-6.79E+00	-0.288	1.72E+02	-0.103	1.77E+02
-0.078	1.76E+02	-0.264	1.71E+02	-0.449	6.48E+01	-0.469	1.01E+01	-0.283	1.72E+02	-0.098	1.77E+02
-0.083	1.76E+02	-0.269	1.70E+02	-0.454	5.29E+01	-0.464	2.57E+01	-0.278	1.72E+02	-0.093	1.77E+02
-0.088	1.76E+02	-0.273	1.70E+02	-0.459	3.97E+01	-0.459	4.00E+01	-0.273	1.72E+02	-0.088	1.77E+02
-0.093	1.76E+02	-0.278	1.70E+02	-0.464	2.55E+01	-0.454	5.33E+01	-0.269	1.72E+02	-0.083	1.77E+02
-0.098	1.75E+02	-0.283	1.70E+02	-0.469	1.02E+01	-0.449	6.52E+01	-0.264	1.72E+02	-0.078	1.77E+02
-0.103	1.75E+02	-0.288	1.69E+02	-0.474	-6.46E+00	-0.444	7.63E+01	-0.259	1.73E+02	-0.073	1.77E+02
-0.107	1.75E+02	-0.293	1.69E+02	-0.479	-2.46E+01	-0.439	8.63E+01	-0.254	1.73E+02	-0.068	1.77E+02
-0.112	1.75E+02	-0.298	1.69E+02	-0.483	-4.42E+01	-0.435	9.53E+01	-0.249	1.73E+02	-0.063	1.77E+02
-0.117	1.75E+02	-0.303	1.69E+02	-0.488	-6.50E+01	-0.430	1.04E+02	-0.244	1.73E+02	-0.059	1.77E+02
-0.122	1.75E+02	-0.308	1.68E+02	-0.493	-8.71E+01	-0.425	1.11E+02	-0.239	1.73E+02	-0.054	1.77E+02
-0.127	1.75E+02	-0.313	1.68E+02	-0.498	-1.11E+02	-0.420	1.18E+02	-0.234	1.74E+02	-0.049	1.77E+02
-0.132	1.75E+02	-0.317	1.67E+02	-0.503	-1.37E+02	-0.415	1.24E+02	-0.229	1.74E+02	-0.044	1.77E+02
-0.137	1.74E+02	-0.322	1.66E+02	-0.508	-1.63E+02	-0.410	1.29E+02	-0.225	1.74E+02	-0.039	1.78E+02
-0.142	1.74E+02	-0.327	1.66E+02	-0.513	-1.92E+02	-0.405	1.34E+02	-0.220	1.74E+02	-0.034	1.78E+02
-0.146	1.74E+02	-0.332	1.65E+02	-0.518	-2.22E+02	-0.400	1.38E+02	-0.215	1.74E+02	-0.029	1.77E+02
-0.151	1.74E+02	-0.337	1.64E+02	-0.522	-2.53E+02	-0.396	1.42E+02	-0.210	1.74E+02	-0.024	1.78E+02
-0.156	1.74E+02	-0.342	1.63E+02	-0.527	-2.86E+02	-0.391	1.46E+02	-0.205	1.75E+02	-0.020	1.78E+02
-0.161	1.74E+02	-0.347	1.62E+02	-0.532	-3.20E+02	-0.386	1.49E+02	-0.200	1.75E+02	-0.015	1.77E+02
-0.166	1.74E+02	-0.352	1.61E+02	-0.537	-3.56E+02	-0.381	1.52E+02	-0.195	1.75E+02	-0.010	1.78E+02
-0.171	1.74E+02	-0.356	1.60E+02	-0.542	-3.93E+02	-0.376	1.54E+02	-0.190	1.75E+02	-0.005	1.78E+02
-0.176	1.74E+02	-0.361	1.58E+02	-0.547	-4.31E+02	-0.371	1.56E+02	-0.186	1.75E+02		
-0.181	1.74E+02	-0.366	1.56E+02	-0.552	-4.71E+02	-0.366	1.58E+02	-0.181	1.75E+02		



**Cuadro A.33.** Datos de I-V para la celda 7, sensibilizada con el pigmento de caimito.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	1.36E-04	-0.186	1.30E-04	-0.371	1.16E-04	-0.547	-2.38E-04	-0.361	1.21E-04	-0.176	1.34E-04
-0.005	1.36E-04	-0.190	1.30E-04	-0.376	1.15E-04	-0.542	-2.07E-04	-0.356	1.22E-04	-0.171	1.34E-04
-0.010	1.35E-04	-0.195	1.30E-04	-0.381	1.14E-04	-0.537	-1.79E-04	-0.352	1.23E-04	-0.166	1.34E-04
-0.015	1.35E-04	-0.200	1.29E-04	-0.386	1.13E-04	-0.532	-1.52E-04	-0.347	1.24E-04	-0.161	1.34E-04
-0.020	1.35E-04	-0.205	1.29E-04	-0.391	1.12E-04	-0.527	-1.28E-04	-0.342	1.24E-04	-0.156	1.34E-04
-0.024	1.35E-04	-0.210	1.29E-04	-0.396	1.10E-04	-0.522	-1.05E-04	-0.337	1.25E-04	-0.151	1.35E-04
-0.029	1.34E-04	-0.215	1.29E-04	-0.400	1.08E-04	-0.518	-8.42E-05	-0.332	1.25E-04	-0.146	1.35E-04
-0.034	1.34E-04	-0.220	1.29E-04	-0.405	1.06E-04	-0.513	-6.48E-05	-0.327	1.26E-04	-0.142	1.35E-04
-0.039	1.34E-04	-0.225	1.29E-04	-0.410	1.04E-04	-0.508	-4.71E-05	-0.322	1.26E-04	-0.137	1.35E-04
-0.044	1.34E-04	-0.229	1.28E-04	-0.415	1.02E-04	-0.503	-3.06E-05	-0.317	1.27E-04	-0.132	1.35E-04
-0.049	1.33E-04	-0.234	1.28E-04	-0.420	9.93E-05	-0.498	-1.56E-05	-0.313	1.27E-04	-0.127	1.35E-04
-0.054	1.33E-04	-0.239	1.28E-04	-0.425	9.62E-05	-0.493	-1.82E-06	-0.308	1.27E-04	-0.122	1.36E-04
-0.059	1.33E-04	-0.244	1.28E-04	-0.430	9.27E-05	-0.488	1.08E-05	-0.303	1.28E-04	-0.117	1.36E-04
-0.063	1.33E-04	-0.249	1.27E-04	-0.435	8.91E-05	-0.483	2.24E-05	-0.298	1.28E-04	-0.112	1.36E-04
-0.068	1.33E-04	-0.254	1.27E-04	-0.439	8.50E-05	-0.479	3.27E-05	-0.293	1.28E-04	-0.107	1.36E-04
-0.073	1.33E-04	-0.259	1.27E-04	-0.444	8.03E-05	-0.474	4.22E-05	-0.288	1.29E-04	-0.103	1.36E-04
-0.078	1.33E-04	-0.264	1.27E-04	-0.449	7.52E-05	-0.469	5.07E-05	-0.283	1.29E-04	-0.098	1.36E-04
-0.083	1.33E-04	-0.269	1.26E-04	-0.454	6.94E-05	-0.464	5.84E-05	-0.278	1.30E-04	-0.093	1.36E-04
-0.088	1.32E-04	-0.273	1.26E-04	-0.459	6.30E-05	-0.459	6.57E-05	-0.273	1.30E-04	-0.088	1.36E-04
-0.093	1.32E-04	-0.278	1.26E-04	-0.464	5.61E-05	-0.454	7.19E-05	-0.269	1.30E-04	-0.083	1.36E-04
-0.098	1.32E-04	-0.283	1.26E-04	-0.469	4.84E-05	-0.449	7.75E-05	-0.264	1.30E-04	-0.078	1.37E-04
-0.103	1.32E-04	-0.288	1.25E-04	-0.474	3.99E-05	-0.444	8.29E-05	-0.259	1.31E-04	-0.073	1.37E-04
-0.107	1.32E-04	-0.293	1.25E-04	-0.479	3.04E-05	-0.439	8.75E-05	-0.254	1.31E-04	-0.068	1.37E-04
-0.112	1.32E-04	-0.298	1.25E-04	-0.483	2.01E-05	-0.435	9.15E-05	-0.249	1.31E-04	-0.063	1.37E-04
-0.117	1.32E-04	-0.303	1.25E-04	-0.488	8.72E-06	-0.430	9.53E-05	-0.244	1.32E-04	-0.059	1.37E-04
-0.122	1.32E-04	-0.308	1.24E-04	-0.493	-3.67E-06	-0.425	9.87E-05	-0.239	1.32E-04	-0.054	1.37E-04
-0.127	1.31E-04	-0.313	1.24E-04	-0.498	-1.73E-05	-0.420	1.02E-04	-0.234	1.32E-04	-0.049	1.37E-04
-0.132	1.31E-04	-0.317	1.23E-04	-0.503	-3.22E-05	-0.415	1.05E-04	-0.229	1.32E-04	-0.044	1.37E-04
-0.137	1.31E-04	-0.322	1.23E-04	-0.508	-4.86E-05	-0.410	1.07E-04	-0.225	1.32E-04	-0.039	1.37E-04
-0.142	1.31E-04	-0.327	1.23E-04	-0.513	-6.67E-05	-0.405	1.09E-04	-0.220	1.33E-04	-0.034	1.37E-04
-0.146	1.31E-04	-0.332	1.22E-04	-0.518	-8.58E-05	-0.400	1.12E-04	-0.215	1.32E-04	-0.029	1.37E-04
-0.151	1.31E-04	-0.337	1.22E-04	-0.522	-1.07E-04	-0.396	1.13E-04	-0.210	1.33E-04	-0.024	1.38E-04
-0.156	1.31E-04	-0.342	1.21E-04	-0.527	-1.30E-04	-0.391	1.15E-04	-0.205	1.33E-04	-0.020	1.38E-04
-0.161	1.30E-04	-0.347	1.20E-04	-0.532	-1.54E-04	-0.386	1.16E-04	-0.200	1.33E-04	-0.015	1.38E-04
-0.166	1.30E-04	-0.352	1.20E-04	-0.537	-1.80E-04	-0.381	1.17E-04	-0.195	1.33E-04	-0.010	1.38E-04
-0.171	1.30E-04	-0.356	1.19E-04	-0.542	-2.09E-04	-0.376	1.18E-04	-0.190	1.33E-04	-0.005	1.38E-04
-0.176	1.30E-04	-0.361	1.18E-04	-0.547	-2.39E-04	-0.371	1.20E-04	-0.186	1.33E-04	-0.176	1.34E-04
-0.181	1.30E-04	-0.366	1.18E-04	-0.552	-2.71E-04	-0.366	1.20E-04	-0.181	1.33E-04	-0.171	1.34E-04

**Cuadro A.34.** Datos de I-V para la celda 7, sensibilizada con el pigmento de caimito.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	1.36E-04	-0.186	1.30E-04	-0.371	1.16E-04	-0.547	-2.38E-04	-0.361	1.21E-04	-0.176	1.34E-04
-0.005	1.36E-04	-0.190	1.30E-04	-0.376	1.15E-04	-0.542	-2.07E-04	-0.356	1.22E-04	-0.171	1.34E-04
-0.010	1.35E-04	-0.195	1.30E-04	-0.381	1.14E-04	-0.537	-1.79E-04	-0.352	1.23E-04	-0.166	1.34E-04
-0.015	1.35E-04	-0.200	1.29E-04	-0.386	1.13E-04	-0.532	-1.52E-04	-0.347	1.24E-04	-0.161	1.34E-04
-0.020	1.35E-04	-0.205	1.29E-04	-0.391	1.12E-04	-0.527	-1.28E-04	-0.342	1.24E-04	-0.156	1.34E-04
-0.024	1.35E-04	-0.210	1.29E-04	-0.396	1.10E-04	-0.522	-1.05E-04	-0.337	1.25E-04	-0.151	1.35E-04
-0.029	1.34E-04	-0.215	1.29E-04	-0.400	1.08E-04	-0.518	-8.42E-05	-0.332	1.25E-04	-0.146	1.35E-04
-0.034	1.34E-04	-0.220	1.29E-04	-0.405	1.06E-04	-0.513	-6.48E-05	-0.327	1.26E-04	-0.142	1.35E-04
-0.039	1.34E-04	-0.225	1.29E-04	-0.410	1.04E-04	-0.508	-4.71E-05	-0.322	1.26E-04	-0.137	1.35E-04
-0.044	1.34E-04	-0.229	1.28E-04	-0.415	1.02E-04	-0.503	-3.06E-05	-0.317	1.27E-04	-0.132	1.35E-04
-0.049	1.33E-04	-0.234	1.28E-04	-0.420	9.93E-05	-0.498	-1.56E-05	-0.313	1.27E-04	-0.127	1.35E-04
-0.054	1.33E-04	-0.239	1.28E-04	-0.425	9.62E-05	-0.493	-1.82E-06	-0.308	1.27E-04	-0.122	1.36E-04
-0.059	1.33E-04	-0.244	1.28E-04	-0.430	9.27E-05	-0.488	1.08E-05	-0.303	1.28E-04	-0.117	1.36E-04
-0.063	1.33E-04	-0.249	1.27E-04	-0.435	8.91E-05	-0.483	2.24E-05	-0.298	1.28E-04	-0.112	1.36E-04
-0.068	1.33E-04	-0.254	1.27E-04	-0.439	8.50E-05	-0.479	3.27E-05	-0.293	1.28E-04	-0.107	1.36E-04
-0.073	1.33E-04	-0.259	1.27E-04	-0.444	8.03E-05	-0.474	4.22E-05	-0.288	1.29E-04	-0.103	1.36E-04
-0.078	1.33E-04	-0.264	1.27E-04	-0.449	7.52E-05	-0.469	5.07E-05	-0.283	1.29E-04	-0.098	1.36E-04
-0.083	1.33E-04	-0.269	1.26E-04	-0.454	6.94E-05	-0.464	5.84E-05	-0.278	1.30E-04	-0.093	1.36E-04
-0.088	1.32E-04	-0.273	1.26E-04	-0.459	6.30E-05	-0.459	6.57E-05	-0.273	1.30E-04	-0.088	1.36E-04
-0.093	1.32E-04	-0.278	1.26E-04	-0.464	5.61E-05	-0.454	7.19E-05	-0.269	1.30E-04	-0.083	1.36E-04
-0.098	1.32E-04	-0.283	1.26E-04	-0.469	4.84E-05	-0.449	7.75E-05	-0.264	1.30E-04	-0.078	1.37E-04
-0.103	1.32E-04	-0.288	1.25E-04	-0.474	3.99E-05	-0.444	8.29E-05	-0.259	1.31E-04	-0.073	1.37E-04
-0.107	1.32E-04	-0.293	1.25E-04	-0.479	3.04E-05	-0.439	8.75E-05	-0.254	1.31E-04	-0.068	1.37E-04
-0.112	1.32E-04	-0.298	1.25E-04	-0.483	2.01E-05	-0.435	9.15E-05	-0.249	1.31E-04	-0.063	1.37E-04
-0.117	1.32E-04	-0.303	1.25E-04	-0.488	8.72E-06	-0.430	9.53E-05	-0.244	1.32E-04	-0.059	1.37E-04
-0.122	1.32E-04	-0.308	1.24E-04	-0.493	-3.67E-06	-0.425	9.87E-05	-0.239	1.32E-04	-0.054	1.37E-04
-0.127	1.31E-04	-0.313	1.24E-04	-0.498	-1.73E-05	-0.420	1.02E-04	-0.234	1.32E-04	-0.049	1.37E-04
-0.132	1.31E-04	-0.317	1.23E-04	-0.503	-3.22E-05	-0.415	1.05E-04	-0.229	1.32E-04	-0.044	1.37E-04
-0.137	1.31E-04	-0.322	1.23E-04	-0.508	-4.86E-05	-0.410	1.07E-04	-0.225	1.32E-04	-0.039	1.37E-04
-0.142	1.31E-04	-0.327	1.23E-04	-0.513	-6.67E-05	-0.405	1.09E-04	-0.220	1.33E-04	-0.034	1.37E-04
-0.146	1.31E-04	-0.332	1.22E-04	-0.518	-8.58E-05	-0.400	1.12E-04	-0.215	1.32E-04	-0.029	1.37E-04
-0.151	1.31E-04	-0.337	1.22E-04	-0.522	-1.07E-04	-0.396	1.13E-04	-0.210	1.33E-04	-0.024	1.38E-04
-0.156	1.31E-04	-0.342	1.21E-04	-0.527	-1.30E-04	-0.391	1.15E-04	-0.205	1.33E-04	-0.020	1.38E-04
-0.161	1.30E-04	-0.347	1.20E-04	-0.532	-1.54E-04	-0.386	1.16E-04	-0.200	1.33E-04	-0.015	1.38E-04
-0.166	1.30E-04	-0.352	1.20E-04	-0.537	-1.80E-04	-0.381	1.17E-04	-0.195	1.33E-04	-0.010	1.38E-04
-0.171	1.30E-04	-0.356	1.19E-04	-0.542	-2.09E-04	-0.376	1.18E-04	-0.190	1.33E-04	-0.005	1.38E-04
-0.176	1.30E-04	-0.361	1.18E-04	-0.547	-2.39E-04	-0.371	1.20E-04	-0.186	1.33E-04	-0.176	1.34E-04
-0.181	1.30E-04	-0.366	1.18E-04	-0.552	-2.71E-04	-0.366	1.20E-04	-0.181	1.33E-04	-0.171	1.34E-04

**Cuadro A.35. Datos de I-V para la celda 1, sensibilizada con el pigmento de rosa de jamaica.**

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	1.24E+02	-0.075378	1.23E+02	-0.150757	1.22E+02	-0.226135	1.20E+02	-0.301514	1.16E+02	-0.378876	1.02E+02
-0.0020	1.24E+02	-0.077362	1.23E+02	-0.15274	1.22E+02	-0.228119	1.20E+02	-0.303497	1.16E+02	-0.380859	1.02E+02
-0.003967	1.24E+02	-0.079346	1.23E+02	-0.154724	1.22E+02	-0.230103	1.20E+02	-0.305481	1.16E+02	-0.382843	1.01E+02
-0.005951	1.24E+02	-0.081329	1.23E+02	-0.156708	1.22E+02	-0.232086	1.20E+02	-0.307465	1.15E+02	-0.384827	1.00E+02
-0.007935	1.24E+02	-0.083313	1.23E+02	-0.158691	1.22E+02	-0.23407	1.20E+02	-0.309448	1.15E+02	-0.38681	9.95E+01
-0.009918	1.24E+02	-0.085297	1.23E+02	-0.160675	1.22E+02	-0.236053	1.20E+02	-0.311432	1.15E+02	-0.388794	9.86E+01
-0.011902	1.24E+02	-0.08728	1.23E+02	-0.162659	1.22E+02	-0.238037	1.20E+02	-0.313416	1.15E+02	-0.390778	9.78E+01
-0.013885	1.24E+02	-0.089264	1.23E+02	-0.164642	1.22E+02	-0.240021	1.20E+02	-0.315399	1.15E+02	-0.392761	9.70E+01
-0.015869	1.24E+02	-0.091248	1.23E+02	-0.166626	1.22E+02	-0.242004	1.20E+02	-0.317383	1.14E+02	-0.394745	9.61E+01
-0.017853	1.24E+02	-0.093231	1.23E+02	-0.16861	1.22E+02	-0.243988	1.19E+02	-0.319366	1.14E+02	-0.396729	9.52E+01
-0.019836	1.24E+02	-0.095215	1.23E+02	-0.170593	1.22E+02	-0.245972	1.19E+02	-0.32135	1.14E+02	-0.398712	9.42E+01
-0.02182	1.24E+02	-0.097198	1.23E+02	-0.172577	1.22E+02	-0.247955	1.19E+02	-0.323334	1.14E+02	-0.400696	9.32E+01
-0.023804	1.24E+02	-0.099182	1.23E+02	-0.174561	1.22E+02	-0.249939	1.19E+02	-0.325317	1.13E+02	-0.402679	9.22E+01
-0.025787	1.24E+02	-0.101166	1.23E+02	-0.176544	1.22E+02	-0.251923	1.19E+02	-0.327301	1.13E+02	-0.404663	9.11E+01
-0.027771	1.24E+02	-0.103149	1.23E+02	-0.178528	1.22E+02	-0.253906	1.19E+02	-0.329285	1.13E+02	-0.406647	9.00E+01
-0.029755	1.24E+02	-0.105133	1.23E+02	-0.180511	1.22E+02	-0.25589	1.19E+02	-0.331268	1.13E+02	-0.40863	8.89E+01
-0.031738	1.24E+02	-0.107117	1.23E+02	-0.182495	1.22E+02	-0.257874	1.19E+02	-0.333252	1.13E+02	-0.410614	8.77E+01
-0.033722	1.24E+02	-0.1091	1.23E+02	-0.184479	1.22E+02	-0.259857	1.19E+02	-0.335236	1.12E+02	-0.412598	8.65E+01
-0.035706	1.24E+02	-0.111084	1.23E+02	-0.186462	1.21E+02	-0.261841	1.19E+02	-0.337219	1.12E+02	-0.414581	8.53E+01
-0.037689	1.24E+02	-0.113068	1.23E+02	-0.188446	1.21E+02	-0.263824	1.19E+02	-0.339203	1.12E+02	-0.416565	8.40E+01
-0.039673	1.24E+02	-0.115051	1.23E+02	-0.19043	1.21E+02	-0.265808	1.19E+02	-0.341187	1.11E+02	-0.418549	8.27E+01
-0.041656	1.24E+02	-0.117035	1.22E+02	-0.192413	1.21E+02	-0.267792	1.18E+02	-0.34317	1.11E+02	-0.420532	8.13E+01
-0.04364	1.24E+02	-0.119019	1.22E+02	-0.194397	1.21E+02	-0.269775	1.18E+02	-0.345154	1.11E+02	-0.422516	7.98E+01
-0.045624	1.24E+02	-0.121002	1.22E+02	-0.196381	1.21E+02	-0.271759	1.18E+02	-0.347137	1.10E+02	-0.4245	7.83E+01
-0.047607	1.24E+02	-0.122986	1.23E+02	-0.198364	1.21E+02	-0.273743	1.18E+02	-0.349121	1.10E+02	-0.426483	7.68E+01
-0.049591	1.24E+02	-0.124969	1.23E+02	-0.200348	1.21E+02	-0.275726	1.18E+02	-0.351105	1.10E+02	-0.428467	7.51E+01
-0.051575	1.24E+02	-0.126953	1.22E+02	-0.202332	1.21E+02	-0.27771	1.18E+02	-0.353088	1.09E+02	-0.43045	7.35E+01
-0.053558	1.23E+02	-0.128937	1.22E+02	-0.204315	1.21E+02	-0.279694	1.17E+02	-0.355072	1.09E+02	-0.432434	7.18E+01
-0.055542	1.23E+02	-0.13092	1.22E+02	-0.206299	1.21E+02	-0.281677	1.17E+02	-0.357056	1.08E+02	-0.434418	7.00E+01
-0.057526	1.23E+02	-0.132904	1.22E+02	-0.208282	1.21E+02	-0.283661	1.17E+02	-0.359039	1.08E+02	-0.436401	6.82E+01
-0.059509	1.23E+02	-0.134888	1.22E+02	-0.210266	1.21E+02	-0.285645	1.17E+02	-0.361023	1.07E+02	-0.438385	6.63E+01
-0.061493	1.23E+02	-0.136871	1.22E+02	-0.21225	1.21E+02	-0.287628	1.17E+02	-0.363007	1.07E+02	-0.440369	6.44E+01
-0.063477	1.23E+02	-0.138855	1.22E+02	-0.214233	1.21E+02	-0.289612	1.17E+02	-0.36499	1.06E+02	-0.442352	6.24E+01
-0.06546	1.23E+02	-0.140839	1.22E+02	-0.216217	1.21E+02	-0.291595	1.17E+02	-0.366974	1.06E+02	-0.444336	6.04E+01
-0.067444	1.23E+02	-0.142822	1.22E+02	-0.218201	1.21E+02	-0.293579	1.17E+02	-0.368958	1.05E+02	-0.44632	5.83E+01
-0.069427	1.23E+02	-0.144806	1.22E+02	-0.220184	1.20E+02	-0.295563	1.17E+02	-0.370941	1.05E+02	-0.448303	5.62E+01
-0.071411	1.23E+02	-0.14679	1.22E+02	-0.222168	1.20E+02	-0.297546	1.16E+02	-0.372925	1.04E+02	-0.450287	5.39E+01
-0.073395	1.23E+02	-0.148773	1.22E+02	-0.224152	1.20E+02	-0.29953	1.16E+02	-0.374908	1.04E+02	-0.452271	5.16E+01

**Cuadro A.36.** Datos de I-V para la celda 2, sensibilizada con el pigmento de rosa de jamaica.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	1.68E+02	-0.075	1.65E+02	-0.151	1.63E+02	-0.226	1.59E+02	-0.302	1.54E+02	-0.377	1.41E+02
-0.002	1.67E+02	-0.077	1.65E+02	-0.153	1.63E+02	-0.228	1.59E+02	-0.303	1.54E+02	-0.379	1.41E+02
-0.004	1.67E+02	-0.079	1.65E+02	-0.155	1.63E+02	-0.230	1.59E+02	-0.305	1.53E+02	-0.381	1.40E+02
-0.006	1.67E+02	-0.081	1.65E+02	-0.157	1.63E+02	-0.232	1.59E+02	-0.307	1.53E+02	-0.383	1.40E+02
-0.008	1.67E+02	-0.083	1.65E+02	-0.159	1.63E+02	-0.234	1.59E+02	-0.309	1.53E+02	-0.385	1.39E+02
-0.010	1.67E+02	-0.085	1.65E+02	-0.161	1.63E+02	-0.236	1.59E+02	-0.311	1.53E+02	-0.387	1.39E+02
-0.012	1.67E+02	-0.087	1.65E+02	-0.163	1.62E+02	-0.238	1.59E+02	-0.313	1.53E+02	-0.389	1.38E+02
-0.014	1.67E+02	-0.089	1.65E+02	-0.165	1.62E+02	-0.240	1.58E+02	-0.315	1.52E+02	-0.391	1.37E+02
-0.016	1.67E+02	-0.091	1.65E+02	-0.167	1.62E+02	-0.242	1.58E+02	-0.317	1.52E+02	-0.393	1.37E+02
-0.018	1.67E+02	-0.093	1.65E+02	-0.169	1.62E+02	-0.244	1.58E+02	-0.319	1.52E+02	-0.395	1.36E+02
-0.020	1.67E+02	-0.095	1.65E+02	-0.171	1.62E+02	-0.246	1.58E+02	-0.321	1.52E+02	-0.397	1.35E+02
-0.022	1.66E+02	-0.097	1.65E+02	-0.173	1.62E+02	-0.248	1.58E+02	-0.323	1.51E+02	-0.399	1.34E+02
-0.024	1.66E+02	-0.099	1.64E+02	-0.175	1.62E+02	-0.250	1.58E+02	-0.325	1.51E+02	-0.401	1.33E+02
-0.026	1.66E+02	-0.101	1.64E+02	-0.177	1.62E+02	-0.252	1.58E+02	-0.327	1.51E+02	-0.403	1.33E+02
-0.028	1.66E+02	-0.103	1.64E+02	-0.179	1.62E+02	-0.254	1.58E+02	-0.329	1.51E+02	-0.405	1.32E+02
-0.030	1.66E+02	-0.105	1.64E+02	-0.181	1.62E+02	-0.256	1.58E+02	-0.331	1.50E+02	-0.407	1.31E+02
-0.032	1.66E+02	-0.107	1.64E+02	-0.182	1.62E+02	-0.258	1.57E+02	-0.333	1.50E+02	-0.409	1.30E+02
-0.034	1.66E+02	-0.109	1.64E+02	-0.184	1.61E+02	-0.260	1.57E+02	-0.335	1.50E+02	-0.411	1.29E+02
-0.036	1.66E+02	-0.111	1.64E+02	-0.186	1.61E+02	-0.262	1.57E+02	-0.337	1.50E+02	-0.413	1.28E+02
-0.038	1.66E+02	-0.113	1.64E+02	-0.188	1.61E+02	-0.264	1.57E+02	-0.339	1.49E+02	-0.415	1.27E+02
-0.040	1.66E+02	-0.115	1.64E+02	-0.190	1.61E+02	-0.266	1.57E+02	-0.341	1.49E+02	-0.417	1.26E+02
-0.042	1.66E+02	-0.117	1.64E+02	-0.192	1.61E+02	-0.268	1.57E+02	-0.343	1.49E+02	-0.419	1.24E+02
-0.044	1.66E+02	-0.119	1.64E+02	-0.194	1.61E+02	-0.270	1.56E+02	-0.345	1.48E+02	-0.421	1.23E+02
-0.046	1.66E+02	-0.121	1.64E+02	-0.196	1.61E+02	-0.272	1.56E+02	-0.347	1.48E+02	-0.423	1.22E+02
-0.048	1.66E+02	-0.123	1.64E+02	-0.198	1.61E+02	-0.274	1.56E+02	-0.349	1.48E+02	-0.425	1.21E+02
-0.050	1.66E+02	-0.125	1.64E+02	-0.200	1.61E+02	-0.276	1.56E+02	-0.351	1.47E+02	-0.426	1.19E+02
-0.052	1.66E+02	-0.127	1.64E+02	-0.202	1.61E+02	-0.278	1.56E+02	-0.353	1.47E+02	-0.428	1.18E+02
-0.054	1.66E+02	-0.129	1.64E+02	-0.204	1.60E+02	-0.280	1.56E+02	-0.355	1.47E+02	-0.430	1.16E+02
-0.056	1.66E+02	-0.131	1.63E+02	-0.206	1.60E+02	-0.282	1.55E+02	-0.357	1.46E+02	-0.432	1.15E+02
-0.058	1.66E+02	-0.133	1.63E+02	-0.208	1.60E+02	-0.284	1.55E+02	-0.359	1.46E+02	-0.434	1.13E+02
-0.060	1.66E+02	-0.135	1.63E+02	-0.210	1.60E+02	-0.286	1.55E+02	-0.361	1.45E+02	-0.436	1.12E+02
-0.061	1.66E+02	-0.137	1.63E+02	-0.212	1.60E+02	-0.288	1.55E+02	-0.363	1.45E+02	-0.438	1.10E+02
-0.063	1.66E+02	-0.139	1.63E+02	-0.214	1.60E+02	-0.290	1.55E+02	-0.365	1.45E+02	-0.440	1.08E+02
-0.065	1.66E+02	-0.141	1.63E+02	-0.216	1.60E+02	-0.292	1.55E+02	-0.367	1.44E+02	-0.442	1.06E+02
-0.067	1.65E+02	-0.143	1.63E+02	-0.218	1.60E+02	-0.294	1.54E+02	-0.369	1.43E+02	-0.444	1.04E+02
-0.069	1.65E+02	-0.145	1.63E+02	-0.220	1.60E+02	-0.296	1.54E+02	-0.371	1.43E+02	-0.446	1.02E+02
-0.071	1.65E+02	-0.147	1.63E+02	-0.222	1.59E+02	-0.298	1.54E+02	-0.373	1.42E+02	-0.448	9.97E+01
-0.073	1.65E+02	-0.149	1.63E+02	-0.224	1.59E+02	-0.300	1.54E+02	-0.375	1.42E+02	-0.450	9.74E+01

**Cuadro A.37.** Datos de I-V para la celda 3, sensibilizada con el pigmento de rosa de jamaica.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	2.21E+02	-0.186	2.20E+02	-0.371	2.09E+02	-0.547	-4.76E+02	-0.361	2.16E+02	-0.176	2.28E+02
-0.005	2.21E+02	-0.190	2.20E+02	-0.376	2.08E+02	-0.542	-4.28E+02	-0.356	2.17E+02	-0.171	2.28E+02
-0.010	2.21E+02	-0.195	2.20E+02	-0.381	2.05E+02	-0.537	-3.81E+02	-0.352	2.18E+02	-0.166	2.28E+02
-0.015	2.21E+02	-0.200	2.20E+02	-0.386	2.04E+02	-0.532	-3.37E+02	-0.347	2.19E+02	-0.161	2.28E+02
-0.020	2.21E+02	-0.205	2.20E+02	-0.391	2.01E+02	-0.527	-2.94E+02	-0.342	2.20E+02	-0.156	2.28E+02
-0.024	2.21E+02	-0.210	2.20E+02	-0.396	1.99E+02	-0.522	-2.53E+02	-0.337	2.21E+02	-0.151	2.28E+02
-0.029	2.21E+02	-0.215	2.20E+02	-0.400	1.95E+02	-0.518	-2.14E+02	-0.332	2.21E+02	-0.146	2.29E+02
-0.034	2.21E+02	-0.220	2.20E+02	-0.405	1.92E+02	-0.513	-1.77E+02	-0.327	2.22E+02	-0.142	2.29E+02
-0.039	2.21E+02	-0.225	2.20E+02	-0.410	1.88E+02	-0.508	-1.43E+02	-0.322	2.22E+02	-0.137	2.29E+02
-0.044	2.21E+02	-0.229	2.19E+02	-0.415	1.83E+02	-0.503	-1.10E+02	-0.317	2.23E+02	-0.132	2.28E+02
-0.049	2.21E+02	-0.234	2.19E+02	-0.420	1.78E+02	-0.498	-7.91E+01	-0.313	2.23E+02	-0.127	2.29E+02
-0.054	2.21E+02	-0.239	2.20E+02	-0.425	1.72E+02	-0.493	-5.04E+01	-0.308	2.24E+02	-0.122	2.28E+02
-0.059	2.21E+02	-0.244	2.19E+02	-0.430	1.65E+02	-0.488	-2.38E+01	-0.303	2.24E+02	-0.117	2.29E+02
-0.063	2.21E+02	-0.249	2.19E+02	-0.435	1.57E+02	-0.483	1.03E+00	-0.298	2.24E+02	-0.112	2.28E+02
-0.068	2.20E+02	-0.254	2.19E+02	-0.439	1.48E+02	-0.479	2.40E+01	-0.293	2.24E+02	-0.107	2.28E+02
-0.073	2.21E+02	-0.259	2.19E+02	-0.444	1.38E+02	-0.474	4.49E+01	-0.288	2.24E+02	-0.103	2.29E+02
-0.078	2.21E+02	-0.264	2.19E+02	-0.449	1.27E+02	-0.469	6.38E+01	-0.283	2.25E+02	-0.098	2.29E+02
-0.083	2.21E+02	-0.269	2.19E+02	-0.454	1.15E+02	-0.464	8.16E+01	-0.278	2.25E+02	-0.093	2.29E+02
-0.088	2.21E+02	-0.273	2.19E+02	-0.459	1.01E+02	-0.459	9.75E+01	-0.273	2.25E+02	-0.088	2.29E+02
-0.093	2.21E+02	-0.278	2.19E+02	-0.464	8.53E+01	-0.454	1.12E+02	-0.269	2.25E+02	-0.083	2.29E+02
-0.098	2.21E+02	-0.283	2.18E+02	-0.469	6.79E+01	-0.449	1.25E+02	-0.264	2.26E+02	-0.078	2.30E+02
-0.103	2.21E+02	-0.288	2.18E+02	-0.474	4.92E+01	-0.444	1.36E+02	-0.259	2.26E+02	-0.073	2.29E+02
-0.107	2.20E+02	-0.293	2.18E+02	-0.479	2.84E+01	-0.439	1.47E+02	-0.254	2.26E+02	-0.068	2.30E+02
-0.112	2.21E+02	-0.298	2.18E+02	-0.483	5.93E+00	-0.435	1.56E+02	-0.249	2.26E+02	-0.063	2.30E+02
-0.117	2.21E+02	-0.303	2.18E+02	-0.488	-1.88E+01	-0.430	1.64E+02	-0.244	2.26E+02	-0.059	2.30E+02
-0.122	2.21E+02	-0.308	2.18E+02	-0.493	-4.54E+01	-0.425	1.71E+02	-0.239	2.26E+02	-0.054	2.29E+02
-0.127	2.20E+02	-0.313	2.18E+02	-0.498	-7.45E+01	-0.420	1.78E+02	-0.234	2.27E+02	-0.049	2.30E+02
-0.132	2.21E+02	-0.317	2.17E+02	-0.503	-1.05E+02	-0.415	1.84E+02	-0.229	2.27E+02	-0.044	2.30E+02
-0.137	2.20E+02	-0.322	2.17E+02	-0.508	-1.38E+02	-0.410	1.89E+02	-0.225	2.27E+02	-0.039	2.30E+02
-0.142	2.20E+02	-0.327	2.17E+02	-0.513	-1.73E+02	-0.405	1.93E+02	-0.220	2.27E+02	-0.034	2.30E+02
-0.146	2.20E+02	-0.332	2.16E+02	-0.518	-2.10E+02	-0.400	1.97E+02	-0.215	2.27E+02	-0.029	2.30E+02
-0.151	2.20E+02	-0.337	2.16E+02	-0.522	-2.50E+02	-0.396	2.01E+02	-0.210	2.27E+02	-0.024	2.30E+02
-0.156	2.20E+02	-0.342	2.15E+02	-0.527	-2.91E+02	-0.391	2.04E+02	-0.205	2.27E+02	-0.020	2.30E+02
-0.161	2.20E+02	-0.347	2.14E+02	-0.532	-3.34E+02	-0.386	2.07E+02	-0.200	2.28E+02	-0.015	2.30E+02
-0.166	2.20E+02	-0.352	2.14E+02	-0.537	-3.80E+02	-0.381	2.09E+02	-0.195	2.28E+02	-0.010	2.30E+02
-0.171	2.20E+02	-0.356	2.13E+02	-0.542	-4.26E+02	-0.376	2.11E+02	-0.190	2.27E+02	-0.005	2.31E+02
-0.176	2.20E+02	-0.361	2.11E+02	-0.547	-4.75E+02	-0.371	2.13E+02	-0.186	2.28E+02		
-0.181	2.20E+02	-0.366	2.11E+02	-0.552	-5.27E+02	-0.366	2.15E+02	-0.181	2.28E+02		

**Cuadro A.38.** Datos de I-V para la celda 4, sensibilizada con el pigmento de rosa de jamaica.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	1.00E+02	-0.186	9.90E+01	-0.371	9.56E+01	-0.547	-1.01E+02	-0.361	9.79E+01	-0.176	1.01E+02
-0.005	1.00E+02	-0.190	9.90E+01	-0.376	9.54E+01	-0.542	-7.84E+01	-0.356	9.82E+01	-0.171	1.01E+02
-0.010	9.97E+01	-0.195	9.91E+01	-0.381	9.49E+01	-0.537	-5.82E+01	-0.352	9.83E+01	-0.166	1.01E+02
-0.015	9.99E+01	-0.200	9.90E+01	-0.386	9.45E+01	-0.532	-4.04E+01	-0.347	9.85E+01	-0.161	1.01E+02
-0.020	9.98E+01	-0.205	9.89E+01	-0.391	9.41E+01	-0.527	-2.44E+01	-0.342	9.88E+01	-0.156	1.01E+02
-0.024	9.98E+01	-0.210	9.90E+01	-0.396	9.36E+01	-0.522	-1.03E+01	-0.337	9.89E+01	-0.151	1.01E+02
-0.029	9.96E+01	-0.215	9.88E+01	-0.400	9.31E+01	-0.518	2.45E+00	-0.332	9.92E+01	-0.146	1.01E+02
-0.034	9.96E+01	-0.220	9.88E+01	-0.405	9.24E+01	-0.513	1.38E+01	-0.327	9.92E+01	-0.142	1.01E+02
-0.039	9.96E+01	-0.225	9.87E+01	-0.410	9.17E+01	-0.508	2.38E+01	-0.322	9.94E+01	-0.137	1.02E+02
-0.044	9.97E+01	-0.229	9.86E+01	-0.415	9.11E+01	-0.503	3.24E+01	-0.317	9.97E+01	-0.132	1.01E+02
-0.049	9.95E+01	-0.234	9.88E+01	-0.420	9.02E+01	-0.498	4.04E+01	-0.313	9.98E+01	-0.127	1.01E+02
-0.054	9.96E+01	-0.239	9.84E+01	-0.425	8.91E+01	-0.493	4.73E+01	-0.308	9.95E+01	-0.122	1.02E+02
-0.059	9.97E+01	-0.244	9.82E+01	-0.430	8.81E+01	-0.488	5.33E+01	-0.303	1.00E+02	-0.117	1.02E+02
-0.063	9.96E+01	-0.249	9.83E+01	-0.435	8.67E+01	-0.483	5.88E+01	-0.298	1.00E+02	-0.112	1.01E+02
-0.068	9.95E+01	-0.254	9.84E+01	-0.439	8.53E+01	-0.479	6.36E+01	-0.293	1.00E+02	-0.107	1.02E+02
-0.073	9.96E+01	-0.259	9.84E+01	-0.444	8.36E+01	-0.474	6.77E+01	-0.288	1.00E+02	-0.103	1.01E+02
-0.078	9.95E+01	-0.264	9.83E+01	-0.449	8.18E+01	-0.469	7.16E+01	-0.283	1.00E+02	-0.098	1.02E+02
-0.083	9.96E+01	-0.269	9.82E+01	-0.454	7.97E+01	-0.464	7.46E+01	-0.278	1.00E+02	-0.093	1.02E+02
-0.088	9.94E+01	-0.273	9.82E+01	-0.459	7.72E+01	-0.459	7.77E+01	-0.273	1.00E+02	-0.088	1.02E+02
-0.093	9.93E+01	-0.278	9.83E+01	-0.464	7.42E+01	-0.454	8.02E+01	-0.269	1.00E+02	-0.083	1.02E+02
-0.098	9.93E+01	-0.283	9.82E+01	-0.469	7.11E+01	-0.449	8.23E+01	-0.264	1.00E+02	-0.078	1.02E+02
-0.103	9.93E+01	-0.288	9.81E+01	-0.474	6.74E+01	-0.444	8.42E+01	-0.259	1.00E+02	-0.073	1.02E+02
-0.107	9.91E+01	-0.293	9.81E+01	-0.479	6.33E+01	-0.439	8.61E+01	-0.254	1.00E+02	-0.068	1.02E+02
-0.112	9.92E+01	-0.298	9.81E+01	-0.483	5.87E+01	-0.435	8.76E+01	-0.249	1.00E+02	-0.063	1.02E+02
-0.117	9.92E+01	-0.303	9.79E+01	-0.488	5.34E+01	-0.430	8.91E+01	-0.244	1.00E+02	-0.059	1.02E+02
-0.122	9.93E+01	-0.308	9.79E+01	-0.493	4.73E+01	-0.425	9.01E+01	-0.239	1.00E+02	-0.054	1.02E+02
-0.127	9.91E+01	-0.313	9.77E+01	-0.498	4.07E+01	-0.420	9.13E+01	-0.234	1.01E+02	-0.049	1.02E+02
-0.132	9.91E+01	-0.317	9.77E+01	-0.503	3.27E+01	-0.415	9.23E+01	-0.229	1.01E+02	-0.044	1.02E+02
-0.137	9.92E+01	-0.322	9.75E+01	-0.508	2.40E+01	-0.410	9.31E+01	-0.225	1.01E+02	-0.039	1.02E+02
-0.142	9.92E+01	-0.327	9.73E+01	-0.513	1.39E+01	-0.405	9.36E+01	-0.220	1.01E+02	-0.034	1.02E+02
-0.146	9.90E+01	-0.332	9.73E+01	-0.518	2.65E+00	-0.400	9.45E+01	-0.215	1.01E+02	-0.029	1.02E+02
-0.151	9.91E+01	-0.337	9.71E+01	-0.522	-1.01E+01	-0.396	9.51E+01	-0.210	1.01E+02	-0.024	1.02E+02
-0.156	9.92E+01	-0.342	9.69E+01	-0.527	-2.44E+01	-0.391	9.56E+01	-0.205	1.01E+02	-0.020	1.02E+02
-0.161	9.91E+01	-0.347	9.67E+01	-0.532	-4.05E+01	-0.386	9.60E+01	-0.200	1.01E+02	-0.015	1.02E+02
-0.166	9.90E+01	-0.352	9.66E+01	-0.537	-5.84E+01	-0.381	9.65E+01	-0.195	1.01E+02	-0.010	1.02E+02
-0.171	9.91E+01	-0.356	9.64E+01	-0.542	-7.86E+01	-0.376	9.69E+01	-0.190	1.01E+02	-0.005	1.02E+02
-0.176	9.91E+01	-0.361	9.62E+01	-0.547	-1.01E+02	-0.371	9.74E+01	-0.186	1.01E+02		
-0.181	9.92E+01	-0.366	9.59E+01	-0.552	-1.25E+02	-0.366	9.74E+01	-0.181	1.01E+02		

**Cuadro A.39.** Datos de I-V para la celda 5, sensibilizada con el pigmento de rosa de jamaica.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	2.55E+02	-0.186	2.52E+02	-0.371	2.41E+02	-0.547	-4.50E+02	-0.361	2.48E+02	-0.176	2.60E+02
-0.005	2.54E+02	-0.190	2.53E+02	-0.376	2.39E+02	-0.542	-3.99E+02	-0.356	2.49E+02	-0.171	2.60E+02
-0.010	2.55E+02	-0.195	2.53E+02	-0.381	2.38E+02	-0.537	-3.51E+02	-0.352	2.49E+02	-0.166	2.60E+02
-0.015	2.55E+02	-0.200	2.52E+02	-0.386	2.36E+02	-0.532	-3.04E+02	-0.347	2.51E+02	-0.161	2.61E+02
-0.020	2.55E+02	-0.205	2.52E+02	-0.391	2.33E+02	-0.527	-2.60E+02	-0.342	2.52E+02	-0.156	2.60E+02
-0.024	2.54E+02	-0.210	2.52E+02	-0.396	2.30E+02	-0.522	-2.18E+02	-0.337	2.52E+02	-0.151	2.61E+02
-0.029	2.54E+02	-0.215	2.52E+02	-0.400	2.27E+02	-0.518	-1.78E+02	-0.332	2.53E+02	-0.146	2.61E+02
-0.034	2.54E+02	-0.220	2.52E+02	-0.405	2.24E+02	-0.513	-1.41E+02	-0.327	2.54E+02	-0.142	2.61E+02
-0.039	2.54E+02	-0.225	2.52E+02	-0.410	2.20E+02	-0.508	-1.05E+02	-0.322	2.54E+02	-0.137	2.61E+02
-0.044	2.54E+02	-0.229	2.52E+02	-0.415	2.15E+02	-0.503	-7.21E+01	-0.317	2.55E+02	-0.132	2.61E+02
-0.049	2.54E+02	-0.234	2.52E+02	-0.420	2.10E+02	-0.498	-4.12E+01	-0.313	2.55E+02	-0.127	2.61E+02
-0.054	2.54E+02	-0.239	2.52E+02	-0.425	2.04E+02	-0.493	-1.26E+01	-0.308	2.56E+02	-0.122	2.62E+02
-0.059	2.54E+02	-0.244	2.52E+02	-0.430	1.98E+02	-0.488	1.37E+01	-0.303	2.56E+02	-0.117	2.61E+02
-0.063	2.53E+02	-0.249	2.52E+02	-0.435	1.90E+02	-0.483	3.84E+01	-0.298	2.56E+02	-0.112	2.61E+02
-0.068	2.54E+02	-0.254	2.52E+02	-0.439	1.81E+02	-0.479	6.10E+01	-0.293	2.56E+02	-0.107	2.62E+02
-0.073	2.54E+02	-0.259	2.51E+02	-0.444	1.72E+02	-0.474	8.17E+01	-0.288	2.57E+02	-0.103	2.62E+02
-0.078	2.53E+02	-0.264	2.51E+02	-0.449	1.61E+02	-0.469	1.00E+02	-0.283	2.57E+02	-0.098	2.62E+02
-0.083	2.53E+02	-0.269	2.51E+02	-0.454	1.48E+02	-0.464	1.18E+02	-0.278	2.57E+02	-0.093	2.62E+02
-0.088	2.54E+02	-0.273	2.51E+02	-0.459	1.35E+02	-0.459	1.33E+02	-0.273	2.57E+02	-0.088	2.62E+02
-0.093	2.53E+02	-0.278	2.51E+02	-0.464	1.20E+02	-0.454	1.47E+02	-0.269	2.57E+02	-0.083	2.62E+02
-0.098	2.53E+02	-0.283	2.51E+02	-0.469	1.03E+02	-0.449	1.59E+02	-0.264	2.58E+02	-0.078	2.62E+02
-0.103	2.53E+02	-0.288	2.51E+02	-0.474	8.41E+01	-0.444	1.71E+02	-0.259	2.58E+02	-0.073	2.62E+02
-0.107	2.53E+02	-0.293	2.51E+02	-0.479	6.37E+01	-0.439	1.81E+02	-0.254	2.58E+02	-0.068	2.63E+02
-0.112	2.53E+02	-0.298	2.50E+02	-0.483	4.16E+01	-0.435	1.90E+02	-0.249	2.58E+02	-0.063	2.63E+02
-0.117	2.53E+02	-0.303	2.50E+02	-0.488	1.71E+01	-0.430	1.97E+02	-0.244	2.58E+02	-0.059	2.63E+02
-0.122	2.52E+02	-0.308	2.50E+02	-0.493	-9.29E+00	-0.425	2.04E+02	-0.239	2.59E+02	-0.054	2.63E+02
-0.127	2.53E+02	-0.313	2.50E+02	-0.498	-3.80E+01	-0.420	2.11E+02	-0.234	2.59E+02	-0.049	2.63E+02
-0.132	2.53E+02	-0.317	2.49E+02	-0.503	-6.88E+01	-0.415	2.17E+02	-0.229	2.59E+02	-0.044	2.63E+02
-0.137	2.53E+02	-0.322	2.49E+02	-0.508	-1.02E+02	-0.410	2.21E+02	-0.225	2.59E+02	-0.039	2.63E+02
-0.142	2.53E+02	-0.327	2.49E+02	-0.513	-1.38E+02	-0.405	2.26E+02	-0.220	2.59E+02	-0.034	2.63E+02
-0.146	2.53E+02	-0.332	2.48E+02	-0.518	-1.76E+02	-0.400	2.30E+02	-0.215	2.59E+02	-0.029	2.63E+02
-0.151	2.53E+02	-0.337	2.47E+02	-0.522	-2.16E+02	-0.396	2.33E+02	-0.210	2.59E+02	-0.024	2.64E+02
-0.156	2.53E+02	-0.342	2.47E+02	-0.527	-2.58E+02	-0.391	2.36E+02	-0.205	2.60E+02	-0.020	2.63E+02
-0.161	2.52E+02	-0.347	2.47E+02	-0.532	-3.03E+02	-0.386	2.39E+02	-0.200	2.59E+02	-0.015	2.63E+02
-0.166	2.52E+02	-0.352	2.46E+02	-0.537	-3.50E+02	-0.381	2.41E+02	-0.195	2.59E+02	-0.010	2.64E+02
-0.171	2.53E+02	-0.356	2.45E+02	-0.542	-3.99E+02	-0.376	2.43E+02	-0.190	2.59E+02	-0.005	2.64E+02
-0.176	2.52E+02	-0.361	2.43E+02	-0.547	-4.50E+02	-0.371	2.44E+02	-0.186	2.59E+02		
-0.181	2.52E+02	-0.366	2.42E+02	-0.552	-5.04E+02	-0.366	2.46E+02	-0.181	2.60E+02		

**Cuadro A.40. Datos de I-V para la celda 6, sensibilizada con el pigmento de rosa de jamaica.**

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	1.96E-04	-0.186	1.95E-04	-0.371	1.89E-04	-0.547	-1.75E-04	-0.361	1.94E-04	-0.176	2.01E-04
-0.005	1.96E-04	-0.190	1.95E-04	-0.376	1.88E-04	-0.542	-1.40E-04	-0.356	1.95E-04	-0.171	2.01E-04
-0.010	1.96E-04	-0.195	1.94E-04	-0.381	1.88E-04	-0.537	-1.08E-04	-0.352	1.95E-04	-0.166	2.01E-04
-0.015	1.96E-04	-0.200	1.95E-04	-0.386	1.87E-04	-0.532	-7.84E-05	-0.347	1.96E-04	-0.161	2.02E-04
-0.020	1.96E-04	-0.205	1.94E-04	-0.391	1.86E-04	-0.527	-5.13E-05	-0.342	1.96E-04	-0.156	2.02E-04
-0.024	1.96E-04	-0.210	1.94E-04	-0.396	1.85E-04	-0.522	-2.62E-05	-0.337	1.96E-04	-0.151	2.02E-04
-0.029	1.96E-04	-0.215	1.95E-04	-0.400	1.84E-04	-0.518	-3.50E-06	-0.332	1.96E-04	-0.146	2.02E-04
-0.034	1.96E-04	-0.220	1.94E-04	-0.405	1.82E-04	-0.513	1.73E-05	-0.327	1.97E-04	-0.142	2.02E-04
-0.039	1.96E-04	-0.225	1.94E-04	-0.410	1.81E-04	-0.508	3.63E-05	-0.322	1.97E-04	-0.137	2.02E-04
-0.044	1.95E-04	-0.229	1.94E-04	-0.415	1.79E-04	-0.503	5.36E-05	-0.317	1.97E-04	-0.132	2.02E-04
-0.049	1.95E-04	-0.234	1.94E-04	-0.420	1.77E-04	-0.498	6.91E-05	-0.313	1.98E-04	-0.127	2.02E-04
-0.054	1.95E-04	-0.239	1.94E-04	-0.425	1.75E-04	-0.493	8.33E-05	-0.308	1.98E-04	-0.122	2.02E-04
-0.059	1.95E-04	-0.244	1.94E-04	-0.430	1.72E-04	-0.488	9.60E-05	-0.303	1.98E-04	-0.117	2.02E-04
-0.063	1.95E-04	-0.249	1.94E-04	-0.435	1.69E-04	-0.483	1.07E-04	-0.298	1.98E-04	-0.112	2.02E-04
-0.068	1.95E-04	-0.254	1.94E-04	-0.439	1.66E-04	-0.479	1.18E-04	-0.293	1.98E-04	-0.107	2.03E-04
-0.073	1.95E-04	-0.259	1.94E-04	-0.444	1.63E-04	-0.474	1.27E-04	-0.288	1.98E-04	-0.103	2.02E-04
-0.078	1.95E-04	-0.264	1.94E-04	-0.449	1.58E-04	-0.469	1.35E-04	-0.283	1.99E-04	-0.098	2.02E-04
-0.083	1.95E-04	-0.269	1.94E-04	-0.454	1.53E-04	-0.464	1.42E-04	-0.278	1.99E-04	-0.093	2.03E-04
-0.088	1.95E-04	-0.273	1.94E-04	-0.459	1.48E-04	-0.459	1.49E-04	-0.273	1.99E-04	-0.088	2.02E-04
-0.093	1.95E-04	-0.278	1.93E-04	-0.464	1.41E-04	-0.454	1.55E-04	-0.269	1.99E-04	-0.083	2.02E-04
-0.098	1.95E-04	-0.283	1.94E-04	-0.469	1.34E-04	-0.449	1.60E-04	-0.264	1.99E-04	-0.078	2.03E-04
-0.103	1.95E-04	-0.288	1.93E-04	-0.474	1.26E-04	-0.444	1.64E-04	-0.259	2.00E-04	-0.073	2.03E-04
-0.107	1.95E-04	-0.293	1.93E-04	-0.479	1.17E-04	-0.439	1.68E-04	-0.254	2.00E-04	-0.068	2.03E-04
-0.112	1.95E-04	-0.298	1.93E-04	-0.483	1.07E-04	-0.435	1.72E-04	-0.249	2.00E-04	-0.063	2.03E-04
-0.117	1.95E-04	-0.303	1.93E-04	-0.488	9.56E-05	-0.430	1.75E-04	-0.244	2.00E-04	-0.059	2.03E-04
-0.122	1.95E-04	-0.308	1.93E-04	-0.493	8.28E-05	-0.425	1.78E-04	-0.239	2.00E-04	-0.054	2.03E-04
-0.127	1.95E-04	-0.313	1.93E-04	-0.498	6.87E-05	-0.420	1.80E-04	-0.234	2.00E-04	-0.049	2.03E-04
-0.132	1.95E-04	-0.317	1.92E-04	-0.503	5.33E-05	-0.415	1.82E-04	-0.229	2.01E-04	-0.044	2.03E-04
-0.137	1.95E-04	-0.322	1.92E-04	-0.508	3.60E-05	-0.410	1.84E-04	-0.225	2.01E-04	-0.039	2.03E-04
-0.142	1.95E-04	-0.327	1.92E-04	-0.513	1.70E-05	-0.405	1.85E-04	-0.220	2.01E-04	-0.034	2.03E-04
-0.146	1.95E-04	-0.332	1.92E-04	-0.518	-3.93E-06	-0.400	1.87E-04	-0.215	2.01E-04	-0.029	2.03E-04
-0.151	1.94E-04	-0.337	1.92E-04	-0.522	-2.68E-05	-0.396	1.89E-04	-0.210	2.01E-04	-0.024	2.03E-04
-0.156	1.95E-04	-0.342	1.91E-04	-0.527	-5.23E-05	-0.391	1.90E-04	-0.205	2.01E-04	-0.020	2.03E-04
-0.161	1.95E-04	-0.347	1.91E-04	-0.532	-7.93E-05	-0.386	1.91E-04	-0.200	2.01E-04	-0.015	2.03E-04
-0.166	1.95E-04	-0.352	1.91E-04	-0.537	-1.09E-04	-0.381	1.92E-04	-0.195	2.01E-04	-0.010	2.03E-04
-0.171	1.95E-04	-0.356	1.90E-04	-0.542	-1.41E-04	-0.376	1.92E-04	-0.190	2.01E-04	-0.005	2.03E-04
-0.176	1.95E-04	-0.361	1.90E-04	-0.547	-1.75E-04	-0.371	1.93E-04	-0.186	2.01E-04		
-0.181	1.95E-04	-0.366	1.89E-04	-0.552	-2.13E-04	-0.366	1.94E-04	-0.181	2.01E-04		



**Cuadro A.41. Datos de I-V para la celda 7, sensibilizada con el pigmento de rosa de jamaica.**

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	1.75E-04	-0.186	1.73E-04	-0.371	1.68E-04	-0.547	-2.52E-04	-0.361	1.73E-04	-0.176	1.78E-04
-0.005	1.74E-04	-0.190	1.73E-04	-0.376	1.68E-04	-0.542	-2.11E-04	-0.356	1.74E-04	-0.171	1.78E-04
-0.010	1.74E-04	-0.195	1.73E-04	-0.381	1.67E-04	-0.537	-1.73E-04	-0.352	1.74E-04	-0.166	1.78E-04
-0.015	1.74E-04	-0.200	1.73E-04	-0.386	1.67E-04	-0.532	-1.38E-04	-0.347	1.74E-04	-0.161	1.78E-04
-0.020	1.74E-04	-0.205	1.73E-04	-0.391	1.66E-04	-0.527	-1.06E-04	-0.342	1.75E-04	-0.156	1.78E-04
-0.024	1.74E-04	-0.210	1.73E-04	-0.396	1.65E-04	-0.522	-7.64E-05	-0.337	1.75E-04	-0.151	1.78E-04
-0.029	1.74E-04	-0.215	1.73E-04	-0.400	1.64E-04	-0.518	-4.97E-05	-0.332	1.75E-04	-0.146	1.78E-04
-0.034	1.74E-04	-0.220	1.73E-04	-0.405	1.62E-04	-0.513	-2.52E-05	-0.327	1.75E-04	-0.142	1.79E-04
-0.039	1.74E-04	-0.225	1.73E-04	-0.410	1.61E-04	-0.508	-2.94E-06	-0.322	1.75E-04	-0.137	1.79E-04
-0.044	1.74E-04	-0.229	1.73E-04	-0.415	1.59E-04	-0.503	1.71E-05	-0.317	1.76E-04	-0.132	1.79E-04
-0.049	1.74E-04	-0.234	1.73E-04	-0.420	1.57E-04	-0.498	3.53E-05	-0.313	1.76E-04	-0.127	1.79E-04
-0.054	1.74E-04	-0.239	1.73E-04	-0.425	1.54E-04	-0.493	5.14E-05	-0.308	1.76E-04	-0.122	1.79E-04
-0.059	1.74E-04	-0.244	1.73E-04	-0.430	1.51E-04	-0.488	6.59E-05	-0.303	1.76E-04	-0.117	1.79E-04
-0.063	1.74E-04	-0.249	1.73E-04	-0.435	1.48E-04	-0.483	7.90E-05	-0.298	1.76E-04	-0.112	1.79E-04
-0.068	1.74E-04	-0.254	1.73E-04	-0.439	1.44E-04	-0.479	9.05E-05	-0.293	1.76E-04	-0.107	1.79E-04
-0.073	1.74E-04	-0.259	1.73E-04	-0.444	1.40E-04	-0.474	1.01E-04	-0.288	1.76E-04	-0.103	1.79E-04
-0.078	1.74E-04	-0.264	1.73E-04	-0.449	1.35E-04	-0.469	1.10E-04	-0.283	1.77E-04	-0.098	1.79E-04
-0.083	1.74E-04	-0.269	1.73E-04	-0.454	1.30E-04	-0.464	1.18E-04	-0.278	1.77E-04	-0.093	1.79E-04
-0.088	1.74E-04	-0.273	1.73E-04	-0.459	1.24E-04	-0.459	1.25E-04	-0.273	1.77E-04	-0.088	1.79E-04
-0.093	1.74E-04	-0.278	1.73E-04	-0.464	1.17E-04	-0.454	1.32E-04	-0.269	1.77E-04	-0.083	1.79E-04
-0.098	1.74E-04	-0.283	1.73E-04	-0.469	1.10E-04	-0.449	1.37E-04	-0.264	1.77E-04	-0.078	1.79E-04
-0.103	1.74E-04	-0.288	1.73E-04	-0.474	1.01E-04	-0.444	1.42E-04	-0.259	1.77E-04	-0.073	1.79E-04
-0.107	1.74E-04	-0.293	1.73E-04	-0.479	9.04E-05	-0.439	1.46E-04	-0.254	1.77E-04	-0.068	1.79E-04
-0.112	1.74E-04	-0.298	1.73E-04	-0.483	7.89E-05	-0.435	1.50E-04	-0.249	1.77E-04	-0.063	1.79E-04
-0.117	1.74E-04	-0.303	1.73E-04	-0.488	6.59E-05	-0.430	1.53E-04	-0.244	1.77E-04	-0.059	1.79E-04
-0.122	1.74E-04	-0.308	1.72E-04	-0.493	5.14E-05	-0.425	1.56E-04	-0.239	1.77E-04	-0.054	1.79E-04
-0.127	1.74E-04	-0.313	1.72E-04	-0.498	3.54E-05	-0.420	1.59E-04	-0.234	1.77E-04	-0.049	1.80E-04
-0.132	1.74E-04	-0.317	1.72E-04	-0.503	1.73E-05	-0.415	1.61E-04	-0.229	1.77E-04	-0.044	1.80E-04
-0.137	1.74E-04	-0.322	1.72E-04	-0.508	-2.81E-06	-0.410	1.63E-04	-0.225	1.78E-04	-0.039	1.80E-04
-0.142	1.73E-04	-0.327	1.71E-04	-0.513	-2.51E-05	-0.405	1.65E-04	-0.220	1.78E-04	-0.034	1.80E-04
-0.146	1.73E-04	-0.332	1.71E-04	-0.518	-4.97E-05	-0.400	1.66E-04	-0.215	1.78E-04	-0.029	1.80E-04
-0.151	1.73E-04	-0.337	1.71E-04	-0.522	-7.67E-05	-0.396	1.67E-04	-0.210	1.78E-04	-0.024	1.80E-04
-0.156	1.73E-04	-0.342	1.71E-04	-0.527	-1.06E-04	-0.391	1.69E-04	-0.205	1.78E-04	-0.020	1.80E-04
-0.161	1.73E-04	-0.347	1.70E-04	-0.532	-1.39E-04	-0.386	1.70E-04	-0.200	1.78E-04	-0.015	1.80E-04
-0.166	1.73E-04	-0.352	1.70E-04	-0.537	-1.74E-04	-0.381	1.71E-04	-0.195	1.78E-04	-0.010	1.80E-04
-0.171	1.73E-04	-0.356	1.69E-04	-0.542	-2.11E-04	-0.376	1.71E-04	-0.190	1.78E-04	-0.005	1.80E-04
-0.176	1.73E-04	-0.361	1.69E-04	-0.547	-2.52E-04	-0.371	1.72E-04	-0.186	1.78E-04		
-0.181	1.73E-04	-0.366	1.69E-04	-0.552	-2.96E-04	-0.366	1.73E-04	-0.181	1.78E-04		

**Cuadro A.42.** Datos de I-V para la celda 1, co-sensibilizada con nanopartículas de germanio.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	2.10E-03	-0.180	2.00E-03	-0.359	1.94E-03	-0.539	1.49E-03	-0.719	-8.29E-04	-0.710	-6.0E-04
-0.005	2.09E-03	-0.184	2.00E-03	-0.364	1.93E-03	-0.544	1.46E-03	-0.724	-9.11E-04	-0.705	-5.20E-4
-0.009	2.09E-03	-0.189	2.00E-03	-0.369	1.93E-03	-0.549	1.42E-03	-0.728	-9.95E-04	-0.700	-4.39E-4
-0.014	2.09E-03	-0.194	2.00E-03	-0.374	1.93E-03	-0.553	1.38E-03	-0.733	-1.08E-03	-0.695	-3.6E-04
-0.019	2.08E-03	-0.199	2.00E-03	-0.378	1.92E-03	-0.558	1.34E-03	-0.738	-1.16E-03	-0.691	-2.8E-04
-0.024	2.07E-03	-0.203	2.00E-03	-0.383	1.92E-03	-0.563	1.30E-03	-0.743	-1.25E-03	-0.686	-2.0E-04
-0.028	2.07E-03	-0.208	2.00E-03	-0.388	1.92E-03	-0.568	1.26E-03	-0.747	-1.33E-03	-0.681	-1.E-04
-0.033	2.07E-03	-0.213	1.99E-03	-0.393	1.92E-03	-0.572	1.21E-03	-0.752	-1.42E-03	-0.676	-5.3E-05
-0.038	2.06E-03	-0.218	1.99E-03	-0.397	1.91E-03	-0.577	1.17E-03	-0.757	-1.51E-03	-0.672	2.02E-05
-0.043	2.06E-03	-0.222	1.99E-03	-0.402	1.91E-03	-0.582	1.12E-03	-0.762	-1.60E-03	-0.667	9.40E-05
-0.047	2.06E-03	-0.227	1.99E-03	-0.407	1.90E-03	-0.587	1.07E-03	-0.766	-1.68E-03	-0.662	1.66E-04
-0.052	2.05E-03	-0.232	1.99E-03	-0.412	1.90E-03	-0.591	1.02E-03	-0.771	-1.77E-03	-0.658	2.37E-04
-0.057	2.05E-03	-0.237	1.99E-03	-0.416	1.90E-03	-0.596	9.69E-04	-0.776	-1.86E-03	-0.653	3.07E-04
-0.061	2.05E-03	-0.241	1.98E-03	-0.421	1.89E-03	-0.601	9.15E-04	-0.780	-1.95E-03	-0.648	3.75E-04
-0.066	2.04E-03	-0.246	1.98E-03	-0.426	1.88E-03	-0.605	8.61E-04	-0.785	-2.04E-03	-0.643	4.43E-04
-0.071	2.04E-03	-0.251	1.98E-03	-0.430	1.88E-03	-0.610	8.04E-04	-0.790	-2.13E-03	-0.639	5.09E-04
-0.076	2.04E-03	-0.255	1.98E-03	-0.435	1.87E-03	-0.615	7.47E-04	-0.795	-2.22E-03	-0.634	5.74E-04
-0.080	2.04E-03	-0.260	1.98E-03	-0.440	1.87E-03	-0.620	6.88E-04	-0.799	-2.32E-03	-0.629	6.38E-04
-0.085	2.04E-03	-0.265	1.97E-03	-0.445	1.86E-03	-0.624	6.27E-04	-0.804	-2.41E-03	-0.624	7.01E-04
-0.090	2.04E-03	-0.270	1.97E-03	-0.449	1.85E-03	-0.629	5.65E-04	-0.799	-2.30E-03	-0.620	7.62E-04
-0.095	2.03E-03	-0.274	1.97E-03	-0.454	1.84E-03	-0.634	5.00E-04	-0.795	-2.19E-03	-0.615	8.22E-04
-0.099	2.03E-03	-0.279	1.97E-03	-0.459	1.83E-03	-0.639	4.37E-04	-0.790	-2.09E-03	-0.610	8.80E-04
-0.104	2.03E-03	-0.284	1.97E-03	-0.464	1.82E-03	-0.643	3.71E-04	-0.785	-2.00E-03	-0.605	9.38E-04
-0.109	2.03E-03	-0.289	1.97E-03	-0.468	1.81E-03	-0.648	3.04E-04	-0.780	-1.90E-03	-0.601	9.93E-04
-0.114	2.03E-03	-0.293	1.96E-03	-0.473	1.80E-03	-0.653	2.36E-04	-0.776	-1.81E-03	-0.596	1.05E-03
-0.118	2.02E-03	-0.298	1.96E-03	-0.478	1.78E-03	-0.658	1.66E-04	-0.771	-1.72E-03	-0.591	1.10E-03
-0.123	2.02E-03	-0.303	1.96E-03	-0.482	1.77E-03	-0.662	9.55E-05	-0.766	-1.63E-03	-0.587	1.15E-03
-0.128	2.02E-03	-0.307	1.96E-03	-0.487	1.75E-03	-0.667	2.47E-05	-0.762	-1.54E-03	-0.582	1.20E-03
-0.132	2.02E-03	-0.312	1.96E-03	-0.492	1.74E-03	-0.672	-4.84E-05	-0.757	-1.45E-03	-0.577	1.25E-03
-0.137	2.02E-03	-0.317	1.96E-03	-0.497	1.72E-03	-0.676	-1.23E-04	-0.752	-1.36E-03	-0.572	1.29E-03
-0.142	2.02E-03	-0.322	1.96E-03	-0.501	1.70E-03	-0.681	-1.98E-04	-0.747	-1.27E-03	-0.568	1.34E-03
-0.147	2.01E-03	-0.326	1.95E-03	-0.506	1.68E-03	-0.686	-2.73E-04	-0.743	-1.19E-03	-0.563	1.38E-03
-0.151	2.01E-03	-0.331	1.95E-03	-0.511	1.66E-03	-0.691	-3.50E-04	-0.738	-1.10E-03	-0.558	1.42E-03
-0.156	2.01E-03	-0.336	1.95E-03	-0.516	1.63E-03	-0.695	-4.28E-04	-0.733	-1.01E-03	-0.553	1.46E-03
-0.161	2.01E-03	-0.341	1.95E-03	-0.520	1.61E-03	-0.700	-5.07E-04	-0.728	-9.30E-04	-0.549	1.50E-03
-0.166	2.01E-03	-0.345	1.94E-03	-0.525	1.58E-03	-0.705	-5.87E-04	-0.724	-8.46E-04	-0.544	1.53E-03
-0.170	2.01E-03	-0.350	1.94E-03	-0.530	1.55E-03	-0.710	-6.66E-04	-0.719	-7.63E-04		
-0.175	2.00E-03	-0.355	1.94E-03	-0.535	1.52E-03	-0.714	-7.47E-04	-0.714	-6.81E-04		

**Cuadro A.43.** Datos de I-V para la celda 2, co-sensibilizada con nanopartículas de germanio.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	1.92E-03	-0.180	1.88E-03	-0.359	1.85E-03	-0.539	1.37E-03	-0.719	-3.62E-04	-0.710	-1.9E-04
-0.005	1.92E-03	-0.184	1.88E-03	-0.364	1.85E-03	-0.544	1.34E-03	-0.724	-4.18E-04	-0.705	-1.4E-04
-0.009	1.92E-03	-0.189	1.88E-03	-0.369	1.85E-03	-0.549	1.30E-03	-0.728	-4.75E-04	-0.700	-8.5E-05
-0.014	1.91E-03	-0.194	1.88E-03	-0.374	1.85E-03	-0.553	1.27E-03	-0.733	-5.33E-04	-0.695	-2.9E-05
-0.019	1.91E-03	-0.199	1.88E-03	-0.378	1.85E-03	-0.558	1.24E-03	-0.738	-5.91E-04	-0.691	2.4E-05
-0.024	1.91E-03	-0.203	1.88E-03	-0.383	1.85E-03	-0.563	1.20E-03	-0.743	-6.49E-04	-0.686	7.9E-05
-0.028	1.91E-03	-0.208	1.88E-03	-0.388	1.84E-03	-0.568	1.16E-03	-0.747	-7.08E-04	-0.681	1.3E-04
-0.033	1.90E-03	-0.213	1.88E-03	-0.393	1.84E-03	-0.572	1.13E-03	-0.752	-7.67E-04	-0.676	1.8E-04
-0.038	1.90E-03	-0.218	1.88E-03	-0.397	1.83E-03	-0.577	1.09E-03	-0.757	-8.27E-04	-0.672	2.3E-04
-0.043	1.90E-03	-0.222	1.88E-03	-0.402	1.83E-03	-0.582	1.05E-03	-0.762	-8.87E-04	-0.667	2.8E-04
-0.047	1.90E-03	-0.227	1.87E-03	-0.407	1.83E-03	-0.587	1.01E-03	-0.766	-9.47E-04	-0.662	3.4E-04
-0.052	1.90E-03	-0.232	1.88E-03	-0.412	1.82E-03	-0.591	9.72E-04	-0.771	-1.01E-03	-0.658	3.9E-04
-0.057	1.90E-03	-0.237	1.88E-03	-0.416	1.82E-03	-0.596	9.30E-04	-0.776	-1.07E-03	-0.653	4.4E-04
-0.061	1.90E-03	-0.241	1.87E-03	-0.421	1.81E-03	-0.601	8.88E-04	-0.780	-1.13E-03	-0.648	4.9E-04
-0.066	1.90E-03	-0.246	1.87E-03	-0.426	1.81E-03	-0.605	8.47E-04	-0.785	-1.19E-03	-0.643	5.3E-04
-0.071	1.90E-03	-0.251	1.87E-03	-0.430	1.80E-03	-0.610	8.04E-04	-0.790	-1.25E-03	-0.639	5.8E-04
-0.076	1.89E-03	-0.255	1.87E-03	-0.435	1.79E-03	-0.615	7.60E-04	-0.795	-1.31E-03	-0.634	6.3E-04
-0.080	1.89E-03	-0.260	1.87E-03	-0.440	1.78E-03	-0.620	7.16E-04	-0.799	-1.38E-03	-0.629	6.8E-04
-0.085	1.89E-03	-0.265	1.87E-03	-0.445	1.77E-03	-0.624	6.70E-04	-0.804	-1.44E-03	-0.624	7.2E-04
-0.090	1.89E-03	-0.270	1.87E-03	-0.449	1.76E-03	-0.629	6.25E-04	-0.799	-1.36E-03	-0.620	7.7E-04
-0.095	1.89E-03	-0.274	1.87E-03	-0.454	1.75E-03	-0.634	5.77E-04	-0.795	-1.29E-03	-0.615	8.2E-04
-0.099	1.89E-03	-0.279	1.87E-03	-0.459	1.74E-03	-0.639	5.29E-04	-0.790	-1.22E-03	-0.610	8.6E-04
-0.104	1.88E-03	-0.284	1.87E-03	-0.464	1.72E-03	-0.643	4.81E-04	-0.785	-1.16E-03	-0.605	9.0E-04
-0.109	1.88E-03	-0.289	1.87E-03	-0.468	1.71E-03	-0.648	4.32E-04	-0.780	-1.09E-03	-0.601	9.5E-04
-0.114	1.88E-03	-0.293	1.87E-03	-0.473	1.69E-03	-0.653	3.83E-04	-0.776	-1.03E-03	-0.596	9.9E-04
-0.118	1.89E-03	-0.298	1.87E-03	-0.478	1.68E-03	-0.658	3.33E-04	-0.771	-9.64E-04	-0.591	1.0E-03
-0.123	1.88E-03	-0.303	1.87E-03	-0.482	1.66E-03	-0.662	2.83E-04	-0.766	-9.02E-04	-0.587	1.1E-03
-0.128	1.88E-03	-0.307	1.87E-03	-0.487	1.64E-03	-0.667	2.31E-04	-0.762	-8.41E-04	-0.582	1.1E-03
-0.132	1.88E-03	-0.312	1.87E-03	-0.492	1.62E-03	-0.672	1.81E-04	-0.757	-7.80E-04	-0.577	1.2E-03
-0.137	1.88E-03	-0.317	1.87E-03	-0.497	1.60E-03	-0.676	1.29E-04	-0.752	-7.20E-04	-0.572	1.2E-03
-0.142	1.89E-03	-0.322	1.86E-03	-0.501	1.58E-03	-0.681	7.68E-05	-0.747	-6.60E-04	-0.568	1.23E-03
-0.147	1.88E-03	-0.326	1.86E-03	-0.506	1.56E-03	-0.686	2.37E-05	-0.743	-6.00E-04	-0.563	1.27E-03
-0.151	1.88E-03	-0.331	1.86E-03	-0.511	1.53E-03	-0.691	-3.01E-05	-0.738	-5.41E-04	-0.558	1.30E-03
-0.156	1.88E-03	-0.336	1.86E-03	-0.516	1.51E-03	-0.695	-8.37E-05	-0.733	-4.81E-04	-0.553	1.34E-03
-0.161	1.88E-03	-0.341	1.86E-03	-0.520	1.48E-03	-0.700	-1.39E-04	-0.728	-4.24E-04	-0.549	1.37E-03
-0.166	1.88E-03	-0.345	1.86E-03	-0.525	1.46E-03	-0.705	-1.94E-04	-0.724	-3.66E-04	-0.544	1.40E-03
-0.170	1.88E-03	-0.350	1.86E-03	-0.530	1.43E-03	-0.710	-2.50E-04	-0.719	-3.09E-04	-0.539	1.44E-03
-0.175	1.88E-03	-0.355	1.85E-03	-0.535	1.40E-03	-0.714	-3.05E-04	-0.714	-2.52E-04	-0.535	1.5E-03

**Cuadro A.44.** Datos de I-V para la celda 3, co-sensibilizada con nanopartículas de germanio.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	2.09E-03	-0.180	2.07E-03	-0.359	2.06E-03	-0.539	1.75E-03	-0.719	-6.37E-04	-0.710	-4.32E-4
-0.005	2.09E-03	-0.184	2.08E-03	-0.364	2.06E-03	-0.544	1.72E-03	-0.724	-7.23E-04	-0.705	-3.48E-4
-0.009	2.09E-03	-0.189	2.07E-03	-0.369	2.06E-03	-0.549	1.69E-03	-0.728	-8.09E-04	-0.700	-2.65E-4
-0.014	2.09E-03	-0.194	2.07E-03	-0.374	2.05E-03	-0.553	1.65E-03	-0.733	-8.96E-04	-0.695	-1.83E-4
-0.019	2.09E-03	-0.199	2.07E-03	-0.378	2.05E-03	-0.558	1.61E-03	-0.738	-9.84E-04	-0.691	-1.02E-4
-0.024	2.09E-03	-0.203	2.07E-03	-0.383	2.05E-03	-0.563	1.57E-03	-0.743	-1.07E-03	-0.686	-2.22E-5
-0.028	2.09E-03	-0.208	2.07E-03	-0.388	2.05E-03	-0.568	1.53E-03	-0.747	-1.16E-03	-0.681	5.65E-5
-0.033	2.09E-03	-0.213	2.07E-03	-0.393	2.05E-03	-0.572	1.49E-03	-0.752	-1.25E-03	-0.676	1.34E-4
-0.038	2.09E-03	-0.218	2.07E-03	-0.397	2.05E-03	-0.577	1.44E-03	-0.757	-1.34E-03	-0.672	2.11E-4
-0.043	2.09E-03	-0.222	2.07E-03	-0.402	2.05E-03	-0.582	1.40E-03	-0.762	-1.43E-03	-0.667	2.88E-4
-0.047	2.08E-03	-0.227	2.07E-03	-0.407	2.05E-03	-0.587	1.35E-03	-0.766	-1.52E-03	-0.662	3.63E-4
-0.052	2.09E-03	-0.232	2.07E-03	-0.412	2.04E-03	-0.591	1.30E-03	-0.771	-1.62E-03	-0.658	4.37E-4
-0.057	2.09E-03	-0.237	2.07E-03	-0.416	2.04E-03	-0.596	1.24E-03	-0.776	-1.71E-03	-0.653	5.09E-4
-0.061	2.08E-03	-0.241	2.07E-03	-0.421	2.04E-03	-0.601	1.19E-03	-0.780	-1.80E-03	-0.648	5.80E-4
-0.066	2.09E-03	-0.246	2.07E-03	-0.426	2.04E-03	-0.605	1.13E-03	-0.785	-1.90E-03	-0.643	6.51E-4
-0.071	2.08E-03	-0.251	2.07E-03	-0.430	2.03E-03	-0.610	1.07E-03	-0.790	-1.99E-03	-0.639	7.20E-4
-0.076	2.08E-03	-0.255	2.07E-03	-0.435	2.03E-03	-0.615	1.01E-03	-0.795	-2.08E-03	-0.634	7.86E-4
-0.080	2.08E-03	-0.260	2.07E-03	-0.440	2.03E-03	-0.620	9.52E-04	-0.799	-2.18E-03	-0.629	8.53E-4
-0.085	2.08E-03	-0.265	2.07E-03	-0.445	2.02E-03	-0.624	8.88E-04	-0.804	-2.27E-03	-0.624	9.17E-4
-0.090	2.08E-03	-0.270	2.07E-03	-0.449	2.02E-03	-0.629	8.23E-04	-0.799	-2.17E-03	-0.620	9.80E-4
-0.095	2.08E-03	-0.274	2.07E-03	-0.454	2.02E-03	-0.634	7.57E-04	-0.795	-2.07E-03	-0.615	1.04E-3
-0.099	2.08E-03	-0.279	2.07E-03	-0.459	2.01E-03	-0.639	6.90E-04	-0.790	-1.97E-03	-0.610	1.10E-3
-0.104	2.08E-03	-0.284	2.07E-03	-0.464	2.00E-03	-0.643	6.20E-04	-0.785	-1.87E-03	-0.605	1.16E-3
-0.109	2.08E-03	-0.289	2.07E-03	-0.468	2.00E-03	-0.648	5.50E-04	-0.780	-1.78E-03	-0.601	1.22E-3
-0.114	2.08E-03	-0.293	2.06E-03	-0.473	1.99E-03	-0.653	4.78E-04	-0.776	-1.68E-03	-0.596	1.27E-3
-0.118	2.08E-03	-0.298	2.06E-03	-0.478	1.98E-03	-0.658	4.05E-04	-0.771	-1.59E-03	-0.591	1.32E-3
-0.123	2.08E-03	-0.303	2.06E-03	-0.482	1.97E-03	-0.662	3.30E-04	-0.766	-1.49E-03	-0.587	1.38E-3
-0.128	2.08E-03	-0.307	2.06E-03	-0.487	1.96E-03	-0.667	2.56E-04	-0.762	-1.40E-03	-0.582	1.43E-3
-0.132	2.08E-03	-0.312	2.06E-03	-0.492	1.95E-03	-0.672	1.79E-04	-0.757	-1.31E-03	-0.577	1.47E-3
-0.137	2.08E-03	-0.317	2.06E-03	-0.497	1.94E-03	-0.676	1.01E-04	-0.752	-1.22E-03	-0.572	1.52E-3
-0.142	2.08E-03	-0.322	2.06E-03	-0.501	1.92E-03	-0.681	2.37E-05	-0.747	-1.13E-03	-0.568	1.56E-3
-0.147	2.08E-03	-0.326	2.06E-03	-0.506	1.91E-03	-0.686	-5.53E-05	-0.743	-1.04E-03	-0.563	1.60E-3
-0.151	2.08E-03	-0.331	2.06E-03	-0.511	1.89E-03	-0.691	-1.36E-04	-0.738	-9.50E-04	-0.558	1.64E-3
-0.156	2.08E-03	-0.336	2.06E-03	-0.516	1.87E-03	-0.695	-2.18E-04	-0.733	-8.63E-04	-0.553	1.68E-3
-0.161	2.08E-03	-0.341	2.06E-03	-0.520	1.85E-03	-0.700	-2.99E-04	-0.728	-7.74E-04	-0.549	1.71E-3
-0.166	2.08E-03	-0.345	2.06E-03	-0.525	1.83E-03	-0.705	-3.83E-04	-0.724	-6.88E-04	-0.544	1.74E-3
-0.170	2.08E-03	-0.350	2.06E-03	-0.530	1.80E-03	-0.710	-4.67E-04	-0.719	-6.02E-04	-0.539	1.77E-3
-0.175	2.07E-03	-0.355	2.06E-03	-0.535	1.78E-03	-0.714	-5.51E-04	-0.714	-5.16E-04	-0.535	1.80E-3

**Cuadro A.45.** Datos de I-V para la celda 4, co-sensibilizada con nanopartículas de germanio.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	1.67E-03	-0.180	1.65E-03	-0.359	1.63E-03	-0.539	1.21E-03	-0.719	-4.47E-04	-0.710	-3.28E-4
-0.005	1.67E-03	-0.184	1.65E-03	-0.364	1.63E-03	-0.544	1.18E-03	-0.724	-5.00E-04	-0.705	-2.76E-4
-0.009	1.67E-03	-0.189	1.65E-03	-0.369	1.63E-03	-0.549	1.15E-03	-0.728	-5.53E-04	-0.700	-2.25E-4
-0.014	1.67E-03	-0.194	1.65E-03	-0.374	1.63E-03	-0.553	1.12E-03	-0.733	-6.05E-04	-0.695	-1.75E-4
-0.019	1.67E-03	-0.199	1.65E-03	-0.378	1.63E-03	-0.558	1.08E-03	-0.738	-6.58E-04	-0.691	-1.25E-4
-0.024	1.67E-03	-0.203	1.65E-03	-0.383	1.63E-03	-0.563	1.05E-03	-0.743	-7.11E-04	-0.686	-7.51E-5
-0.028	1.67E-03	-0.208	1.65E-03	-0.388	1.62E-03	-0.568	1.01E-03	-0.747	-7.64E-04	-0.681	-2.58E-5
-0.033	1.67E-03	-0.213	1.65E-03	-0.393	1.62E-03	-0.572	9.76E-04	-0.752	-8.18E-04	-0.676	2.33E-5
-0.038	1.67E-03	-0.218	1.65E-03	-0.397	1.62E-03	-0.577	9.39E-04	-0.757	-8.72E-04	-0.672	7.19E-5
-0.043	1.66E-03	-0.222	1.65E-03	-0.402	1.61E-03	-0.582	9.01E-04	-0.762	-9.26E-04	-0.667	1.20E-4
-0.047	1.66E-03	-0.227	1.65E-03	-0.407	1.61E-03	-0.587	8.62E-04	-0.766	-9.81E-04	-0.662	1.68E-4
-0.052	1.66E-03	-0.232	1.65E-03	-0.412	1.61E-03	-0.591	8.22E-04	-0.771	-1.04E-03	-0.658	2.16E-4
-0.057	1.66E-03	-0.237	1.65E-03	-0.416	1.60E-03	-0.596	7.82E-04	-0.776	-1.09E-03	-0.653	2.63E-4
-0.061	1.66E-03	-0.241	1.65E-03	-0.421	1.60E-03	-0.601	7.41E-04	-0.780	-1.15E-03	-0.648	3.09E-4
-0.066	1.66E-03	-0.246	1.65E-03	-0.426	1.60E-03	-0.605	6.99E-04	-0.785	-1.20E-03	-0.643	3.56E-4
-0.071	1.66E-03	-0.251	1.65E-03	-0.430	1.59E-03	-0.610	6.57E-04	-0.790	-1.26E-03	-0.639	4.01E-4
-0.076	1.66E-03	-0.255	1.65E-03	-0.435	1.58E-03	-0.615	6.15E-04	-0.795	-1.31E-03	-0.634	4.47E-4
-0.080	1.66E-03	-0.260	1.65E-03	-0.440	1.58E-03	-0.620	5.71E-04	-0.799	-1.37E-03	-0.629	4.91E-4
-0.085	1.66E-03	-0.265	1.65E-03	-0.445	1.57E-03	-0.624	5.26E-04	-0.804	-1.42E-03	-0.624	5.35E-4
-0.090	1.66E-03	-0.270	1.64E-03	-0.449	1.56E-03	-0.629	4.82E-04	-0.799	-1.36E-03	-0.620	5.79E-4
-0.095	1.66E-03	-0.274	1.64E-03	-0.454	1.55E-03	-0.634	4.36E-04	-0.795	-1.30E-03	-0.615	6.21E-4
-0.099	1.66E-03	-0.279	1.64E-03	-0.459	1.54E-03	-0.639	3.90E-04	-0.790	-1.25E-03	-0.610	6.64E-4
-0.104	1.66E-03	-0.284	1.64E-03	-0.464	1.54E-03	-0.643	3.44E-04	-0.785	-1.19E-03	-0.605	7.06E-4
-0.109	1.66E-03	-0.289	1.64E-03	-0.468	1.52E-03	-0.648	2.98E-04	-0.780	-1.13E-03	-0.601	7.47E-4
-0.114	1.66E-03	-0.293	1.64E-03	-0.473	1.51E-03	-0.653	2.51E-04	-0.776	-1.08E-03	-0.596	7.89E-4
-0.118	1.66E-03	-0.298	1.64E-03	-0.478	1.50E-03	-0.658	2.04E-04	-0.771	-1.02E-03	-0.591	8.28E-4
-0.123	1.66E-03	-0.303	1.64E-03	-0.482	1.48E-03	-0.662	1.56E-04	-0.766	-9.66E-04	-0.587	8.66E-4
-0.128	1.66E-03	-0.307	1.64E-03	-0.487	1.47E-03	-0.667	1.08E-04	-0.762	-9.12E-04	-0.582	9.05E-4
-0.132	1.66E-03	-0.312	1.64E-03	-0.492	1.45E-03	-0.672	5.91E-05	-0.757	-8.56E-04	-0.577	9.43E-4
-0.137	1.66E-03	-0.317	1.64E-03	-0.497	1.43E-03	-0.676	9.92E-06	-0.752	-8.03E-04	-0.572	9.79E-4
-0.142	1.66E-03	-0.322	1.64E-03	-0.501	1.41E-03	-0.681	-3.98E-05	-0.747	-7.48E-04	-0.568	1.02E-3
-0.147	1.66E-03	-0.326	1.64E-03	-0.506	1.39E-03	-0.686	-8.96E-05	-0.743	-6.95E-04	-0.563	1.05E-3
-0.151	1.66E-03	-0.331	1.64E-03	-0.511	1.37E-03	-0.691	-1.40E-04	-0.738	-6.41E-04	-0.558	1.09E-3
-0.156	1.65E-03	-0.336	1.64E-03	-0.516	1.35E-03	-0.695	-1.90E-04	-0.733	-5.88E-04	-0.553	1.12E-3
-0.161	1.65E-03	-0.341	1.64E-03	-0.520	1.32E-03	-0.700	-2.41E-04	-0.728	-5.36E-04	-0.549	1.15E-3
-0.166	1.65E-03	-0.345	1.64E-03	-0.525	1.30E-03	-0.705	-2.92E-04	-0.724	-4.84E-04	-0.544	1.18E-3
-0.170	1.65E-03	-0.350	1.64E-03	-0.530	1.27E-03	-0.710	-3.44E-04	-0.719	-4.31E-04	-0.539	1.21E-3
-0.175	1.65E-03	-0.355	1.63E-03	-0.535	1.24E-03	-0.714	-3.95E-04	-0.714	-3.79E-04	-0.535	1.24E-3

**Cuadro A.46.** Datos de I-V para la celda 5, co-sensibilizada con nanopartículas de germanio.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	2.33E-03	-0.180	2.31E-03	-0.359	2.25E-03	-0.539	1.58E-03	-0.719	-6.32E-04	-0.710	-4.36E-4
-0.005	2.33E-03	-0.184	2.31E-03	-0.364	2.24E-03	-0.544	1.54E-03	-0.724	-7.09E-04	-0.705	-3.62E-4
-0.009	2.33E-03	-0.189	2.31E-03	-0.369	2.23E-03	-0.549	1.50E-03	-0.728	-7.86E-04	-0.700	-2.88E-4
-0.014	2.33E-03	-0.194	2.31E-03	-0.374	2.23E-03	-0.553	1.46E-03	-0.733	-8.63E-04	-0.695	-2.15E-4
-0.019	2.33E-03	-0.199	2.31E-03	-0.378	2.22E-03	-0.558	1.42E-03	-0.738	-9.42E-04	-0.691	-1.44E-4
-0.024	2.33E-03	-0.203	2.31E-03	-0.383	2.21E-03	-0.563	1.38E-03	-0.743	-1.02E-03	-0.686	-7.37E-5
-0.028	2.33E-03	-0.208	2.31E-03	-0.388	2.21E-03	-0.568	1.34E-03	-0.747	-1.10E-03	-0.681	-3.60E-6
-0.033	2.33E-03	-0.213	2.30E-03	-0.393	2.20E-03	-0.572	1.29E-03	-0.752	-1.18E-03	-0.676	6.52E-5
-0.038	2.33E-03	-0.218	2.30E-03	-0.397	2.19E-03	-0.577	1.24E-03	-0.757	-1.26E-03	-0.672	1.33E-4
-0.043	2.33E-03	-0.222	2.30E-03	-0.402	2.18E-03	-0.582	1.19E-03	-0.762	-1.34E-03	-0.667	2.01E-4
-0.047	2.32E-03	-0.227	2.31E-03	-0.407	2.17E-03	-0.587	1.15E-03	-0.766	-1.43E-03	-0.662	2.67E-4
-0.052	2.32E-03	-0.232	2.31E-03	-0.412	2.16E-03	-0.591	1.10E-03	-0.771	-1.51E-03	-0.658	3.33E-4
-0.057	2.32E-03	-0.237	2.30E-03	-0.416	2.16E-03	-0.596	1.05E-03	-0.776	-1.59E-03	-0.653	3.98E-4
-0.061	2.32E-03	-0.241	2.30E-03	-0.421	2.14E-03	-0.601	9.93E-04	-0.780	-1.68E-03	-0.648	4.62E-4
-0.066	2.32E-03	-0.246	2.30E-03	-0.426	2.14E-03	-0.605	9.40E-04	-0.785	-1.76E-03	-0.643	5.24E-4
-0.071	2.32E-03	-0.251	2.30E-03	-0.430	2.13E-03	-0.610	8.86E-04	-0.790	-1.85E-03	-0.639	5.85E-4
-0.076	2.32E-03	-0.255	2.30E-03	-0.435	2.11E-03	-0.615	8.30E-04	-0.795	-1.93E-03	-0.634	6.45E-4
-0.080	2.32E-03	-0.260	2.30E-03	-0.440	2.10E-03	-0.620	7.74E-04	-0.799	-2.02E-03	-0.629	7.04E-4
-0.085	2.32E-03	-0.265	2.30E-03	-0.445	2.09E-03	-0.624	7.17E-04	-0.804	-2.11E-03	-0.624	7.63E-4
-0.090	2.32E-03	-0.270	2.30E-03	-0.449	2.07E-03	-0.629	6.58E-04	-0.799	-2.00E-03	-0.620	8.21E-4
-0.095	2.32E-03	-0.274	2.29E-03	-0.454	2.05E-03	-0.634	5.99E-04	-0.795	-1.91E-03	-0.615	8.77E-4
-0.099	2.32E-03	-0.279	2.29E-03	-0.459	2.03E-03	-0.639	5.38E-04	-0.790	-1.82E-03	-0.610	9.34E-4
-0.104	2.32E-03	-0.284	2.29E-03	-0.464	2.02E-03	-0.643	4.76E-04	-0.785	-1.73E-03	-0.605	9.88E-4
-0.109	2.32E-03	-0.289	2.29E-03	-0.468	2.00E-03	-0.648	4.12E-04	-0.780	-1.64E-03	-0.601	1.04E-3
-0.114	2.32E-03	-0.293	2.29E-03	-0.473	1.98E-03	-0.653	3.49E-04	-0.776	-1.55E-03	-0.596	1.09E-3
-0.118	2.31E-03	-0.298	2.28E-03	-0.478	1.96E-03	-0.658	2.84E-04	-0.771	-1.47E-03	-0.591	1.14E-3
-0.123	2.32E-03	-0.303	2.28E-03	-0.482	1.94E-03	-0.662	2.19E-04	-0.766	-1.38E-03	-0.587	1.20E-3
-0.128	2.32E-03	-0.307	2.28E-03	-0.487	1.91E-03	-0.667	1.53E-04	-0.762	-1.30E-03	-0.582	1.24E-3
-0.132	2.32E-03	-0.312	2.28E-03	-0.492	1.89E-03	-0.672	8.57E-05	-0.757	-1.22E-03	-0.577	1.29E-3
-0.137	2.32E-03	-0.317	2.28E-03	-0.497	1.87E-03	-0.676	1.80E-05	-0.752	-1.14E-03	-0.572	1.34E-3
-0.142	2.32E-03	-0.322	2.27E-03	-0.501	1.84E-03	-0.681	-5.05E-05	-0.747	-1.06E-03	-0.568	1.38E-3
-0.147	2.32E-03	-0.326	2.27E-03	-0.506	1.81E-03	-0.686	-1.20E-04	-0.743	-9.75E-04	-0.563	1.43E-3
-0.151	2.32E-03	-0.331	2.27E-03	-0.511	1.78E-03	-0.691	-1.91E-04	-0.738	-8.96E-04	-0.558	1.47E-3
-0.156	2.31E-03	-0.336	2.26E-03	-0.516	1.75E-03	-0.695	-2.62E-04	-0.733	-8.17E-04	-0.553	1.52E-3
-0.161	2.31E-03	-0.341	2.26E-03	-0.520	1.72E-03	-0.700	-3.34E-04	-0.728	-7.39E-04	-0.549	1.56E-3
-0.166	2.31E-03	-0.345	2.26E-03	-0.525	1.69E-03	-0.705	-4.08E-04	-0.724	-6.62E-04	-0.544	1.60E-3
-0.170	2.31E-03	-0.350	2.26E-03	-0.530	1.65E-03	-0.710	-4.82E-04	-0.719	-5.86E-04	-0.539	1.63E-3
-0.175	2.32E-03	-0.355	2.25E-03	-0.535	1.62E-03	-0.714	-5.56E-04	-0.714	-5.10E-04	-0.535	1.67E-3

**Cuadro A.47.** Datos de I-V para la celda 6, co-sensibilizada con nanopartículas de germanio.

Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)	Potential (V)	Scan 1 (A)
0	1.91E-03	-0.180	1.88E-03	-0.359	1.83E-03	-0.539	1.27E-03	-0.719	-6.61E-04	-0.710	-5.11E-4
-0.005	1.91E-03	-0.184	1.88E-03	-0.364	1.83E-03	-0.544	1.24E-03	-0.724	-7.24E-04	-0.705	-4.49E-4
-0.009	1.91E-03	-0.189	1.88E-03	-0.369	1.82E-03	-0.549	1.20E-03	-0.728	-7.88E-04	-0.700	-3.87E-4
-0.014	1.91E-03	-0.194	1.88E-03	-0.374	1.82E-03	-0.553	1.16E-03	-0.733	-8.53E-04	-0.695	-3.25E-4
-0.019	1.90E-03	-0.199	1.87E-03	-0.378	1.82E-03	-0.558	1.12E-03	-0.738	-9.19E-04	-0.691	-2.64E-4
-0.024	1.90E-03	-0.203	1.87E-03	-0.383	1.82E-03	-0.563	1.08E-03	-0.743	-9.84E-04	-0.686	-2.05E-4
-0.028	1.90E-03	-0.208	1.87E-03	-0.388	1.81E-03	-0.568	1.04E-03	-0.747	-1.05E-03	-0.681	-1.46E-4
-0.033	1.90E-03	-0.213	1.87E-03	-0.393	1.81E-03	-0.572	1.00E-03	-0.752	-1.12E-03	-0.676	-8.67E-5
-0.038	1.90E-03	-0.218	1.87E-03	-0.397	1.80E-03	-0.577	9.60E-04	-0.757	-1.18E-03	-0.672	-2.84E-5
-0.043	1.90E-03	-0.222	1.87E-03	-0.402	1.80E-03	-0.582	9.16E-04	-0.762	-1.25E-03	-0.667	2.94E-5
-0.047	1.90E-03	-0.227	1.86E-03	-0.407	1.79E-03	-0.587	8.72E-04	-0.766	-1.32E-03	-0.662	8.67E-5
-0.052	1.90E-03	-0.232	1.86E-03	-0.412	1.79E-03	-0.591	8.28E-04	-0.771	-1.39E-03	-0.658	1.43E-4
-0.057	1.90E-03	-0.237	1.86E-03	-0.416	1.78E-03	-0.596	7.82E-04	-0.776	-1.46E-03	-0.653	1.98E-4
-0.061	1.90E-03	-0.241	1.86E-03	-0.421	1.78E-03	-0.601	7.35E-04	-0.780	-1.53E-03	-0.648	2.54E-4
-0.066	1.89E-03	-0.246	1.86E-03	-0.426	1.77E-03	-0.605	6.87E-04	-0.785	-1.60E-03	-0.643	3.09E-4
-0.071	1.89E-03	-0.251	1.86E-03	-0.430	1.76E-03	-0.610	6.39E-04	-0.790	-1.67E-03	-0.639	3.62E-4
-0.076	1.89E-03	-0.255	1.86E-03	-0.435	1.75E-03	-0.615	5.91E-04	-0.795	-1.74E-03	-0.634	4.15E-4
-0.080	1.89E-03	-0.260	1.86E-03	-0.440	1.74E-03	-0.620	5.41E-04	-0.799	-1.82E-03	-0.629	4.68E-4
-0.085	1.89E-03	-0.265	1.86E-03	-0.445	1.73E-03	-0.624	4.90E-04	-0.804	-1.89E-03	-0.624	5.19E-4
-0.090	1.89E-03	-0.270	1.85E-03	-0.449	1.72E-03	-0.629	4.39E-04	-0.799	-1.81E-03	-0.620	5.69E-4
-0.095	1.89E-03	-0.274	1.85E-03	-0.454	1.70E-03	-0.634	3.87E-04	-0.795	-1.74E-03	-0.615	6.19E-4
-0.099	1.89E-03	-0.279	1.85E-03	-0.459	1.69E-03	-0.639	3.34E-04	-0.790	-1.66E-03	-0.610	6.69E-4
-0.104	1.89E-03	-0.284	1.85E-03	-0.464	1.68E-03	-0.643	2.81E-04	-0.785	-1.59E-03	-0.605	7.16E-4
-0.109	1.89E-03	-0.289	1.85E-03	-0.468	1.66E-03	-0.648	2.27E-04	-0.780	-1.52E-03	-0.601	7.64E-4
-0.114	1.89E-03	-0.293	1.85E-03	-0.473	1.64E-03	-0.653	1.73E-04	-0.776	-1.45E-03	-0.596	8.11E-4
-0.118	1.88E-03	-0.298	1.85E-03	-0.478	1.63E-03	-0.658	1.18E-04	-0.771	-1.38E-03	-0.591	8.57E-4
-0.123	1.89E-03	-0.303	1.85E-03	-0.482	1.61E-03	-0.662	6.17E-05	-0.766	-1.31E-03	-0.587	9.03E-4
-0.128	1.88E-03	-0.307	1.85E-03	-0.487	1.58E-03	-0.667	4.88E-06	-0.762	-1.24E-03	-0.582	9.47E-4
-0.132	1.88E-03	-0.312	1.85E-03	-0.492	1.56E-03	-0.672	-5.23E-05	-0.757	-1.17E-03	-0.577	9.91E-4
-0.137	1.88E-03	-0.317	1.84E-03	-0.497	1.54E-03	-0.676	-1.10E-04	-0.752	-1.10E-03	-0.572	1.03E-3
-0.142	1.88E-03	-0.322	1.84E-03	-0.501	1.51E-03	-0.681	-1.69E-04	-0.747	-1.03E-03	-0.568	1.07E-3
-0.147	1.88E-03	-0.326	1.84E-03	-0.506	1.49E-03	-0.686	-2.29E-04	-0.743	-9.65E-04	-0.563	1.12E-3
-0.151	1.88E-03	-0.331	1.84E-03	-0.511	1.46E-03	-0.691	-2.89E-04	-0.738	-8.99E-04	-0.558	1.15E-3
-0.156	1.88E-03	-0.336	1.84E-03	-0.516	1.43E-03	-0.695	-3.49E-04	-0.733	-8.32E-04	-0.553	1.19E-3
-0.161	1.88E-03	-0.341	1.84E-03	-0.520	1.40E-03	-0.700	-4.10E-04	-0.728	-7.67E-04	-0.549	1.23E-3
-0.166	1.88E-03	-0.345	1.83E-03	-0.525	1.37E-03	-0.705	-4.72E-04	-0.724	-7.02E-04	-0.544	1.27E-3
-0.170	1.88E-03	-0.350	1.83E-03	-0.530	1.34E-03	-0.710	-5.35E-04	-0.719	-6.38E-04	-0.539	1.30E-3
-0.175	1.88E-03	-0.355	1.83E-03	-0.535	1.31E-03	-0.714	-5.97E-04	-0.714	-5.74E-04	-0.535	1.34E-3





**Cuadro A.49.** Datos de la simulación de los datos de EIS con el programa ZView2 para la celda 2 sensibilizada con el tinte Z907.

Corrida	Chi-Sqr	Sum-Sqr	Rseries(+)	Rseries(Error)	Rseries(Error%)	RP(+)	RP(Error)	RP(Error%)	CPE Pt-T(+)	CPE Pt-T(Error)	CPE Pt-T(Error%)	CPE Pt-P(X)	RC T(+)	RCT(Error)	RCT(Error%)	CPEC T(+)	CPECT-T(Error)	CPECT-T(Error%)	CPEC T-P(X)	DX1-R(+)	DX1-R(Error)	DX1-R(Error%)	DX1-D(+)	DX1-D(Error)	DX1-D(Error%)	DX1-E(+)	DX1-E(Error)	DX1-E(Error%)	DX1-F(X)		
16	3.3 E-03	0.36	25.6	0.10	0.40	26.56	0.32	1.2	3.0E-05	7.1E-07	2.3	0.80	3.2 E+01	1.40	4.3	1.1E-03	3.8E-05	3.6	0.94												
15	6.6 E-04	0.06	25.7	0.07	0.27	31.54	0.18	0.6	3.0E-05	3.6E-07	1.2	0.80	7.2 E+01	0.37	0.5	8.2E-04	9.2E-06	1.1	0.89												
14	6.4 E-04	0.06	25.8	0.07	0.29	36.93	0.21	0.6	3.0E-05	3.5E-07	1.2	0.80	1.5 E+01	0.65	0.4	4.7E-04	3.7E-06	0.8	0.93												
13	7.4 E-04	0.07	25.9	0.09	0.34	43.53	0.28	0.6	2.9E-05	3.5E-07	1.2	0.80	3.6 E+01	1.64	0.5	2.8E-04	1.7E-06	0.6	0.94												
12	1.6 E-03	0.15	26.1	0.14	0.53	61.85	0.63	1.0	2.9E-05	4.6E-07	1.6	0.80	1.0 E+01	7.20	0.7	1.6E-04	1.2E-06	0.8	0.94												
11	5.4 E-04	0.05	25.7	0.12	0.46	36.58	5.27	14.4	3.3E-04	1.1E-04	31.6	1.00	2.9 E+01	28.77	1.0	1.3E-06	5.6E-08	4.3	1.00	407.2	26.6	6.5	8.6E-05	8.2E-07	0.95	0.94	0.007	0.8	1		
10	3.7 E-04	0.03	25.4	0.10	0.38	33.26	12.9	7	3.6E-05	8.3E-07	2.3	1.00	8.0 E+01	3	0.8	1.1E-05	3.4E-07	3.0	0.83	293.5	8.4	2.8	4.4E-05	4.0E-07	0.91	0.91	0.005	0.6	1		
9	2.3 E-04	0.02	25.8	0.07	0.27	22.60	170.24	7.5	6.4E-05	3.5E-06	5.5	0.84	1.8 E+01	220.0	1.2	1.2E-05	2.2E-07	1.7	0.85	162.3	4.4	2.7	2.9E-05	8.6E-07	2.99	0.88	0.008	0.9	1		
8	1.9 E-04	0.01	25.5	0.09	0.35	21.8	829.84	4.8	3.2E-05	8.1E-07	2.5	0.84	2.7 E+01	871.9	3.2	9.3E-06	7.7E-07	8.3	0.85	103.8	4.3	4.1	3.0E-05	1.6E-06	5.32	0.98	0.008	0.8	1		
7	1.7 E-04	0.01	25.4	0.09	0.37	22.4	2680.60	7.2	2.5E-05	3.6E-07	1.4	0.84	5.9 E+01	2019.4	3.4	6.1E-06	9.9E-07	16.2	0.85	87.8	3.6	4.0	2.0E-05	7.5E-07	3.67	1.06	0.007	0.7	1		
6	7.5 E-04	0.07	26.4	0.11	0.41	38.24	1.06	2.8	3.6E-05	7.8E-07	2.2	0.80	2.1 E+01	2907.60	1.4	1.0E-05	2.8E-08	0.3	0.91												
5	9.4 E-04	0.09	26.2	0.12	0.45	42.85	1.39	3.3	3.4E-05	7.7E-07	2.3	0.80	3.6 E+01	6811.00	1.9	7.8E-06	2.3E-08	0.3	0.92												
4	9.9 E-04	0.09	26.2	0.12	0.45	46.18	1.72	3.7	3.3E-05	7.7E-07	2.3	0.80	5.6 E+01	1226.00	2.2	5.9E-06	1.7E-08	0.3	0.93												
3	1.0 E-03	0.09	26.2	0.12	0.45	46.63	2.03	4.4	3.4E-05	8.3E-07	2.5	0.80	8.2 E+01	2014.90	2.4	4.6E-06	1.3E-08	0.3	0.94												
2	8.7 E-04	0.08	26.2	0.11	0.41	41.6	2.00	4.8	3.6E-05	9.4E-07	2.6	0.80	1.2 E+01	2859.60	2.5	3.8E-06	9.6E-09	0.3	0.94												
1	8.2 E-04	0.07	26.1	0.10	0.40	34.7	1.89	5.4	3.9E-05	1.1E-06	2.9	0.80	1.4 E+01	3693.60	2.5	3.3E-06	7.8E-09	0.2	0.94												
0	8.9 E-04	0.08	26.1	0.11	0.42	26.9	1.73	6.4	4.3E-05	1.5E-06	3.6	0.80	1.6 E+01	4108.60	2.6	3.0E-06	7.3E-09	0.2	0.94												

**Cuadro A.50.** Datos de la simulación de los datos de EIS con el programa ZView2 para la celda 4 sensibilizada con el tinte Z907.

Corrida	Chi-Sqr	Sum-Sqr	Rseries(+)	Rseries(Error)	Rseries(Error%)	RP(+)	RP(Error)	RP(Error%)	CPE Pt-(+)	CPE Pt-(Error)	CPE Pt-(Error%)	CPE Pt-P(X)	RC T(+)	RC T(Error)	RC T(Error%)	CPEC T-(+)	CPECT-(Error)	CPECT-(Error%)	CPEC T-P(X)	DX1-R(+)	DX1-R(Error)	DX1-R(Error%)	DX1-D(+)	DX1-D(Error)	DX1-D(Error%)	DX1-E(+)	DX1-E(Error)	DX1-E(Error%)	DX1-F(X)		
16	8.6E-05	0.008	31.59	0.03	0.09	42.38	0.08	0.2	1.4E-05	5.1E-08	0.4	0.87	5.8E+01	0.13	0.2	6.9E-04	3.8E-06	0.5	0.91												
15	9.4E-05	0.009	31.74	0.03	0.10	60.98	0.11	0.2	1.4E-05	4.4E-08	0.3	0.88	1.0E+02	0.22	0.2	4.6E-04	2.2E-06	0.5	0.94												
14	1.2E-04	0.011	31.96	0.04	0.12	82.66	0.17	0.2	1.3E-05	4.3E-08	0.3	0.88	2.2E+02	0.46	0.2	2.9E-04	1.2E-06	0.4	0.95												
13	1.2E-04	0.011	32.21	0.04	0.14	101.6	0.23	0.2	1.3E-05	4.2E-08	0.3	0.88	5.2E+02	1.02	0.2	1.8E-04	5.4E-07	0.3	0.95												
12	1.4E-04	0.013	32.39	0.05	0.16	121.2	0.33	0.3	1.3E-05	4.8E-08	0.4	0.87	1.3E+03	2.86	0.2	1.1E-04	2.7E-07	0.3	0.96												
11	1.4E-04	0.013	32.58	0.05	0.17	63.92	0.74	1.2	8.4E-06	7.9E-08	0.9	1.00	7.4E+03	7.10	0.2	2.3E-06	4.3E-08	1.9	1.00	296.9	4.1	1.4	5.8E-05	2.3E-07	0.39	0.95	0.001	0.1	1		
10	1.5E-04	0.015	32.78	0.07	0.22	31.87	1.18	3.7	1.7E-05	8.3E-07	5.0	1.00	3E+03	24.97	0.3	2.1E-06	3.6E-08	1.7	1.00	799.6	8.9	1.1	3.3E-05	1.8E-07	0.55	0.93	0.002	0.2	1		
9	1.5E-04	0.015	32.75	0.07	0.22	37.91	12.45	3.3	2.2E-05	5.5E-07	2.6	1.00	1.5E+04	72.28	0.5	1.9E-06	1.3E-08	0.7	1.00	700.6	16.2	2.3	2.1E-05	1.3E-07	0.60	0.88	0.003	0.4	1		
8	3.6E-04	0.034	33.22	0.11	0.32	90.21	90.85	10.1	2.9E-05	2.7E-06	9.4	1.00	2.5E+04	247.08	1.0	1.9E-06	1.6E-08	0.8	1.00	655.5	18.0	2.7	1.5E-05	1.9E-07	1.25	0.81	0.007	0.8	1		
7	4.0E-04	0.034	33.25	0.11	0.34	57.21	845.89	14.8	1.9E-05	1.9E-06	9.8	1.00	4E+04	562.89	1.6	1.8E-06	2.2E-08	1.2	1.00	613.5	25.2	4.1	1.2E-05	8.0E-07	6.79	0.80	0.007	0.9	1		
6	3.2E-04	0.032	32.38	0.09	0.26	76.45	2.09	2.7	1.5E-05	2.2E-07	1.5	0.91	6.2E+04	295.92	0.5	6.0E-06	1.4E-08	0.2	0.90												
5	2.0E-04	0.02	32.43	0.07	0.21	95.22	2.04	2.1	1.7E-05	1.8E-07	1.0	0.87	9.5E+04	373.78	0.4	4.6E-06	7.9E-09	0.2	0.92												
4	2.0E-04	0.02	32.48	0.07	0.20	103.3	2.32	2.2	1.7E-05	1.8E-07	1.0	0.87	1.4E+05	568.91	0.4	3.8E-06	6.2E-09	0.2	0.93												
3	1.7E-04	0.017	32.36	0.06	0.19	104.8	2.36	2.3	1.7E-05	1.7E-07	1.0	0.86	1.8E+05	750.32	0.4	3.3E-06	4.9E-09	0.1	0.94												
2	2.1E-04	0.021	32.39	0.07	0.21	96.87	2.62	2.7	1.7E-05	2.0E-07	1.2	0.87	2.3E+05	1150.80	0.5	3.0E-06	4.8E-09	0.2	0.94												
1	3.3E-04	0.033	32.21	0.08	0.26	90.83	3.31	3.6	1.6E-05	2.6E-07	1.6	0.88	2.9E+05	1979.10	0.7	2.9E-06	5.7E-09	0.2	0.93												
0	2.6E-04	0.026	31.95	0.08	0.24	82.06	2.94	3.6	1.5E-05	2.5E-07	1.6	0.89	2.6E+05	1514.30	0.6	2.9E-06	5.2E-09	0.2	0.93												

**Cuadro A.51.** Datos de la simulación de los datos de EIS con el programa ZView2 para la celda 6 sensibilizada con el tinte Z907.

Corrida	Chi-Sqr	Sum-Sqr	Rseries(+)	Rseries(Error)	Rseries(Error%)	RP(+)	RP(Error)	RP(Error%)	CPE Pt-T(+)	CPE Pt-T(Error)	CPE Pt-T(Error%)	CPE Pt-P(X)	RC T(+)	RC T(Error)	RC T(Error%)	CPECT-T(+)	CPECT-T(Error)	CPECT-T(Error%)	CPECT-T-P(X)	DX1-R(+)	DX1-R(Error)	DX1-R(Error%)	DX1-D(+)	DX1-D(Error)	DX1-D(Error%)	DX1-E(+)	DX1-E(Error)	DX1-E(Error%)	DX1-F(X)			
16	1.8E-04	0.018	29.95	0.03	0.11	27.68	0.09	0.3	2.9E-05	1.9E-07	0.6	0.85	5.5E+01	0.15	0.3	5.9E-04	3.9E-06	0.7	0.91													
15	1.6E-04	0.015	30.04	0.04	0.12	34.4	0.11	0.3	3.1E-05	1.7E-07	0.6	0.85	1.1E+02	0.22	0.2	3.8E-04	1.7E-06	0.4	0.94													
14	2.1E-04	0.021	30.14	0.05	0.15	40.25	0.15	0.4	3.4E-05	2.3E-07	0.7	0.83	2.5E+02	0.52	0.2	2.4E-04	8.8E-07	0.4	0.95													
13	1.5E-04	0.015	30.18	0.05	0.15	47.39	0.17	0.4	3.6E-05	2.2E-07	0.6	0.81	6.3E+02	1.19	0.2	1.4E-04	3.4E-07	0.2	0.96													
12	7.8E-05	0.0078	30.07	0.04	0.12	66.91	0.19	0.3	3.3E-05	1.3E-07	0.4	0.80	1.8E+03	2.61	0.1	7.8E-05	1.2E-07	0.2	0.96													
11	9.2E-05	0.0092	29.95	0.05	0.16	15.7	0.57	3.7	1.9E-05	8.2E-07	4.3	1.00	4.8E+03	10.87	0.2	1.5E-05	3.2E-07	2.1	0.85	499.4	5.4	1.1	3.3E-05	3.3E-07	1.00	0.97	0.002	0.2	1			
10	3.9E-04	0.039	30.36	0.08	0.27	24.03	0.86	3.6	1.1E-05	2.8E-07	2.5	1.00	1.1E+04	80.39	0.8	2.2E-05	2.5E-07	1.2	0.85	3709	143.9	3.9	1.1E-05	2.6E-07	2.24	1.02	0.007	0.7	1			
9	4.0E-04	0.040	29.87	0.12	0.42	25.13	1.01	4.0	1.3E-05	8.4E-07	6.3	1.00	2.5E+04	162.14	0.6	1.7E-05	1.1E-06	6.6	0.84	84.59	41.2	48.7	7.1E-06	1.2E-06	16.37	0.84	0.005	0.6	1			
8	1.6E-04	0.016	29.75	0.05	0.18	79.87	10.7	13.4	4.1E-05	4.5E-06	10.9	0.90	4.4E+04	192.98	0.4	1.5E-05	1.9E-07	1.2	0.84	539.5	40.4	7.5	1.2E-06	1.4E-07	11.86	1.15	0.024	2.1	1			
7	7.5E-04	0.075	29.51	0.12	0.42	44.85	27.0	6.0	1.9E-05	7.9E-07	4.2	0.90	8.3E+04	901.84	0	1.1E-05	1.2E-07	1.1	0.84	275.6	16.1	5.8	9.8E-07	6.5E-08	6.60	1.31	0.013	1.0	1			
6	8.3E-05	0.0083	29.87	0.04	0.13	65.94	0.71	1.1	3.7E-05	2.3E-07	0.6	0.80	1.4E+05	459.53	0.3	8.5E-06	8.4E-09	0.1	0.92													
5	7.2E-05	0.0072	29.76	0.04	0.12	71.25	0.75	1.1	3.4E-05	1.9E-07	0.6	0.80	2.4E+05	822.99	0.3	6.5E-06	5.6E-09	0.1	0.93													
4	9.4E-05	0.0094	29.63	0.04	0.14	82.85	1.06	1.3	3.1E-05	2.0E-07	0.6	0.80	3.8E+05	1654.70	0.4	5.0E-06	4.8E-09	0.1	0.94													
3	1.3E-04	0.013	29.43	0.05	0.16	95.59	1.57	1.6	3.0E-05	2.2E-07	0.7	0.80	5.9E+05	3481.40	0.6	4.0E-06	4.5E-09	0.1	0.95													
2	1.9E-04	0.019	29.28	0.05	0.19	107.4	2.31	2.1	3.0E-05	2.5E-07	0.9	0.80	8.6E+05	7157.30	0.8	3.4E-06	4.4E-09	0.1	0.95													
1	2.0E-04	0.020	28.93	0.06	0.19	110.1	2.74	2.5	3.1E-05	2.8E-07	0.9	0.80	1.1E+06	11260.00	1.0	3.1E-06	4.0E-09	0.1	0.95													
0	2.7E-04	0.027	28.56	0.06	0.23	101.3	3.29	3.3	3.3E-05	3.9E-07	1.2	0.80	1.0E+06	10410.00	1.0	2.9E-06	4.5E-09	0.2	0.95													

**Cuadro A.52.** Datos de la simulación de los datos de EIS con el programa ZView2 para la celda 7 sensibilizada con el tinte Z907.

Corrida	Chi-Sqr	Su m-Sqr	Rseries(+)	Rseries(Error)	Rseries(Error%)	RP(+)	RP(Error)	RP(Error%)	CPE Pt-(+)	CPE Pt-(Error)	CPE Pt-(Error%)	CPE Pt-P(X)	RC T(+)	RCT(Error)	RCT(Error%)	CPEC T-(+)	CPECT-(Error)	CPECT-(Error%)	CPEC T-P(X)	DX1-R(+)	DX1-R(Error)	DX1-R(Error%)	DX1-D(+)	DX1-D(Error)	DX1-D(Error%)	DX1-E(+)	DX1-E(Error)	DX1-E(Error%)	DX1-F(X)		
16	1.2E-04	0.011	27.77	0.03	0.12	38.45	0.10	0.3	2.7E-05	1.3E-07	0.5	0.82	7.0E+01	0.20	0.3	6.5E-04	4.0E-06	0.6	0.89												
15	1.4E-04	0.013	27.92	0.04	0.14	49.2	0.14	0.3	2.7E-05	1.3E-07	0.5	0.82	1.3E+02	0.35	0.3	4.1E-04	2.0E-06	0.5	0.92												
14	2.1E-04	0.019	27.94	0.05	0.18	58.97	0.21	0.4	2.8E-05	1.6E-07	0.6	0.81	3.0E+02	0.90	0.3	2.6E-04	1.1E-06	0.4	0.94												
13	2.5E-04	0.022	27.91	0.06	0.22	67.7	0.29	0.4	2.9E-05	1.9E-07	0.6	0.80	7.4E+02	2.69	0.4	1.5E-04	5.2E-07	0.4	0.95												
12	2.1E-04	0.018	28.48	0.06	0.21	83.5	0.35	0.4	2.6E-05	1.5E-07	0.6	0.80	2.1E+03	7.61	0.4	8.3E-05	2.2E-07	0.3	0.96												
11	8.1E-05	0.008	27.86	0.05	0.18	22.19	0.45	2.0	1.5E-05	4.1E-07	2.7	1.00	5.7E+03	13.17	0.2	1.0E-05	1.9E-07	1.9	0.84	438.2	3.7	0.9	3.7E-05	2.2E-07	0.58	0.97	0.001	0.1	1		
10	3.8E-04	0.036	28.54	0.09	0.32	81.1	1.09	5.8	1.0E-05	4.2E-07	4.2	1.00	1.5E+04	95.94	0.6	1.5E-05	2.5E-07	1.7	0.84	2201	61.5	2.8	1.4E-05	2.7E-07	1.85	0.99	0.005	0.5	1		
9	3.4E-04	0.032	28.39	0.08	0.29	89.09	0.68	3.8	9.4E-06	2.9E-07	3.0	1.00	3.0E+04	537.16	1.8	1.5E-05	1.1E-07	0.8	0.83	27807	1392.4	5.0	5.8E-06	1.8E-07	3.09	1.06	0.014	1.3	1		
8	1.2E-04	0.011	27.57	0.05	0.18	14.25	97.97	6.9	6.1E-05	2.9E-06	4.7	1.00	4.8E+04	499.46	0.6	1.2E-05	9.1E-08	0.8	0.82	1222	32.0	2.6	1.8E-06	4.4E-08	2.49	0.98				1	
7	1.0E-04	0.010	28.02	0.05	0.17	5.01	1197.50	10.0	3.2E-05	2.1E-06	6.4	1.00	1.6E+05	1141.10	0.7	9.2E-06	2.2E-07	2.3	0.84	1116	26.7	2.4	1.6E-06	2.5E-08	1.59	0.98				1	
6	4.6E-04	0.045	28.24	0.10	0.34	36.22	1.25	3.5	3.6E-05	8.2E-07	2.2	0.80	2.7E+05	2484.80	0.9	6.1E-06	1.3E-08	0.2	0.91												
5	4.8E-04	0.047	28.62	0.10	0.34	39.49	1.40	3.5	3.4E-05	7.3E-07	2.2	0.80	3.9E+05	3987.80	1.0	4.8E-06	1.0E-08	0.2	0.92												
4	4.2E-04	0.042	28.81	0.09	0.31	43.11	1.45	3.4	3.2E-05	6.1E-07	1.9	0.80	5.1E+05	5885.50	1.1	3.8E-06	7.3E-09	0.2	0.93												
3	5.3E-04	0.051	28.71	0.10	0.34	42.52	1.77	4.2	3.2E-05	7.2E-07	2.3	0.80	6.5E+05	8800.20	1.3	3.2E-06	6.8E-09	0.2	0.94												
2	7.0E-04	0.067	28.67	0.11	0.39	37.31	2.05	5.5	3.4E-05	9.9E-07	2.9	0.80	9.2E+05	16558.00	1.8	2.8E-06	6.6E-09	0.2	0.94												
1	8.0E-04	0.076	28.47	0.12	0.42	31.41	2.12	6.7	3.7E-05	1.3E-06	3.6	0.80	1.2E+06	27586.00	2.2	2.5E-06	6.1E-09	0.2	0.94												
0	8.8E-04	0.084	27.99	0.12	0.44	25.33	2.25	8.9	4.4E-05	2.0E-06	4.6	0.80	1.4E+06	32548.00	2.4	2.3E-06	5.9E-09	0.3	0.94												

**Cuadro A.53.** Datos de la simulación de los datos de EIS con el programa ZView2 para la celda 8 sensibilizada con el tinte Z907.

Corrida	Chi-Sqr	Su m-Sqr	Rseries(+)	Rseries(Error)	Rseries(Error%)	RP(+)	RP(Error)	RP(Error%)	CPE Pt-T(+)	CPE Pt-T(Error)	CPE Pt-T(Error%)	CPE Pt-P(X)	RC T(+)	RC T(Error)	RC T(Error%)	CPEC T-T(+)	CPECT-T(Error)	CPECT-T(Error%)	CPEC T-P(X)	DX1-R(+)	DX1-R(Error)	DX1-R(Error%)	DX1-D(+)	DX1-D(Error)	DX1-D(Error%)	DX1-E(+)	DX1-E(Error)	DX1-E(Error%)	DX1-F(X)		
16	5.8E-04	0.056	35.88	0.08	0.23	18.36	0.15	0.8	3.6E-05	7.1E-07	2.0	0.80	3.2E+01	1.40	4.3	1.1E-03	3.8E-05	3.6	0.94												
15	5.8E-04	0.057	35.26	0.09	0.26	20.29	0.16	0.8	3.4E-05	6.9E-07	2.0	0.80	7.2E+01	0.37	0.5	8.2E-04	9.2E-06	1.1	0.89												
14	5.1E-04	0.050	34.38	0.09	0.27	21.38	0.17	0.8	3.2E-05	6.4E-07	2.0	0.80	1.5E+01	0.65	0.4	4.7E-04	3.7E-06	0.8	0.93												
13	7.5E-04	0.073	33.99	0.13	0.38	25.23	0.25	1.0	2.7E-05	6.4E-07	2.3	0.80	3.6E+01	1.64	0.5	2.8E-04	1.7E-06	0.6	0.94												
12	1.2E-03	0.118	33.48	0.17	0.50	42.56	0.52	1.2	2.7E-05	5.8E-07	2.2	0.80	1.0E+01	7.20	0.7	1.6E-04	1.2E-06	0.8	0.94												
11	3.4E-04	0.032	32.49	0.11	0.33	3.79	0.52	13.7	1.3E-05	1.5E-06	11.8	1.00	6.5E+01	3	28.45	0.4	1.6E-05	4.6E-07	2.9	0.80	608.5	12.5	2.1	2.2E-05	4.2E-07	1.91	0.99	0.003	0.3	1	
10	1.4E-04	0.031	33.14	0.11	0.33	4.586	0.29	6.3	9.6E-06	8.2E-07	8.5	0.98	1.8E+01	115.3	0.6	1.6E-05	1.1E-07	0.7	0.82	5710	146.2	2.6	7.2E-06	1.1E-07	1.58	1.06	0.006	0.6	1		
9	1.2E-03	0.121	32.19	0.57	1.76	66.66	0.54	46.1	1.8E-05	2.2E-05	126.6	0.85	5.8E+01	777.5	4	1.3E-05	2.6E-07	2.0	0.81	341.4	60.7	17.8	1.5E-06	1.7E-07	11.13	0.91			1		
8	1.2E-03	0.113	30.49	0.37	1.23	65.65	0.46	31.7	2.3E-06	1.4E-06	60.1	1.00	1.2E+01	1663.60	1.4	7.8E-06	1.6E-07	2.1	0.86	409.5	97.2	23.7	1.2E-06	1.5E-07	12.84	0.95			1		
7	4.9E-04	0.028	29.57	0.15	0.50	17.24	0.21	8.5	2.0E-06	3.0E-07	15.1	1.00	5E+01	1734.80	0.8	5.1E-06	5.4E-08	1.1	0.89	644.5	56.9	8.8	1.1E-06	4.8E-08	4.16	0.95			1		
6	6.1E-04	0.056	30.01	0.11	0.36	20.67	0.70	3.4	3.3E-05	1.0E-06	3.1	0.80	4.1E+01	4075.10	1.0	4.7E-06	9.4E-09	0.2	0.93												
5	6.8E-04	0.056	30.41	0.12	0.38	24.52	0.91	3.7	3.0E-05	9.1E-07	3.0	0.80	5.8E+01	6820.40	1.2	3.7E-06	7.9E-09	0.2	0.94												
4	6.8E-04	0.066	30.82	0.12	0.39	26.24	1.06	4.0	2.9E-05	8.9E-07	3.1	0.80	7.2E+01	8783.70	1.2	3.0E-06	6.5E-09	0.2	0.95												
3	6.0E-04	0.056	30.01	0.11	0.37	22.55	1.01	4.5	3.0E-05	9.7E-07	3.3	0.80	1.0E+01	1199.40	1.2	2.2E-06	4.3E-09	0.2	0.95												
2	3.7E-04	0.036	31.91	0.09	0.29	21.56	0.85	4.0	3.1E-05	8.9E-07	2.8	0.80	1.2E+01	1166.60	0.9	2.0E-06	3.0E-09	0.2	0.96												
1	8.7E-04	0.084	28.48	0.13	0.46	19.11	1.04	5.5	2.7E-05	1.2E-06	4.2	0.80	1.4E+01	2127.60	1.5	1.8E-06	4.2E-09	0.2	0.96												
0	0.04	0.084	28.48	0.13	0.46	19.11	1.04	5.5	2.7E-05	1.2E-06	4.2	0.80	1.4E+01	2127.60	1.5	1.8E-06	4.2E-09	0.2	0.96												

**Cuadro A.54.** Datos de la simulación de los datos de EIS con el programa ZView2 para la celda 1 sensibilizada con pigmento de caimito.

Corrida	Chi-Sqr	Sum-Sqr	Rseries(+)	Rseries(Error)	Rseries(Error%)	RP(+)	RP(Error)	RP(Error%)	CPE Pt-T(+)	CPE Pt-T(Error)	CPE Pt-T(Error%)	CPE Pt-P(X)	RC T(+)	RCT(Error)	RCT(Error%)	CPEC T-T(+)	CPECT-T(Error)	CPECT-T(Error%)	CPEC T-P(X)	DX1-R(+)	DX1-R(Error)	DX1-R(Error%)	DX1-D(+)	DX1-D(Error)	DX1-D(Error%)	DX1-E(+)	DX1-E(Error)	DX1-E(Error%)	DX1-F(X)	
16	9.0E-05	0.003	22.19	0.03	0.14	7.993	0.06	0.8	1.9E-05	2.8E-07	1.4	0.85	1.3E+01	0.09	0.7	7.1E-03	1.3E-04	1.9	0.85											
15	1.4E-04	0.005	22.29	0.04	0.18	9.164	0.09	1.0	1.9E-05	3.3E-07	1.7	0.85	1.3E+01	0.12	0.9	1.0E-02	2.4E-04	2.4	0.85											
14	2.8E-04	0.015	22.39	0.06	0.26	11.04	0.15	1.3	2.0E-05	4.1E-07	2.1	0.85	1.2E+01	0.19	1.6	1.4E-02	5.8E-04	4.0	0.85											
13	5.9E-04	0.022	22.46	0.08	0.37	14.04	0.27	1.9	2.1E-05	5.2E-07	2.5	0.85	1.1E+01	0.33	3.1	1.7E-02	1.3E-03	7.8	0.85											
12	1.2E-03	0.044	22.44	0.12	0.53	18.46	0.56	3.1	2.3E-05	6.8E-07	3.0	0.85	1.1E+01	0.63	5.5	1.2E-02	1.9E-03	15.0	0.85											
11	4.8E-05	0.001	22.45	0.06	0.25	12.57	0.61	4.9	2.0E-05	1.1E-06	5.4	0.90	8.5E+01	1.18	1.4	3.5E-06	2.3E-07	6.5	0.95	11.8	2.1	18.0	1.5E-04	5.5E-06	3.57	0.69	0.008	1.2	0.95	
10	5.5E-05	0.001	22.58	0.05	0.22	87.33	10.09	11.5	3.9E-05	1.6E-06	4.0	0.90	1.5E+02	10.45	6.9	3.3E-06	8.5E-08	2.6	0.95	106.3	7.1	6.7	9.3E-05	1.6E-05	17.19	0.80	0.014	1.7	0.95	
9	2.8E-05	0.001	22.47	0.04	0.19	79.28	31.72	4.0	3.0E-05	1.4E-06	4.6	0.80	2.3E+02	27.94	12.2	5.2E-06	2.1E-07	4.1	0.98	37.64	3.7	9.9	3.0E-05	1.5E-06	5.08	0.94	0.019	2.0	0.95	
8	3.0E-05	0.001	22.45	0.04	0.19	35.31	168.22	4.8	1.3E-05	6.8E-07	5.4	0.88	8.9E+02	151.67	17.1	1.6E-05	4.2E-07	2.7	0.85	68.54	11.8	17.2	8.9E-06	2.0E-06	22.92	1.02	0.006	0.6	0.95	
7	2.4E-04	0.008	22.09	0.11	0.48	12.65	1.13	8.9	5.9E-06	4.1E-07	6.8	1.00	1.8E+02	96.05	0.5	5.1E-06	2.9E-07	5.6	0.85	14.85	1.8	12.0	1.2E-06	2.3E-07	19.72	1.05	0.020	1.9	0.9	
6	2.4E-04	0.008	21.94	0.12	0.55	12.54	0.94	7.5	5.7E-06	3.1E-07	5.5	1.00	7.4E+02	558.39	0.7	2.9E-06	2.1E-07	7.4	0.85	10.45	1.1008	10.534	3E-06	1.9641E-07	11.74	1.01	0.0109	1.0805	0.9	
5	3.6E-04	0.021	22.81	0.13	0.55	10.4	0.69	6.7	2.5E-05	1.6E-06	6.3	0.86	2.7E+02	2400.60	0.9	3.2E-06	9.7E-09	0.3	0.95											
4	9.3E-04	0.034	23.03	0.14	0.60	11.57	0.51	4.4	1.2E-05	4.8E-07	4.1	0.92	7.9E+02	8459.20	1.1	2.7E-06	5.7E-09	0.2	0.96											
3	1.6E-03	0.061	22.96	0.18	0.78	9.149	0.96	10.5	1.2E-05	8.4E-07	7.1	0.92	4.7E+02	6490.60	3.2	2.4E-06	7.5E-09	0.3	0.96											
2	5.4E-03	0.021	23.06	0.18	0.78	9.149	0.96	10.5	1.7E-05	1.7E-06	9.9	0.88	6.5E+02	3805.90	8.1	2.2E-06	8.3E-09	0.4	0.96											
1	5.5E-03	0.021	23.05	0.10	0.42	13.2	0.72	5.5	1.6E-05	6.7E-07	4.3	0.89	5.9E+02	3614.30	5.6	1.9E-06	4.2E-09	0.2	0.97											
0	0.04	0.021	22.94	0.11	0.46	10.37	0.77	7.4	2.6E-05	1.5E-06	5.9	0.85	6E+02	3071.00	5.2	1.9E-06	4.4E-09	0.2	0.96											

**Cuadro A.55.** Datos de la simulación de los datos de EIS con el programa ZView2 para la celda 3 sensibilizada con pigmento de curcumina.

Corrida	Chi-Sqr	Sum-Sqr	Rseries(+)	Rseries(Error)	Rseries(Error%)	RP(+)	RP(Error)	RP(Error%)	CPE Pt-(+)	CPE Pt-(Error)	CPE Pt-(Error%)	CPE Pt-(P(X))	RC T(+)	RC T(Error)	RC T(Error%)	CPEC T-(+)	CPECT-(Error)	CPECT-(Error%)	CPEC T-(P(X))	DX1-R(+)	DX1-R(Error)	DX1-R(Error%)	DX1-D(+)	DX1-D(Error)	DX1-D(Error%)	DX1-E(+)	DX1-E(Error)	DX1-E(Error%)	DX1-F(X)		
16	3.3E-03	0.36	25.6	0.10	0.40	26.56	0.32	1.2	3.0E-05	7.1E-07	2.3	0.80	3.2E+01	1.40	4.3	1.1E-03	3.8E-05	3.6	0.94												
15	6.6E-04	0.06	25.7	0.07	0.27	31.54	0.18	0.6	3.0E-05	3.6E-07	1.2	0.80	7.2E+01	0.37	0.5	8.2E-04	9.2E-06	1.1	0.89												
14	6.4E-04	0.06	25.8	0.07	0.29	36.93	0.21	0.6	3.0E-05	3.5E-07	1.2	0.80	1.5E+01	0.65	0.4	4.7E-04	3.7E-06	0.8	0.93												
13	7.4E-04	0.07	25.9	0.09	0.34	43.53	0.28	0.6	2.9E-05	3.5E-07	1.2	0.80	3.6E+01	1.64	0.5	2.8E-04	1.7E-06	0.6	0.94												
12	1.6E-03	0.15	26.1	0.14	0.53	61.85	0.63	1.0	2.9E-05	4.6E-07	1.6	0.80	1.0E+01	7.20	0.7	1.6E-04	1.2E-06	0.8	0.94												
11	5.4E-04	0.05	25.7	0.12	0.46	36.58	5.27	14.4	3.3E-04	1.1E-04	31.6	1.00	3E+01	28.77	1.0	1.3E-06	5.6E-08	4.3	1.00	407.2	26.6	6.5	8.6E-05	8.2E-07	0.95	0.94	0.007	0.8	1		
10	3.7E-04	0.03	25.4	0.10	0.38	33.26	12.9	7	3.6E-05	8.3E-07	2.3	1.00	8.0E+01	66.15	0.8	1.1E-05	3.4E-07	3.0	0.83	293.5	8.4	2.8	4.4E-05	4.0E-07	0.91	0.91	0.005	0.6	1		
9	2.3E-04	0.02	25.8	0.07	0.27	22.60	170.24	7.5	6.4E-05	3.5E-06	5.5	0.84	1.8E+01	220.0	1.2	1.2E-05	2.2E-07	1.7	0.85	162.3	4.4	2.7	2.9E-05	8.6E-07	2.99	0.88	0.008	0.9	1		
8	1.9E-04	0.01	25.5	0.09	0.35	21.8	829.84	4.8	3.2E-05	8.1E-07	2.5	0.84	2.7E+01	871.9	3.2	9.3E-06	7.7E-07	8.3	0.85	103.8	4.3	4.1	3.0E-05	1.6E-06	5.32	0.98	0.008	0.8	1		
7	1.7E-04	0.01	25.4	0.09	0.37	22.4	2680.60	7.2	2.5E-05	3.6E-07	1.4	0.84	5.9E+01	2019.4	3.4	6.1E-06	9.9E-07	16.2	0.85	87.8	3.6	4.0	2.0E-05	7.5E-07	3.67	1.06	0.007	0.7	1		
6	7.5E-04	0.07	26.4	0.11	0.41	38.24	1.06	2.8	3.6E-05	7.8E-07	2.2	0.80	2.1E+01	2907.60	1.4	1.0E-05	2.8E-08	0.3	0.91												
5	9.4E-04	0.09	26.2	0.12	0.45	42.85	1.39	3.3	3.4E-05	7.7E-07	2.3	0.80	3.6E+01	6811.5	1.9	7.8E-06	2.3E-08	0.3	0.92												
4	9.9E-04	0.09	26.2	0.12	0.45	46.18	1.72	3.7	3.3E-05	7.7E-07	2.3	0.80	5.6E+01	1226.5	2.2	5.9E-06	1.7E-08	0.3	0.93												
3	1.0E-03	0.09	26.2	0.12	0.45	46.63	2.03	4.4	3.4E-05	8.3E-07	2.5	0.80	8.2E+01	2014.5	2.4	4.6E-06	1.3E-08	0.3	0.94												
2	8.7E-04	0.08	26.2	0.11	0.41	41.6	2.00	4.8	3.6E-05	9.4E-07	2.6	0.80	1.2E+01	2859.6	2.5	3.8E-06	9.6E-09	0.3	0.94												
1	8.2E-04	0.07	26.1	0.10	0.40	34.7	1.89	5.4	3.9E-05	1.1E-06	2.9	0.80	1.4E+01	3693.6	2.5	3.3E-06	7.8E-09	0.2	0.94												
0	8.9E-04	0.08	26.1	0.11	0.42	26.9	1.73	6.4	4.3E-05	1.5E-06	3.6	0.80	1.6E+01	4108.6	2.6	3.0E-06	7.3E-09	0.2	0.94												

**Cuadro A.56.** Datos de la simulación de los datos de EIS con el programa ZView2 para la celda 2 sensibilizada con pigmento de rosa de jamaica.

Corrida	Chi-Sqr	Sum-Sqr	Rseries(+)	Rseries(Error)	RP(+)	RP(Error)	RP(Error%)	CPE Pt-(+)	CPE Pt-(Error)	CPE Pt-(Error%)	CPE Pt-(X)	RC T(+)	RC T-(Error)	RC T-(Error%)	CPEC T-(+)	CPECT-(Error)	CPECT-(Error%)	CPEC T-(X)	DX1-R(+)	DX1-R(Error)	DX1-R(Error%)	DX1-D(+)	DX1-D(Error)	DX1-D(Error%)	DX1-E(+)	DX1-E(Error)	DX1-E(Error%)	DX1-F(X)			
16	8.6E-05	0.008	31.59	0.03	0.09	42.38	0.08	0.2	1.4E-05	5.1E-08	0.4	0.87	0.13	0.2	6.9E-04	3.8E-06	0.5	0.91													
15	9.4E-05	0.009	31.74	0.03	0.10	60.98	0.11	0.2	1.4E-05	4.4E-08	0.3	0.88	0.22	0.2	4.6E-04	2.2E-06	0.5	0.94													
14	1.2E-04	0.011	31.96	0.04	0.12	82.66	0.17	0.2	1.3E-05	4.3E-08	0.3	0.88	0.46	0.2	2.9E-04	1.2E-06	0.4	0.95													
13	1.2E-04	0.011	32.21	0.04	0.14	101.6	0.23	0.2	1.3E-05	4.2E-08	0.3	0.88	1.02	0.2	1.8E-04	5.4E-07	0.3	0.95													
12	1.4E-04	0.013	32.39	0.05	0.16	121.2	0.33	0.3	1.3E-05	4.8E-08	0.4	0.87	2.86	0.2	1.1E-04	2.7E-07	0.3	0.96													
11	1.4E-04	0.013	32.58	0.05	0.17	63.92	0.74	1.2	8.4E-06	7.9E-08	0.9	1.00	7.10	0.2	2.3E-06	4.3E-08	1.9	1.00	296.9	4.1	1.4	5.8E-05	2.3E-07	0.39	0.95	0.001	0.1	1			
10	1.5E-04	0.015	32.78	0.07	0.22	31.87	1.18	3.7	1.7E-05	8.3E-07	5.0	1.00	24.97	0.3	2.1E-06	3.6E-08	1.7	1.00	799.6	8.9	1.1	3.3E-05	1.8E-07	0.55	0.93	0.002	0.2	1			
9	1.5E-04	0.015	32.75	0.07	0.22	37.91	12.45	3.3	2.2E-05	5.5E-07	2.6	1.00	72.28	0.5	1.9E-06	1.3E-08	0.7	1.00	700.6	16.2	2.3	2.1E-05	1.3E-07	0.60	0.88	0.003	0.4	1			
8	3.6E-04	0.034	33.22	0.11	0.32	90.21	90.85	10.1	2.9E-05	2.7E-06	9.4	1.00	247.0	1.0	1.9E-06	1.6E-08	0.8	1.00	655.5	18.0	2.7	1.5E-05	1.9E-07	1.25	0.81	0.007	0.8	1			
7	4.0E-04	0.034	33.25	0.11	0.34	57.21	845.89	14.8	1.9E-05	1.9E-06	9.8	1.00	562.8	1.6	1.8E-06	2.2E-08	1.2	1.00	613	25.2	4.1	1.2E-05	8.0E-07	6.79	0.80	0.007	0.9	1			
6	3.2E-04	0.032	32.38	0.09	0.26	76.45	2.09	2.7	1.5E-05	2.2E-07	1.5	0.91	295.9	0.5	6.0E-06	1.4E-08	0.2	0.90													
5	2.0E-04	0.02	32.43	0.07	0.21	95.22	2.04	2.1	1.7E-05	1.8E-07	1.0	0.87	373.7	0.4	4.6E-06	7.9E-09	0.2	0.92													
4	2.0E-04	0.02	32.48	0.07	0.20	103.3	2.32	2.2	1.7E-05	1.8E-07	1.0	0.87	568.9	0.4	3.8E-06	6.2E-09	0.2	0.93													
3	1.7E-04	0.017	32.36	0.06	0.19	104.8	2.36	2.3	1.7E-05	1.7E-07	1.0	0.86	750.3	0.4	3.3E-06	4.9E-09	0.1	0.94													
2	2.1E-04	0.021	32.39	0.07	0.21	96.87	2.62	2.7	1.7E-05	2.0E-07	1.2	0.87	1150.80	0.5	3.0E-06	4.8E-09	0.2	0.94													
1	3.3E-04	0.033	32.21	0.08	0.26	90.83	3.31	3.6	1.6E-05	2.6E-07	1.6	0.88	1979.10	0.7	2.9E-06	5.7E-09	0.2	0.93													
0	2.6E-04	0.026	31.95	0.08	0.24	82.06	2.94	3.6	1.5E-05	2.5E-07	1.6	0.89	1514.30	0.6	2.9E-06	5.2E-09	0.2	0.93													



**Cuadro A.57.** Datos de la simulación de los datos de EIS con el programa ZView2 para la celda 2 sensibilizada con pigmento de picramnia.

Corrida	Chi-Sqr	Sum-Sqr	Rseries(+)	Rseries(Error)	RP(+)	RP(Error)	RP(Error%)	CPE Pt-T(+)	CPE Pt-T(Error)	CPE Pt-T(Error%)	CPE Pt-P(X)	RC T(+)	RC T(Error)	RC T(Error%)	CPECT-T(+)	CPECT-T(Error)	CPECT-T(Error%)	CPECT-T-P(X)	DX1-R(+)	DX1-R(Error)	DX1-R(Error%)	DX1-D(+)	DX1-D(Error)	DX1-D(Error%)	DX1-E(+)	DX1-E(Error)	DX1-E(Error%)	DX1-F(X)		
16	1.8E-04	0.018	29.95	0.03	0.11	27.68	0.09	0.3	2.9E-05	1.9E-07	0.6	0.85	5.5E+01	0.15	0.3	5.9E-04	3.9E-06	0.7	0.91											
15	1.6E-04	0.015	30.04	0.04	0.12	34.4	0.11	0.3	3.1E-05	1.7E-07	0.6	0.85	1.1E+02	0.22	0.2	3.8E-04	1.7E-06	0.4	0.94											
14	2.1E-04	0.021	30.14	0.05	0.15	40.25	0.15	0.4	3.4E-05	2.3E-07	0.7	0.83	2.5E+02	0.52	0.2	2.4E-04	8.8E-07	0.4	0.95											
13	1.5E-04	0.015	30.18	0.05	0.15	47.39	0.17	0.4	3.6E-05	2.2E-07	0.6	0.81	6.3E+02	1.19	0.2	1.4E-04	3.4E-07	0.2	0.96											
12	7.8E-05	0.0078	30.07	0.04	0.12	66.91	0.19	0.3	3.3E-05	1.3E-07	0.4	0.80	1.8E+03	2.61	0.1	7.8E-05	1.2E-07	0.2	0.96											
11	9.2E-05	0.0092	29.95	0.05	0.16	15.7	0.57	3.7	1.9E-05	8.2E-07	4.3	1.00	4.8E+03	10.87	0.2	1.5E-05	3.2E-07	2.1	0.85	499.4	5.4	1.1	3.3E-05	3.3E-07	1.00	0.97	0.002	0.2	1	
10	3.9E-04	0.039	30.36	0.08	0.27	24.03	0.86	3.6	1.1E-05	2.8E-07	2.5	1.00	1.1E+04	80.39	0.8	2.2E-05	2.5E-07	1.2	0.85	3709	143.9	3.9	1.1E-05	2.6E-07	2.24	1.02	0.007	0.7	1	
9	4.0E-04	0.040	29.87	0.12	0.42	25.13	1.01	4.0	1.3E-05	8.4E-07	6.3	1.00	2.5E+04	162.14	0.6	1.7E-05	1.1E-06	6.6	0.84	84.59	41.2	48.7	7.1E-06	1.2E-06	16.37	0.84	0.005	0.6	1	
8	1.6E-04	0.016	29.75	0.05	0.18	79.87	10.7	13.4	4.1E-05	4.5E-06	10.9	0.90	4.4E+04	192.98	0.4	1.5E-05	1.9E-07	1.2	0.84	539.5	40.4	7.5	1.2E-06	1.4E-07	11.86	1.15	0.024	2.1	1	
7	7.5E-04	0.075	29.51	0.12	0.42	44.85	27.0	6.0	1.9E-05	7.9E-07	4.2	0.90	8.3E+04	901.84	0	1.1E-05	1.2E-07	1.1	0.84	275.6	16.1	5.8	9.8E-07	6.5E-08	6.60	1.31	0.013	1.0	1	
6	8.3E-05	0.0083	29.87	0.04	0.13	65.94	0.71	1.1	3.7E-05	2.3E-07	0.6	0.80	1.4E+05	459.53	0.3	8.5E-06	8.4E-09	0.1	0.92											
5	7.2E-05	0.0072	29.76	0.04	0.12	71.25	0.75	1.1	3.4E-05	1.9E-07	0.6	0.80	2.4E+05	822.99	0.3	6.5E-06	5.6E-09	0.1	0.93											
4	9.4E-05	0.0094	29.63	0.04	0.14	82.85	1.06	1.3	3.1E-05	2.0E-07	0.6	0.80	3.8E+05	1654.70	0.4	5.0E-06	4.8E-09	0.1	0.94											
3	1.3E-04	0.013	29.43	0.05	0.16	95.59	1.57	1.6	3.0E-05	2.2E-07	0.7	0.80	5.9E+05	3481.40	0.6	4.0E-06	4.5E-09	0.1	0.95											
2	1.9E-04	0.019	29.28	0.05	0.19	107.4	2.31	2.1	3.0E-05	2.5E-07	0.9	0.80	8.6E+05	7157.30	0.8	3.4E-06	4.4E-09	0.1	0.95											
1	2.0E-04	0.020	28.93	0.06	0.19	110.1	2.74	2.5	3.1E-05	2.8E-07	0.9	0.80	1.1E+06	11260.00	1.0	3.1E-06	4.0E-09	0.1	0.95											
0	2.7E-04	0.027	28.56	0.06	0.23	101.3	3.29	3.3	3.3E-05	3.9E-07	1.2	0.80	1.0E+06	10410.00	1.0	2.9E-06	4.5E-09	0.2	0.95											

## Apéndice B. Resultados intermedios

**Cuadro B.1.** Datos obtenidos del análisis de los datos simulados con ZView2 para la celda 1 sensibilizada con el tinte Z907.

Potencial (V)	R <sub>alt</sub> (Ω)	C <sub>corr</sub> (F)	DOS	τ <sub>c</sub> (s)	τ <sub>trans</sub> (s)
0.80	1.10E+02	5.89E-04	2.23E+19	3.07E-02	
0.75	1.60E+02	4.11E-04	1.55E+19	3.79E-02	
0.70	2.72E+02	2.79E-04	1.05E+19	5.41E-02	
0.65	6.18E+02	1.74E-04	6.60E+18	8.21E-02	1.45E-02
0.60	1.54E+03	1.01E-04	3.81E+18	1.28E-01	2.13E-02
0.55	4.33E+03	5.38E-05	2.03E+18	1.87E-01	4.28E-02
0.50	1.27E+04	3.26E-05	1.23E+18	2.89E-01	1.22E-01
0.45	2.92E+04	1.14E-05	4.31E+17	2.96E-01	3.57E-02
0.40	5.48E+04	3.65E-06	1.38E+17	1.82E-01	1.72E-02
0.35	1.04E+05	1.67E-06	6.33E+16	1.57E-01	1.62E-02
0.30	1.63E+05	7.11E-06	2.69E+17	1.16E+00	1.16E+00
0.25	2.49E+05	5.29E-06	2.00E+17	1.32E+00	1.32E+00
0.20	3.58E+05	4.01E-06	1.52E+17	1.43E+00	1.43E+00
0.15	5.13E+05	3.16E-06	1.20E+17	1.62E+00	1.62E+00
0.10	7.30E+05	2.62E-06	9.91E+16	1.91E+00	1.91E+00
0.05	9.98E+05	2.30E-06	8.68E+16	2.29E+00	2.29E+00
0.00	1.09E+06	2.12E-06	8.00E+16	2.31E+00	2.31E+00

**Cuadro B.2.** Datos obtenidos del análisis de los datos simulados con ZView2 para la celda 2 sensibilizada con el tinte Z907.

Potencial (V)	R <sub>alt</sub> (Ω)	C <sub>corr</sub> (F)	DOS	τ <sub>c</sub> (s)	τ <sub>trans</sub> (s)
0.80	8.46E+01	8.40E-04	3.18E+19	2.73E-02	
0.75	1.29E+02	5.80E-04	2.20E+19	4.18E-02	
0.70	2.10E+02	3.86E-04	1.46E+19	5.69E-02	
0.65	4.33E+02	2.41E-04	9.10E+18	8.75E-02	
0.60	1.10E+03	1.38E-04	5.23E+18	1.40E-01	
0.55	3.32E+03	7.91E-05	2.99E+18	2.26E-01	3.22E-02
0.50	8.65E+03	3.93E-05	1.49E+18	3.14E-01	1.15E-02
0.45	2.08E+04	2.62E-05	9.91E+17	4.81E-01	4.25E-03
0.40	4.45E+04	3.04E-05	1.15E+18	8.24E-01	3.15E-03
0.35	9.67E+04	2.02E-05	7.64E+17	1.20E+00	1.77E-03
0.30	2.06E+05	1.11E-05	4.20E+17	2.29E+00	2.29E+00
0.25	3.58E+05	8.52E-06	3.22E+17	3.05E+00	3.05E+00
0.20	5.60E+05	6.48E-06	2.45E+17	3.62E+00	3.62E+00
0.15	8.24E+05	5.06E-06	1.92E+17	4.17E+00	4.17E+00
0.10	1.15E+06	4.17E-06	1.58E+17	4.80E+00	4.80E+00
0.05	1.45E+06	3.60E-06	1.36E+17	5.21E+00	5.21E+00
0.00	1.57E+06	3.30E-06	1.25E+17	5.17E+00	5.17E+00

**Cuadro B.3.** Datos obtenidos del análisis de los datos simulados con ZView2 para la celda 4 sensibilizada con el tinte Z907.

Potencial (V)	R <sub>all</sub> (Ω)	C <sub>corr</sub> (F)	DOS	τ <sub>c</sub> (s)	τ <sub>trans</sub> (s)
0.80	1.32E+02	5.10E-04	1.93E+19	2.94E-02	
0.75	1.96E+02	3.74E-04	1.41E+19	3.88E-02	
0.70	3.33E+02	2.55E-04	9.64E+18	5.57E-02	
0.65	6.52E+02	1.63E-04	6.15E+18	8.43E-02	
0.60	1.47E+03	9.74E-05	3.68E+18	1.28E-01	
0.55	3.67E+03	5.28E-05	2.00E+18	1.73E-01	1.57E-02
0.50	8.26E+03	2.96E-05	1.12E+18	2.19E-01	2.37E-02
0.45	1.58E+04	1.83E-05	6.91E+17	2.69E-01	1.28E-02
0.40	2.68E+04	1.18E-05	4.46E+17	2.98E-01	7.73E-03
0.35	4.25E+04	9.43E-06	3.57E+17	3.41E-01	5.78E-03
0.30	6.20E+04	5.39E-06	2.04E+17	3.34E-01	3.34E-01
0.25	9.51E+04	4.29E-06	1.62E+17	4.07E-01	4.07E-01
0.20	1.37E+05	3.59E-06	1.36E+17	4.92E-01	4.92E-01
0.15	1.82E+05	3.16E-06	1.20E+17	5.76E-01	5.76E-01
0.10	2.33E+05	2.94E-06	1.11E+17	6.87E-01	6.87E-01
0.05	2.88E+05	2.85E-06	1.08E+17	8.19E-01	8.19E-01
0.00	2.58E+05	2.85E-06	1.08E+17	7.36E-01	7.36E-01

**Cuadro B.4.** Datos obtenidos del análisis de los datos simulados con ZView2 para la celda 6 sensibilizada con el tinte Z907.

Potencial (V)	R <sub>all</sub> (Ω)	C <sub>corr</sub> (F)	DOS	τ <sub>c</sub> (s)	τ <sub>trans</sub> (s)
0.80	1.13E+02	4.26E-04	1.61E+19	2.36E-02	
0.75	1.72E+02	3.04E-04	1.15E+19	3.26E-02	
0.70	3.16E+02	2.03E-04	7.68E+18	4.99E-02	
0.65	7.12E+02	1.25E-04	4.72E+18	7.92E-02	
0.60	1.86E+03	7.21E-05	2.73E+18	1.27E-01	
0.55	5.31E+03	3.13E-05	1.18E+18	1.49E-01	1.56E-02
0.50	1.44E+04	1.19E-05	4.52E+17	1.27E-01	4.43E-02
0.45	2.52E+04	5.06E-06	1.91E+17	1.27E-01	4.28E-04
0.40	4.45E+04	1.72E-06	6.51E+16	7.55E-02	9.29E-04
0.35	8.41E+04	1.78E-06	6.73E+16	1.48E-01	4.90E-04
0.30	1.43E+05	8.67E-06	3.28E+17	1.24E+00	1.24E+00
0.25	2.41E+05	6.69E-06	2.53E+17	1.61E+00	1.61E+00
0.20	3.80E+05	5.18E-06	1.96E+17	1.97E+00	1.97E+00
0.15	5.86E+05	4.22E-06	1.60E+17	2.47E+00	2.47E+00
0.10	8.60E+05	3.62E-06	1.37E+17	3.11E+00	3.11E+00
0.05	1.14E+06	3.30E-06	1.25E+17	3.78E+00	3.78E+00
0.00	1.04E+06	3.09E-06	1.17E+17	3.21E+00	3.21E+00

**Cuadro B.5.** Datos obtenidos del análisis de los datos simulados con ZView2 para la celda 7 sensibilizada con el tinte Z907.

Potencial (V)	R <sub>all</sub> (Ω)	C <sub>corr</sub> (F)	DOS	τ <sub>c</sub> (s)	τ <sub>trans</sub> (s)
0.80	1.36E+02	4.43E-04	1.68E+19	3.09E-02	
0.75	2.10E+02	3.15E-04	1.19E+19	4.17E-02	
0.70	3.84E+02	2.14E-04	8.09E+18	6.35E-02	
0.65	8.40E+02	1.34E-04	5.06E+18	9.96E-02	
0.60	2.16E+03	7.67E-05	2.90E+18	1.57E-01	
0.55	6.23E+03	3.55E-05	1.34E+18	2.04E-01	1.55E-02
0.50	1.74E+04	1.41E-05	5.34E+17	2.13E-01	3.11E-02
0.45	5.82E+04	6.39E-06	2.42E+17	1.94E-01	1.78E-01
0.40	9.14E+04	1.70E-06	6.44E+16	1.51E-01	2.08E-03
0.35	1.72E+05	1.52E-06	5.73E+16	2.41E-01	1.69E-03
0.30	2.66E+05	6.47E-06	2.45E+17	1.72E+00	1.72E+00
0.25	3.94E+05	5.01E-06	1.90E+17	1.97E+00	1.97E+00
0.20	5.12E+05	4.01E-06	1.52E+17	2.05E+00	2.05E+00
0.15	6.53E+05	3.37E-06	1.27E+17	2.20E+00	2.20E+00
0.10	9.18E+05	2.98E-06	1.13E+17	2.74E+00	2.74E+00
0.05	1.24E+06	2.70E-06	1.02E+17	3.33E+00	3.33E+00
0.00	1.37E+06	2.51E-06	9.48E+16	3.43E+00	3.43E+00

**Cuadro B.6.** Datos obtenidos del análisis de los datos simulados con ZView2 para la celda 8 sensibilizada con el tinte Z907.

Potencial (V)	R <sub>all</sub> (Ω)	C <sub>corr</sub> (F)	DOS	τ <sub>c</sub> (s)	τ <sub>trans</sub> (s)
0.80	8.67E+01	8.40E-04	3.18E+19	2.73E-02	
0.75	1.28E+02	5.80E-04	2.20E+19	4.18E-02	
0.70	2.03E+02	3.86E-04	1.46E+19	5.69E-02	
0.65	4.23E+02	2.41E-04	9.10E+18	8.75E-02	
0.60	1.09E+03	1.38E-04	5.23E+18	1.40E-01	
0.55	7.15E+03	2.17E-05	8.22E+17	1.41E-01	1.32E-02
0.50	2.37E+04	8.00E-06	3.02E+17	1.44E-01	4.57E-02
0.45	5.87E+04	1.17E-06	4.42E+16	6.82E-02	3.99E-04
0.40	1.21E+05	1.09E-06	4.12E+16	1.32E-01	4.47E-04
0.35	2.29E+05	1.07E-06	4.03E+16	2.43E-01	6.87E-04
0.30	4.05E+05	4.94E-06	1.87E+17	2.00E+00	2.00E+00
0.25	5.81E+05	3.89E-06	1.47E+17	2.26E+00	2.26E+00
0.20	7.23E+05	3.14E-06	1.19E+17	2.27E+00	2.27E+00
0.15	8.44E+05	2.64E-06	9.98E+16	2.23E+00	2.23E+00
0.10	1.04E+06	2.30E-06	8.68E+16	2.39E+00	2.39E+00
0.05	1.24E+06	2.06E-06	7.81E+16	2.56E+00	2.56E+00
0.00	1.41E+06	1.93E-06	7.28E+16	2.72E+00	2.72E+00

**Cuadro B.7.** Datos obtenidos del análisis de los datos simulados con ZView2 para la celda 1 sensibilizada con el pigmento de caimito.

Potencial (V)	R <sub>all</sub> (Ω)	C <sub>corr</sub> (F)	DOS	τ <sub>c</sub> (s)	τ <sub>trans</sub> (s)
0.80	4.31E+01	4.64E-03	1.75E+20	6.01E-02	
0.75	4.48E+01	7.21E-03	2.73E+20	9.63E-02	
0.70	4.55E+01	1.06E-02	4.01E+20	1.28E-01	
0.65	4.71E+01	1.25E-02	4.72E+20	1.33E-01	
0.60	5.23E+01	8.73E-03	3.30E+20	1.00E-01	
0.55	1.32E+02	2.13E-05	8.07E+17	1.81E-03	2.52E-04
0.50	3.67E+02	3.22E-05	1.22E+18	4.86E-03	3.42E-03
0.45	1.08E+03	2.13E-05	8.04E+17	4.87E-03	8.01E-04
0.40	4.51E+03	9.95E-06	3.76E+17	8.84E-03	6.82E-04
0.35	1.83E+04	1.41E-06	5.32E+16	2.56E-02	2.09E-05
0.30	2.74E+05	3.20E-06	1.21E+17	8.76E-01	8.76E-01
0.25	7.87E+05	2.74E-06	1.04E+17	2.15E+00	2.15E+00
0.20	2.01E+06	2.52E-06	9.51E+16	5.06E+00	5.06E+00
0.15	4.69E+06	2.35E-06	8.90E+16	1.10E+01	1.10E+01
0.10	6.48E+06	2.09E-06	7.91E+16	1.36E+01	1.36E+01
0.05	5.86E+06	2.08E-06	7.86E+16	1.22E+01	1.22E+01
0.00	2.74E+06	3.20E-06	1.21E+17	8.76E-01	1.16E+01

**Cuadro B.8.** Datos obtenidos del análisis de los datos simulados con ZView2 para la celda 3 sensibilizada con el pigmento de curcumina.

Potencial (V)	R <sub>all</sub> (Ω)	C <sub>corr</sub> (F)	DOS	τ <sub>c</sub> (s)	τ <sub>trans</sub> (s)
0.80	8.46E+01	8.40E-04	3.18E+19	2.73E-02	
0.75	1.29E+02	5.80E-04	2.20E+19	4.18E-02	
0.70	2.10E+02	3.86E-04	1.46E+19	5.69E-02	
0.65	4.33E+02	2.41E-04	9.10E+18	8.75E-02	
0.60	1.10E+03	1.38E-04	5.23E+18	1.40E-01	
0.55	3.32E+03	7.91E-05	2.99E+18	2.26E-01	3.22E-02
0.50	8.65E+03	3.93E-05	1.49E+18	3.14E-01	1.15E-02
0.45	2.08E+04	2.62E-05	9.91E+17	4.81E-01	4.25E-03
0.40	4.45E+04	3.04E-05	1.15E+18	8.24E-01	3.15E-03
0.35	9.67E+04	2.02E-05	7.64E+17	1.20E+00	1.77E-03
0.30	2.06E+05	1.11E-05	4.20E+17	2.29E+00	2.29E+00
0.25	3.58E+05	8.52E-06	3.22E+17	3.05E+00	3.05E+00
0.20	5.60E+05	6.48E-06	2.45E+17	3.62E+00	3.62E+00
0.15	8.24E+05	5.06E-06	1.92E+17	4.17E+00	4.17E+00
0.10	1.15E+06	4.17E-06	1.58E+17	4.80E+00	4.80E+00
0.05	1.45E+06	3.60E-06	1.36E+17	5.21E+00	5.21E+00
0.00	1.57E+06	3.30E-06	1.25E+17	5.17E+00	5.17E+00

**Cuadro B.9.** Datos obtenidos del análisis de los datos simulados con ZView2 para la celda 2 sensibilizada con el pigmento de rosa de jamaica.

Potencial (V)	R <sub>all</sub> (Ω)	C <sub>corr</sub> (F)	DOS	τ <sub>c</sub> (s)	τ <sub>trans</sub> (s)
0.80	1.32E+02	5.10E-04	1.93E+19	2.94E-02	
0.75	1.96E+02	3.74E-04	1.41E+19	3.88E-02	
0.70	3.33E+02	2.55E-04	9.64E+18	5.57E-02	
0.65	6.52E+02	1.63E-04	6.15E+18	8.43E-02	
0.60	1.47E+03	9.74E-05	3.68E+18	1.28E-01	
0.55	3.67E+03	5.28E-05	2.00E+18	1.73E-01	1.57E-02
0.50	8.26E+03	2.96E-05	1.12E+18	2.19E-01	2.37E-02
0.45	1.58E+04	1.83E-05	6.91E+17	2.69E-01	1.28E-02
0.40	2.68E+04	1.18E-05	4.46E+17	2.98E-01	7.73E-03
0.35	4.25E+04	9.43E-06	3.57E+17	3.41E-01	5.78E-03
0.30	6.20E+04	5.39E-06	2.04E+17	3.34E-01	3.34E-01
0.25	9.51E+04	4.29E-06	1.62E+17	4.07E-01	4.07E-01
0.20	1.37E+05	3.59E-06	1.36E+17	4.92E-01	4.92E-01
0.15	1.82E+05	3.16E-06	1.20E+17	5.76E-01	5.76E-01
0.10	2.33E+05	2.94E-06	1.11E+17	6.87E-01	6.87E-01
0.05	2.88E+05	2.85E-06	1.08E+17	8.19E-01	8.19E-01
0.00	2.58E+05	2.85E-06	1.08E+17	7.36E-01	7.36E-01

**Cuadro B.10.** Datos obtenidos del análisis de los datos simulados con ZView2 para la celda 2 sensibilizada con el pigmento de picramnia.

Potencial (V)	R <sub>all</sub> (Ω)	C <sub>corr</sub> (F)	DOS	τ <sub>c</sub> (s)	τ <sub>trans</sub> (s)
0.80	1.13E+02	4.26E-04	1.61E+19	2.36E-02	
0.75	1.72E+02	3.04E-04	1.15E+19	3.26E-02	
0.70	3.16E+02	2.03E-04	7.68E+18	4.99E-02	
0.65	7.12E+02	1.25E-04	4.72E+18	7.92E-02	
0.60	1.86E+03	7.21E-05	2.73E+18	1.27E-01	
0.55	5.31E+03	3.13E-05	1.18E+18	1.49E-01	1.56E-02
0.50	1.44E+04	1.19E-05	4.52E+17	1.27E-01	4.43E-02
0.45	2.52E+04	5.06E-06	1.91E+17	1.27E-01	4.28E-04
0.40	4.45E+04	1.72E-06	6.51E+16	7.55E-02	9.29E-04
0.35	8.41E+04	1.78E-06	6.73E+16	1.48E-01	4.90E-04
0.30	1.43E+05	8.67E-06	3.28E+17	1.24E+00	1.24E+00
0.25	2.41E+05	6.69E-06	2.53E+17	1.61E+00	1.61E+00
0.20	3.80E+05	5.18E-06	1.96E+17	1.97E+00	1.97E+00
0.15	5.86E+05	4.22E-06	1.60E+17	2.47E+00	2.47E+00
0.10	8.60E+05	3.62E-06	1.37E+17	3.11E+00	3.11E+00
0.05	1.14E+06	3.30E-06	1.25E+17	3.78E+00	3.78E+00
0.00	1.04E+06	3.09E-06	1.17E+17	3.21E+00	3.21E+00

**Cuadro B.11.** Datos obtenidos para los tratamientos con el análisis de varianza ANOVA, de Excel.

<b>Grupos</b>	<b>Cuenta</b>	<b>Suma</b>	<b>Promedio</b>	<b>Varianza</b>
Columna 1(Picr.)	7	0,608	0,087	0,0002
Columna 2(Curc.)	7	0,983	0,140	0,0018
Columna 3(Caim.)	7	1,201	0,172	0,0008
Columna 4(Rosa J)	7	1,325	0,189	0,0028

---

## Apéndice C. Muestra de Cálculos

---

### Caracterización I-V:

Para obtener los parámetros característicos de las celdas, se calculan los siguientes parámetros

$$P = I V \quad (C.1)$$

Por ejemplo, para la celda 4 con tinte Z907, en el Cuadro A.4, en las columnas 1 y 2, fila 3 se encuentran los datos de potencial y corriente, y normalizando por el área de dicha celda, 0,325 cm<sup>2</sup>

$$P = \frac{0,05 V * 4,05 \times 10^{-3} A}{0,325 \text{ cm}^2} * \frac{100^2 \text{ cm}^2}{\text{m}^2} = 6,08 \times 10^{-1} \frac{W}{\text{m}^2}$$

Con la herramienta Excel, se busca el valor máximo de potencia, y corresponde a 33,0 W/m<sup>2</sup> como se muestra en el Cuadro 3.1, columna 5, fila 4.

Se busca la corriente de corto circuito, I<sub>SC</sub>, la cual corresponde a la corriente a 0 V. Por ejemplo para la celda anterior, en el Cuadro A.4, columna 2, fila 2 se encuentra el valor 4,04x10<sup>-3</sup> A, y al normalizarlo entre su área (0,325 cm<sup>2</sup>), se obtiene el J<sub>SC</sub> 12,4 mA/cm<sup>2</sup>, mostrado en el Cuadro 3.1, columna 3, fila 5.

El valor de V<sub>OC</sub>, es el valor cuando la corriente es 0. Para la celda 4, este valor se observa en el Cuadro A.4, columna 7, fila 37, y tiene un valor de 0,73 V.

Se define el parámetro conocido como fill factor (FF) como:

$$FF = \frac{P_{max}}{J_{sc} V_{oc}} \quad (C.2)$$



Por lo que para la celda 4 con tinte Z907, se tiene que

$$FF = \frac{33}{12,4 * 0,73} = 0,36$$

y se muestra en el Cuadro 3.1, columna 6, fila 5.

La eficiencia de conversión energética se calcula como:

$$\eta = \frac{P_{\text{máx}}}{P_{\text{in}}} \quad (\text{C.3})$$

De modo que para la celda 4, y tomando en cuenta que para todas la mediciones I-V, se utilizó la convención de AM 1.5, de 1000W/m<sup>2</sup> como potencia de entrada, se tiene que:

$$\eta = \frac{33}{100} * 100 = 3,30\%$$

y se muestra en el Cuadro 3.1, columna 7, fila 5.

### Caracterización EIS:

Para la caracterización del comportamiento de las celdas por mediodo EIS se modelan las curvas de Nyquits para voltajes de 0-0,8 V para cada celda, con el programa ZView2. Con los datos obtenidos del modelado se deben calcular los siguientes parámetros.

Para potenciales altos y bajos, la capacitancia corregida se calcula con esta fórmula:

$$C_{\text{corr}} = \frac{(R_{CT} CPE_{CT-T})^{\frac{1}{CPE_{CT-T}-P}}}{R_{CT}} + \frac{(R_{CT} CPE_{FTO-T})^{\frac{1}{CPE_{FTO-T}-P}}}{R_{CT}} \quad (\text{C.4})$$

Por ejemplo para la celda 1 sensibilizada con Z907, los datos de resistencia y capacitancias se muestran en el Cuadro A.48. Para la corrida 16, no hay capacitancias FTO solo CT, y las

CPE<sub>CT-T</sub> y CPE<sub>CT-P</sub> se muestran en las columnas 17 y 20, fila 2, y el valor de RCT se muestra en la columna 14, fila 2.

$$C_{corr} = \frac{(52,08 \times 0,00097)^{\frac{1}{0,855}}}{52,08} = 5,89 \times 10^{-4} F$$

y se muestra en el Cuadro B.1, columna 3, fila 2.

Para potenciales medios se utiliza la siguiente ecuación:

$$C_{corr} = \frac{(DX1-R \cdot DX1-D)^{\frac{1}{DX1-E}}}{DX1-R} \quad (C.5)$$

Para la celda 1, en la corrida 13, los valores de DX1-R, DX1-D y DX1-E se muestran en el cuadro A48, columnas 21, 24 y 27 respectivamente, fila 5. De modo que

$$C_{corr} = \frac{(83,36 \times 0,000197)^{\frac{1}{0,95}}}{83,36} = 1,74 \times 10^{-4} F$$

y se muestra en el Cuadro B.1, columna 3, fila 5.

Para calcular la vida media del electrón a los diferentes voltajes, se utiliza la siguiente ecuación

$$\tau_e = R_{CT} C_{corr} \quad (C.6)$$

De modo que para la celda 1, para la corrida 16, se tiene que:

$$\tau_e = 52,08 \times 5,89 \times 10^{-4} = 3,07 \times 10^{-2} s$$

y se muestra en el Cuadro B.1, columna 5, fila 2.

Para calcular el tiempo de transporte de electrones a través de la capa de TiO<sub>2</sub> se utiliza la ecuación:

$$\tau_{trans} = R_{tr} C_{corr} \quad (C.7)$$

De modo que para la celda 1, para la corrida 13, se tiene que:

$$\tau_{trans} = 83,36 \times 1,74 \times 10^{-4} = 1,45 \times 10^{-2} s$$

y se muestra en el cuadro B1, columna 6, fila 5.

Para el cálculo de la densidad de estados se utiliza la siguiente ecuación:

$$DOS = \frac{6.24 \times 10^{18} C_{corr}}{L(1-\rho)} \quad (C.8)$$

donde L es el grosor de la capa de TiO<sub>2</sub> en cm, y en promedio esta es de 3,3 μm, y ρ es la porosidad de la pasta, de 0,5. Por lo que para la celda 1, en la corrida 16, se tiene que:

$$DOS = \frac{6.24 \times 10^{18} * 5,89 \times 10^{-4}}{0,00033(1 - 0,5)} = 2,23 \times 10^{19}$$

y se muestra en el Cuadro B.1, columna 3, fila 2.

### Análisis de Varianza, ANOVA.

Se escogió un diseño experimental completamente al azar (DCA), para comparar el efecto en la eficiencia de conversión energética, al utilizar los pigmentos Picramnia, curcumina, caimito y Jamaica como sensibilizantes; los cuáles son los tratamientos,  $\tau_A$ ,  $\tau_B$ ,  $\tau_C$  y  $\tau_D$  respectivamente, y se utilizó un análisis de varianza ANOVA, para determinar la contribución de cada fuente de variación en la variación total observada en la eficiencia de conversión energética de las celdas solares sensibilizadas con dichos pigmentos.

Para el análisis estadístico del ANOVA, se plantean las hipótesis nulas y alternativas:

$$H_o = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 \quad (C.9)$$

$$H_A = \mu_i \neq \mu_j \text{ para algún } i \neq j \quad (C.10)$$

Que se puede reescribir como:

$$H_o = \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = 0 \quad (C.11)$$

$$H_A = \tau_i \neq 0 \text{ para algún } i. \quad (C.12)$$

Para el análisis de las fuentes de variabilidad en la variable de respuesta, la eficiencia de conversión energética se debe calcular la suma de observaciones del tratamiento  $i$  ( $Y_{i.}$ ), la media de las observaciones del tratamiento  $i$  ( $\bar{Y}_{i.}$ ), la suma de todas las mediciones ( $Y_{..}$ ) y la media global de todas las mediciones ( $\bar{Y}_{..}$ ), como se muestran en las ecuaciones 3.2.7-10.

$$Y_{i.} = \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij} \quad (C.13)$$

$$\bar{Y}_{i.} = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}}{n_i} \quad (C.14)$$

$$Y_{..} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij} \quad (C.15)$$

$$\bar{Y}_{..} = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}}{N} \quad (C.16)$$

Donde  $N$  es el total de datos u observaciones,  $n_i$  son las observaciones del tratamiento  $i$ , y  $k$  es el número de tratamientos. Una medida de la variabilidad total en los datos obtenidos es la suma total de cuadrados, que se calcula como:

$$SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - Y_{..})^2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N} \quad (C.17)$$

Desarrollando la ecuación anterior se obtiene la siguiente ecuación:

$$SC_T = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{..})^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{Y}_{i.})^2 \quad (C.18)$$

Que se puede escribir como:

$$SC_T = SC_{TRAT} + SC_E \quad (C.19)$$

De modo que la suma de cuadrados totales es igual a la suma de cuadrados de los tratamientos ( $SC_{TRAT}$ ) y la suma de cuadrados del error aleatorio ( $SC_E$ ). Para la comparación de la variabilidad en los datos obtenidos de la variable de respuesta se calculan los cuadrados medios, que es la suma de cuadrados normalizados por sus grados de libertad (g.l), como se muestra a continuación:

$$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k-1} \quad (C.20)$$

$$CM_E = \frac{SC_E}{N-k} \quad (C.21)$$

Y se calcula el estadístico de prueba  $F_o$  como se muestra en la siguiente ecuación:

$$F_o = \frac{CM_{TRAT}}{CM_E} \quad (C.22)$$

Con  $(k-1)$  g.l en el numerador y  $(N-k)$  en el denominador. Para un nivel de significancia  $\alpha$ , la hipótesis nula se rechaza si  $F_o > F_{\alpha, k-1, N-k}$

En el Cuadro B.11 se muestran los datos obtenidos para los tratamientos utilizando Excel como herramienta de análisis estadístico. Los datos correspondientes a filas 2, 3, 4 y 5 corresponden a los tratamientos 1, 2, 3 y 4 respectivamente, que a su vez corresponden a los pigmentos Picramnia, curcumina, caimito y rosa de jamaica respectivamente.

En el Cuadro 3.5 se muestran los datos obtenidos para el ANOVA geneado por Excel. Donde las variaciones entre grupos corresponde a los efectos de los tratamientos, de modo que  $SC_{TRAT} = 0,0424$  y  $CM_{TRAT} = 0,0141$ , mientras que las variaciones dentro de los grupos corresponde al error aleatorio, de modo que  $SC_E = 0,0335$  y  $CM_E = 0,0014$ , Como se puede observar el valor de estadístico de prueba,  $F_o = 10,13$  es mayor que 3,01 que es el valor crítico de F, para una significancia de  $\alpha = 0,05$  con 3 g.l en el denominador y 24 g.l en el numerador, por lo que se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias de los tratamientos, y se acepta la hipótesis alternativa.

---

## Anexo D. Elaboración de celdas solares sensibilizadas

---

### D.1. Preparación de los electrodos:

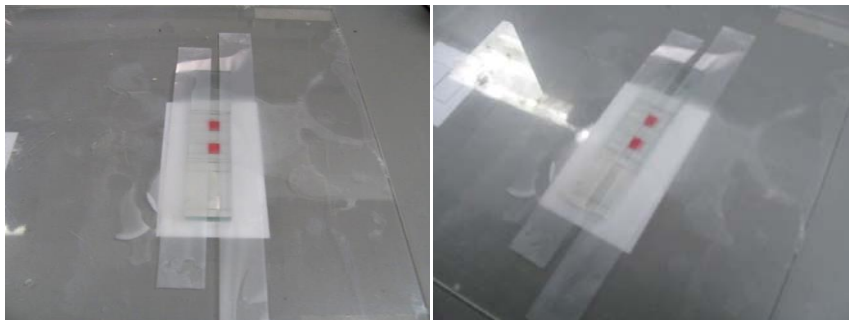
- Para los electrodos o fotoánodos se utiliza como sustrato, vidrio con FTO, Pilkinton NSG C15, 3 cm x 2 cm x 3 mm.
- Se busca el lado no conductor de la lámina de FTO, para ello se corrobora su resistividad con un multímetro, y se realiza el “corte” o trazo, con la punta de carbide, trazando una línea en la pieza de vidrio por la mitad.



**Figura D.1.1.** Equipo para realizar el corte en los electrodos de vidrio.

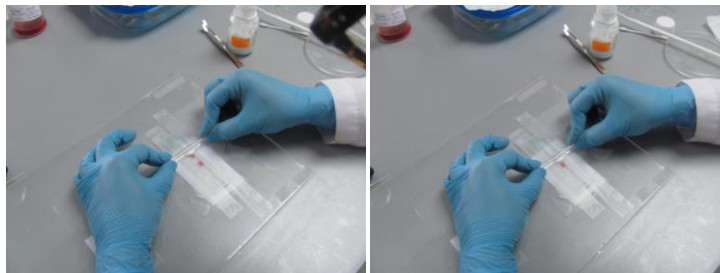
- Se lavan los electrodos con abundante agua y jabón, posteriormente con agua destilada, se sumergen en etanol, se ponen en el baño ultrasónico por 5 min, y se secan en la estufa dejando el corte por debajo o sea, con el lado conductor (FTO) hacia arriba.
- Se utiliza pasta de  $\text{TiO}_2$  de Solaronix, Ti-Nanoxide-T, que contiene partículas de  $\text{TiO}_2$  en fase anatasa con tamaños entre 15-20 nm en 11%(peso), y siempre se guarda en refrigeración; antes de utilizarla se pone en baño ultrasónico por 5 min.
- Una vez secos los electrodos se procede al proceso de aplicación de la pasta de  $\text{TiO}_2$ , para ello se colocan tres electrodos consecutivos, utilizando la plantillas utilizadas para este proceso, dónde el electrodo de interés se coloca en el medio de dos electrodos de soporte,

y se pegan con cinta Scotch 3M en los bordes dibujados en la plantilla tal y como se muestra en la figura D.1.2.



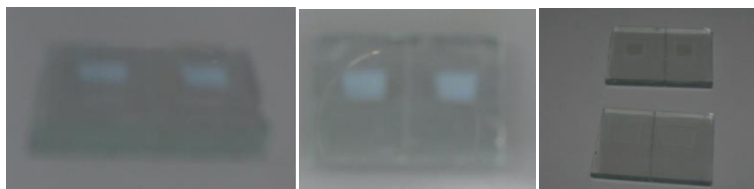
**Figura D.1.2.** Pegado de la láminas de FTO con cinta scotch 3M.

- Se toma una puntita de espátula (de plástico) de la pasta y se coloca aproximadamente a la mitad de la primera lámina de vidrio (lámina superior), y con un agitador de vidrio se presiona y se “corre” hacia abajo la pasta con la técnica Dr Blading, tal y como se muestra en la figura D.1.3.



**Figura D.1.3.** Aplicación de la pasta de TiO<sub>2</sub> en el electrodo con la técnica Dr. Blading.

- Se quita la cinta derecha, y se elimina el exceso de pasta del electrodo del centro, con ayuda de una espátula plana de plástico, se dejan solo los cuadritos marcados en la plantilla de la figura D.1.2, como se muestra en la figura D.1.4, Se limpian los remanentes de pasta con un aplicador y etanol, con cuidado de no tocar la pasta y se dejan reposar unos minutos para que la pasta seque, y se torne transparente.



**Figura D.1.4.** Electroodos con pasta de  $\text{TiO}_2$  listos.

- Con mucho cuidado se dan vuelta a los electrodos para realizar el corte de los mismos con ayuda del alicate para cortar vidrio, alineando la raya del alicate con el corte del electrodo y presionando suavemente, y se dan vuelta de nuevo dejando la pasta hacia arriba, sin tocarla con nada.
- Se procede al proceso de sinterizado, en el cual se colocan los electrodos listos en la estufa a  $100\text{ }^\circ\text{C}$  entre 10-15 min, se sube la temperatura en rampa, cada  $30\text{-}50\text{ }^\circ\text{C}$  esperando entre 10-15 min en cada intervalo, hasta llegar a  $450\text{ }^\circ\text{C}$  y se deja por 30 min a esta temperatura; una vez pasados los 30 min, se baja la temperatura paulatinamente, hasta llegar  $100\text{ }^\circ\text{C}$ , no se deben sacar a temperaturas mayores de  $150\text{ }^\circ\text{C}$  ya que se pueden resquebrajar.
- Si se van a sumergir los electrodos ya sinterizados en el tinte de una vez, se meten cuando la temperatura esté aproximadamente en  $100\text{ }^\circ\text{C}$ , sumergiéndolos en la solución del tinte lentamente para que no se resquebrajen; si no se van a usar el mismo día, guardarlos en un desecador y antes de sumergirlos en el tinte se repite el proceso de sinterizado, y se sumergen calientes como se mencionó anteriormente.
- Las disoluciones de tintes se tapan con papel aluminio para que no absorban luz y se oxiden, o se guardan en un lugar oscuro, se debe procurar que la disolución tape los electrodos para un mejor proceso de adsorción.



**Figura D.1.5.** Almacenaje de las disoluciones de tintes y pigmentos en un lugar oscuro.



## D.2. Preparación de los Contraelectrodos:

- Se realizan dos huecos en cada contraelectrodo, FTO Pilkinton TEC C11 3 cm x 2 cm x 3,2 mm, con ayuda de un mototool, y prensando el contraelectrodo para que no se corra a la hora de hacer el hueco, como se muestra en la figura D.2.1.



**Figura D.2.1.** Montaje del equipo para hacer los huecos de los contraelectrodos.

- Hacer el corte de los contraelectrodos por el lado no conductor, para esto, comprobar la resistencia con un multímetro.
- Se lavan los contraelectrodos con abundante agua y jabón, posteriormente con agua destilada, se sumergen en etanol, se ponen en baño ultrasónico por 5 min y se secan en la estufa dejando el corte por debajo o sea, con el lado conductor (FTO) hacia arriba,
- Una vez secos se procede a realizar la electrodeposición de platino con el equipo Metrolab, potencióstato-galvanostato.
- Se monta el equipo como se muestra en la figura D.2.2. La lámina de platino se conecta por medio del lagarto amarillo al contraelectrodo (CE) el equipo, mientras que el contraelectrodo se conecta con el lagarto rojo al electrodo de trabajo del equipo (WE), de modo que la parte conductora del contraelectrodo quede de frente a la lámina de platino y sea en esta superficie que se deposite el platino, Se sumergen el contraelectrodo y la lámina de platino en la solución de ácido hexacloroplatínico, sin que los lagartos toquen la disolución.



**Figura D.2.2.** Montaje del equipo para la electrodeposición de Pt en los contraelectrodos.

- Se escoge el programa GPES y se escoge la opción method/Chrono methods/interval >1,5 s/ potentiometry (galvanostatic); y se escoge : Level: 1, current: -0,01 A y time: 90 s, además se escoge interval time 0,1, Standby current 0 y number of current steps 1; y se da click en el botón de start del programa, después de los 90 s, se saca el contraelectrodo y se limpia con papel óptico, este cambia de color como translúcido a gris, debido a la deposición de la capa de Pt, como se muestra en la figura D.2.3.

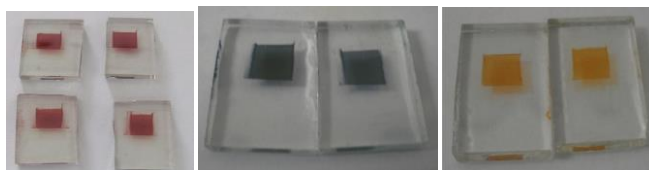


**Figura D.2.3.** Contraelectrodos, a la izquierda con electrodeposición, a la derecha sin electrodeposición.

- Una vez listos los contraelectrodos con la electrodeposición se disponen a un proceso de activación térmica, calentándolos a 385 °C por 30 min, en una estufa que se use solo para este fin, para no contaminar el Pt. Cuando hayan pasado los 30 min se enfrían a 100 °C y se sacan de la estufa y se dispone al ensamblaje de las celdas; si no se utilizan el mismo día, se guardan en una desecadora, y el día que se usen se repite el proceso de calentamiento.

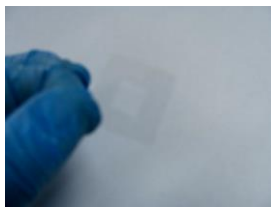
### D.3. Ensamblaje de celdas:

- Se sacan los electrodos de la disolución del tinte, y se limpian con una gotas del disolvente en que disolvió el tinte o pigmento, se debe tener todo listo para que una vez que se sacan los electrodos del tinte, se siga con todo el proceso de armado, y no estén mucho tiempo fuera del tinte expuestos a la atmósfera, para evitar oxidación y adsorción de agua.



**Figura D.3.1.** Electrodos con el tinte adsorbido en el TiO<sub>2</sub> limpios y listos para ensamblado.

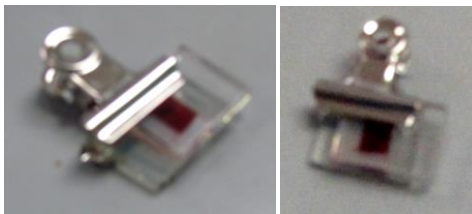
- Mientras se arma una celda, tapar los demás electrodos con papel aluminio para que el tinte no se oxide.
- Se corta un marquito de la resina Surlyn ® DuPont, de 1,66 µm de espesor, aproximadamente de 2x2 cm y con una cutter se corta en el centro del mismo un cuadrito de aproximadamente 1x1 cm como se muestra en la figura D.3.2.



**Figura D.3.2.** Marco de Surlyn ® DuPont de 1,66 µm de espesor.

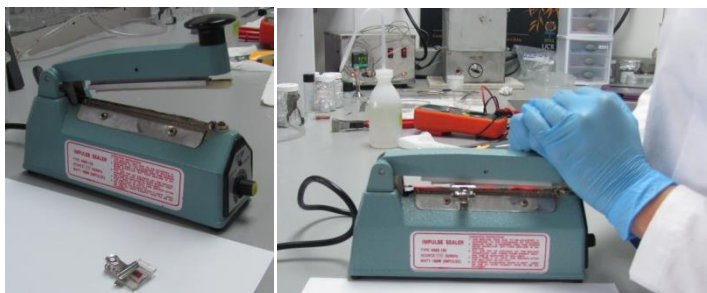
- Se limpia el marquito de Surlyn con etanol y se deja secar.
- Se coloca el marquito encima del electrodo, colocando el hueco lo más alejado posible de la pasta de TiO<sub>2</sub> con el tinte, para que este no influya en los procesos de difusión de la celda y se pone el contraelectrodo con el lado conductor (el lado con Pt) encima del electrodo con el tinte, o sea que la parte no conductora queda hacia arriba; y se deja una

parte de cada electrodo libre, de modo que se puedan colocar los contactos para las mediciones posteriores. Se coloca una prensa metálica para soportarlos.



**Figura D.3.3.** Colocación del Surlyn entre el electrodo y contraelectrodo.

- Se utiliza un sellador de impulsos para calentar lado por lado el cuadrado de Surlyn, hasta que este se vea “fundido”, puede tomar entre 4-6 pulsos a nivel 8, Se recomienda calentar por el lado del contraelectrodo, de modo que el lado con el  $\text{TiO}_2$  y el tinte no se caliente tanto.



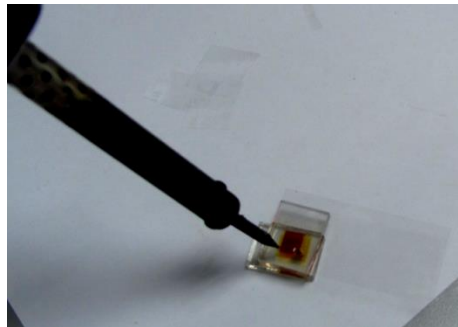
**Figura D.3.4.** Pegado de los electrodos con Surlyn, utilizando un sellador de pulsos.

- Una vez que se selló la celda se procede al llenado del electrolito, para ello se coloca la celdita en un molde de foam, se colocan unas gotas del electrolito en el hueco y se pone un embudo de vidrio encima, el cual se conecta mediante una manguera a una bomba de vacío. Se enciende la bomba, y se llega a 20 psig y se quita la manguera rápidamente para que el electrolito entre en el hueco debido a la diferencia de presión, y a que se sacó el aire del hueco con el vacío.



**Figura D.3.5.** Proceso de llenado del electrolito por medio de diferencias de presión.

- Se limpia la celda con acetonitrilo (disolvente mayoritario del electrolito) y se procede al paso final de sellado de la celda.
- Se coloca un pedacito de Surlyn sobre el hueco, y encima se coloca un pedacito de vidrio de microscopía, y con la ayuda de un cautil se calienta toda la zona, hasta observar la fundición del Surlyn.



**Figura D.3.6.** Proceso de sellado final de la celda.

- Se quiebra el vidrio microscópico de ser muy grande, se pone una capa de pintura de plata por los lados conductores de ambos electrodos, de modo que a la hora de hacer las conexiones se mejore la conductividad, y las celdas están listas para las mediciones pertinentes.



**Figura D.3.7.** Celdas selladas y con pintura de plata, listas para mediciones.

- Para la numeración de las celdas, se recomienda hacerlo por el lado del contraelectrodo de modo que no interfiera con las mediciones y los datos obtenidos.
- Además se recomienda hacer las mediciones pertinentes el mismo día que se ensamblan las celdas o en los próximos días, lo más pronto posible, para asegurarse que la oxidación de especies debido a defectos en la celda no sea significativa y no afecte los resultados obtenidos.

#### **D.4. Mediciones de corriente voltaje**

- Para realizar las mediciones de I-V de las celdas se conecta el electrodo de trabajo (el lagarto rojo) del equipo Potenciostato-Galvanostato Autolab, al fotoánodo de la celda (electrodo con el tinte); el electrodo de referencia del equipo (lagarto azul) se conecta con el contraelectrodo del equipo (lagarto negro), y se conecta con el contraelectrodo de la celda, como se muestra en la figura D.4.1.



**Figura D.4.1.** Conexión de las celdas para las mediciones de I-V.

- Se abre el programa GPES, y se escoge method/cyclic voltametry/normal, y se ponen las condiciones deseadas, por ejemplo: step potential 0,005, scan potential 0,05, start potential 0, first vertex -0,8 (generalmente 500 mV por encima del  $V_{OC}$  esperado) y second vertex 0.
- Se hace una medición en oscuro, tapando la celda con algo que bloquee la luz, y una con luz, utilizando una lámpara y verificando que la irradiancia recibida por la celda sea de  $1000 \text{ W/m}^2$ .

---

## Anexo E. Síntesis de nanopartículas de germanio

---

Para la síntesis de las nanopartículas de germanio utilizadas como co-sensibilizantes se utilizó  $Ge[N(Si(Me_3)_2)_2]_2$ , oleílamina, octadeceno, metanol y cloroformo ahnídros, y se utilizaron tal y como se recibieron. Se utilizó el procedimiento descrito por Gerung et al., con las modificaciones mencionadas a continuación.

Se pesaron 0,39 g (1 mmol),  $Ge[N(Si(Me_3)_2)_2]_2$  como precursor de germanio en un balón Schlenk, junto con 3,21 g (1 mmol) de oleílamina. En otro balón Schlenk se pesan 8,08 g (32 mmol) de octadeceno; todo bajo atmósfera de Ar. Se calentó el balón con octadeceno a aproximadamente 307 °C con un baño de arena cubierto con materiales aislantes. Mediante trasvase con cánula, se agregó la disolución de Ge a la de octadeceno para la descomposición térmica. Se observó un cambio de color de amarillo a café oscuro, y la formación de gases en el balón. Se deja enfriar y se elimina el Ar mediante vacío con la línea, y se lleva a la caja seca.

Se agregaron 15 mL de  $CHCl_3$  anhídrido al balón, y no se observó ningún cambio. Se agregaron 15 mL de MeOH anhídrido y se pasa todo a un embudo separador, sin embargo no se observó ninguna separación, por lo que se agregaron 60 mL de MeOH extra, y se dejó reposar por 1 h, y se trasvasó la mezcla a tubos de centrífuga, y se centrifugó a 3000 rph por 10 min. Se obtuvo la separación de un aceite marrón en el fondo y un líquido amarillo claro sobrenadante, el cual se decantó. Se unieron las partes remanente en un beaker, se hicieron lavados con 10 mL de MeOH y se descartaron los lavados. Se agregaron 20 mL de  $CHCl_3$  y disolvió todo el aceite, el cual se trasvasó a un balón Schlenk, y se concentró con la línea de vacío hasta obtener una pasta café oscura.