



RENIECYT - LATINDEX - Research Gate - DULCINEA - CLASE - Sudoc - HISPANA - SHERPA UNIVERSIA - E-Revistas - Google Scholar
DOI - REBID - Mendeley - DIALNET - ROAD - ORCID

Title: Automatización en la deposición de películas delgadas de nanomateriales para la posible utilización en celdas solares

Authors: J. L. Alonso-Pérez, E. A. Reynoso-Soto, B. Trujillo-Navarrete, N. R. Cazarez-Castro

Editorial label ECORFAN: 607-8324
BCIERMIMI Control Number: 2016-01
BCIERMIMI Classification(2016): 191016-0101

Pages: 23

Mail: jalonso@tectijuana.edu.mx
RNA: 03-2010-032610115700-14

ECORFAN-México, S.C.

244 – 2 Itzopan Street
La Florida, Ecatepec Municipality
Mexico State, 55120 Zipcode
Phone: +52 1 55 6159 2296
Skype: ecorfan-mexico.s.c.
E-mail: contacto@ecorfan.org
Facebook: ECORFAN-México S. C.

Twitter: @EcorfanC

www.ecorfan.org

Holdings

Bolivia	Honduras	China	Nicaragua
Cameroon	Guatemala	France	Republic of the Congo
El Salvador	Colombia	Ecuador	Dominica
Peru	Spain	Cuba	Haití
Argentina	Paraguay	Costa Rica	Venezuela
Czech Republic			

Introducción

Las **películas degradadas** y los **nanorevestimientos** tiene un papel mayor en muchas áreas como en la micro y nanoelectrónica, construcción de maquinaria, manufactura de autos y aviones, robotica, etc.

Los nanorevestimientos, en particular, representan la interfaz entre el **producto** y el **medio ambiente**, por lo cual no solo determinan el aspecto estético, sino también importantes propiedades específicas, por ejemplo, anti-corrosión, autolimpieza, resistente a rayaduras y productos químicos, etc [1].

El término nanorevestimiento se usa cuando el revestimiento es nanoestructurado o su grosor es en la escala nanometrica[1]



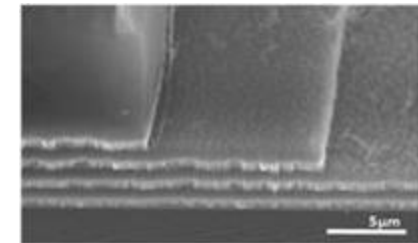
[1]Qakhlouf, Abdel Salam Hamdy, and Ion Tiginyanu, eds. Nanocoatings and ultra-thin films: Technologies and applications. Elsevier, 2011.

Películas delgadas

Las películas delgadas tienen variadas áreas y diversos espesores que van desde 1 - 100 nm y de 0.1 - 300 micras [1].

Para que una película delgada sea útil, debe poseer todas o casi todas las propiedades siguientes:

- (a) debe ser químicamente estable en el entorno en el que se usará;
- (b) debe adherirse bien a la superficie que cubre (el sustrato);
- (c) debe tener un espesor uniforme;
- (d) debe ser químicamente puro o tener una composición química controlada;
- (e) debe tener una baja densidad de imperfecciones

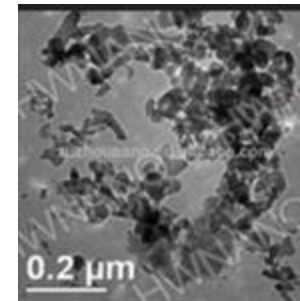
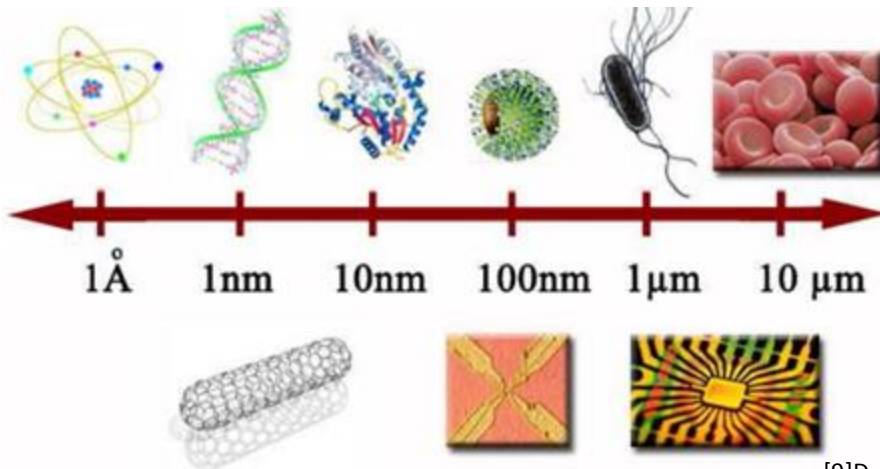


[2]Química la ciencia central, novena edición
Bown, LeMay, Bursten

Nanomateriales

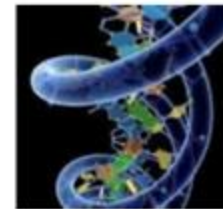
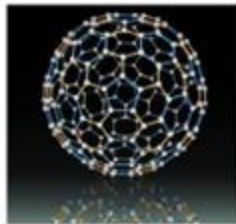
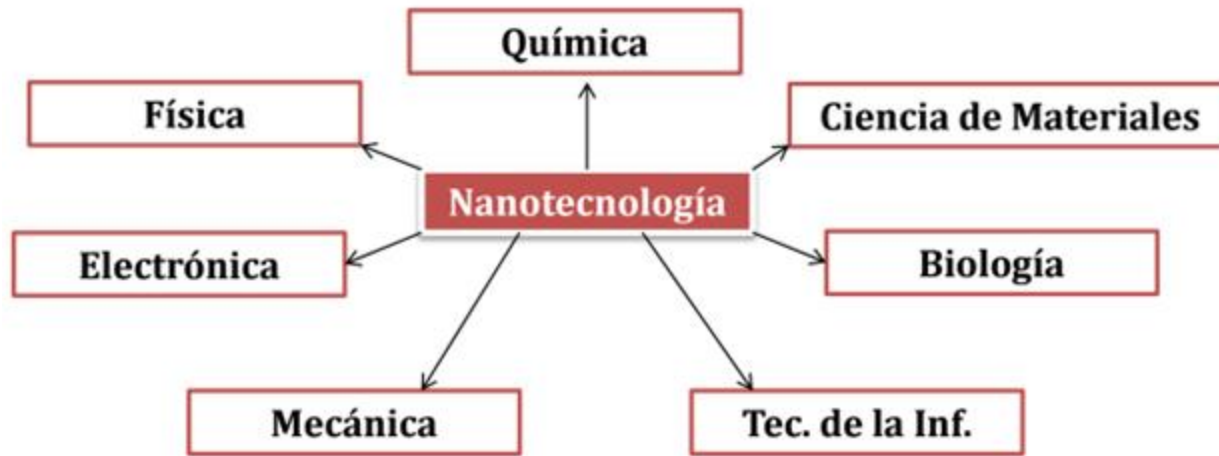
Un nanomaterial es un sistema que presenta al menos una de sus dimensiones en el orden de 1 - 100 nm.

Presentan propiedades extraordinarias a comparación de los materiales microestructurados, entre estas propiedades están el presentar mayor área superficial, mayor actividad catalítica, mejores propiedades ópticas y electrónicas, entre otras.



[9]D. Bi, S. Moon, L. Häggman M.Grätzel, and A. Hagfeldt. "Using a two-step deposition technique to prepare perovskite for thin film solar cells based on ZrO and TiO2 2013

Nanotecnología





Formas alternativas de energía

En la actualidad una de las temáticas de gran interés a nivel nacional e internacional es la generación de energía a partir de fuentes alternativas como es la energía química y la solar [10].

Las **celdas de combustible** y **celdas solares** se basan en la fabricación de películas delgadas de nanomateriales.

Para las celdas de combustible los **electrocatalizadores** son base de nanotubos de carbono y nanopartículas de platino; y las celdas solares a base de **películas delgadas** de TiO₂ [11].

La eficiencia de estos dispositivos de generación de energía depende del **método de fabricación** de los nanomateriales empleados y la **forma de deposición** de las películas delgadas.

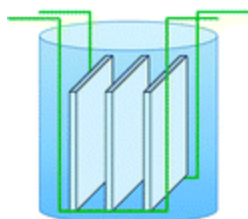


[10] D. Bi, S. Moon, M. Grätzel, and A. Hagfeldt. "Using a two-step deposition technique to prepare perovskite for thin film solar cells based on ZrO₂ and TiO₂" 2013.

[11] M. González. "Deposición electroquímica de películas superconductoras de alta temperatura crítica." PhD, Universidad Complutense de Madrid, 2000..



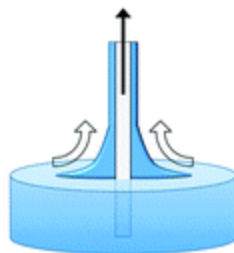
Métodos de síntesis de películas delgadas



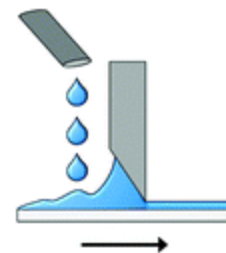
Chemical Bath



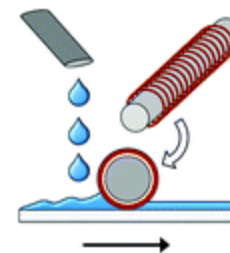
Spin-coating



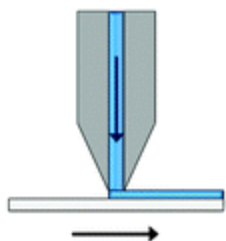
Dip-coating



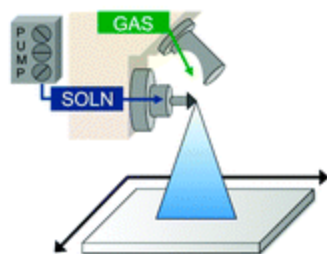
Doctor Blade



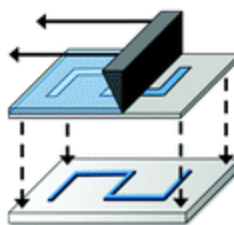
Metering Rod



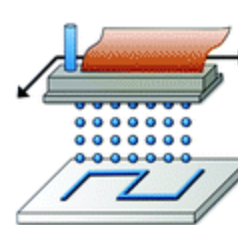
Slot-casting



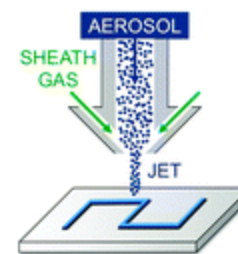
Spray-coating



Screen Printing



Inkjet Printing



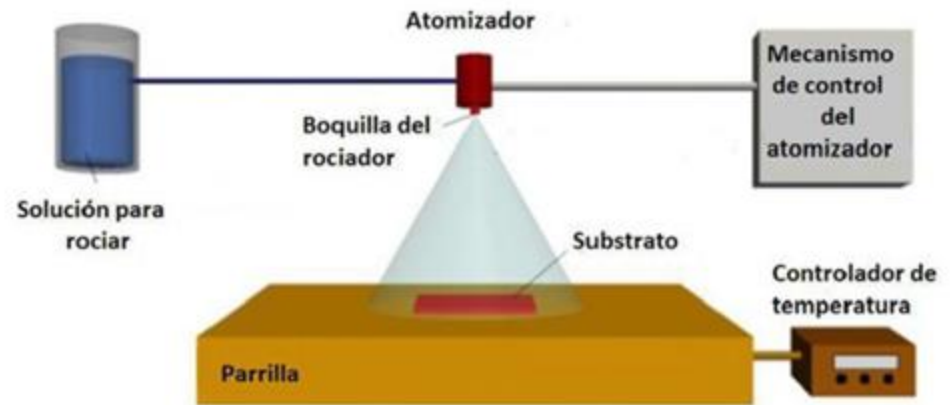
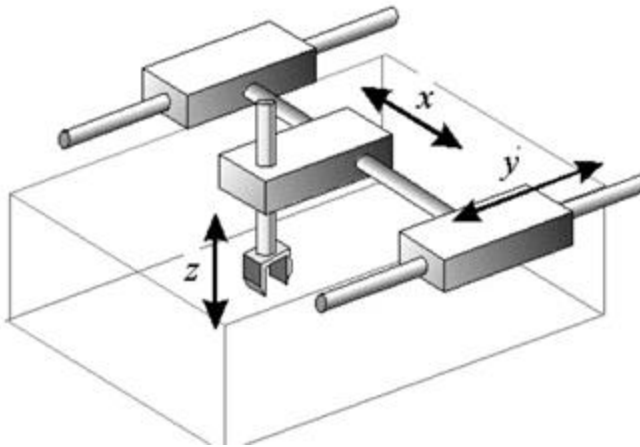
Aerosol Jet



Objetivos del proyecto

1. Implementar un **sistema de control** para una máquina CNC de deposición por rocío con movimiento en los ejes x, y, z en un ambiente de código G y M empleando una arquitectura LINUX.
2. **Construir un estructura ligera** modular con dimensiones de 50 x 50 x 50 cm de un dispositivo de deposición por rocío para la fabricación de películas delgadas de TiO₂.
3. Realizar **pruebas de desempeño** del prototipo CNC de deposición por rocío de películas delgadas de TiO₂ sobre un sustrato de vidrio evaluando la velocidad, presión y tiempo de rocío.
4. **Caracterizar** las películas delgadas de TiO₂ fabricadas con el prototipo CNC de deposición por rocío por microscopía electrónica de barrido.

Propuesta del prototipo



Robot cartesiano : Es un robot industrial cuyos tres ejes principales de control son lineales, presentan volúmenes de trabajo regulares.

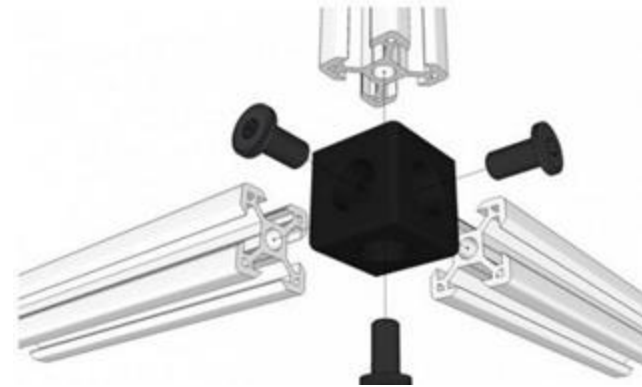


Diseño para la manufactura y el ensamblado

Es la integración de diseño de un producto y la planificación de procesos en una actividad común. El objetivo es planear un producto que se fabrica comprensible y económicamente [4].

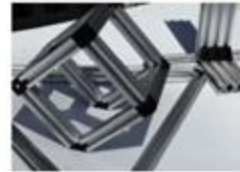
Normas consideradas para este prototipo:

- 1) Reducir el número total de partes,
- 2) Desarrollar un diseño modular,
- 3) El uso de componentes estándar,
- 4) Piezas de diseño para ser multifuncional,
- 5) Piezas de diseño para usos múltiples,
- 6) Diseño para facilitar la fabricación,
- 7) Minimizar direcciones de montaje.

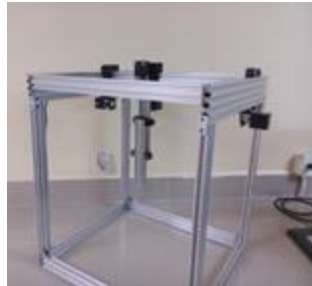


[4] T. Chang, R. Wysk, and H. Wang. "Computer-aided manufacturing".
Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, pp 11- 27. 1991.

Open Source



Hay una **tendencia** de transformar los sistemas de **hardware** y **software** cerrados por otros basados en licencias de código abierto que garantizan la libertad de copia, distribución, modificación de los programas y no restringe los usos comerciales, lo que permite la participación y la colaboración de un gran número de usuarios [2].



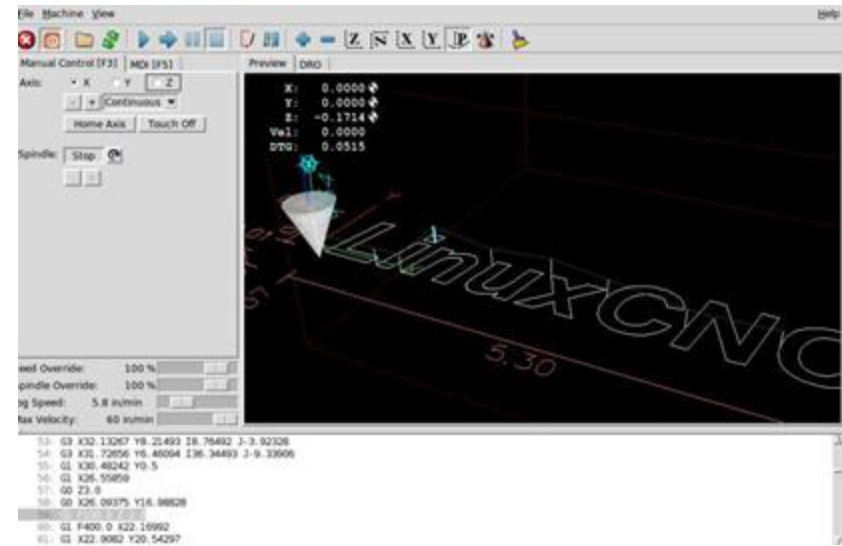
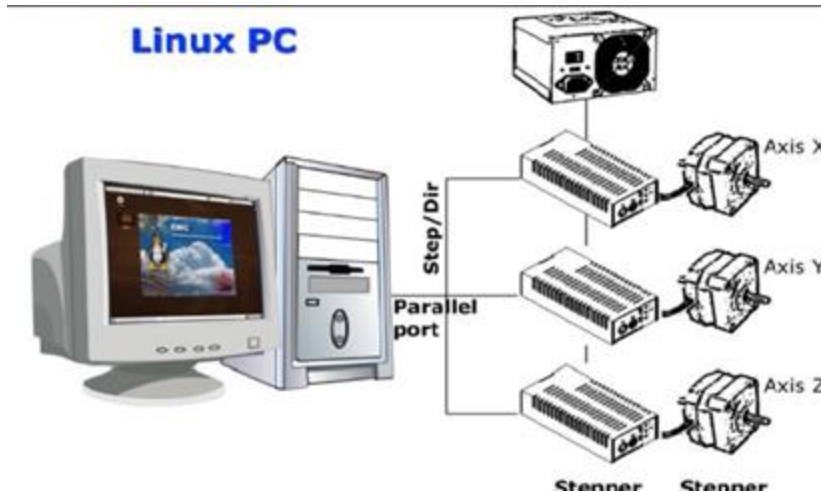
[6] Rubow, Erik. Open source hardware. Technical report, 2008.

[7] Openbuilds Available at: <http://openbuildspartstore.com/about-us->



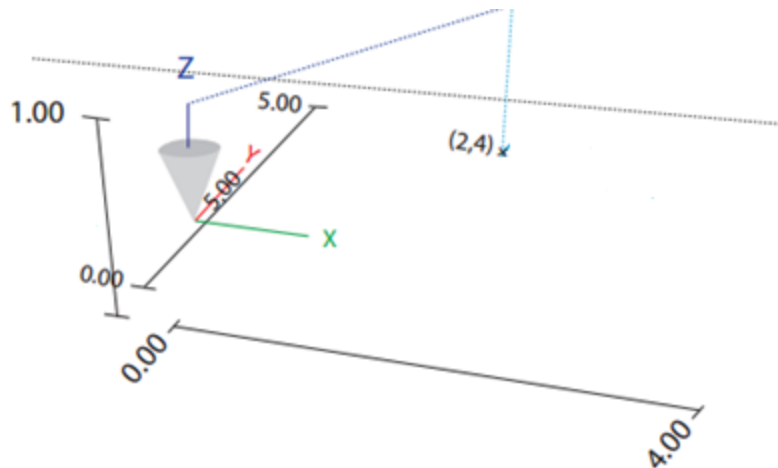
Software de control

- **LinuxCNC** es un ejemplo de software de control de máquinas-herramienta.
- Utiliza el **estándar rs274**, más conocido como código G.
- El Código G es un lenguaje de programación usado en Control numérico por computadora (CNC).
- Están definidos mayormente por instrucciones, trayectoria a seguir y su velocidad.



Selección por analogía

Caracter	Significado
N	Número de bloque
G	Funciones de recorrido
X, Y, Z	Nombre de ejes principales
A, B, C	Nombre de ejes rotativos
R	Radio de un arco
I, J, K	Coordenadas del centro de un arco o círculo
F	Velocidad de avance
()	Los comentarios del programa van entre paréntesis
M	Funciones auxiliares





Materiales y preparación de la tinta de TiO_2

[

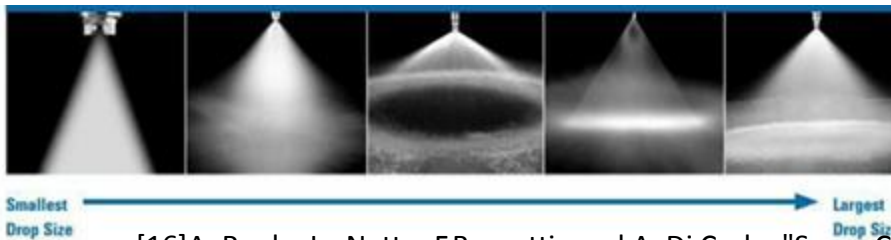
Dióxido de titanio (IV) (TiO_2 , 99%), **etilcelulosa** (48.0-49.5% (w/w) base etoxy, 5–15 mPa•s), **etil celulosa** (48.0-49.5% (w/w) base etoxy, 30–70 mPa•s), **terpineol** ($\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$, 95%), **ácido acético** ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$, 99%), **etanol** ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$, 98%), todos los reactivos fueron adquiridos de Sigma-aldrich y fueron usados sin alguna purificación previa.

La preparación de las tintas se realizó mediante una modificación de la metodología reportada por en Seigo Ito y colaboradores [1]:

Deposición por rocío

Los métodos de deposición rocío, han sido empleados para producir una gran cantidad de películas delgadas, es probablemente la **técnica más versátil** de las diferentes técnicas de deposición y tiene la posibilidad de adaptarse con relativa facilidad a sistemas de **automatización de alta velocidad** [22].

- La deposición por rocío se realiza en varias etapas entre ellas está; la de atomizar la solución precursora sobre la superficie a depositar, evaporación del vehículo o disolvente, secado y adhesión del material [16],.
- Hay diferentes técnicas para generar el rocío como son el **ultrasonido**, alta presión , **aerografo**, entre otras.



[16]A. Reale, La Notte, F.Brunetti, and A. Di Carlo. "Spray Coating for Polymer Solar Cells: An Up-to-Date Overview." Energy Technology 2015.

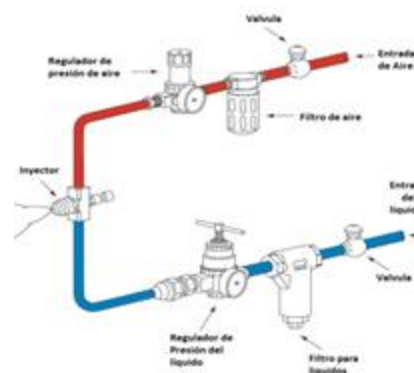
[22]K. Seshan. "Handbook of thin film deposition". William Andrew, pp 14-25. 2012.



Trabajos que usan la técnica del aerografo

Algunos trabajos informan sobre las películas delgadas de nanomateriales realizados con un enfoque totalmente en aerógrafo [17, 18, 19].

La automatización del proceso es necesario (aunque esto añade nuevos parámetros para sintonizar), en particular para el movimiento de la boquilla de rocío [20].



- [17]J. Kang, Y. Kang,. "Fully spray-coated inverted organic solar cells." Solar Energy Materials and Solar Cell, 2012.
- [18]L. La Notte, T. Brown, A. Di Carlo. "Fabrication of Fully-Spray-Processed Organic Photovoltaic Modules by using an Automated Process in Air." Energy Technology 1,2013.
- [19]A. Falco, L. Cin, G. "Fully-sprayed and flexible organic photodiodes with transparent carbon nanotube electrodes.", 2014.
- [20]J. Kang, Y. Kang. "Fully spray-coated inverted organic solar cells." Solar Energy Materials and Solar Cells, 2012.



En base a reportes previos, se reportan diversos parámetros para el proceso de fabricación de películas delgadas via deposición por rocío:

Una distancia entre 10 a 18 cm de distancia entre la muestra y la boquilla de aerógrafo empleada, el flujo de inyección fue de 10 a 2 mL/min , presión de aire (10 a 30 psi);

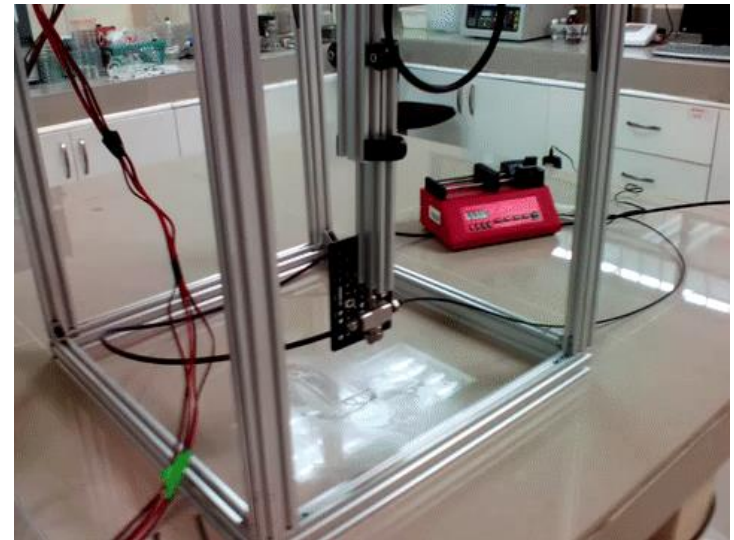
Se menciona que estas variables son esenciales para controlar la morfología óptima, el espesor y la rugosidad. Los cuales se tomaron hasta cierto punto como referencia para realizar nuestra investigación. [15]

[15] Susanna, G., Salamandra, L., Brown, T. M., Di Carlo, A., Brunetti, F., & Reale, A. (2011). Airbrush spray-coating of polymer bulk-heterojunction solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 95(7), 1775-1778.

Parámetros

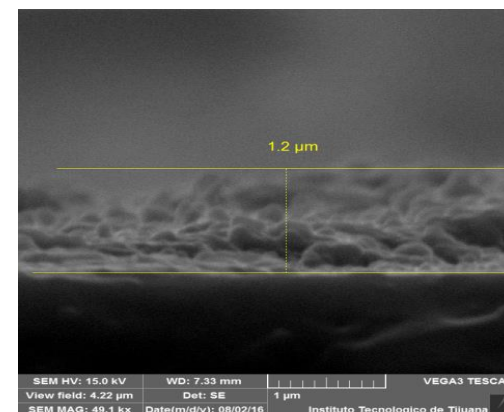
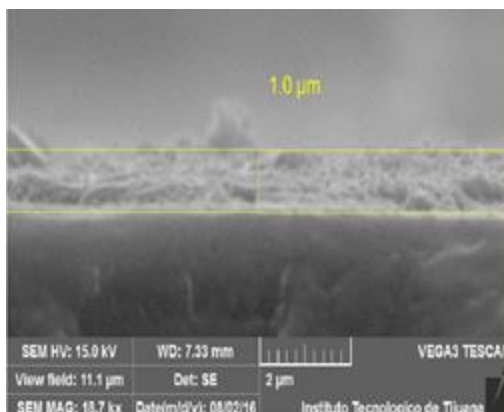
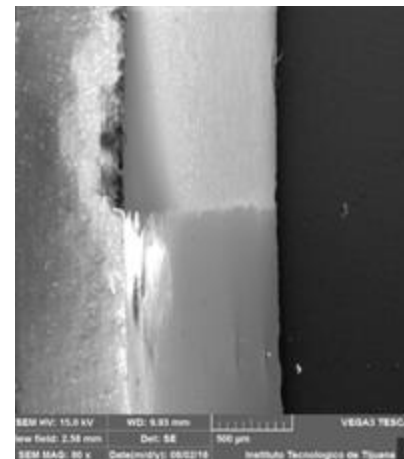
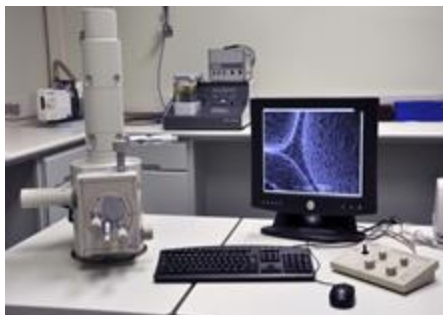
Parámetros que se utilizaron para una deposición uniforme y homogénea de películas delgadas sobre sustratos en esta investigación:

- Presión de aire comprimido (15 psi),
- Velocidad de inyección de flujo 10 ml /min,
- distancia aerógrafo de sustrato (15 cm),
- velocidades de 205 in/min





Caracterización por microscopía electrónica de barrido

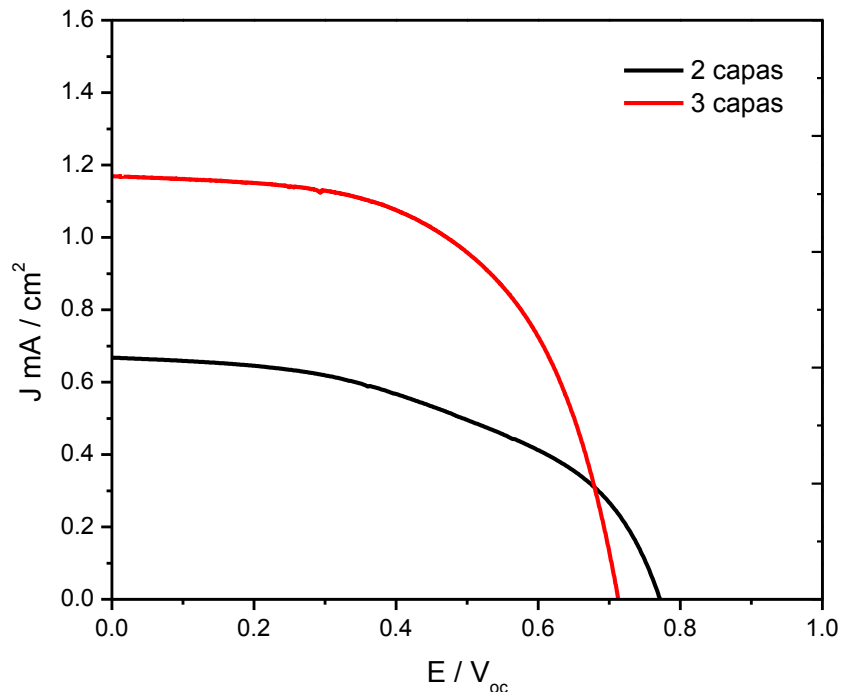


<http://www.upc.edu/sct/es/equip/714/microscopio-electronico-barrido-meb-sem.html>



Fabricación y caracterización de celdas DSSC

Celda de 0.2 cm²
Colorante N719
Electrolito I⁻/I₃⁻



Muestra	J mA cm ⁻²	Voc	FF	% Eficiencia
2 capas	0.67	0.77	48.4	0.25
3 capas	1,17	0.71	57.7	0.48



Conclusiones

- Se desarrolló un mecanismo acorde a necesidades de bajo costo.
- Se simuló y se hicieron pruebas experimentales, en donde se obtuvieron buenos resultados.
- Se caracterizó el espesor de la película delgada de dióxido de titanio obteniendo espesores 1 micrómetro por capa y tiene una superficie uniforme, lo cual es útil para la construcción de celdas solares.



**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática**

2016





Referencias

- [1] Makhlouf, Abdel Salam Hamdy, and Ion Tiginyanu, eds. Nanocoatings and ultra-thin films: Technologies and applications. Elsevier, 2011.
- [2] Química la ciencia central, novena edición Bown, LeMay, Bursten
- [3] LinuxCNCteam. LinuxCNCuser'smanual v2.5. <http://www.linuxcnc.org>.
- [4] T. Chang, R. Wysk, and H. Wang. "Computer-aided manufacturing". Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, pp 11-27. 1991.
- [5] CNC Machining Handbook: Building, Programming, and Implementation. Alan Overby 2010
- [6] Rubow, Erik. Open source hardware. Technical report, 2008.
- [7] Openbuilds Available at: <http://openbuildspartstore.com/about-us-2/>
- [9] A. Biswas, I. Bayer, A. Biris, T. Wang, E. Dervishi, and F. Faupel. "Advances in top-down and bottom-up surface nanofabrication: Techniques, applications & future prospects." Advances in Colloid and Interface Science 170 pp.2-27. 2012.
- [10] D. Bi, S. Moon, L. Häggman, G. Boschloo, L. Yang, E. Johansson, M. Nazeeruddin, M. Grätzel, and A. Hagfeldt. "Using a two-step deposition technique to prepare perovskite (CH₃NH₃PbI₃) for thin film solar cells based on ZrO₂ and TiO₂" 2013.



- [16] A. Reale, La Notte, L. Salamandra, G. Polino, S. Gianpaolo, T. Brown, F. Brunetti, and A. Di Carlo. "Spray Coating for Polymer Solar Cells: An Up-to-Date Overview." Energy Technology 2015.
- [17] J. Kang, Y. Kang, S. Jung, M. Song, D. Kim, C. Kim, H. Kim. "Fully spray-coated inverted organic solar cells." Solar Energy Materials and Solar Cell, 2012.
- [18] L. La Notte, D. Mineo, G. Polino, G. Susanna, F. Brunetti, T. Brown, A. Di Carlo. "Fabrication of Fully-Spray-Processed Organic Photovoltaic Modules by using an Automated Process in Air." Energy Technology 1, 2013.
- [19] A. Falco, L. Cin, G. Scarpa, P. Lugli, A. Abdellah. "Fully-sprayed and flexible organic photodiodes with transparent carbon nanotube electrodes." ACS applied materials & interfaces 6, 2014.
- [20] J. Kang, Y. Kang, S. Jung, M. Song, D. Kim, C. Kim, and S. Kim. "Fully spray-coated inverted organic solar cells." Solar Energy Materials and Solar Cells, 2012.
- [21] L. La Notte, L. Salamandra, A. Zampetti, F. Brunetti, T. Brown, A. Di Carlo, and A. Reale. "Airbrush spray coating of amorphous titanium dioxide for inverted polymer solar cells." International Journal of Photoenergy. 2012.
- [22] K. Seshan. "Handbook of thin film deposition". William Andrew, pp 14-25. 2012.
- [23] Reyes Cortes, F., Cortes, F. R., Acuna, A. L., Acuna, A. L., Lopez Orozco, J. A., Vargas Ruiz, P. G., ... & Sugarbaker, D. J. B. (2012). MATLAB aplicado a Robotica y Mecatronica



Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables, Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática

2016





Agradecimientos

Gracias.....!

Dr Edgar Reynoso, Dr Nohé Cázarez, Dr Balter Trujillo y compañeros por sus contribuciones. Este trabajo fue apoyado en parte por el Tecnológico Nacional de México con el proyecto 5867.16-P. y el conacyt 175925, además al conacyt se agradece el apoyo de la beca otorgada para los estudios de posgrado



**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática**

2016





ECORFAN®

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMIMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/ booklets)