

Proceso de fabricación de las partes de una máquina de CNC, para la fabricación de dispositivos orgánicos electrónicos

**Enrique Pérez-Gutiérrez¹, María Judith Percino Zacarías¹, Francisco D. Calvo López², Isai Josué Ríos²,
Humberto Salazar-Ibargüen³, David Pinto-Avendaño⁴**

¹ Unidad de Polímeros y Electrónica Orgánica, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
Email: enrique.pgutierrez@correo.buap.mx; judith.percino@correo.buap.mx

² Decanatura de Ingenierías, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, México. Email:
franciscodomingo.calvo@upaep.mx; isaijosue.rios@upaep.edu.mx

³ Centro Interdisciplinario de Investigación y Enseñanza de la Ciencia, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla,
México. Email: humberto.salazar@correo.buap.mx

⁴ Dirección de Innovación y Transferencia del Conocimiento, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México. Email:
david.pinto@correo.buap.mx

Resumen

Los dispositivos electrónicos basados en semiconductores orgánicos, tales como diodos emisores de luz (OLEDs) y celdas solares (OPVs) presentan ventajas proceso de fabricación. Los OLEDs y OPVs se fabrican a partir de películas delgadas. A nivel laboratorio el depósito de películas delgadas se lleva a cabo por técnicas tales como spin-coating o sublimación al alto vacío. Sin embargo, para su aplicación a nivel comercial se requiere el depósito de películas delgadas en áreas de varios centímetros cuadrados. En este trabajo se reporta el diseño de una máquina CNC y su aplicación para implementar la técnica doctor blade. El diseño y estudio mecánico se llevó a cabo mediante SolidWorks, se llevaron a cabo estudios de esfuerzo y fatiga para asegurar el correcto funcionamiento de la máquina. Con la máquina CNC fue posible el depósito de películas delgadas de semiconductores orgánicos para ser aplicados en OLEDs y celdas solares híbridas.

Palabras clave: Dispositivos electrónicos orgánicos; doctor blade; deposición de película delgada; máquina CNC; SolidWorks.

Abstract

Electronic devices based on organic semiconductors, such as light-emitting diodes (OLEDs) and solar cells (OPVs), present remarkable advantages in the manufacturing process. OLEDs and OPVs are manufactured from thin films. At the laboratory level, the deposition of thin films is carried out using techniques such as spin-coating or high vacuum sublimation. However, its commercial application requires the deposition of thin films in areas of several square centimeters. This work reports the design of a CNC machine and its application to implement the doctor blade technique. The design and mechanical study were carried out using SolidWorks, and stress and fatigue studies were carried out to ensure the machine was functioning correctly. With the CNC machine, it was possible to deposit thin films of organic semiconductors that could be applied to OLEDs and hybrid solar cells.

Keywords: Organic electronic devices; doctor blade; thin film deposition; CNC machine; SolidWorks

1. Introducción

Los semiconductores orgánicos son aquellos cuya estructura química está compuesta principalmente por átomos de carbono. En comparación con los semiconductores tradicionales como silicio o germanio sus propiedades optoelectrónicas tales como su banda prohibida y su conductividad pueden ser modificadas al cambiar la estructura química del material. Los semiconductores orgánicos son la base de una nueva tecnología conocida como electrónica orgánica. Dispositivos emisores de luz (OLEDs) y celdas solares (OPVs) son fabricados a partir de polímeros y moléculas con propiedades semiconductoras [1,2]. Entre otras ventajas, la fabricación de dispositivos electrónicos orgánicos puede llevarse a cabo mediante el depósito de películas delgadas a partir de una disolución. Un OLED o una OPV se forman a partir de una capa activa depositada entre una capa transportadora de electrones (CTE) y una capa transportadora de huecos (CTH), y a su vez entre dos electrodos, un ánodo y un cátodo (Figura 1).

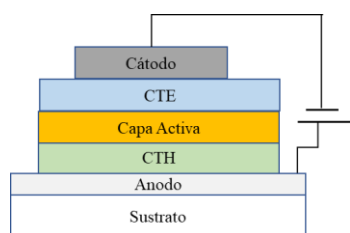


Figura 1. Arquitectura de dispositivos electrónicos orgánicos.

A nivel laboratorio, la técnica más empleada para obtener películas de semiconductores orgánicos es el recubrimiento por rotación o spin coating, la cual resulta ser relativamente sencilla y fácil de implementar. Mientras que para prototipos de mayor área se han utilizado diferentes técnicas entre las que podemos mencionar: la impresión a partir de la inyección de tinta (inkjet printing), el depósito por aerosol (spray coating) y el huecogrado (gravure printing). Para las técnicas de área grande suele ser difícil el control de la morfología, rugosidad, espesor y cristalinidad de las películas depositadas [3]; además, en ocasiones es necesario el uso de surfactantes [4]. Por otro lado, técnicas como doctor blade o slot die han sido ampliamente utilizadas pues permiten la obtención de películas homogéneas en áreas de varios centímetros cuadrados y son compatibles con procesos de producción a mayor escala como roll-to-roll [5,6].

La técnica doctor blade, es la técnica más sencilla para la formación de películas delgadas a partir de una disolución en área grande. En esta técnica, una cuchilla se desplaza de manera paralela a una plataforma donde se colocan los sustratos a recubrir, la cuchilla distribuye un volumen de disolución previamente

colocada sobre la superficie del sustrato. El desplazamiento puede darse de dos maneras, la cuchilla sobre el sustrato o el sustrato bajo la cuchilla (Figura 2).

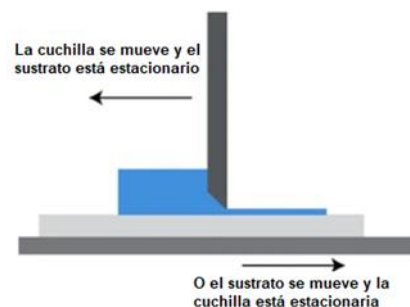


Figura 2. Esquema de la técnica doctor blade.

Existe una separación entre la cuchilla y el sustrato, que determinará la cantidad de disolución que permanece durante el barrido; esta separación se conoce comúnmente como gap y es el primer parámetro para establecer el espesor de la película obtenida. Otro parámetro importante en esta técnica es la velocidad de desplazamiento, la cual suele ser del orden de mm/min. La longitud de la cuchilla determina una adecuada dispersión de la disolución. Estos parámetros junto con la viscosidad de la disolución, la presión de vapor del disolvente, y la temperatura de depósito determinarán el espesor final de la película [5].

La técnica doctor blade requiere un equipo que tenga desplazamiento mecánico en al menos dos ejes, el eje z, para generar el gap entre la cuchilla y el sustrato; y un desplazamiento en el plano x-y, ya sea de cuchilla sobre el sustrato o bien el sustrato bajo la cuchilla. Este tipo de desplazamiento puede obtenerse con una máquina CNC. Por lo general, las máquinas CNC tienen movimiento en tres ejes, X, Y, Z. Los ejes X e Y son horizontales; por lo general, el eje X controla los movimientos de izquierda a derecha, mientras que el eje Y controla los movimientos hacia adelante y hacia atrás; mientras tanto, el eje Z controla el movimiento vertical arriba-abajo [7]. Por lo tanto, en este trabajo se llevó a cabo el diseño, análisis mecánico, fabricación e implementación de una máquina CNC. Con ella se implementó la técnica doctor blade y se usó para depositar películas delgadas de materiales semiconductores orgánicos. Fue posible la fabricación de OLEDs en área superior a 1 cm².

2. Metodología

2.1 Depósito de películas delgadas

Para el depósito de películas delgadas se utilizó el polímero Poli(3,4-etilendioxitiofeno)-poli(estireno sulfonato) (PEDOT:PSS), así como compuestos fluorescentes de bajo peso molecular derivados de acrilonitrilo. Para los compuestos fluorescentes se prepararon disoluciones con clorobenceno como

disolvente. Los sustratos utilizados para el depósito de las películas fueron vidrio con una película de óxido de indio-estaño (ITO), éste funcionará también como electrodo en la preparación de OLEDs. Como contra electrodo se utilizó una aleación metálica de Bi-In-Sn. La morfología de las películas depositadas se analizó con un microscopio de fuerza atómica (AFM) de NanoSurf.

2.2 Fabricación de la CNC

Para el diseño de la máquina CNC se utilizó el software CAD SolidWorks 2020. El diseño consta de tres componentes: una base de trabajo, dos soportes verticales y un soporte para el motor a pasos que controla el movimiento en el eje Z. La Figura 3 muestra el diseño, la plataforma de trabajo móvil es de 30 x 30 cm; dos ejes de 8 mm conectan sus componentes. El motor a pasos está conectado a la plataforma móvil a través de un tornillo sin fin soportado por un cojinete de 8 mm; la bancada de trabajo se colocó empleando un rodamiento, como se muestra en la Fig. 3b. El motor para el movimiento del eje Z se coloca sobre un soporte horizontal sostenido por dos bases verticales; los soportes superior e inferior horizontales están conectados por dos ejes de 8 mm, como se muestra en la Fig. 3c.

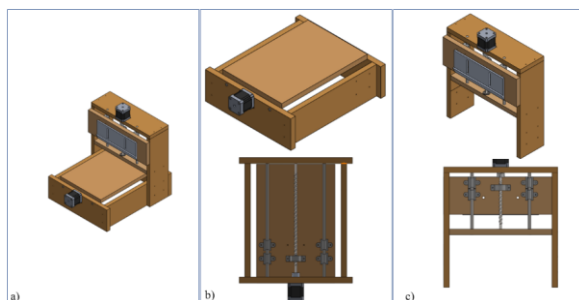


Figura 3. Diseño de máquina CNC: a) ensamble final, b) plataforma de trabajo con movimiento en el eje X controlado con un motor a pasos, y c) dos soportes verticales que sostienen el aplicador con movimiento en el eje Z, controlado con un motor a pasos.

2.3 El SOLIDWORKS® CAMWorks

El proceso de fabricación de las piezas que componen la estructura de la máquina de CNC, se realizó con la ayuda del programa de SOLIDWORKS® CAMWorks el cual es un complemento para todas las versiones de SOLIDWORKS CAD que le permite preparar diseños para evaluar las posibilidades de fabricación en las primeras fases del ciclo de desarrollo.

Es una solución de Manufactura Asistida por Computadora dentro del ambiente de SOLIDWORKS, considerada como la alternativa más avanzada de CAM

disponible para el maquinado de sólidos. CAMWorks es también el primer Software que ofrece reconocimiento automático de geometría, base de datos tecnológica y capacidades de maquinado asociativo con SOLIDWORKS.

2.4 Manufactura Asistida por Computadora

Esta integración significa que cuando se está utilizando SOLIDWORKS, el Árbol de Operaciones y los comandos de CAMWorks están disponibles con sólo un clic. No se necesita salir de SOLIDWORKS para generar pasos de herramienta y se utiliza la misma geometría de SOLIDWORKS para generar trayectorias de herramienta y asegurarse de que la pieza que se maquina es la misma que se ha modelado y la transferencia de archivos que consumen mucho tiempo ha desaparecido.

2.5 Pasos de CAMWorks.

En la industria actual los tiempos de preparación para maquinar las piezas son tiempos considerados muertos, y se tienen que reducir al máximo posible. Para lograr esto, SolidWorks CAM, nos da la posibilidad de diseñar, validar y generar el código máquina, en una sola plataforma de manera fácil y rápido. Simplemente hay que seguir los 5 pasos para el maquinado en SolidWorks CAM.

Diseño de pieza (CAD): Esta es la primera etapa de diseño, en donde el usuario genera un modelo en 3D a partir de los requerimientos del cliente.

1. **Extracción de Características para maquinar:** Este método se conoce como reconocimiento automático de características (AFR) por sus siglas en inglés (Automatic Feature Recognition), y su principal objetivo es evitar que el usuario tenga que estar ingresando una por una cada característica de 2.5 ejes.
2. **Generación de operaciones:** En este paso, el programa asocia una herramienta para cada una de las características reconocidas en el paso anterior. La selección la realiza de acuerdo a la información que se genera en un principio en donde se establece la máquina con la que se va a trabajar, el procesador de la máquina y por último, el herramental con el que va a estar trabajando en caso de ser una máquina que cuente con un revolver de 2 o más herramientas. SolidWorks CAM siempre buscará cuál de estas herramientas cumple con las dimensiones necesarias para cumplir el dimensionamiento de la pieza a maquinar.
3. **Generación de trayectorias:** Una vez que el software sabe que herramientas y que

estrategias va a realizar en cada operación, lo siguiente es calcular las trayectorias por donde va a pasar el centro de la herramienta, haciendo de manera automática las compensaciones para que el herramental quite únicamente el material necesario.

4. **Validación:** Antes de que se mande a la máquina, es importante realizar una validación de manera virtual, con el fin de estar seguros de que lo que vamos a mandar a maquinar sea lo correcto y evitar así errores en producción. Para esto se realiza la simulación de trayectorias, en donde el software nos realiza una representación gráfica de cómo va a ser la interacción entre la pieza, la herramienta y el portaherramientas. Uno de los principales objetivos en la simulación es asegurarnos que con la herramienta que se seleccionó y la distancia que hay entre la punta de la herramienta y la base del portaherramientas, es el correcto y NO va a existir alguna colisión entre cualquiera de las 3 partes mencionadas anteriormente.
5. **Post-procesamiento:** Este será siempre el último paso que se realizará dentro de SolidWorks CAM, el cual consiste en generar el código G o código máquina que leerá la fresadora con la que se va a trabajar. Este código se genera hasta no estar 100% seguros de que no tiene errores en las trayectorias, y, sobre todo, que la pieza va a quedar a las medidas necesarias. Al momento que se genera el código G, el programa también nos proporcionará un archivo el cual contiene la información necesaria para el usuario de la máquina, por ejemplo: nombre de la pieza, material de la pieza, herramental y orden de herramental, etc.

3. Resultados

A continuación, se muestra los resultados del proceso de generación de los programas de CNC de las piezas que conforman la estructura de la máquina de CNC.

La Importancia de la Calidad del Maquinado CNC

La importancia de la calidad en las piezas es vital para que esta cumpla su funcionamiento a la perfección y evite accidentes por mal funcionamiento o percances en la acción de una actividad. No solo se trata de generar los códigos de CNC para las piezas que conformaran la máquina de CNC para el depósito de películas de compuestos fluorescentes.

La idea del mecanizado CNC es evitar errores a toda costa y pérdida de materia prima. Existen procesos que

requieren de estricta precisión, y es algo que un maquinado CNC de calidad puede ofrecerte sin problemas y sin errores, con las exigencias que solicitas.

El resultado final del maquinado de las partes de la máquina de CNC para depósitos, fue que la misma fuera capaz de proporcionar la precisión que se requiere para el proceso.

El resultado de su fabricación y construcción le permitió al laboratorio de polímeros ahorrar dinero en la compra de una máquina que estaba fuera del presupuesto.

En la figura 4, se muestra la pieza M-M-1 y a continuación se incluye el código que se utiliza en la máquina de CNC, para el maquinado de la pieza. En los resultados se incluirán las imágenes de las piezas solamente, debido a que los códigos de **Post-procesamiento** son extensos y ocuparían varias páginas del documento y el mismo está limitado.

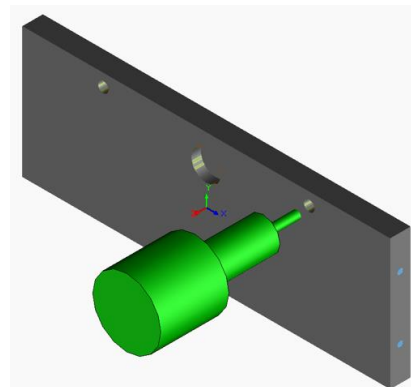


Figura 4. Maquinado pieza M-M-1.

Post-procesamiento

O0001 (Maquinado pieza M-M-1)
 N1 G21
 N2 (6MM CRB 2FL 19 LOC) N3 G91 G28 X0 Y0 Z0
 N4 T01 M06 N5 S9000 M03
 N6 (Contorneado1)
 N7 G90 G54 G00 X0 Y51. N8 G43 Z5. H01 M08
 N9 G01 Z-3. F400. N10 G17 X138.
 N11 Y-51. N12 X-138. N13 Y51. N14 X0
 N15 G00 Z5. N16 Z2.
 N17 G01 Z-6.833 N18 X138.
 N19 Y-51. N20 X-138. N21 Y51. N22 X0
 N23 G00 Z5. N24 Z-1.833
 N25 G01 Z-10.667
 N26 X138. N27 Y-51. N28 X-138. N29 Y51. N30 X0
 N31 G00 Z5. N32 Z-5.667 N33 G01 Z-14.5 N34 X138.
 N35 Y-51. N36 X-138. N37 Y51. N38 X0
 N39 G00 Z5. N40 Z-9.5 N41 G01 Z-15. N42 X138.
 N43 Y-51. N44 X-138. N45 Y51. N46 X0
 N47 G00 Z5. N48 Z10. M09 N49 G91 G28 Z0
 N50 (6.0mm JOBBER DRILL) N51 T14 M06
 N51 T14 M06
 N52 S6361 M03
 N53 (Tal. Entrada5)

N54 G90 G54 G00 X-1.261 Y34.75 N55 G43 Z10. H14 M08
 N56 G81 G98 R5. Z-6.5 F141.356 N57 G80 Z10. M09
 N58 G91 G28 Z0
 N59 (6MM CRB 2FL 19 LOC) N60 T01 M06
 N61 S9000 M03
 N62 (Desbaste2)
 N63 G90 G54 G00 X-1.261 Y34.75 N64 G43 Z5. H01 M08
 N65 G01 Z-5. F400. N66 X1.261
 N67 G02 X7.242 Y30.25 I-1.261 J-7.9 N68 G01 X-7.242
 N69 G03 X-7.924 Y25.75 I7.242 J-3.4 N70 G01 X7.924
 N71 G02 X5.713 Y21.25 I-7.924 J1.1 N72 G01 X-5.713
 N73 G03 X-1.542 Y19. I5.713 J5.6 N74 G01 X1.542
 N75 G03 I-1.542 J7.85 N76 G00 Z5.
 N77 X-1.261 Y34.75 N78 Z0
 N79 G01 Z-6.5 N80 X1.261
 N81 G02 X7.242 Y30.25 I-1.261 J-7.9 N82 G01 X-7.242
 N83 G03 X-7.924 Y25.75 I7.242 J-3.4 N84 G01 X7.924
 N85 G02 X5.713 Y21.25 I-7.924 J1.1 N86 G01 X-5.713
 N87 G03 X-1.542 Y19. I5.713 J5.6 N88 G01 X1.542
 N89 G03 I-1.542 J7.85 N90 G00 Z5.
 N91 X-1.261 Y34.75 N92 Z-1.5
 N93 G01 Z-7. N94 X1.261
 N95 G02 X7.242 Y30.25 I-1.261 J-7.9 N96 G01 X-7.242
 N97 G03 X-7.924 Y25.75 I7.242 J-3.4 N98 G01 X7.924
 N99 G02 X5.713 Y21.25 I-7.924 J1.1 N100 G01 X-5.713
 N101 G03 X-1.542 Y19. I5.713 J5.6
 N102 G01 X1.542 N103 G03 I-1.542 J7.85 N104 G00 Z5.
 N105 Z10.
 N106 (Desbaste4) N107 X-74.615 Y39. N108 Z5.
 N109 G01 Z-5. F400. N110 G03 I-1. J0 N111 G00 Z5.
 N112 Z0
 N113 G01 Z-8.833 N114 G03 I-1. J0 N115 G00 Z5.
 N116 Z-3.833 N117 G01 Z-12.667 N118 G03 I-1. J0 N119 G00 Z5.
 N120 Z-7.667 N121 G01 Z-16.5 N122 G03 I-1. J0 N123 G00 Z5.
 N124 Z-11.5 N125 G01 Z-17. N126 G03 I-1. J0 N127 G00 Z5.
 N128 Z10. N129 X76.615 N130 Z5.
 N131 G01 Z-5. N132 G03 I-1. J0 N133 G00 Z5.
 N134 Z0
 N135 G01 Z-8.833 N136 G03 I-1. J0 N137 G00 Z5.
 N138 Z-3.833 N139 G01 Z-12.667 N140 G03 I-1. J0 N141 G00 Z5.
 N142 Z-7.667 N143 G01 Z-16.5 N144 G03 I-1. J0 N145 G00 Z5.
 N146 Z-11.5 N147 G01 Z-17. N148 G03 I-1. J0 N149 G00 Z5.
 N150 Z10. M09 N151 G91 G28 Z0
 N152 G28 X0 Y0
 N153 M30

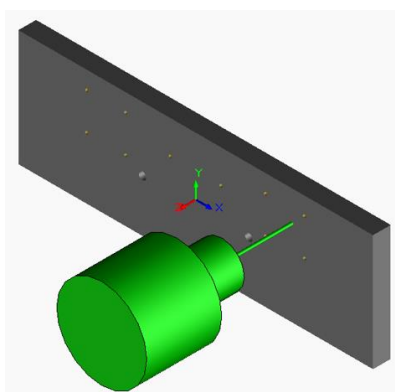


Figura 5. Maquinado pieza S-C-1.

O0001 N1 G21 (Maquinado pieza S-C-1)
 N2 (6MM CRB 2FL 19 LOC) N3 G91 G28 X0 Y0 Z0
 N4 T01 M06 N5 S200 M03
 N6 (Contorneado1)
 N7 G90 G54 G00 X0 Y52. N8 G43 Z5. H01 M08
 N9 G01 Z-.18 F2. N10 G17 X153. F500. N11 Y-52.
 N12 X-153. N13 Y52. N14 X0
 N15 G00 Z5. N16 Z4.82

N17 G01 Z-2.944 F2. N18 X153. F500.
 N19 Y-52. N20 X-153. N21 Y52. N22 X0
 N23 G00 Z5. N24 Z2.056
 N25 G01 Z-5.708 F2. N26 X153. F500.
 N27 Y-52.
 N28 X-153. N29 Y52. N30 X0
 N31 G00 Z5. N32 Z-.708
 N33 G01 Z-8.472 F2. N34 X153. F500.
 N35 Y-52. N36 X-153. N37 Y52. N38 X0
 N39 G00 Z5. N40 Z-3.472
 N41 G01 Z-11.236 F2. N42 X153. F500.
 N43 Y-52. N44 X-153. N45 Y52. N46 X0
 N47 G00 Z5. N48 Z-6.236
 N49 G01 Z-14. F2. N50 X153. F500. N51 Y-52.
 N52 X-153. N53 Y52. N54 X0
 N55 G00 Z5. N56 Z-9.
 N57 G01 Z-15. F2. N58 X153. F500. N59 Y-52.
 N60 X-153. N61 Y52. N62 X0
 N63 G00 Z5. N64 Z10. M09 N65 G91 G28 Z0
 N66 (6MM X 60DEG HSS CENTERDRILL)
 N67 T06 M06 N68 S200 M03
 N69 (Broca1)
 N70 G90 G54 G00 X-92.115 Y34. N71 G43 Z5. H06 M08
 N72 G81 G99 R5. Z-2. F2. N73 Y3.
 N74 X-59.115 N75 Y34.
 N76 X-21.5 Y21. N77 X21.5
 N78 X59.115 Y34. N79 Y3.
 N80 X92.115 N81 Y34.
 N82 G80 Z10.
 N83 (Broca1) N84 X-45. Y-5. N85 Z5.
 N86 G81 G99 R5. Z-2.631 F2. N87 X45.
 N88 G80 Z10. M09 N89 G91 G28 Z0
 N90 (6.4mm OBBBER DRILL) N91 T14 M6
 N92 S200 M
 N93 (Broca2)
 N94 G90 G5 G00 X-45. Y-5. N95 G43 Z5. H14 M08
 N96 G83 G99 R5. Z-17.921 Q5. F2. N97 X45.
 N98 G80 Z10. M09 N99 G91 G28 Z0
 N100 (2.5mm JOBBBER DRILL) N101 T15 M06
 N102 S200 M03
 N103 (Broca3)
 N104 G90 G54 G00 X-92.115 Y34. N105 G43 Z5. H15 M08
 N106 G83 G99 R5. Z-16. Q5. F2. N107 Y3.
 N108 X-59.115 N109 Y34.
 N110 X-21.5 Y21. N111 X21.5
 N112 X59.115 Y34. N113 Y3.
 N114 X92.115 N115 Y34.
 N116 G80 Z10. M09 N117 G91 G28 Z0 N118 G28 X0 Y0 N119
 M30

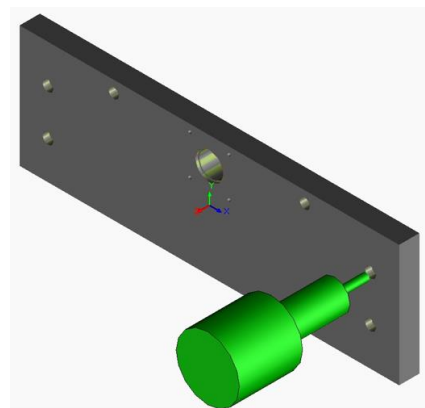


Figura 6. Maquinado pieza M-C-1.

La máquina CNC fue fabricada en aluminio, el ensamble final se presenta en la Figura 7. La técnica

doctor blade fue implementada con esta máquina, los parámetros que pudieron establecerse para la técnica fueron: un gap entre aplicador y sustrato de 200 μm y velocidades de aplicación desde 100 hasta 500 mm/min.

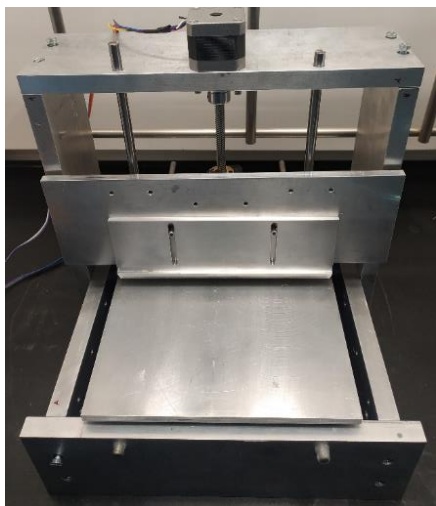


Figura 7. Ensamble de la máquina CNC adaptada para la técnica doctor blade.

Con la técnica fue posible el depósito de películas delgadas de polímero PEDOT:PSS que se emplea como capa transportadora de huecos en OLEDs y de compuestos fluorescentes de bajo peso molecular que se emplean como capa activa en los mismo dispositivos. El espesor de las películas depositadas por técnica doctor blade depende de la separación entre el sustrato colocado sobre la plataforma x - y y el aplicador colocado en el eje z , así como de la velocidad de aplicación. A mayor separación sustrato-aplicador, un mayor volumen de solución permanece sobre el sustrato incrementando el espesor de la película depositada. Mientras que, al variar la velocidad de aplicación, el volumen de solución que permanece sobre el sustrato cambia debido a la adhesión de solución sobre el sustrato, una velocidad más rápida genera un incremento en el espesor final de la película. La separación utilizada en este trabajo se fijó en 200 μm que permitió obtener un espesor del orden de nanómetros. Para modificar el espesor se varió la velocidad de aplicación, el movimiento de la plataforma se varió desde 100-500 mm/min. Las películas de PEDOT:PSS presentaron un espesor promedio de entre 1444 nm cuando se utilizó una velocidad de 100 mm/min y de 308 nm, cuando se utilizó una velocidad de 500 mm/min. Las películas fueron homogéneas con rugosidades de entre 2-9 nm, Tabla 1. Debido al espesor, las películas fueron semitransparentes, lo cual es requerido para que el polímero se coloque entre la capa emisora y el ánodo en un OLED.

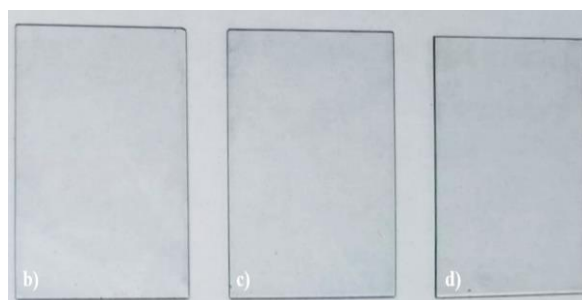


Figura 8. Películas del polímero PEDOT:PSS depositadas por la técnica doctor blade.

Tabla 1. Parámetros de espesor y rugosidad de las películas de PEDOT:PSS.

Parámetro	Velocidad de depósito (mm/min)		
	200	400	700
Espesor (nm)	65	106	142
Rugosidad (nm)	3.30	3.32	2.58

Por otro lado, se depositaron películas de compuestos fluorescentes de bajo peso molecular sobre los sustratos que tenían ya una película de PEDOT:PSS. En la Figura 9 se muestran imágenes bajo luz normal y bajo luz UV, de la película depositada. Bajo luz UV se observa el fenómeno de fluorescencia con emisión en verde.

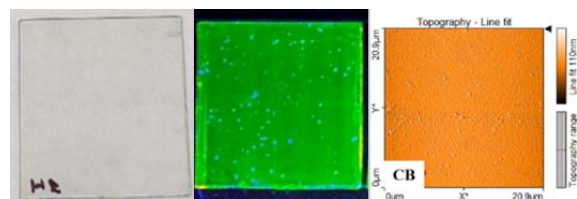


Figura 9. Película de compuesto fluorescente depositada por la técnica doctor blade con la máquina CNC fabricada. A la izquierda se observa la película bajo luz normal, al centro la película bajo luz UV y a la derecha la imagen de la morfología en un área de 20x20 μm obtenida por AFM.

La película depositada fue homogénea sobre el área de 5x5 cm. El espesor de la película y la rugosidad promedio fueron de 80 nm y 10 nm, respectivamente. La película se utilizó como capa activa en un OLED. En la Figura 10 se presenta el OLED fabricado. Se observa una emisión verde, que corresponde con la fluorescencia del compuesto.



Figura 10. Imagen del OLED fabricado con la técnica doctor blade.

4. Conclusiones

La utilización del SolidWorks CAM, es una solución con beneficios grandes beneficios, para la generación de los programas de CNC, con procesador Fanuc10M. La fusión del entorno de diseño y programación facilito la transición entre el proceso de diseño y maquinado. Debido a la capacidad del reconocimiento de los rasgos de mecanizado, permite automatizar el proceso de programación y generación de códigos, al contar con su propia aplicación o editor de código NC, por lo tanto, nos permite verificar si le programa generado es el adecuado, con el simulador de rutas de mecanizado de SOLIDWORKS CAM permite verificar si existen colisiones durante el proceso de mecanizado.

La necesidad de tolerancias más estrictas dentro de las diferentes características de un solo componente. Si bien la estructura general de una pieza puede no requerir las tolerancias más estrictas, áreas específicas como los puntos donde la pieza debe encajar o unirse con otros componentes, como los agujeros requieren una alta precisión. En este caso la base de la máquina de CNC fabricada era de vital importancia para poder cumplir con las exigencias que se requerían para el depósito de las películas en el sustrato.

En el proceso de mecanizado, con mayor precisión garantiza que cada pieza se produzca con la mayor precisión, lo que reduce el margen de error. Esto es crucial para piezas que interactúan estrechamente con otros componentes, donde una ligera discrepancia puede provocar ineficiencia operativa. Además, para este proyecto donde la precisión era una de las mayores preocupaciones críticas, para cumplir con las exigencias del producto final.

La fabricación de esta máquina de CNC, además de ahorrar dinero al laboratorio de polímeros, demostró que, realizando un trabajo correcto de diseño y fabricación y ensamble de la misma, el grupo está preparado para desarrollar sus propios equipos para la fabricación de celdas solares.

Con el sistema diseñado y fabricado fue posible el depósito de películas delgadas de materiales semiconductores orgánicos.

Las películas depositadas sirvieron como capa transportadora de huecos y capa activa en diodos emisores de luz orgánicos con emisión verde.

5. Referencias

- [1] F. So. "Organic Electronics: Materials, Processing, Devices and Applications". 1era Edición, 2009, CRC Press, Taylor and Francis Group.
- [2] Organic Electronics Materials and Devices, 2da Edición. Shuichiro Ogawa, Springer Tokyo, 2024.
- [3] D. Khim, H. Han, K.-J. Baeg, J. Kim, S.-W. Kwak, D.-Y. Kim, Y.-Y. Noh, "Simple bar-coating process for large-area, high-performance organic field-effect transistors and ambipolar complementary integrated circuits". *Adv. Mater.* 25, 4302-4308, 2013. [PDF] <https://doi.org/10.1002/adma.201205330>.
- [4] X. Gu, L. Shaw, K. Gu, M.F. Toney, Z. Bao, "The meniscus-guided deposition of semiconducting polymers". *Nat. Commun.* 9, 2018. [PDF]. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-02833-9>.
- [5] M.A. Aegerter, M. Mennig, "Sol-gel technologies for glass producers and users", Springer Science & Business Media, 2013.
- [6] L.F. Francis, B.J.H. Stadler, C.C. Roberts, "Materials Processing: A Unified Approach to Processing of Metals", *Ceramics and Polymers*, 2016. [PDF]. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-64287-2>.
- [7] Z. Chen, "Development of OpenGL based 3D simulator for computer numerical control", *International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence*, 3, 319-321, 2010.
- [8] González Vázquez, Luis Gabriel, Venegas Moreno, Juan José, Chocoteco Campos, José Abel, Mojarro Magaña, María, Partida Ochoa, Gonzalo, "Introducción de SOLIDWORKS CAM Para Centro de Maquinado", Editorial BUK, 2021. ISBN: 9786079908645.