

# **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE MICROPOSICIONAMIENTO PARA EL RECUBRIMIENTO DE FIBRAS ÓPTICAS**

## *DESIGN AND CONSTRUCTION OF MICROPOSITIONING SYSTEM FOR FIBER OPTIC COATING*

***Pablo César Rodríguez Garza***

UAT, Centro de Innovación Tecnológica en Eléctrica y Electrónica, México  
*pabloc92rodgar@gmail.com*

***Yadira Aracely Fuentes Rubio***

UAT, Centro de Innovación Tecnológica en Eléctrica y Electrónica, México  
*yfuentes@docentes.uat.edu.mx*

***René Fernando Domínguez Cruz***

UAT, Centro de Innovación Tecnológica en Eléctrica y Electrónica, México  
*rfdominguez@docentes.uat.edu.mx*

***Oscar Baldovino Pantaleón***

UAT, Centro de Innovación Tecnológica en Eléctrica y Electrónica, México  
*obaldovino@docentes.uat.edu.mx*

***Gerardo Romero Galván***

UAT, Centro de Innovación Tecnológica en Eléctrica y Electrónica, México  
*gromero@docentes.uat.edu.mx*

**Recepción:** 29/octubre/2020

**Aceptación:** 8/diciembre/2020

### **Resumen**

En este trabajo se presenta el diseño y la construcción de un sistema de microposicionamiento automatizado que permite realizar el proceso de recubrimiento por inmersión sobre fibras ópticas. El diseño permite utilizar velocidades de inmersión que van de 29.94 mm/s a 600 mm/s, dirigidas a la deposición óptima de capas funcionalizadas que permitan la implementación de sensores basados en fibras con recubrimientos. El sistema de microposicionamiento diseñado se realizó con componentes electrónicos que son comunes en laboratorios académicos. Debido a ello, el costo de fabricación se redujo alrededor de 17 veces más económica que un dispositivo de inmersión

comercial que realiza la misma función y con la misma calidad. Además, el sistema es provisto de una interfaz de usuario amigable y de fácil manejo para su empleo.

**Palabras Clave:** Automatización, fibras ópticas, inmersión, interfaz, recubrimientos.

## **Abstract**

*This work presents the design and construction of an automated micro-positioning system that allows the coating process by the immersion technique for sensor implementation based on optical fibers. The system offers an immersion speed range from 29.94 mm/s to 600 mm/s, which provides the optimal deposition of functionalized layers. The designed micro-positioning system was built with conventional electronic components that are common in academic laboratories. The developed system reduces the cost about 17 times cheaper than commercial immersion devices, performing with similar functions and acceptable execution. Also, the system has an easy interface to operate.*

**Keywords:** *Automatization, coating, fiber optics, immersion, interface.*

## **1. Introducción**

En los últimos años, los sensores basados en fibra óptica han tenido un crecimiento relevante y se han utilizado para el monitoreo de parámetros físicos en áreas tales como la biomédica, aeronáutica, control ambiental y e incluso en el industrial [Urrutia, 2015].

El interés en el uso de estos sensores se debe en gran parte a las ventajas ya conocidas de ellos, como lo es su inmunidad a interferencias electromagnéticas, dimensiones reducidas, monitoreo en tiempo real, permite la detección remota y ofrece la posibilidad de multiplexación de señales. Debido a lo anterior, las líneas de investigación en el desarrollo de nuevas configuraciones de sensores basados en fibra óptica han aumentado y con ello, el uso de técnicas de deposición para la colocación de películas micro y nanoestructuradas sensibles a agentes externos [De Acha, 2017].

El recubrimiento de películas micro y nanoestructuradas colocadas en fibra óptica, han hecho posibles sensores que detectan parámetros tales como gases, niveles

de pH, temperatura, humedad, iones de metales pesados y biomoléculas [Urrutia, 2015].

La técnica de deposición más común que permite fabricar fibras ópticas provistas de capas funcionalizadas se basa en mecanismos de inmersión (comúnmente llamado dip-coating, en inglés). Este proceso consiste en sumergir un material de manera parcial o total, denominado como sustrato, dentro de un depósito provisto de una solución durante un intervalo de tiempo. Esto permite éste pueda humedecerse y posteriormente sea extraído de la solución [Scriven, 1988]. Las velocidades de inmersión y extracción definen el espesor y uniformidad de la capa sobre el sustrato [Yimsiri, 2006]. En este caso, la viscosidad, la fuerza de tensión superficial y la de gravedad, intervienen de manera fundamental en el flujo sobre el sustrato y con ello, la homogeneidad del recubrimiento. Cuanto más rápido se retira el sustrato de la solución, más densa es la película depositada, por lo que la viscosidad de la solución y la velocidad de extracción juegan un papel importante en determinar los parámetros de control del espesor del recubrimiento deseado [Chaki, 2006]. El proceso de deposición de recubrimiento por inmersión se puede dividir en cuatro etapas y que se llevan a cabo secuencialmente [Glocker, 2016]:

- Inmersión (Insertion): el sustrato se sumerge en la solución del material con el que se quiere hacer el recubrimiento, a una velocidad de inmersión constante.
- Tiempo de permanencia (Dwell Time): el sustrato se deja sumergido en la solución del recubrimiento durante un periodo de tiempo determinado, posteriormente comienza a extraerse.
- Retirada (Withdrawal): el recubrimiento se deposita en el sustrato cuando se empieza a retirar de la solución. El retiro se lleva a cabo a una velocidad constante, evitando cualquier vibración no deseada. La velocidad de extracción determina el grosor de la película depositada, siendo una velocidad más alta la que produce una película más gruesa.
- Secado o curado (Drying or Curing): es cuando el sustrato se deja a temperatura ambiente, en ocasiones es colocada en un horno para evaporar algún tipo de solvente.

Estas cuatro etapas del proceso de deposición por inmersión descritas se muestran gráficamente en la figura 1, aplicadas en una fibra óptica como sustrato.

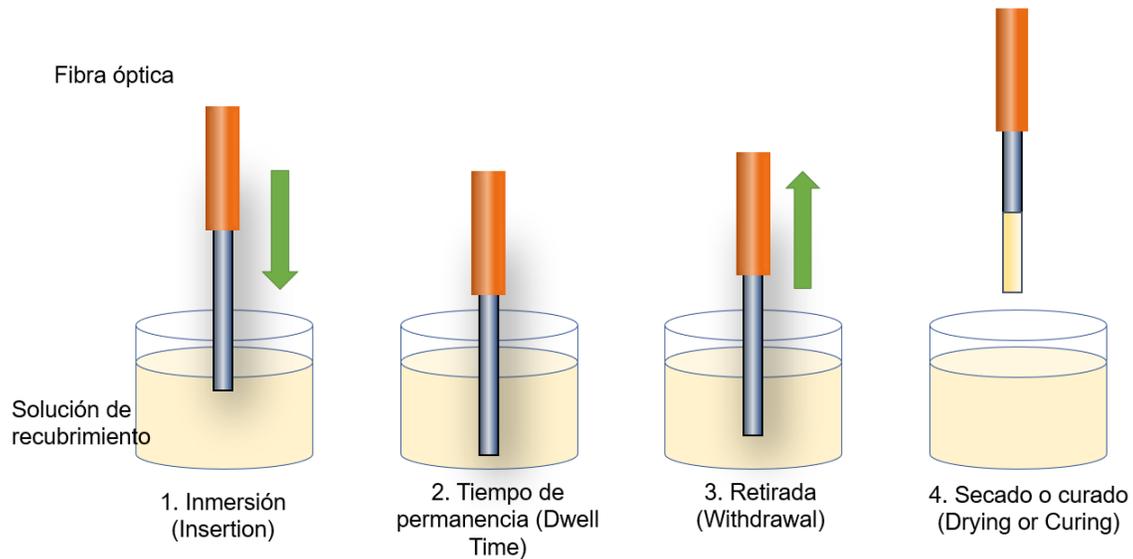


Figura 1 Etapas del recubrimiento por inmersión.

En general, el control preciso de la velocidad de inmersión, el tiempo de inmersión, la velocidad de extracción y la repetición de algunas de estas etapas influyen directamente en el grosor deseado del recubrimiento [Glocker, 2016]. Más aun, el manejo de estas fases y de los parámetros en cada uno de ellos es fundamental durante el proceso de fabricación, ya que intervienen directamente en las características ópticas, eléctricas, fotoeléctricas, etc. de la capa depositada y en consecuencia, el funcionamiento del dispositivo resultante.

Algunos de estos sistemas comerciales, manejan velocidades de desplazamiento típicamente del orden 30 a 7200 mm/min y cuyo uso generalmente está dirigido al área de química. Sin embargo, los equipos comerciales que realizan recubrimientos por inmersión, no todos son especializados para utilizarse concretamente sobre fibras ópticas, debido a que no controlan alguno de los parámetros ya mencionados. Si bien existen algunas alternativas en el mercado, su costo es notablemente elevado, lo que complica su adquisición para propósitos de investigación científica. Adicionalmente, en trabajos reportados donde realizan el proceso de inmersión, se ejecuta a velocidades aproximadas al proceso requerido. Para realizar dicha acción

se procede a utilizar la técnica de PWM en Arduino® para reducir la velocidad de un motor DC. Aun así, las velocidades son altas para un proceso tan minucioso y delicado por lo que incorporan un sistema mecánico entre engranes y piñones lineales con el fin de reducir aún más la velocidad [Loza, 2014].

El sistema mecánico que se utiliza en este trabajo garantiza la uniformidad del desplazamiento lineal debido a que se monta sobre una guía lineal de alta precisión. Para la reducción de velocidad también se utiliza la técnica de PWM con lo cual es posible modificar el ciclo de trabajo de la señal y con ello controlar el voltaje que se envía a la carga. Aunado a ello la función de micropasos que realiza el Driver DRV8825 hace posible disminuir considerablemente la velocidad, es decir, se incrementa la resolución del motor a pasos de 200 pulsos por vuelta dado por el fabricante a 6400 pulsos por vuelta, logrando también una mayor precisión.

Con respecto a la interfaz de usuario, existen publicaciones en donde la desarrollan utilizando LabVIEW®, sin embargo, solo agregan funciones básicas para la operación del dip-coating [Crespo, 2016]. La interfaz desarrollada para el equipo que se diseñó fue desarrollada en LabVIEW® pero se incorporan diversos controles de operación, tales como distancia para inmersión, velocidad de desplazamiento, tiempo del proceso, número de inmersiones y el usuario del equipo puede decidir si realiza el proceso de inmersión manual o automático.

En este trabajo, se presenta el diseño y fabricación de sistema de inmersión de bajo costo respecto a los equipos comerciales disponibles, como una solución a la necesidad de realizar recubrimientos de materiales colorantes orgánicos sobre fibras ópticas. Dicho equipo se fabricó considerando las necesidades de velocidad y tiempo de inmersión, repetición, control, e interfase simple para quien lo opere. En particular, el sistema dispone del control preciso de las velocidades de inmersión y extracción en un rango de 29.94 mm/s a 600 mm/s, adecuado para el proceso requerido. Adicionalmente, el sistema cuenta con el control preciso de las distancias a recorrer en el proceso con un rango de trabajo de 0-250 mm y con una precisión de resolución de 6400 pulsos por vuelta del motor obteniendo 0.05° lo que equivale una resolución de desplazamiento lineal de 0.00625 mm En términos del tiempo de posicionamiento durante los procesos de adherencia, éste también puede ser

controlado bajo los requerimientos específicos que se deseen. El mecanismo de micro-posicionamiento fabricado se maneja bajo una interfaz amigable para su operación y de fácil programación por el usuario.

## **2. Métodos**

Para describir el sistema de micro-posicionamiento implementado, conviene mencionar que éste dispone de tres subsistemas: el mecánico, electrónico y software y que a continuación se describen:

### **Subsistema mecánico**

El diseño mecánico se realizó utilizando software de diseño asistido por computadora (CAD), específicamente en Solidworks® (Figura 2), teniendo un eje de desplazamiento de precisión proyectado en el eje vertical. El equipo fue diseñado considerando perfiles de aluminio con la finalidad de que sea resistente, pero a la vez liviano y con esto lograr una portabilidad.



Figura 2 Diseño del sistema mecánico en SolidWorks®.

Para la fabricación de la etapa de movimiento lineal, se utilizó una guía con carro móvil sobre el eje en el cual se basará todo el funcionamiento principal. El carro de la guía lineal proporciona utiliza elementos de rodadura de recirculación entre un carril perfilado y un bloque de apoyo. Adicionalmente, se instaló un sistema de engranes, uno en la flecha del motor a pasos en la parte inferior, como se muestra

en figura 3, sujetando una banda dentada y el otro engrane sujeto en un balero en la parte superior, tal y como se muestra en la figura 4.



Figura 3 Mecanismo de movimiento lineal ubicado en parte inferior.



Figura 4 Mecanismo de movimiento lineal ubicado en parte superior.

La unión del sistema entre la guía lineal y los engranes con la banda dentada se realiza al colocar una base de aluminio la cual sujeta el carro de la guía lineal con la banda, así el engrane por defecto al estar sujeto a la banda se moverá simultáneamente, como se aprecia en la figura 5.

En la base del eje móvil se colocó una guía lineal de precisión, con esto se logra el desplazamiento con precisión que se demanda en el equipo. Sobre la guía lineal se adaptó una base para sujetar la fibra óptica, en esa misma base, se adaptó un sensor de proximidad de tipo ultrasónico (figura 6).



Figura 5 Unión del sistema entre guía y la banda lineal.

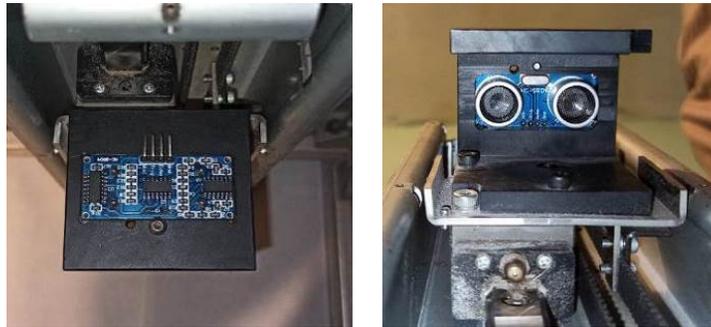


Figura 6 Adaptación de sensor ultrasónico HC-SR04.

En la tabla 1, se enlistan todos los componentes y características del subsistema mecánico.

Tabla 1 Listado de material mecánico.

Material	Características
Perfiles de aluminio bosch	30x30 mm, 2 piezas 30 cm, 4 piezas 27 cm
Placa de aluminio	0.125 cm de espesor, 2 piezas 4 x 30 cm, 1 pieza de 8x30 cm
Guía de riel lineal Hiwin	30 cm de largo
Carro porta riel	15 mm, 300mm
Polea Gt2 de aluminio	16 dientes, diámetro interior 5mm, ancho de la banda 6mm
Delrin negro	0.5 cm de espesor, 5x5 cm
Escuadras para perfil	M30, 30x30 mm
Tornillos M3	0.125 espesor, 10 mm

### Subsistema electrónico

En este subsistema es donde se realiza el control completo del equipo. Entre los parámetros importantes por controlar son la velocidad de inmersión, extracción, así como el tiempo en que permanece la fibra óptica dentro de la solución. Para ello, se realizó la programación en LabVIEW® de National Instruments®, y se utilizaron los

controladores para Arduino®, la programación se detallará en el subsistema siguiente. El listado principal de los componentes del subsistema electrónico se muestra en la tabla 2.

Tabla 2 Listado de material electrónico.

Material	Características
1 DRV8826 controlador para motor de pasos.	Intensidad máxima: 2.5 A, Voltaje máximo: 45 V, Micropasos: 32, Resistencia típica: 0.1 ohm. Formula de Intensidad operacional: $I_{Max} = V_{ref} / (5 * R_s)$
Motor de pasos NEMA 17	Tipo: Bipolar, Voltaje nominal: 12 V, Intensidad: 1.7 A, Torque: 4000 g/cm, Angulo de paso: 1.8°, No de pasos: 200, Resistencia de fase: 1.5 ohms.
Arduino® Mega 2560	Microcontrolador basado en el ATmega2560. Dispone de 54 pines digitales, 16 entradas analógicas, 4 UARTs, un cristal de 16 MHz oscilador, una conexión USB, un conector de alimentación y un botón de reinicio.
Sensor ultrasónico HC-SR04	Voltaje de Operación: 5 V, Corriente de reposo: < 2 mA, Corriente de trabajo: 15 mA, Rango de medición: 2 cm a 450 cm, Precisión: +- 3 mm, Frecuencia de ultrasonido: 40 KHz. La distancia se puede calcular mediante: $Distancia(m) = [(Tiempo\ del\ pulso\ ECO) * (Velocidad\ del\ sonido = 340\ m/s)]/2$

El apoyo principal de protección del sistema eléctrico fue usar el controlador DRV8825. Éste trabaja en un rango de alimentación entre 8.2 V a 45 V, puede suministrar 1.5 A por bobina y soporta picos de corriente de hasta 2.5 A. Para el control son sólo necesarios 2 pines, uno para la dirección de giro y otro para los pasos. El microstepping se configura con los pines M0, M1 y M2 de acuerdo con la tabla del fabricante. RESET y SLEEP son pines que deben ir a 5V de lo contrario el controlador se inhabilita. Una de las funciones del dispositivo es que cuenta con un potenciómetro para limitar la corriente que pasa al embobinado de los motores para protección interna, por tanto, fue necesario calcular la corriente de operación para después ajustar el voltaje limite por fase a 0.60 volts. La figura 7 muestra la conexión del controlador. Otra de las funciones del DRV8825 que se aprovechó es que cuenta con 3 pines los cuales regulan la resolución de pasos a utilizar (M0, M1 y M2) la cuales son, paso completo, 1/2 paso, 1/4 paso, 1/8 paso, 1/16 y 1/32 pasos.

El motor a pasos NEMA 17 cuenta con una resolución de 200 pasos por vuelta. Por tanto, se configuró a 1/32, con ello, se obtiene una resolución de 6,400 pasos cada 360°, lo cual equivale a 0.05° por paso del motor dando un resultado de alta

precisión. Lo anterior hace posible que la velocidad de inmersión y extracción sea del orden de mm/s, lo cual es de gran precisión para realizar el recubrimiento en fibra óptica. En la figura 8 se muestra la conexión eléctrica del motor a pasos.

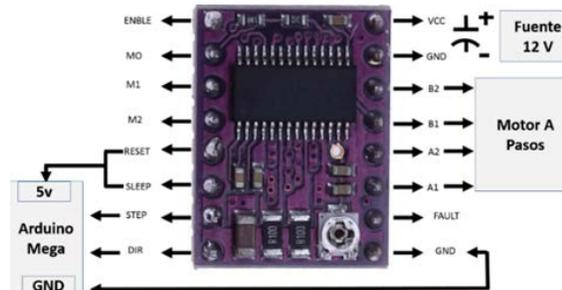


Figura 7 Esquema de conexiones del DRV8825.

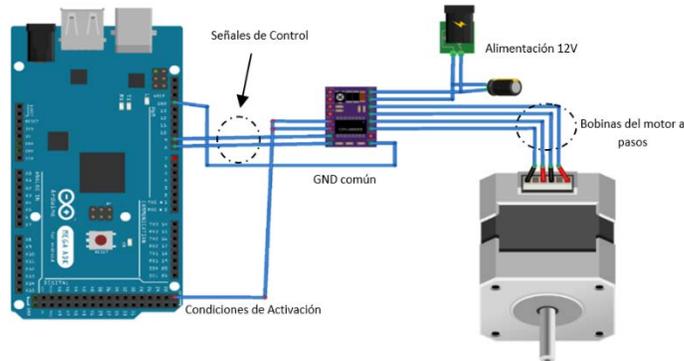


Figura 8 Esquema eléctrico de conexiones básicas del motor empleado.

En la figura 9, se presenta la secuencia del sistema de control. Como se puede apreciar, el sistema inicia con la interfase de control HMI diseñada en LabVIEW en la cual se configuran los parámetros de trabajo del proceso. Posteriormente gracias a los diagramas de bloques de LabVIEW-Arduino y la lógica programada se comunica por medio de la Librería LIFA-Base al Arduino Mega 2560 que a su vez se comunica por los puertos de salida con el controlador DRV8825 para modificar y adecuar las señales de control aplicando la secuencia de pulsos al motor a pasos. Enseguida la flecha del motor acciona el mecanismo diseñado y realiza las secuencias anteriormente programadas durante ese proceso el sensor ultrasónico HC-SR04 se comunica en tiempo real a la tarjeta Arduino mega 2560 retroalimentando el sistema y regresando ordenes al código.

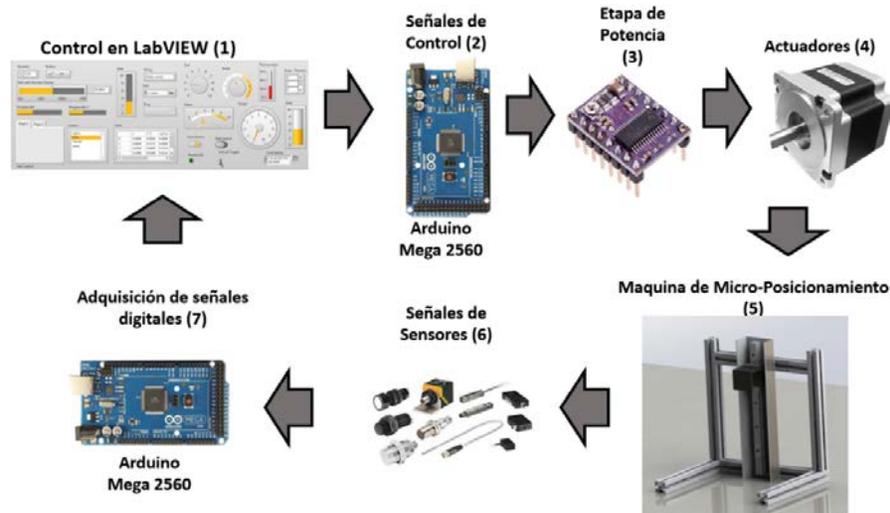


Figura 9 Diagrama de secuencia del sistema.

### Subsistema de software

LabVIEW® es un entorno de programación grafica que se puede utilizar para crear aplicaciones de manera rápida y eficaz con interfaces de usuario profesionales [Lajara, 2007]. Debido a esto, se utilizó para programar el control de todo el sistema del equipo de microposicionamiento. Para ello también se apoyó en la interfaz para Arduino®. Para lograr la comunicación entre los dos programas se apoyó en la caja de herramientas LabVIEW® Interface for Arduino® instalada directamente de VI Package Manager. Por parte del controlador Arduino® se carga una librería LIFA-base para la comunicación entre los diagramas a bloques de LabVIEW® (figura 10).

```
LIFA_Base | Arduino 1.0.5-r2
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda
LIFA_Base AFMotor.cpp AFMotor.h AccelStepper.cpp AccelStepper.h

Serial.flush();
break;

//*****
** Low Level - Digital I/O Commands
*****
case 0x02: // Set Pin As Input Or Output
pinMode(command[2], command[3]);
Serial.write('0');
break;
case 0x03: // Write Digital Pin
digitalWrite(command[2], command[3]);
Serial.write('0');
break;
case 0x04: // Write Digital Port 0
writeDigitalPort(command);
Serial.write('0');
break;
```

Figura 10 Librería para Arduino LIFA-base.

En la figura 11, se muestra la programación del control para el sensor ultrasónico, el cual tiene la función de indicar la distancia en la que se encuentra un objeto. En el subsistema electrónico, se menciona que se utilizó un microcontrolador Arduino® Mega 2560, para ello, se empleó la interfaz de programación de Arduino® para LabVIEW®, como se muestra en la figura 11. Con esto, fue posible programar desde LabVIEW microcontrolador y se evitó el desarrollo del código en lenguaje C o C++. La caja de herramientas LabVIEW interface para Arduino se encuentra los bloques de inicialización donde se configura parámetros de conexión como la placa a utilizar, puerto de comunicación, los puertos digitales, analógicos, PWM en bloques y con base en ellos se desarrolló la programación, como se muestra en la figura 12.

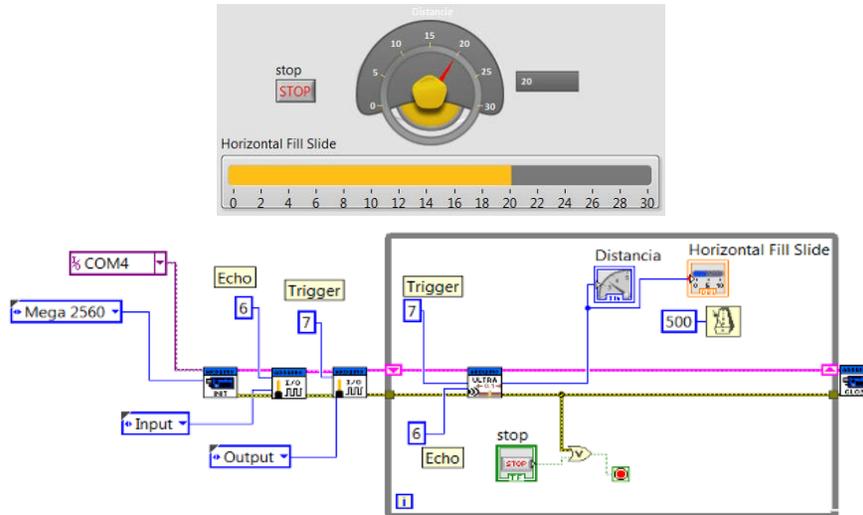


Figura 11 Programa de sensor ultrasónico HC-SR04.

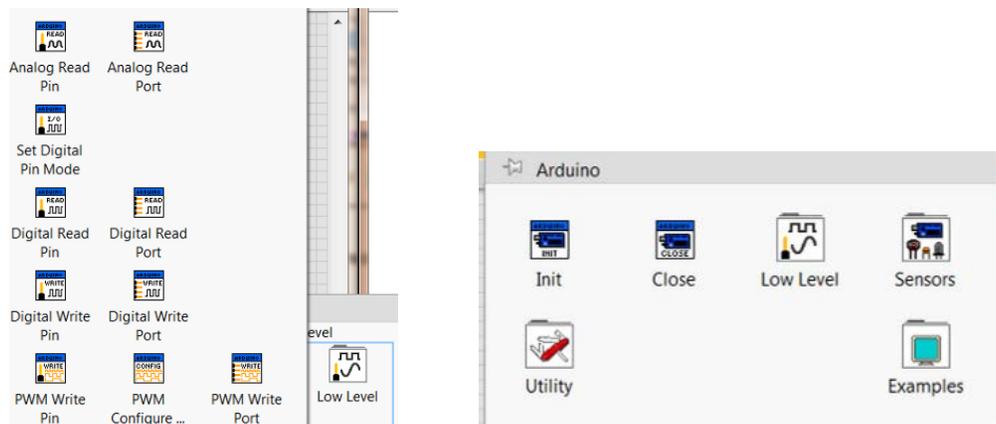


Figura 12 LabVIEW - Interfaz para Arduino.

LabVIEW® permite el diseño de la interfaz de usuario profesional y amigable para toda persona que desee operar la máquina de micro posicionamiento. En la figura 13 se presenta la interfaz desarrollada, la cual le ofrece al usuario seleccionar la opción de automatizar el proceso o realizarlo de forma manual.



Figura 13 Interfaz de operación del usuario en LabVIEW.

Así mismo, el usuario puede definir la velocidad de inmersión y extracción en mm/s así como establecer la distancia en milímetros que desee que descienda el eje vertical. El equipo retroalimenta al software mediante los sensores de posicionamiento y distancia, con ello, el software conoce la posición en que se encuentra el eje vertical y antes de iniciar una nueva rutina. Posteriormente, el eje es enviado a su posición inicial. Así mismo, la posición inicial de arranque también puede seleccionarse de manera manual mediante la interfase de control.

### 3. Resultados

Con base a los ajustes realizados al controlador DVR8825 se logró una resolución del motor de 0.05 grados por pulso, es decir, 6,400 pasos por vuelta. Con ello en mente y conociendo que el desplazamiento angular equivalente es de 898.5 radianes, es posible calcular la velocidad angular mediante la ecuación 1.

$$\omega = \frac{\theta}{T} = \frac{898.5}{60} = 14.97 \frac{rad}{s} \quad (1)$$

En donde:

$\omega$  = velocidad angular.

$\theta$  = desplazamiento angular.

$T$  = periodo.

Una vez conociendo la velocidad angular, se calcula la velocidad lineal  $v_l$  del sistema de micro-posicionamiento, dada por la ecuación 2.

$$v_l = \omega * r \quad (2)$$

Donde:

$v_l$  = velocidad lineal.

$\omega$  = velocidad angular.

$r$  = radio.

Se calcula una velocidad mínima de desplazamiento, obteniéndose de 29.94 mm/s. De este modo, el sistema de microposicionamiento logra la configuración requerida para los movimientos y velocidades requeridas para la deposición de películas. En las figuras 14 y 15 se presentan vistas del sistema ya construido y funcional.



Figura 14 Vista frontal del sistema de micro-posicionamiento.

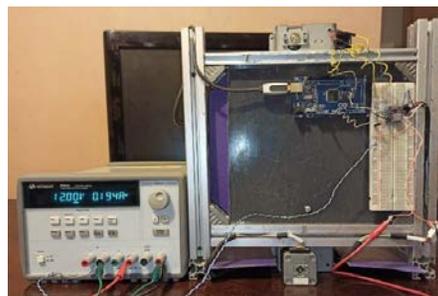


Figura 15 Conexiones eléctricas y de comunicación del sistema.

El sistema de microposicionamiento se ejecutó y se cronometró el desplazamiento programado, comprobándose que los cálculos teóricos y el ajuste realizado electrónicamente coinciden con el funcionamiento real. El sistema tiene un rango de trabajo en el eje vertical de 0 – 250 mm, soporta una carga máxima de 4 kg y un peso de 5.5 kg. Adicionalmente, la velocidad de inmersión y de extracción son programables en un rango de 29.94 mm/s a 600 mm/s, el número de inmersiones máximo es de 60 y opera con una fuente de alimentación de 110 V a 50-60 Hz, 2 A, 100 W.

#### **4. Discusión**

El sistema de microposicionamiento se utilizó para realizar la deposición sobre una fibra óptica multimodo de 125  $\mu\text{m}$ , a una velocidad de inmersión y de extracción de 75 mm/s. La solución de recubrimiento se mantuvo viscosa a una temperatura de 40 °C y se realizaron 18 inmersiones. La figura 16 muestra la fibra óptica con el recubrimiento. El diseño y fabricación del sistema de presentado para realizar recubrimientos de películas delgadas por inmersión sobre fibras ópticas, se realizó solo con un movimiento, en el eje vertical (“y”). Sin embargo, actualmente se está trabajando en un diseño complementario que agregue dos grados de libertad adicional, es decir, con desplazamiento en el eje “x” y “z”.

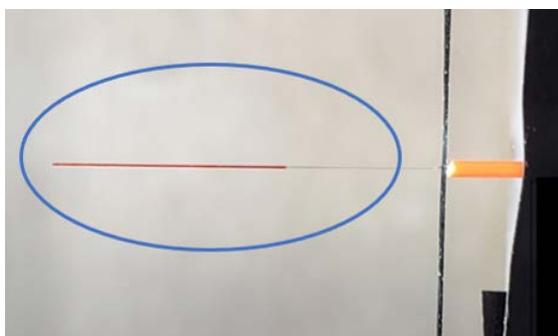


Figura 16 Fibra óptica multimodo con el recubrimiento señalado.

Para el diseño de máquinas de posicionamiento en dos y tres dimensiones, tendría que completarse el diseño mecánico, para hacer la estructura más resistente y evitar que se colapse con el peso de barras y motores. También el subsistema electrónico

tendría que replicarse a la cantidad de dimensiones que se desean agregar. Los equipos de micro posicionamiento en dos y tres dimensiones son también muy utilizados para la fabricación de sensores ópticos, se recurre a este tipo de equipos cuando se desea un tipo de deposición llamado capa por capa (conocida layer by layer, en inglés).

## **5. Conclusiones**

Este trabajo se presentó que el diseño y fabricación de una máquina de microposicionamiento para realizar películas delgadas mediante recubrimiento por inmersión en fibra óptica funciona con éxito, teniendo un control de los parámetros críticos que se identificaron para el diseño de sensores basados en fibra óptica, los cuales son: tiempo de inmersión, posición y velocidad de inmersión/extracción. En específico, el sistema cuenta con un rango de trabajo en el eje vertical de 0 a 250 mm, soporta una carga máxima 5.5 kg. Adicionalmente, la velocidad de inmersión y de extracción son programables en un rango de 29.94 a 600 mm/s, el número de inmersiones máximo es de 60 y opera con una fuente de alimentación convencional de 110 V a 50-60 Hz, 2 A, 100 W.

El costo total del equipo fabricado es \$370 USD, el cual es bajo comparado con equipos comerciales que ronda los \$6,500 USD. Además, el material propuesto para el subsistema electrónico es básico y se puede encontrar en cualquier laboratorio de electrónica en instituciones de nivel superior.

Se logró una interfaz de usuario amigable, dado que es de operación y de programación simple por quien lo maneje. Con la flexibilidad mejorada y el precio bajo, el sistema desarrollado entrega satisfactoriamente el producto, que anteriormente era una necesidad insatisfecha y de acceso difícil debido a su costo.

## **6. Bibliografía y Referencias**

- [1] Giancoli D. Física 1 Principios con aplicación, Sexta Edición Pearson Educación, México, 2009.
- [2] Glocker D. A. y Ranade S. V. Medical Coatings and Deposition Technologies, Scrivener Publishing LLC. pp. 233–245. 2016.

- [3] Chaki S., Mahato K., Malek T. y Deshpande M. CuAIS2 thin films – Dip coating deposition and characterization. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*. No. 2. 2, 215-224. 2017.
- [4] De Acha N., Elosua C., Matias I. y Arregui F. J., (2017). Luminescence-Based Optical Sensors Fabricated by Means of the Layer-by-Layer Nano-Assembly Technique. *Sensors*. No. 17. 2826. DOI: 10.3390/s17122826.
- [5] Loza David, Guerrero Víctor, Dabirian Reza. Construction of low-cost spin and dip coaters for thin film deposition using open source technology. *Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador*. 2014.
- [6] Lajara J. R., Pelegrí J. *LabVIEW Entorno gráfico de programación*. Ed. Marcombo, Barcelona, 2007.
- [7] Moreno Crespo, Peláez Barranco, Santana Gila, Méndez González, Guerra J., González Abreu, Saint Gregoire, García Zaldívar, Calderón Piñar. A simple setup to obtain ferroelectric thin films by Dip Coating. *Revista cubana de física*, vol. 33, no. 2, 2016.
- [8] Schneller T, Waser R, Kosec M, Payne D., (2014). Chemical solution deposition of functional oxide thin films. DOI 10.1007/978-3-211-99311-8.
- [9] Scriven L. E. *Physics and applications of dip coating and spin coating*. Materials Research Society. No. 125. 1998.
- [10] Urrutia A, Goicoechea J, y Arregui F. J., (2015). Optical Fiber Sensors Based on Nanoparticle-Embedded Coatings. Hindawi Publishing Corporation. *Journal of Sensors*. No. 15, 805053. DOI: 10.1155/2015/805053.
- [11] Wilson J, Buffa A, Lou B. *Física*, Sexta edición, Prentice Hall Inc., México 2007.
- [12] Yimsiria P., Mackley M. R. Spin and dip coating of light-emitting polymer solutions: Matching experiment with modelling. *Chemical Engineering Science*. No. 61, 3496 – 3505. 2006.