

SISTEMA DE TRES EJES COORDENADOS PARA AUTOMATIZAR EL PROCESO DE ROCIADO TÉRMICO EN FLAMA, 1ER ETAPA

THREE-AXIS SYSTEM TO AUTOMATE THE 1ST STAGE OF THERMAL FLAMES SPRAY

Luis E. Alanís Carranza

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación e Innovación Tecnológica
lalanisc1600@alumno.ipn.mx

Moisés V. Márquez Olivera

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación e Innovación Tecnológica
yom91@hotmail.mx

Ricardo Cuenca Álvarez

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación e Innovación Tecnológica
rcuenca@ipn.mx

Octavio Sánchez García

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada
osanchez0112@gmail.com

Viridiana G. Hernández Herrera

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación e Innovación Tecnológica
robotbailarin@hotmail.com

Resumen

En el proceso de rociado térmico por flama, los parámetros del desplazamiento de la pistola al momento de rociar polvo sobre un sustrato, condicionan las características del recubrimiento que se construye. En algunas industrias, el desplazamiento se realiza de manera manual y ocasiona recubrimientos heterogéneos. Hoy en día, ya existen sistemas que realizan este proceso de manera automática, como el HVOF (High Velocity Oxygen Fuel) y el APS (Atmospheric Plasma Spraying). Sin embargo, estos procesos son muy robustos y costosos. Por lo cual, se presenta la oportunidad de realizar una investigación para la reducción y disminución del tamaño y precio. En este trabajo se presenta el desarrollo del control de rociado térmico por flama haciendo uso de un sistema

mecánico. También, usuarios podrán modificar las variables (velocidad y la distancia de disparo). El proceso de control será evaluado observando la homogeneidad del recubrimiento en un microscopio, este tendrá que tener una altura constante.

Palabra(s) Clave: Rociado Térmico, Sistema mecánico, Control.

Abstract

In thermo spraying process the particles at the moment of impact against the substrate, those condition the properties of coating built. Industrially, this process is handmade, causing that heterogeneities. Today, there are systems that can automate this system, like HVOF (High Velocity Oxygen Fuel) and APS (Atmospheric Plasma Spraying). However, those processes are very robust and expensive. Therefore, there is opportunity to reduce and decrease the price and size. In this work the thermal spraying control is developed using an automated mechanical system. Also, users will be able to modify the variables (velocity and shooting distance). The control process will be evaluate seeing the homogeneity of coating in a microscope, this will have to have a constant height.

Keywords: Thermal spraying, mechanical system, Control.

1. Introducción

Durante los últimos años de la línea de mecatrónica, se han desarrollado distintos sistemas mecánicos que permitan automatizar diversos procesos, uno de estos y menos común es el proceso de rociado térmico por flama, cuya importancia radica en la manufactura de recubrimientos homogéneos sobre un sustrato y reducir el tiempo de la corrosión u oxidación en un material, así como también disminuir el riesgo del operador, brindar sobre la superficie mejoras de estética, propiedades ópticas y conductividad. No obstante, para poder brindar una solución a esta problemática es necesaria la combinación de cuatros áreas (electrónica, mecánica, programación y materiales), ya que para poder automatizar un proceso donde influyan los materiales es necesario de un análisis metalúrgico.

El proceso de rociado térmico es usado para crear pequeñas gotitas fundidas o semi-fundidas generalmente de 10-100 micras de diámetro desde un polvo o varilla y son colocadas sobre la superficie de un sustrato para generar un recubrimiento, cuando estas gotitas son proyectadas se les conoce como splats (Champagne, 2007). Esta técnica es utilizada para recubrir materiales expuestos a la oxidación y a la corrosión, por lo cual es importante para la vida útil de las máquinas que utilizan estos materiales (Marulanda, Tristancho, & Canas, 2009). En la figura 1 se muestra un esquema general del funcionamiento de esta técnica.

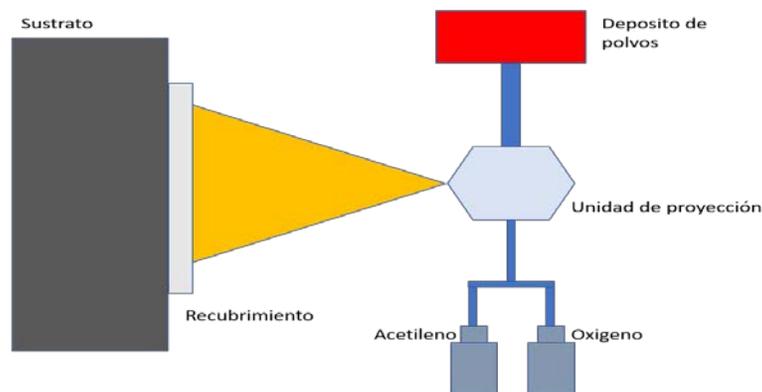


Figura 1 Esquema general del rociado térmico (Marulanda, Tristancho, & Canas, 2009).

El proceso se integra por los siguientes elementos:

- Material que será depositado en el sustrato: Lo más frecuente son polvos (metales, cerámicos o polímeros) y alambre.
- Unidad de proyección: Por lo general se utiliza una pistola o soplete.
- Fuente de energía: Pueden ser gases que, al mezclarse, se pueda generar una combustión o una batería de alto voltaje.
- Sustrato: Material en el que se deposita el recubrimiento.
- Recubrimiento: Es la capa que se va construyendo por medio de las partículas al momento de impactar contra el sustrato.

Una de las mayores ventajas de este proceso es la gran variedad de materiales que pueden ser usados para la manufactura de recubrimientos y otra es que se pueden quitar, recubrir o dañar el recubrimiento sin necesidad de cambiar las

propiedades o el tamaño del sustrato (Pawlowski, 2008). En la literatura se presentan tres técnicas para realizar el rociado térmico: flama, eléctrico y plasma. El presente trabajo encaminará sus esfuerzos en la técnica de roció por flama (flamespray), el cual básicamente consiste en el rociado de material fundido sobre una superficie para proporcionar un recubrimiento. El material en forma de polvo se funde en una flama (oxi-acetileno o hidrógeno es más común) para formar un chorro fino. Cuando el rocío contacta la superficie preparada de un material de sustrato, las gotitas fundidas finas solidifican rápidamente, formando una capa. Cronológicamente la primera técnica utilizada fue el rociado térmico por flama por el ingeniero suizo Schoop en 1917 y fue utilizado para metales que tuvieran un punto de fusión bajo, así como también para materiales de estaño y plomo. Años más tarde se utilizaría para otros tipos de materiales y para cerámicos (Champagne, 2007). En la mayoría de las industrias se realiza este trabajo de manera manual y esto ocasiona que el recubrimiento sobre la superficie sea heterogéneo (Davis & others, 2004).

En la figura 2 se muestra un recubrimiento sobre un sustrato y como se puede observar, existen zonas en donde hay más partículas estrelladas (Splats) y son las zonas más vulnerables a la oxidación y corrosión. Así como también, hay zonas en donde no fue posible la colocación de partículas y tienen el nombre de vacancia, las cuales ayudan a los óxidos entrar en las vacancias del recubrimiento. Por lo tanto, este tipo de recubrimientos no serían los adecuados para la construcción de edificios o puentes debido al tiempo de vida que tendría el material.

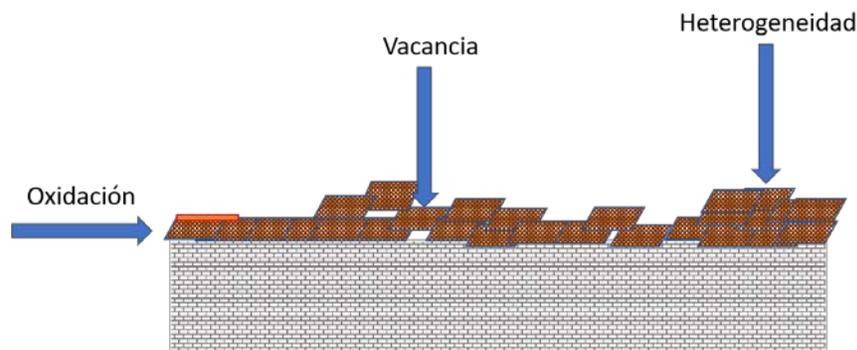


Figura 2 Esquema que muestra un recubrimiento heterogéneo.

En la figura 3 se observa la manera correcta en que deben ser colocados los splats, así como también una altura constante para tener finalmente un recubrimiento homogéneo.

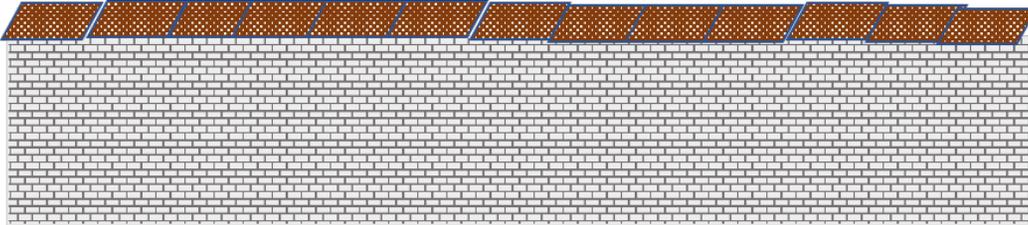


Figura 3 Esquema que muestra un recubrimiento homogéneo.

Como se mencionó anteriormente una de las razones de por qué se obtienen recubrimientos no homogéneos, es el manejo de la pistola de manera manual ya que el usuario puede llegar a tener las siguientes situaciones:

- Pulso, cansancio, distracción del usuario.
- Movimiento relativo de la pistola/sustrato.
- Trayectoria del pase de rociado.

Por lo cual, en este trabajo solventara esta problemática al desarrollar un mecanismo que permita automatizar este proceso. En el trabajo realizado por Erika (Santos, 2018) dedujo que, si se controla la distancia del sustrato con la pistola, la velocidad de desplazamiento y utilizando la boquilla correcta es posible obtener un recubrimiento homogéneo.

Actualmente, ya existen sistemas en la industria que automatizan este proceso y se obtienen recubrimientos de alta calidad como son el rociado térmico de alta velocidad (HVOF), en el cual las partículas tienen una velocidad de 500 a 800 m/s y así pueda reducir más el tiempo de oxidación del material, trabaja a temperaturas de 3000 K la cual es considerable baja (Bemporad, Sebastiani, Staia, & Cabrera, 2008) y esta técnica es utilizada para la manufactura de recubrimientos densos de alta dureza y excelente resistencia para el desgaste (Tang, Ajdelsztajn, & Schoenung, 2004). Otro de los procesos más utilizados en las industrias es el rociado térmico con plasma.

Todos estos procesos de rociado térmico tienen buenos resultados en la manufactura de recubrimientos. No obstante, estos sistemas son muy costosos y robustos debido al inmenso equipo con el que trabaja como el brazo robótico y las fuentes de energía que utilizan. Además, se requiere de un operador experto para que puedan ser controlados.

En este trabajo se desarrollará un sistema mecánico automatizado económico para poder manufacturar recubrimientos homogéneos, similares a los que ya existen en la industria. Esto tendría la reducción de costos y a la reducción de equipo que se requeriría para realizar el desplazamiento de la pistola de forma automática. Dentro de la literatura ya se han desarrollado otros sistemas que permiten el desplazamiento automático. Sin embargo, estos son utilizados como CNC para el desarrollo de circuitos en placa de cobre (Palomares Orihuela & Ore, 2016) (Enrique, Javier, & Gerardo) (Picco, 2016), los cuales utilizaron arduino para controlar sus motores y permitieran el desplazamiento de las máquinas. También en la literatura hay sistemas que controlan el rociado térmico (Fincke, y otros, 2001) (Mundra, Otto, Gaponik, & Eychmüller, 2013) (Seo, Lee, & Park, 2016). En esta investigación se utilizará un FPGA para poder manipular los motores, así como también una interface desarrollada en lenguaje de programación C#.

2. Métodos

Es importante denotar que el presente proyecto es multidisciplinario por lo que en la figura 4 se muestran las disciplinas y por tanto las etapas inmiscuidas en la automatización del proceso de rocío por flama propuesto en el presente trabajo de investigación.

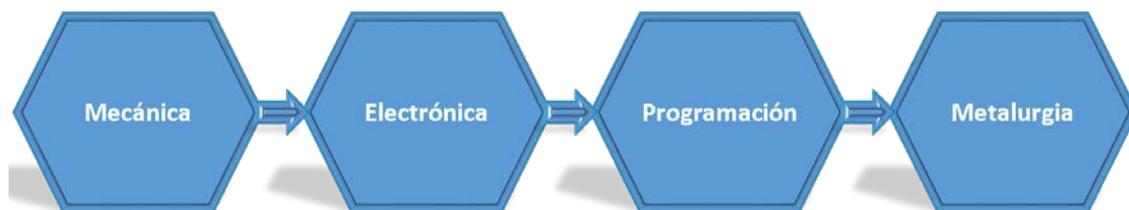


Figura 4 Diagrama que muestra las etapas de proyecto de investigación propuesto.

En la parte mecánica se diseñan y manufacturan los diferentes mecanismos de desplazamiento y sujeción que serán necesarios para llevar a cabo el desplazamiento automático de la pistola, mientras para el desarrollo electrónico se propone los diferentes circuitos electrónicos necesarios para el movimiento de los motores DC. No obstante, es necesario programar todos los componentes que permitan el movimiento, así como una interfaz para la interacción del usuario con la máquina. Finalmente, en la parte de metalurgia se analizarán los recubrimientos manufacturados por la máquina. Este trabajo se explicará a detalle la propuesta y toda la 1er etapa ya desarrollada.

Mecánica

En esta parte se seleccionará el material con el que se construirá el sistema mecánico y el desarrollo de su diseño. Para poder prevenir algún error que pudiera ocurrir al momento de ensamblar todas las piezas de manera física, se pretende diseñar el sistema mecánico en el software de diseño SolidWorks. Para ello, es necesario considerar algunas variables que serán necesarias analizar. Como las vibraciones que se podrían generar al momento de mover la pistola, consecuencia de su peso y tamaño que este tiene. El tamaño que tendrá la máquina es 80 cm. de ancho y 180 de largo, las cuales serán adecuadas para realizar las pruebas en los laboratorios que se encuentran disponibles en el centro de investigación CIITEC. Una vez que se haya seleccionado el tamaño que tendrá la máquina, se procede a conocer que piezas serán necesarias para la construcción de este sistema.

Se ha seleccionado 4 guías que sostendrán el eje X y 2 para los demás, ya que en la parte inferior es la zona donde cargara todo el peso de la pistola y de los más ejes, también se colocara un cambiador en el eje Y, esto con la finalidad de que el sistema se pueda adaptar a cualquier pistola en el mercado y se puedan realizar recubrimientos con distintas pistolas. Tiene una distancia máxima de 60 cm. para utilizar distintos tipos de polvos. El material que se seleccionó para construir este mecanismo fue el aluminio, ya que este es muy ligero y reduciría el peso.

Electrónica y programación

Se realiza el análisis de los motores que se utilizarán para llevar a cabo el desplazamiento de la máquina, así como también el tipo de driver que se utilizará. Los motores más utilizados en los sistemas CNC y de coordenadas son los a pasos (figura 5), debido a que son más económicos, son fáciles de controlar la velocidad y tienen un error en la precisión del 3 al 5 %. No obstante, estos motores son sistemas de lazo abierto y por lo cual no tienen un sensor que permita verificar la posición en la que se encuentra, además de que generan muchas vibraciones y consumen mucha energía cuando se encuentran en reposo.



Figura 5 Motor a pasos (Instruments, 2014).

En este trabajo se utilizarán los motores BLDC (Brushless Direct current) (figura 6) o sin escobillas, los cuales pueden proporcionar muchas ventajas con respecto a los motores a pasos. Estos motores no hacen de mucho ruido, tienen buen torque, requieren menos energía y no requieren de un mantenimiento continuo. El sistema mecánico puede tener mucho peso, por lo cual se requiere de motores con el torque suficiente para mantener el mecanismo y a la pistola. Los servomotores pudieron haber sido una buena selección también, no obstante, solo pueden trabajar de 0 a 180° y no es posible de variar la velocidad, posición y aceleración, los cuales son requeridos para el control del desplazamiento de la pistola.

Para poder manipular un motor BLDC, es necesario de un controlador que permita mandarle una señal y este pueda realizar un movimiento.



Figura 6 Motor BLDC (Group, 2017).

En la figura 7 se observa un esquema general del control de los motores, el cual para poder controlar los tres motores es necesario la utilización de tres drivers. Esto puede resultar muy costoso, por lo cual no es conveniente y se procederá a utilizar un solo driver utilizado en (Fernández, Contreras, Herrera, & Olivera, 2017), el cual es mexicano y fue desarrollado en el centro de investigación e innovación tecnológica (CIITEC-IPN) con el propósito de solo utilizar un solo driver para la manipulación de 2 o más motores a la vez (figura 8).

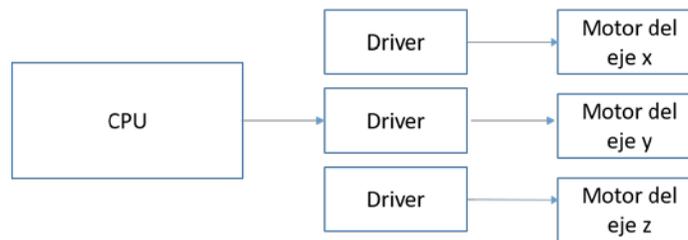


Figura 7 Diagrama del control de los motores.

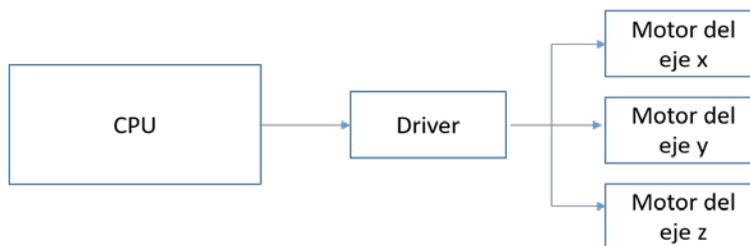


Figura 8 Diagrama del control de motores usando un solo driver.

El nombre de este driver es el Intec MX14 y dentro de este driver se encuentra la programación de un PWM y del algoritmo perfil de trayectoria. Los cuáles serán necesarios para el control de la velocidad, aceleración y posición del motor.

Finalmente, se realizará la interface en C# para la interacción entre usuario y máquina. El operario podrá proporcionar los valores deseados de las variables y el sistema comience con el proceso de rociado térmico.

Metalurgia

Cuando se tiene el sistema construido, es necesario evaluar el recubrimiento que se obtuvo por medio del microscopio. En la tesis (Santos, 2018) realizo pruebas con el proceso de rociado térmico en flama de manera manual utilizando distintos tipos de boquillas de la pistola.

En la figura 9 se ve el resultado de los splats sobre un sustrato al utilizar la boquilla número 1 a una distancia de 12.5 y 17.5 cm, con una velocidad de 25 m/s. Lo cual esto provoco que no hubiera una buena distribución de los splats en todo el sustrato. Finalmente utilizando la boquilla 2 en la figura 10 y teniendo como variables la misma distancia y velocidad se puede tener como resultado un sustrato con splats más recubiertos por toda la zona. Lo cual en el trabajo anteriormente mencionado dedujo que, si se varía la velocidad, el tamaño de boquilla y la distancia entre el sustrato y la boquilla de la pistola, es posible tener un recubrimiento homogéneo.

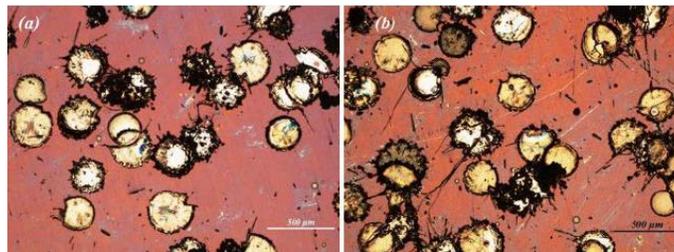


Figura 9 Splats utilizando boquilla 1.

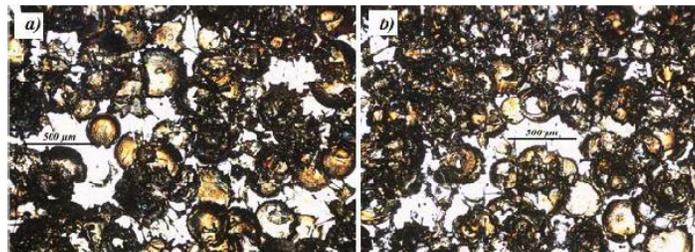


Figura 10 Splats utilizando boquilla 2.

3. Resultados

El sistema mecánico al simularlo en SolidWorks es capaz de realizar el desplazamiento en cualquiera de los tres ejes. No obstante, aún se deben de considerar las vibraciones que puedan ser generadas al momento de desplazar la pistola de un punto a otro. Al conjuntar todos los procesos anteriormente mencionados se tiene como resultado el siguiente diagrama.

En la figura 11 se muestra el resultado de todo el conjunto de las tres etapas, primero el operario inserta las variables de velocidad, aceleración y posición. El sistema posteriormente comenzara a desplazarse, seguido de la combinación de los gases que generaran la combustión. Cuando esta comience, la dosificación de los polvos comenzara y dependiendo del tipo de polvo será la distancia entre el sustrato y la boquilla, realizara este proceso por todo el sustrato hasta llegar al punto donde halla recubierto todo el sustrato, para así tener finalmente como resultado un recubrimiento, el cual deberá tener características homogéneas.



Figura 11 Diagrama final de todo el proceso.

4. Discusión

El rociado térmico aplicado manualmente producirá siempre defectos en el recubrimiento del sustrato. No obstante, el diseño del programa de la mesa de coordenadas considera el control de la velocidad de desplazamiento de traslación de la pistola con respecto al sustrato estático, así como la distancia de separación de la boquilla a la superficie. El programa se manipula haciendo uso de una interfaz en Visual Studio (C#) con el cual se pretende mantener valores constantes que permitan el depósito homogéneo de partículas. En la Etapa 2, se prevé el ensamble del dispositivo para realizar las pruebas preliminares.

5. Bibliografía y Referencias

- [1] V. K. Champagne, *The cold spray materials deposition process: fundamentals and applications*, Elsevier, 2007.
- [2] Jose Luddey Marulanda, Jose LuisTristancho y A. Canas, Protection against the hot corrosion of steel hot rolled, between temperatures of 400c-600c, coated by thermal spray, with stainless steel 312, *Dyna*, vol. 76, pp. 229-235, 2009.
- [3] L. Pawlowski, *The science and engineering of thermal spray coatings*, John Wiley & Sons, 2008.
- [4] J. R. Davis y others, *Handbook of thermal spray technology*, ASM international, 2004.
- [5] E. G. R. Santos, *Manufactura de recubrimientos compósitos por rociado térmico sobre sustratos estáticos*, 2018.
- [6] E. Bemporad, M. Sebastiani, M. H. Staia y E. P. Cabrera, Tribological studies on PVD/HVOF duplex coatings on Ti6Al4V substrate, *Surface and Coatings Technology*, vol. 203, pp. 566-571, 2008.
- [7] F. Tang, L. Ajdelsztajn y J. M. Schoenung, Characterization of oxide scales formed on HVOF NiCrAlY coatings with various oxygen contents introduced during thermal spraying, *Scripta Materialia*, vol. 51, pp. 25-29, 2004.
- [8] R. J. Palomares Orihuela y J. Ore, *Diseño e Implementación de una Fresadora CNC de 3 GDL Para Fabricación de Tarjetas Electrónicas Usando Arduino y Ubuntu Linux*, 2016.
- [9] A. N. A. Enrique, G. S. F. Javier y R. B. Gerardo, *Manipulador mecatrónico de tres grados de libertad: sistema pick and place y cnc*.
- [10] C. M. Picco, *Cultura Maker y diseño industrial. Prototipado Rápido CNC de bajo costo para plegado 3D mediante formación plástica de materiales lineales*, 2016.
- [11] J. R. Fincke, W. D. Swank, R. L. Bewley, D. C. Haggard, M. Gevelber y D. Wroblewski, Diagnostics and control in the thermal spray process, *Surface and Coatings Technology*, vol. 146, pp. 537-543, 2001.
- [12] M. C. Group, *Brushless DC Motor*, Abril 2017. [En línea].

- [13] P. Mundra, T. Otto, N. Gaponik y A. Eychmuller, Automated setup for spray assisted layer-by-layer deposition, *Review of Scientific Instruments*, vol. 84, p. 074101, 2013.
- [14] S. Seo, S. Lee y Y. T. Park, Note: automatic layer-by-layer spraying system for functional thin film coatings, *Review of Scientific Instruments*, vol. 87, p. 036110, 2016.
- [15] N. Instruments, Stepper Motors and Encoders, 17 Diciembre 2014. [En línea].
- [16] G. M. Fernández, A. C. Contreras, V. G. H. Herrera y M. V. M. Olivera, Controlador multieje de posicionamiento de servomotores bldc implementado en fpga, *Pistas Educativas*, vol. 39, 2017.