

Automatización y control de un sistema de depósito químico de vapor (CVDA) asistido por aerosol, haciendo uso de la tarjeta programadora Arduino y sensores de precisión.

Beatriz Cruz Muñoz¹

Samuel Fernando Hernández Bedoya².

¹bcruz@utp.edu.co, Universidad Tecnológica de Pereira.

²sfhernandez@utp.edu.co, Universidad Tecnológica de Pereira.

Resumen

La automatización y el control para un sistema de depósito químico de vapor asistido por aerosol (CVDA), siendo un prototipo industrial de placas cubiertas con sustratos químicos, que lleva una parte de la electrónica logrando optimizar el uso de aparatos y monitoreo automático, pasando a uno manual siendo el operario quien maneje la máquina para reducir costos ya que permite mejor control, para ello se realiza por medio de la plataforma de desarrollo de productos electrónicos como el arduino, ya que permite hacer un fácil uso de su programación y de los datos destacados que en el semillero de investigación trata, las medidas, distancias, posiciones, etc. Por eso, está unos elementos de medición y precisión (sensores), estos sensores permiten resolver incógnitas de movimiento, velocidad, espacio y dirección en la cual se afecta el sistema de relación de un motor paso a paso, siendo indicados por una estructura visual (Display – Touch screen) que permite hacer análisis y evaluaciones en tiempo real.

Palabras claves: *Automatización, control, arduino, sensores y CVDA.*

1. Introducción

En la actualidad la mayor parte de la energía eléctrica se obtiene por medio de combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón), recursos no renovables que además de presentar un impacto ambiental negativo, no garantizan un cubrimiento total de la demanda de energía generada por el crecimiento de la población y la industria. Es por eso que las energías renovables (como la eólica, la solar, la azul y la térmica), y todos los elementos involucrados en ellas, se han convertido en una prioridad en las áreas de investigación, innovación y fabricación de tecnología. A nivel mundial la obtención de energía solar ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años, impulsada por la necesidad de asumir los retos que en materia de generación de energía se presentan.

Los dispositivos electrónicos de medida y funcionamientos visual (Arduino y sensores) representan uno de los grupos de componentes que han sido estudiados por las propiedades que tienen para dar una eficaz solución de programación y fácil funcionamiento, además de las diferentes y extensas aplicaciones que se puede aplicar con esta tarjeta, por lo tanto, las películas delgadas de CERMET pueden ser sintetizadas por métodos como Baño Químico (CBD), Deposición Química de Vapor (CVD), Evaporación térmica, Electron Beam Evaporation y Sputtering [3]. Al hacer el ambiente de programación visual o interfaz de programación se puede evidenciar las multitareas que pueden ser observadas por medio de la tarjeta y los parámetros a usar, siendo capaz de que el operario haga análisis exhaustivos de gráficas y datos arrojados por la deposición química.

¹ bcruz@utp.edu.co, Universidad Tecnológica de Pereira.

² sfhernandez@utp.edu.co, Universidad Tecnológica de Pereira.

Por lo tanto y para cumplir lo anterior con los valores aportados, se deberán analizar los materiales depositados por CVD para identificar si cumplen los requerimientos de alta absorptividad y baja emisividad, y las propiedades mecánicas de dureza, adhesión y resistencia, lo que conlleva una vida útil mayor del colector.

2. Problema de investigación

Para la realización de este trabajo se pretendió abordar, a partir de antecedentes investigativos que están relacionados con disciplinas como la física, química, mecánica y electrónica, modelos que sirvan de soporte para reducir el alto costo de los insumos de la automatización y control industrial, teniendo en cuenta que los desarrollos tecnológicos para la creación de depósitos en placas delgadas (sustratos químicos), se han convertido en un obstáculo para el desarrollo de nuevos métodos que permitan la reestructuración de alternativas que generen un control de cada una de las variables (temperatura, velocidad, deposición, tiempo, secado, etc.). Por tal motivo, dichos estudios se abordan y analizan de acuerdo a un trabajo cuantitativo para de este modo comprobar información de acuerdo a unos datos numéricos, los cuales delimitan o especifican el objeto de estudio. El depósito de películas delgadas por la técnica de depósito químico de vapor (CVDAA) asistido por aerosol, llama la atención en la comunidad científica debido a su simplicidad y bajo costo de implementación, además realiza recubrimientos de sustratos con geometrías complejas, obtiene una distribución uniforme de la solución precursora sobre la superficie del sustrato y consigue revestimientos de alta calidad [1]. Las principales razones para proponer este proyecto son: la escasez de este tipo de técnica en la región y particularmente en la UTP; la opción de poder implementarla por personal nacional calificado, lo cual disminuye costos de mantenimiento; permite la formación de personas con capacidad de continuar diseñando e implementando equipos para uso en laboratorios de investigación, permitirá obtener un equipo de síntesis en el cual se podrán realizar trabajos en conjunto con el departamento de química y por tanto, estudiantes de la UTP se formarán en la línea de materiales y podrán continuar sus estudios pos graduales en el área de materia condensada. Además, permitirá el estudio e investigación a nivel de ciencia básica de una amplia gama de óxidos, y por ende la oportunidad de que la comunidad científica nacional forme parte activa en el estudio de estos materiales a nivel institucional. Por ende nace la siguiente pregunta: **¿El control y la automatización con la tarjeta programadora Arduino y los componentes externos (sensores), son la mejor opción para la optimización de la técnica presentada por el depósito químico a vapor asistido por aerosol (CVDAA) para que presente las propiedades ópticas, morfológicas, térmicas y de intemperismo idóneas que permitan su implementación como recubrimiento en absorbedores de colectores solares?**

3. Justificación

La síntesis de recubrimientos y materiales nanoestructurados es importante para la fabricación de componentes y equipos con diferentes aplicaciones. Por ejemplo, la industria de semiconductores depende casi totalmente de películas delgadas de una variedad de materiales depositados en fase sólida, líquida, vapor o gas. Existen diversas técnicas y métodos para la síntesis de estos recubrimientos que tradicionalmente han sido clasificados en métodos físicos y químicos; sin embargo, el proceso de la aplicación conlleva un sin número de tecnologías y dispositivos electrónicos, un número considerable de ellas combinan procesos físicos, reacciones químicas y dispositivos programables que hacen parte del ambiente electrónico. Dicha técnica asistida por aerosol es una variante del

método de depósito químico de vapor (CVD), en la cual el proceso se lleva a cabo a presión atmosférica, con el sustrato a una temperatura relativamente baja ($< 700\text{ }^{\circ}\text{C}$) y donde el reactante en forma de aerosol, es transportado hacia el sustrato por un gas, el cual es finalmente regulado por un sistema electrónico (tarjeta Arduino) que mide variables y monitorea datos a partir de sensores de precisión.

Las principales razones para proponer este proyecto son: la escasez de este tipo de técnica en la región y particularmente en la UTP; la opción de poder implementarla por personal nacional calificado, lo cual disminuye costos de mantenimiento; permite la formación de personas con capacidad de continuar diseñando e implementando equipos para uso en laboratorios de investigación, permitirá obtener un equipo de síntesis en el cual se podrán realizar trabajos en conjunto con el departamento de electrónica y por tanto, estudiantes de la UTP se formarán en la línea de materiales y podrán continuar sus estudios pos graduales. Además, permitirá el estudio e investigación a nivel de ciencia básica de una amplia gama de programadores y sensores, por ende, la oportunidad de que la comunidad universitaria de la facultad de ingenierías enfocada a la ingeniería electrónica forme parte activa en el estudio de estos materiales y herramientas a nivel institucional.

4. Objetivos

General: Automatizar y controlar un sistema de depósito químico de vapor (CVDAA) asistido por aerosol para la optimización de energías renovables haciendo uso de la tarjeta programadora Arduino y sensores de precisión.

Específicos:

- ✚ Definir los criterios electrónicos de diseño del sistema que conforma la técnica de deposición, los rangos de operación de los equipos y las características de los materiales a utilizar para su construcción.
- ✚ Diseñar los parámetros electrónicos para la implementación del control y la automatización de la deposición de sustratos presentes en el nebulizador, la tobera y la placa calefactora.
- ✚ Validar los posibles alcances del diseño de los parámetros electrónicos, en el caso del control, la regulación, las variables medibles, la automatización y la optimización.

5. Referente teórico.

Para la producción de películas delgadas se implementan distintos métodos de deposición que pueden ir desde los que utilizan la más alta tecnología hasta aquellos simples de fácil construcción e implementación. La división de las técnicas de deposición empleadas en la obtención de películas delgadas puede hacerse en dos grandes grupos: deposiciones físicas y deposiciones químicas [2].

Dentro de las técnicas de deposición química está la técnica de Deposición Química de Vapor (CVD por sus nombre en inglés: *Chemical Vapor Deposition*), que tiene sus orígenes modernos en los años 50's cuando Gleason [3] ideó una forma de depositar metales bajo condiciones industriales (que usualmente se hacía a altas temperaturas) a bajas temperaturas, lo cual dio paso a que se iniciaran a depositar materiales más delicados, como por ejemplo polímeros. Hoy en día la técnica es ampliamente usada en la deposición de materiales para diversos fines como: semiconductores, celdas solares fotovoltaicas, capas antireflectivas o absorbedoras en colectores solares, entre otras. Para la implementación de la técnica de CVD no se requiere de muy alta tecnología o de equipos de alto costo; en la

Universidad Nacional de Colombia se diseñó, construyó e implementó un dispositivo para depositar materiales semiconductores por medio de CVD con el cual se obtuvieron resultados satisfactorios [4].

Para la tecnología solar se han realizado muchas deposiciones por la técnica CVD con aplicaciones tanto en energía solar fotovoltaica como energía solar térmica. Los materiales que pueden ser depositados por la técnica que sirven para ser implementados en superficies selectivas solares.

La mejor manera de saber si una película delgada es apta para la aplicación en tecnología solar, exactamente en colectores solares, es conocer la absorptancia y la emitancia del material del cual está compuesto el recubrimiento. Las medidas de absorptancia y emitancia se hacen indirectamente haciendo uso de la reflectancia del material que puede ser medida fácilmente empleando un espectrofotómetro. El cálculo mediante el cual se relaciona reflectancia-emitancia-absorptancia.

Por tal motivo el Arduino es una plataforma de código abierto, que cuenta con entradas y salidas, analógicas y digitales, cuenta con un ambiente de programación “lenguaje processing”, logrando controlar sensores, motores, actuadores etc.

Arduino es una de las plataformas con un proceso fácil de simplificar a la hora de usar cualquier otro microcontrolador las cuales tiene grandes ventajas y usos favorables.

Algunas de las características de mas importantes es el Software ampliable y el código abierto siendo usado bajo una licencia libre. El lenguaje puede ser usado por medio de las librerías de C++ y puede ser editado a través de la misma programación AVR C que es la programación que usa la plataforma Arduino. El Hardware está basado en uno de los microcontroladores ATMEGA168, ATMEGA1280 y ATMEGA328. Teniendo en cuenta que cada plano esta publicado con licencia propia de *Creative commons*.



Figura 1. Tarjeta de programación Arduino “Uno”.

Fuente tomada de: <http://Arduino.cc>

Otro de los enlaces de programación o base de la comunicación y conversión serial a USB, es el microcontrolador ATMEGA328. Esta denominada como AVR 8-Bit RISC.

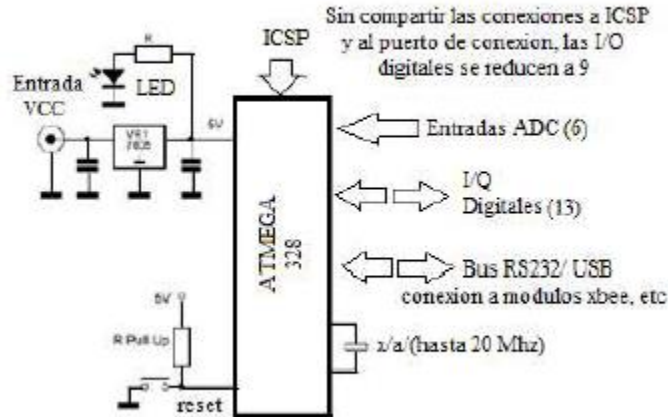


Figura 2. Diagrama estructural de la placa del Arduino ATMEGA328.

Fuente tomada de: <http://www.neoteo.com/comparativa-arduino-arduino-vs-el-resto-15399/>

6. Metodología

ETAPA 1: Revisión bibliográfica

En las siguientes etapas se muestra el desarrollo y funcionamiento de la técnica propuesta anteriormente.

a. Funcionamiento de la Técnica CVD-AA

La técnica de depósito químico de vapor (CVDAA) asistido por aerosol consiste en (i) un proceso de atomización de la solución precursora, la cual genera gotas que se envían (por medio de un gas portador) con cierta velocidad inicial hacia la superficie de un sustrato, (ii) el proceso de transporte de la pulverización de la gota, donde se tiene como objetivo trasladar tantas gotas como sea posible a la superficie del sustrato y (iii) la descomposición del precursor sobre la superficie del sustrato, el precursor se mueve a través del ambiente calentado exponiéndose a diversos cambios físicos y químicos, los cuales dependen del tamaño de la gota y la temperatura ambiente. El material depositado crece a partir del vapor de gotas que pasa muy cerca del sustrato caliente en forma de deposición de vapor químico y las gotas que golpean el sustrato forman un depósito de polvo [5].

En el siguiente esquema se muestra cómo funciona el sistema de depósito

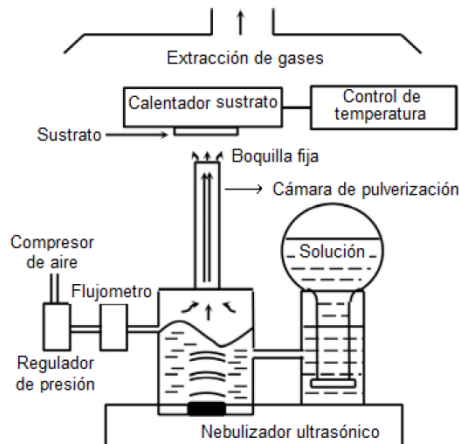


Figura 1. Esquema de la de Vapor [6]

En este caso la función de de acero inoxidable que se largo del sustrato para una

Técnica Deposición Química

boquilla la realiza una tobera mueve de forma periódica a lo mejor deposición.

b. Parámetros usuales de Deposición

Una búsqueda por la revisión bibliográfica revela que ciertos parámetros son adecuados al momento de realizar una buena deposición, estos son: número de secuencias, tiempo entre secuencias, temperatura del sustrato, distancia de la tobera al sustrato, velocidad de la tobera, y flujo y presión del compresor; elegir esos parámetros de forma apropiada garantiza una capa absorbadora que cumpla con las condiciones ya mencionadas de baja emitancia en el infrarrojo y alta absorción en el ultravioleta, dureza, adhesión, uniformidad y resistencia a los elementos de la naturaleza.

c. Formas habituales para la caracterización

En general, el estudio de las películas depositadas se divide en dos partes importantes: La caracterización de las propiedades mecánicas y la caracterización de las propiedades ópticas. En la parte mecánica se estudia el grosor y la uniformidad de la película mediante la caracterización estructural y morfológica, lo que está estrechamente relacionado con la composición elemental y los estados de oxidación de los materiales depositados; en la parte óptica se estudia la capacidad que tiene la película para absorber la radiación del sol, y qué cantidad de ella se pierde. Existen unos protocolos para la caracterización de películas delgadas.

ETAPA 2: parámetros de deposición

a. Operaciones, rangos e intervalos de funcionamiento

La siguiente tabla muestra los parámetros elegidos para realizar la CVDAA, ellos fueron escogidos basándonos en rangos de deposiciones conocidas.

Parámetro	Mínimo	Máximo
Número de secuencias	30	60
Tiempo entre secuencias [s]	30	70
Temperatura del sustrato [°C]	200	500
Distancia Tobera-Sustrato [mm]	2	70
Velocidad de la tobera [cm/s]	6.6×10^{-3}	1×10^{-2}
Flujo del compresor [L/min]	0.003	8
Presión Compresor [MPa]	0,12	0,28

Tabla 1. Parámetros de deposición para las películas delgadas de CERMET

Por tal motivo se realiza con los parámetros anteriores conociendo de forma clara, ya que son los mismo parámetros de uso que harán parte del operario a la hora de ejecutar el programa con la máquina y la tarjeta programadora arduino. Hay que tener en cuenta que los parámetros serán usados de forma libre y por medio de una pantalla (display) táctil que mostrará y graficará los resultados y eventos en tiempo real para ser corregidos al instante todo esto será parte del programador arduino.

ETAPA 3: Caracterización de propiedades físicas de las películas delgadas

Previo a la fabricación del dispositivo que colecta la energía del sol, se deben estudiar la composición elemental, los estados de oxidación, las propiedades eléctricas, morfológicas y estructurales de los materiales usados con el propósito de encontrar las condiciones de síntesis que dieron lugar a materiales adecuados para su uso específico dentro del dispositivo que se querría construir (colector solar de baja temperatura). Para esto las muestras fueron caracterizadas usando técnicas modernas, las cuales se mencionan a continuación:

a. Ópticas

- Espectroscopia UV-VIS
- Microscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FT-IR)

b. Mecánicas

- Difracción de Rayos X (XDR)
- Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)

ETAPA 4: Entrega del proyecto

Finalmente se deberá entregar el proyecto a las entidades correspondientes: Universidad Tecnológica de Pereira y Centro de Investigación MAV (Sede Chihuahua).

7. Resultados:

Los resultados esperados en el proyecto será la optimización, el control y la automatización correcta de los alcances establecidos por la tarjeta programadora Arduino y todos sus elementos externos completos, la verificación y validez de los componentes visuales, análisis reales, cambios en tiempo real y ajustes realizados por el operario sin complicaciones, el funcionamiento de los sensores de precisión sean los esperados y así validar el uso de la técnica a baja escala pero óptima para los recubrimientos de sustratos.

8. Conclusiones:

Se concluye que las investigaciones realizadas por el grupo de investigación, semillero, fueron las propicias para la realización del prototipo, manejo y control de una máquina de deposición química a vapor.

Los controles efectuados y las investigaciones dadas por las demás ponencias expuestas durante las investigaciones realizadas fueron acordes a lo esperado por el semillero.

La automatización y el uso de sensores conjunto de la tarjeta programadora Arduino fueron los correctos ya que facilitaron la complejidad que tiene una circuitería electrónica y la unión de las mismas, haciendo una interfaz de uso más razonable, medible y trabajable, para ser expuesta a personas de índole investigativo de la institución.

Se valida la capacitación de una persona encargada para el funcionamiento y reparación del mismo en caso de que lo requiera por lo tanto se certificará que la persona esté apta para el rico funcionamiento de la interfaz gráfica que la plataforma Arduino ofrece.

9. Impacto:

Durante los últimos años se ha notado el constante incremento en el uso de las energías alternativas para suplir necesidades básicas que son usualmente mitigadas mediante fuentes de energías no renovables. En Colombia aún existen muchas familias que dependen de la combustión de biomasa (madera o leña) para cocinar sus alimentos, calentar agua y realizar diversas labores domésticas. Según *Renewables 2016: Global status report* la cifra de personas que aún depende de la biomasa es de un 7% lo que lleva a pensar que sería de gran impacto para muchas de esas familias el poder implementar colectores solares que les permitieran tener agua caliente sin necesidad de generar CO₂ u otros contaminantes en el proceso de obtenerla. Teniendo en cuenta esto la vida útil de un colector solar puede llegar hasta los 20 años, la reducción de CO₂ o de otros gases contaminantes siendo esto significativo o en el caso de que la electricidad fuese la fuente de energía reemplazada por los colectores solares, se obtendrá un ahorro económico que a largo plazo tendrá un impacto beneficioso para todos aquellos que están haciendo uso de éstos dispositivos.

10. Bibliografía:

Bibliografía

- [1] L. e. a. ... Filipovic, «Modeling spray pyrolysis deposition,» *Proceedings of the world congress on engineering.*, pp. 987-992, 2013.

- [2] «Técnicas de preparación de películas delgadas,» [Icmm.csic.es](http://www.icmm.csic.es/fis/espa/preparacion_introduccion.html), 2017. [En línea]. Available: http://www.icmm.csic.es/fis/espa/preparacion_introduccion.html. [Último acceso: 11 Marzo 2017].
- [3] D. Office, «Explained: chemical vapor deposition,» MIT News, 2017. [En línea]. Available: <http://news.mit.edu/2015/explained-chemical-vapor-deposition-0619>. [Último acceso: 16 Marzo 2017].
- [4] L. B. Monroy Jaramillo, « Producción y caracterización de recubrimientos del sistema Y-Ba_Cu-O producidos por medio de la técnica de rocío pirolítico,» p. 108, 2009.
- [5] D. Perednis y L. J. Gauckler, «Thin film deposition using spray pyrolysis,» *Journal of electroceramics*, vol. 14, nº 2, pp. 103-111, 2005.
- [6] M. Miki-Yoshida y E. Andrade, «Growth and structure of tin dioxide thin films obtained by an improved spray pyrohydrolysis technique,» *Thin Solid Films*, vol. 224, nº 1, pp. 87-96, 1993.

PROYECTO EN CURSO O TERMINADO.

Universidad	Tecnológica de Pereira
Programa Académico	Ingenierías
Nombre del Semillero	Estudio de materiales y desarrollo de tecnologías para Calentamiento Solar
Nombre del Grupo de Investigación (si aplica)	GIMM
Línea de Investigación (si aplica)	Estudio de las propiedades físicas de materiales en aplicaciones con energías renovables y desarrollo, simulación y evaluación de sistemas térmicos con energía solar
Nombre del Tutor del Semillero	Beatriz Cruz Muñoz
Email Tutor	bcruz@utp.edu.co
Título del Proyecto	Automatización y control de un sistema (CVDAA) .
Autores del Proyecto	Beatriz Cruz Muñoz, Samuel Fernando Hernández Bedoya
Ponente (1)	Beatriz Cruz Muñoz
Documento de Identidad	C.C. 66.811.024
Email	bcruz@utp.edu.co
Ponente (2)	Samuel Fernando Hernández Bedoya
Documento de Identidad	c.c. 1.088.315.470
Email	sfhernandez@utp.edu.co
Teléfonos de Contacto	311 799 4575, 313 783 8181
Nivel de formación de los estudiantes ponentes (Semestre)	Ph D en Ciencias Física, Estudiantes Ingeniería Electrónica X Semestre.
MODALIDAD (seleccionar una- Marque con una x)	<p>PONENCIA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Investigación en Curso x • Investigación Terminada
Área de la investigación (seleccionar una- Marque con una x)	• Ciencias Naturales
	• Ingenierías y Tecnologías x
	• Ciencias Médicas y de la Salud.
	• Ciencias Agrícolas
	• Ciencias Sociales
	• Humanidades
	• Artes, arquitectura y diseño