

**DESARROLLO DE UN SISTEMA PARA LA ELABORACIÓN DE PELÍCULAS
DELGADAS BASADAS EN NANOPARTÍCULAS METÁLICAS**

Yon Ali Torres Torres

Universidad Santo Tomás

División de Ingeniería y Arquitectura

Ingeniería Electrónica

Tunja

2022

**DESARROLLO DE UN SISTEMA PARA LA PRODUCCIÓN DE PELÍCULAS
DELGADAS BASADAS EN NANOPARTÍCULAS METÁLICAS**

Directora

Sully Segura Peña

Departamento de Ciencias Básicas

Universidad Santo Tomás seccional Tunja

Codirector

William Fernando Álvarez

Ingeniería electrónica

Universidad Santo Tomás seccional Tunja

Asesor Externo

Luis Fernando Parra Suarez

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero electrónico

Universidad Santo Tomás

División de Ingeniería y Arquitectura

Ingeniería Electrónica

Tunja

2022

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres, pues su apoyo incondicional y su fe en mi han hecho posible que mi dedicación y esfuerzo dieran frutos.

Agradecimientos

Agradezco a la directora de este trabajo Sully Segura y mi codirector William Álvarez; así como también: a mis hermanos y sus familias, a Luisa María Sepúlveda, mis docentes, mis amigos y compañeros quienes me dieron su apoyo y compromiso además de sus conocimientos.

Exoneración de responsabilidades

Las ideas presentadas en este trabajo son de responsabilidad exclusiva del autor, no es la opinión de la Universidad Santo Tomás o de la facultad de ingeniería electrónica

Notas de aceptación:

Firma del Director

Firma del Codirector

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Resumen

Este proyecto de investigación tiene como objetivo el desarrollo de un sistema para elaborar películas delgadas basadas en nanopartículas metálicas usando como principio el funcionamiento de un dispositivo de recubrimiento por centrifugación, la síntesis de las nanopartículas metálicas se llevó a cabo mediante la ruta química oxido reducción en medio acuoso, se diseñó un sistema de recubrimiento por centrifugación controlado, usando un motor de CC el cual modifica su velocidad usando un control de modulación por ancho de pulso (PWM) alcanzando una velocidad máxima de 7000 revoluciones por minuto (RPM) en un 80% del ciclo útil de trabajo (D) ingresada por el teclado matricial de acuerdo a un modo de operación determinado por el usuario y visualizada en una pantalla LCD donde también se puede ver el tiempo de operación y un microcontrolador el cual procesa los datos que se le ingresan por el teclado y los traduce al driver del motor. Con el sistema de recubrimiento por centrifugación previamente diseñado, sobre un sustrato de vidrio se fabricaron películas delgadas basadas en nanopartículas de plata agregando sobre el sustrato la síntesis y girando a alta velocidad para que se logre obtener la película, se caracterizó su morfología superficial usando técnicas de microscopio de fuerza atómica (AFM), se verificó el tamaño promedio de la nanopartícula, plasmón superficial y energía de banda mediante espectrofotómetro UV-visible.

Contenido

Lista de imágenes	11
1 INTRODUCCIÓN	15
2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
2.1 Descripción del problema	16
2.2 Delimitación del problema	16
3 JUSTIFICACIÓN	18
4 OBJETIVOS	20
4.1 Objetivo general	20
4.2 Objetivos específicos	20
5 ESTADO DEL ARTE.....	21
6 MARCO TEÓRICO.....	24
6.1 Caracterización de las nanopartículas y películas delgadas	27
6.2 Conversor.....	29
6.3 Conversor Buck	30
6.3.1 Análisis del circuito cuando el interruptor S1 está cerrado y el interruptor S2 abierto	31
6.3.2 Análisis de circuito cuando el interruptor S1 está abierto y el interruptor S2 está	32
6.3.3 Balance de flujo.....	34
6.3.4 Rizado de la tensión de salida	35
7 ANÁLISIS DE RESULTADOS	37
7.1 Diseño de conversor Buck.....	37
7.1.1 Cálculo del ciclo útil	38
7.1.2 Cálculo del valor de la inductancia	38
7.1.3 Cálculo del valor del capacitor.....	38
7.1.4 Cálculo del valor de la resistencia de carga	39
7.2 Simulación de conversor Buck	39
7.2.1 Voltaje de salida	40
7.2.2 Corriente de salida.....	40
7.2.3 Potencia entregada por el circuito	41
7.3 DISEÑO DE LA INDUCTANCIA	42
7.3.1 Diseño de la inductancia	42

7.3.2	Implementación de la inductancia.....	43
7.3.3	Número de vueltas.....	43
7.3.4	Calibre del cable.....	44
7.3.5	Gap del entre los núcleos	44
7.4	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA PARA PRODUCCIÓN DE PELÍCULAS DELGADAS.....	44
7.5	Lista de materiales y costo.....	45
7.6	Alimentación AC y convertor AC-DC.....	47
7.7	Control digital.....	47
7.8	Principio de funcionamiento.....	48
7.9	Programación del pic16f887.....	49
7.10	Montaje del circuito.....	51
7.11	Sistema para la elaboración de películas delgadas	52
7.11.1	Dispositivo mecánico para la sujeción de los sustratos.....	53
	Velocidad de centrifugación.....	54
7.12	SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS METÁLICAS.....	56
7.13	Protocolo de síntesis	56
7.13.1	Materiales y reactivos.....	56
7.13.2	Procedimiento para la síntesis muestra 1	56
7.13.3	Síntesis de nanopartículas muestra 1.....	58
7.13.4	Síntesis de nanopartículas muestra 2.....	61
7.14	ELABORACIÓN DE LAS PELICULAS DELGADAS.....	62
7.15	Preparación de los sustratos.....	62
	Los pasos que se siguieron para la limpieza del sustrato de vidrio y lograr su estado hidrofílico fueron:.....	63
7.16	Recubrimiento por centrifugación	64
7.16.1	Centrifugación dinámica	65
7.16.2	Centrifugación estática.....	66
7.17	Caracterización UV-Vis	67
7.18	Caracterización morfológica.....	68
7.18.1	3000 RPM	68
7.18.2	5000 RPM	69
7.18.3	7000 RPM	71

8	CONCLUSIONES	72
9	RECOMENDACIONES.....	74
9.1	Dispositivo.....	74
9.2	Síntesis.....	74
10	TRAYECTORIA INVESTIGATIVA	75
11	REFERENCIAS.....	76
12	ANEXOS	83
12.1	Anexo 1 (Programación)	83
12.2	Anexo 2 (Manual).....	86

Lista de imágenes

IMAGEN 1: PAÍSES QUE INVESTIGAN TECNOLOGÍA DE PELÍCULA DELGADA.	23
IMAGEN 2: CENTRIFUGACIÓN DINÁMICA (A), CENTRIFUGACIÓN ESTÁTICA (B), DRENAJE DEL EXCESO DE MATERIAL (C), EVAPORACIÓN DE SOLVENTE (D) Y FORMACIÓN DE LA PELÍCULA (E). (FUENTE: AUTOR).....	25
IMAGEN 3: APLICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO POR CENTRIFUGACIÓN POR ÁREAS.	25
IMAGEN 4: REACCIÓN REDOX DEL ÓXIDO DE MAGNESIO. (RAYMOND CHANG) [37].	27
IMAGEN 5: PARTES Y FUNCIONAMIENTO DEL AFM. (FUENTE: GARCÍA, 2018) [43].....	28
IMAGEN 6: ESQUEMA DE ESPECTROFOTÓMETRO. (FUENTE: INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN).....	29
IMAGEN 7: CIRCUITO CONVERSOR BUCK. (FUENTE: AUTOR).....	30
IMAGEN 8: CIRCUITO EQUIVALENTE ENTRE $0 \leq t \leq DT$. (FUENTE: AUTOR).....	31
IMAGEN 9: CIRCUITO EQUIVALENTE ENTRE $DT \leq t \leq T$. (FUENTE: AUTOR)	32
IMAGEN 10: FORMA DE ONDA CORRIENTE DE SALIDA EN LA INDUCTANCIA EN ESTADO ESTABLE [18].....	34
IMAGEN 11: FORMA DE ONDA CORRIENTE DE SALIDA EN EL CAPACITOR EN ESTADO ESTABLE [18].	35
IMAGEN 12: CIRCUITO DE CONVERSOR BUCK EN PSIM. (FUENTE: AUTOR)	39
IMAGEN 13: VOLTAJE DE SALIDA (V_{OUT}) CON AUMENTO EN EL RIZO RESULTANTE. (FUENTE: AUTOR)	40
IMAGEN 14: CORRIENTE DE SALIDA (I_{OUT}) CON AUMENTO EN EL RIZO RESULTANTE. (FUENTE: AUTOR).....	41
IMAGEN 15: POTENCIA ENTREGADA POR EL CIRCUITO. (FUENTE: AUTOR)	41
IMAGEN 16: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA PARA LA PRODUCCIÓN DE PELÍCULAS DELGADAS. (FUENTE: AUTOR)	44
IMAGEN 17: RAMPAS DE VELOCIDAD. (FUENTE: AUTOR).....	48
IMAGEN 18: DISEÑO Y MONTAJE DE LA TARJETA VISTA INFERIOR. (FUENTE: AUTOR).....	51
IMAGEN 19: DISEÑO Y MONTAJE DE LA TARJETA VISTA SUPERIOR. (FUENTE: AUTOR)	52
IMAGEN 20: VISTA FRONTAL DEL DISPOSITIVO FINAL (A), VISTA LATERAL DEL DISPOSITIVO FINAL (B, VISTA SUPERIOR DEL DISPOSITIVO FINAL CON DETALLE EN LA VENTOSA (C). (FUENTE: AUTOR)	53
IMAGEN 21: VENTOSA MONTADA EN EL ROTOR DEL MOTOR (A), VENTOSA DE 1.969 PULGADAS (B). (FUENTE: AUTOR)	54

IMAGEN 39: GRAFICA DE LA RELACIÓN ENTRE EL INCREMENTO DEL VOLTAGE EN VOLTIOS Y LA VELOCIDAD EN RPM. (FUENTE: AUTOR).....	55
IMAGEN 22: SOLUCIÓN A. (FUENTE: AUTOR).....	57
IMAGEN 23: SOLUCIÓN B. (FUENTE: AUTOR).....	58
IMAGEN 24: NANOPARTÍCULAS DE PLATA MUESTRA 1 SUSPENDIDAS EN MEDIO ACUOSO. (FUENTE: AUTOR).....	59
IMAGEN 25: ALÍCUOTAS EXTRAÍDAS DE LA MUESTRA 1. (FUENTE: AUTOR)	59
IMAGEN 26: SOLUCIÓN B (FUENTE: AUTOR)	61
IMAGEN 27: NANOPARTÍCULAS DE PLATA MUESTRA 2 SUSPENDIDAS EN MEDIO ACUOSO. (FUENTE: AUTOR)	61
IMAGEN 28: ALÍCUOTAS EXTRAÍDAS DE LA MUESTRA 2. (FUENTE: AUTOR)	62
IMAGEN 29: SUPERFICIE HIDROFÓBICA E HIDROFÍLICA. (FUENTE: AUTOR)	62
IMAGEN 30: SUPERFICIE HIDROFÍLICA IZQUIERDA E HIDROFÓBICA DERECHA. (FUENTE: AUTOR)	63
IMAGEN 31: DISPOSITIVO DE RECUBRIMIENTO POR CENTRIFUGACIÓN CON LA CUBIERTA DE ALUMINIO. (FUENTE: AUTOR)	65
IMAGEN 32: PELÍCULAS DELGADAS PRODUCIDAS POR CENTRIFUGACIÓN DINÁMICA (A) Y (B). (FUENTE: AUTOR).....	64
IMAGEN 33: PELÍCULAS DELGADAS PRODUCIDAS POR CENTRIFUGACIÓN ESTÁTICA: 3000 RPM (A), 5000 RPM (B), 7000 RPM (C). (FUENTE: AUTOR).....	66
IMAGEN 34: ESPECTRO DE ABSORCIÓN UV- VIS NANOPARTÍCULAS DE PLATA MUESTRA 1 (ESFERAS). (FUENTE: AUTOR)	67
IMAGEN 35: ESPECTRO DE ABSORCIÓN UV- VIS NANOPARTÍCULAS DE PLATA MUESTRA 2 (TRIÁNGULOS). (FUENTE: AUTOR)	68
IMAGEN 36: TOPOLOGÍA DE LA SUPERFICIE DE LA PELÍCULA DELGADA FORMADA A 3000 RPM (A), IMAGEN TOMADA CON EL AFM A 2 μm DE ESCALA (B), GROSOR DE LA PELÍCULA DELGADA EN HM (C).....	69
IMAGEN 37: TOPOLOGÍA DE LA SUPERFICIE DE LA PELÍCULA DELGADA FORMADA A 3000 RPM (A), IMAGEN TOMADA CON EL AFM A 2 μm DE ESCALA (B), GROSOR DE LA PELÍCULA DELGADA EN NANÓMETROS (C).....	70
IMAGEN 38: TOPOLOGÍA DE LA SUPERFICIE DE LA PELÍCULA DELGADA FORMADA A 7000 RPM (A), IMAGEN TOMADA CON EL AFM A 2 μm DE ESCALA (B), GROSOR DE LA PELÍCULA DELGADA EN NANÓMETROS (C).....	71

Lista de tablas

TABLA 1: LISTA DE LOS MATERIALES USADOS PARA DESARROLLAR UN DISPOSITIVO DE RECUBRIMIENTO POR CENTRIFUGACIÓN (LA TASA DE CAMBIO ESTÁ FIJADA PARA EL VALOR DEL DÓLAR EN COLOMBIA EN OCTUBRE DE 2021) (FUENTE: AUTOR)	46
TABLA 2: VELOCIDAD EN RELACIÓN AL VOLTAJE. (FUENTE: AUTOR)	55
TABLA 3: MATERIALES Y REACTIVOS PARA LA SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA. (FUENTE: AUTOR)	56
TABLA 4: RAMPAS DE VELOCIDAD DE LAS TRES MUESTRAS. (FUENTE: AUTOR)	66

Glosario

A

Absorbancia: propiedad que tiene los materiales para absorber parte de la longitud de onda de la luz.

C

Centrifugación: técnica de separación que separa partículas suspendidas en un líquido aprovechando la velocidad de desplazamiento.

N

Nanopartículas: son partículas cuyo tamaño está en el orden de los nanómetros que equivale a una milmillonésima parte de la unidad básica de longitud en el S.I.

M

Morfología: corresponde a la topología o forma de una superficie u objeto.

S

Sustrato: superficie que da sustento a otra superficie superpuesta.

P

Película: capa muy fina que cubre otra cosa.

1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo de películas delgadas ha tenido un papel importante en la investigación para encontrar nuevos materiales, aportando novedosas propiedades que son utilizadas en la microelectrónica, energías alternativas y nanotecnología. (Zhao, et al, 2008) [1], (Kurinec, et al, 1995) [2], (Wang, et al, 2009) [3]. Actualmente existen varios métodos para obtener películas delgadas entre los que encontramos deposición de pirólisis por pulverización (Liu, et al, 2018) [4] , electro hilado (Wang et al, 2019) [5] , inmersión (Shafura, et al, 2014) [6] y recubrimiento por centrifugación (Zhao, et al, 2017) [7], existen otros métodos para obtener películas delgadas sin embargo los métodos mencionados han sido ampliamente utilizados debido a su buena calidad de películas y bajo costo de implementación a diferencia del método por deposición cuya implementación es costosa. El método de recubrimiento por centrifugación es viable para fabricar películas delgadas ya que tiene un costo bajo de implementación y la calidad de las películas es muy alta, a partir de su implementación en los años setenta hasta la fecha se cuentan más de veinte siete mil artículos donde se evidencia el uso de esta técnica para la obtención de películas y cada año se generaliza su uso (Scopus, 2021) [8]. Las películas compuestas por diferentes materiales a escala nanométrica desarrolladas por la técnica de recubrimiento por centrifugación han mostrado que las propiedades obtenidas tienen un alto potencial de aplicación en la industria de la tecnología, un ejemplo claro son las películas basadas en nanopartículas de plata cuyas propiedades ópticas (Baburin, et al, 2017) [9] han optimizado las tecnologías para la captación de energía de las celdas solares.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Descripción del problema

De acuerdo a la literatura reportada existen películas delgadas basadas en nanopartículas metálicas, que han sido producidas por diversos métodos, siendo muy reconocida la importancia del desarrollo de este tipo de películas metálicas por su amplia gama de aplicaciones médicas, industriales y de comunicaciones. Sin embargo, no se han producido materiales en películas delgadas por el método de recubrimiento por centrifugación en Boyacá. En la búsqueda bibliográfica se encontró que se han elaborado películas delgadas en Medellín y Bogotá, dentro de las técnicas más usadas está el uso de Magnetron Sputtering.

Esta tesis presenta un primer acercamiento para implementación de esta técnica de elaboración de películas delgadas y daría pie para abrir un camino a la elaboración de películas delgadas como estrategia económica, de fácil reproducción y didáctica para el posible desarrollo de nuevos materiales que puedan ser usados en la fabricación de dispositivos avanzados y más aún que se pueden implementar en los laboratorios de la Universidad Santo Tomás seccional Tunja. ¿En la Universidad Santo Tomás- seccional Tunja es viable y económico desarrollar un dispositivo para elaborar películas delgadas basadas en nanopartículas metálicas y contribuir al desarrollo de materiales avanzados para investigar potenciales aplicaciones electrónicas?

2.2 Delimitación del problema

En este proyecto se desea desarrollar el sistema necesario para implementar y producir películas delgadas en base de nanopartículas metálicas por el método de recubrimiento por centrifugación y abrir una nueva línea de investigación en películas delgadas en el grupo de Ciencias Aplicadas

Tunja (GCAT). Teniendo en cuenta que estos dispositivos comerciales son de costos elevados en comparación del dispositivo que se presenta en esta propuesta económica.

3 JUSTIFICACIÓN

La tecnología de películas delgadas ha tenido un papel importante en el desarrollo avanzado de la electrónica aportando mejoras en las características de estructura, función y rendimiento de los dispositivos permitiendo explorar sus posibilidades de aplicación, así como el estudio de fenómenos físicos relacionados con esta tecnología (T. Jackson, 2005) [10]. El transistor ha sido un pilar fundamental para el desarrollo de la electrónica, la tecnología de películas delgadas aplicada a la fabricación de estos dispositivos hace un aporte significativo en la búsqueda de nuevas aplicaciones y mejoras como: la alta capacidad de conmutación que se aplica directamente a la fabricación de memorias (J. Prince, et al, 1996) [11], aplicaciones para circuitos lineales de baja potencia ideales para procesos sobre sustratos flexibles (N. Lovencio, et al, 2021) [12], sensores de diferentes gases entre los que se encuentran el propano, CO, SO₂, (B. Liu, et al, 2009) [13], etanol (Xian Li et al, 2010)[14], formaldehído (Jian-Fei Yan et al, 2010) [15] y la histéresis de los transistores (M. Tyunina, et al, 2015) [16]. La tecnología de películas delgadas tiene aplicaciones en el área de las energías renovables como la energía solar con la investigación de recubrimientos que optimizan el aprovechamiento de la luz solar (Y. Zhao, et al, 2008) [17]. Las propiedades que se han obtenido y las que potencialmente se pueden obtener con la tecnología de películas delgadas para ser aplicadas en el área de la ingeniería electrónica permeando por consiguientes otras áreas, es por ello que se hace necesario que las Universidades o centros científicos de la región tengan este tipo de iniciativas para ir incursionando en estos campos y que mejor que la Universidad Santo Tomás a través de sus estudiantes fortalezca este campo de investigación y pueda aportar al desarrollo de esta tecnología. Si bien la universidad no cuenta con la tecnología para caracterizar las propiedades de las películas delgadas, es posible encontrar un método óptimo para producir las películas y caracterizarlas luego en centros especializados. Entre los métodos utilizados para la

obtención de películas delgadas tenemos: evaporación con haz de iones pulsados, chorro electro hidrodinámico, pulverización catódica, recubrimiento por inmersión, aunque con excelentes resultados resultan costosos y complicados para su implementación, es por eso que para la fabricación de películas delgadas el método de recubrimiento por rotación es el más adecuado porque el proceso es sencillo de implementar y las películas que se obtienen son de alta calidad; se propone diseñar y fabricar un prototipo para obtener películas delgadas por recubrimiento de sustratos por rotación en los laboratorios del departamento de Ciencias Básicas en el área de nuevo materiales.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Desarrollar un dispositivo para sintetizar películas delgadas basadas en nanopartículas metálicas usando como principio el funcionamiento de un dispositivo de recubrimiento por centrifugación, para ser utilizado en la Universidad Santo Tomás- seccional Tunja.

4.2 Objetivos específicos

- Establecer el proceso de obtención de nanopartículas metálicas para que pueda ser reproducido y obtener una buena calidad de las nanopartículas.
- Operacionalizar un sistema de centrifugación para la elaboración de películas delgadas basadas en nanopartículas metálicas.
- Caracterizar tanto la nanopartículas como las películas delgadas obtenidas, mediante los métodos de UV-Vis para determinar la naturaleza, forma y tamaño aproximado de las nanopartículas que recubren las láminas y AFM (microscopio de fuerza atómica) para observar la topología presente en la superficie de las películas y su espesor.

5 ESTADO DEL ARTE

Las investigaciones para el desarrollo de materiales con uso potencial en el campo de la electrónica y su pleno desarrollo requieren de la aplicación de múltiples procesos químicos y físicos de síntesis. El método de recubrimiento por centrifugación es uno de los procesos utilizados para obtener laminas delgadas, el estudio del método ha logrado establecer una relación entre el espesor del revestimiento por rotación y las variables del proceso incluido el material, con el modelo obtenido podemos controlar y reproducir el espesor de las películas (BD Washo, 1977) [18], dando otro paso para el modelado del recubrimiento por centrifugación se determina que el espesor y la uniformidad de la película dependen de la relación entre drenaje de la película líquida impulsado por la centrifugación y la evaporación de los disolventes impulsada por la concentración (Bornside, et al, 1987) [19]. De las primeras investigaciones reportadas sobre obtención de películas delgadas metálicas de recubrimiento por centrifugación tenemos los ferrofluidos que contienen partículas ferromagnéticas, para estas investigaciones se realizó un modelo simulado computacional para el control del espesor, la simulación es suficientemente flexible para permitir entradas relacionadas con la composición, propiedades del material y condiciones de operación dependientes del tiempo (Yih-O, 1988) [20], el método de recubrimiento por centrifugación se utilizó para obtener dispositivos de memoria magnética considerándolo sobre una previa base de una estructura interna (Potanin, 1992) [21].

La fabricación de películas delgadas usando nanopartículas metálicas obtiene potenciales resultados en aplicaciones electrónicas en ramas como la óptica; las primeras propiedades ópticas observadas en las películas delgadas de nanopartículas de plata en una solución de polivinilpirrolidona (PVP) se ven representadas en el aumento del pico de adsorción e intensidad de la onda (Zheng, et al, 2001) [22], mediante el uso de la ruta química sol-gel.

Los sistemas digitalizados para la obtención de películas delgadas por recubrimiento por centrifugación nos dan la posibilidad de controlar de manera automática y precisa las variables de velocidad y tiempo donde es posible usar un microcontrolador, una pantalla para la visualización de los datos y teclados para ingresar las variables de proceso de centrifugación y reemplazando el control convencional de SCR (sistemas de regulación y control) (Hossain, et al 2014) [23]. Entre las opciones de fabricación económicas tenemos el uso de la plataforma Arduino y componentes electrónicos de bajo costo (Kaddachi, et al, 2016) [24]. En Colombia se investiga la tecnología de película delgada usando varios métodos para su elaboración entre los más usados reportados por la literatura encontramos: el método de pulverización catódica de magnetrón con el cual se ha investigado películas delgadas nano estructuradas de Galio (Heiddy P, et al, 2020) [25], películas delgadas de galio, antimonio en sustratos de silicio (Pulzara C, et al, 2020) [26], crecimiento y caracterización de películas delgadas de itrio, bario y cobalto (Galeano V, et al, 2016) [27], películas delgadas amorfas de indio y aluminio para aplicaciones fotovoltaicas (Mulcue F, et al, 2018) [28], respuesta óptica de películas delgadas a base de bismuto (Orozco G, et al, 2017) [29], propiedades magnéticas de películas delgadas de TiO_2 dopadas con cobalto para aplicaciones espintrónicas (Heiddy P, et al, 2019) [30], evaporación a alto vacío con algunas investigaciones como las propiedades físicas de zinc y selenio en películas delgadas (Pardo P, et al, 2018) [31], fabricación de película delgada magnética (Gamez D, et al, 2021) [32], naturalmente la literatura reporta otros métodos para la obtención de películas delgadas, sin embargo estos han sido ampliamente utilizados. La literatura reporta que el método de recubrimiento por centrifugación en Colombia no ha sido ampliamente usado sin embargo se encuentran investigaciones como: el análisis estadístico de películas delgadas de BiFeO_4 sustituidas con Sr para aplicaciones de sensores de gas licuado de petróleo (Efrain g, et al, 2022) [33] lo cual marca un precedente para el desarrollo de futuras investigaciones usando este método. Los países donde más se presentan investigaciones

de película delgada enfocada a la electrónica son China, Corea del Sur y Estados Unidos generalmente estos países son productores de tecnología. La representación Latino Americana en la investigación de esta tecnología se ve reducida a México y Brasil con unos aportes de Colombia y Venezuela (**Imagen 1**).

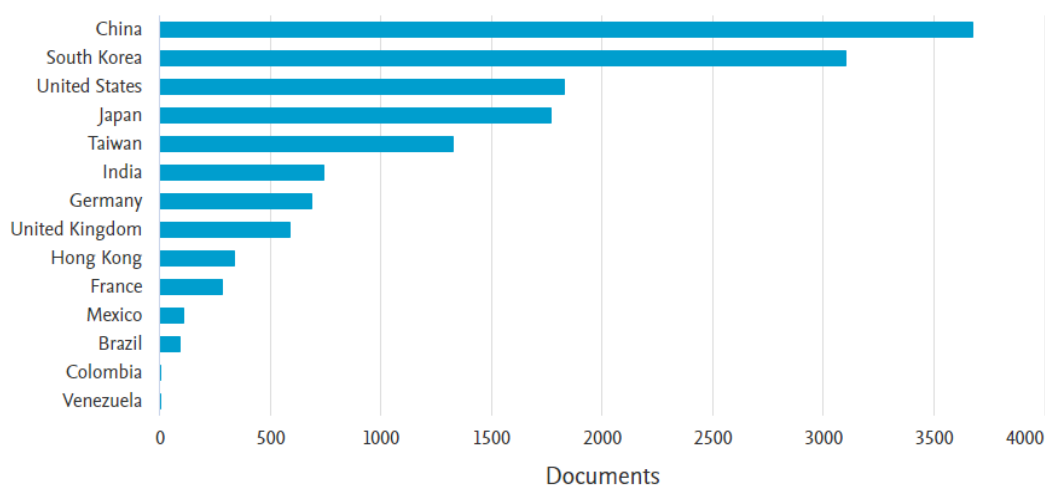


Imagen 1: Países que investigan tecnología de película delgada.

(Fuente: Scopus, investigación sobre películas delgadas, análisis de resultados por región.
<https://www.scopus.com/home.uri>)

6 MARCO TEÓRICO

Tecnología película delgada: se define en función de su aplicación ya que el espesor de la película puede variar desde una sola capa atómica hasta un milímetro, los egipcios desarrollaron las primeras capas de oro orgánico de 3000 Å (amstrog) de espesor. El tipo de material que se usa para la construcción de láminas delgadas es el primer paso para el desarrollo tecnológico, cambiando de propiedades en este estado. Mediante su caracterización se puede determinar si son cristalinas o amorfas (Neha, et al, 2018) [34], entre algunas de las propiedades de las láminas delgadas tenemos: piezoeléctricas, piroeléctricas, ópticas y ferroeléctricas de estas propiedades se derivas sus múltiples aplicaciones en el área de la electrónica (Shiosaki, 2002) [35]. En la actualidad se utilizan transistores de película fina integrando nanopartículas metálicas para aplicaciones en electrónica flexible y pantallas (Vidor, et al 2013) [36].

Recubrimiento por centrifugación: es un proceso transitorio de flujo y transferencia de masa, donde el espesor y la uniformidad dependen del drenaje dado por la velocidad de la centrifugación y la evaporación de los disolventes depende de la concentración del material que está en el sustrato. (Bornside, et al, 1987) [37]. Hay dos formas de obtener las películas delgadas usando el método de recubrimiento por centrifugación: una es la centrifugación estática que consiste en poner el material sobre el sustrato y centrifugarlo, la otra forma es la centrifugación dinámica en la cual el material se agrega de a poco mientras el sustrato está girando (**Imagen 2**). (Bautista, 2017) [38]. Desde el 2015 el método de recubrimiento por centrifugación ha tenido una participación importante en diferentes áreas de conocimiento sobresaliendo la aplicación en nuevos materiales y el área de ingeniería (**Imagen 3**).

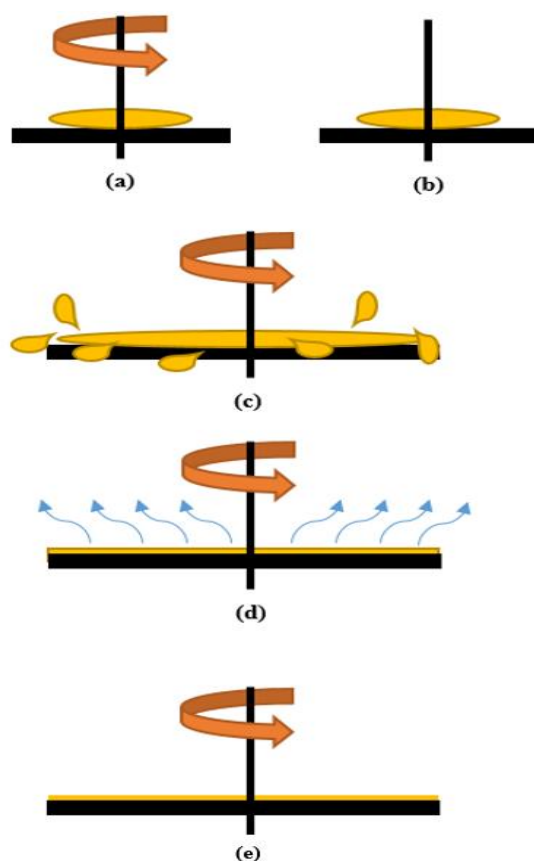


Imagen 2: Centrifugación dinámica (a), centrifugación estática (b), drenaje del exceso de material (c), evaporación de solvente (d) y formación de la película (e). (Fuente: autor).

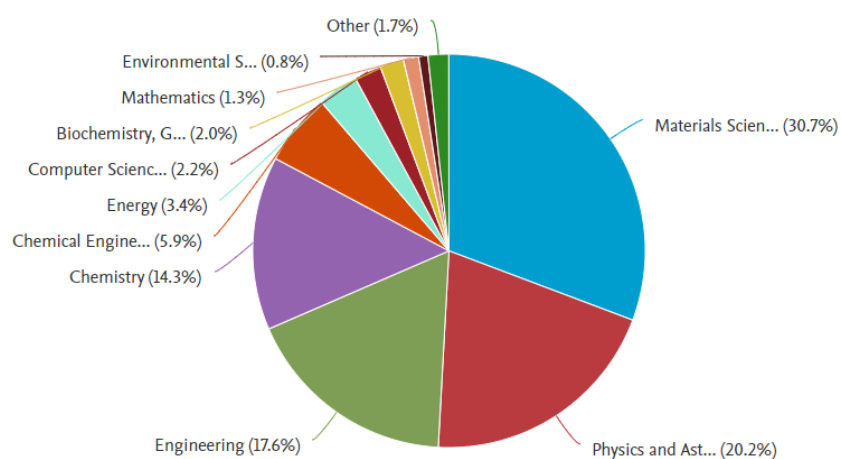


Imagen 3: Aplicación del recubrimiento por centrifugación por áreas.

(Fuente: Scopus, investigación sobre películas delgadas por centrifugación, análisis de resultados por áreas de conocimiento. <https://www.scopus.com/home.uri>)

Nanopartículas metálicas (NPs): son partículas de elementos comprendidos entre el grupo 3 a 12 de la tabla periódica cuyas dimensiones están en el orden de los nanómetros que corresponde a una mil millonésima de un metro 1×10^{-9} metros (nm) , se pueden obtener por dos métodos: (top-down) o método físico que consiste en la división mecánica sucesiva del metal y el método químico (bottom-up) que consiste en el crecimiento de partículas a partir de átomos metálicos este método ofrece ventajas al poder controlar el tamaño de la partícula y su reproducción (Valencia, 2013) [39].

Oxido-reducción: Se consideran como reacciones donde hay transferencia de electrones, cuando se habla de una sustancia que gana electrones de oxígeno se llama agente oxidante y cuando esta pierde electrones de oxígeno se llama agente reductor. La mayoría de estas reacciones suceden en medio acuoso y necesita la presencia de un reductor y agente oxidante generalmente un metal. Se usan también sustancias que aceleran la reducción permitiendo una optimización del tiempo de la reacción un ejemplo de esta reacción es la formación de óxido de magnesio (**Imagen 4**) donde el magnesio actúa como agente reductor y el oxígeno se reduce y actúa como agente oxidante (Raymond Chang) [40]. Uno de los métodos más comunes para la preparación de las nanopartículas, es la reducción química de sales de metales de transición en presencia de agentes estabilizadores. El mecanismo de formación de nanopartículas se basa primordialmente, en la reducción de la sal metálica al átomo cerovalente y seguidamente, estos átomos actúan como centros de nucleación dando lugar a la formación de clusters cuyo crecimiento continuará a medida que se sigan agregando los átomos. No obstante, es necesario estabilizar las partículas mediante la envoltura de moléculas o “agentes” estabilizadores (polímeros generalmente) que se adsorben en su superficie. (Angela B, et al) [41].

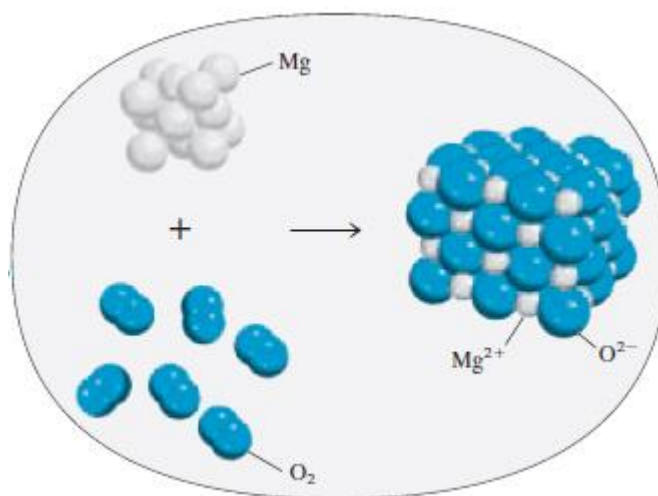


Imagen 4: Reacción redox del óxido de magnesio.

(Fuente: Raymond. C, "Fundamentos de química", primera edición, pag 105, Mc Hill, 2011.)

6.1 Caracterización de las nanopartículas y películas delgadas

Microscopía de fuerza atómica (AFM): Es un método de obtención de imágenes topográficas usando como principio las fuerzas de Van Der Waals de repulsión entre una punta de medición y la superficie a caracterizar. Las partes de un microscopio de fuerza atómica son: Fotodetector en los 4 cuadrantes, cantiléver con punta donde los radios de curvatura están entre 1 nm y 10 nm la longitud del cantiléver esta entre 50 μm y 100 μm , puede ser triangular o rectangular suelen estar fabricadas de nitruro de silicio o silicio monolítico, posicionadores piezoeléctricos y el láser (**Imagen 5**). El (AFM) cuenta con dos modos de operación: el estático (modo de contacto) donde el cantiléver toca la superficie a caracterizar sufriendo una deflexión, captada por el láser para ser traducido en el procesador, modo no contacto donde el cantiléver está a una distancia de entre 50 y 150 Armstrong y el láser capta la deflexión para traducir en el procesador. Los principales usos de esta técnica AFM son la de registrar la topología de una muestra y sus

propiedades eléctricas además de algunas propiedades electromagnéticas. (Adriana G. Et al, 2020) [42].

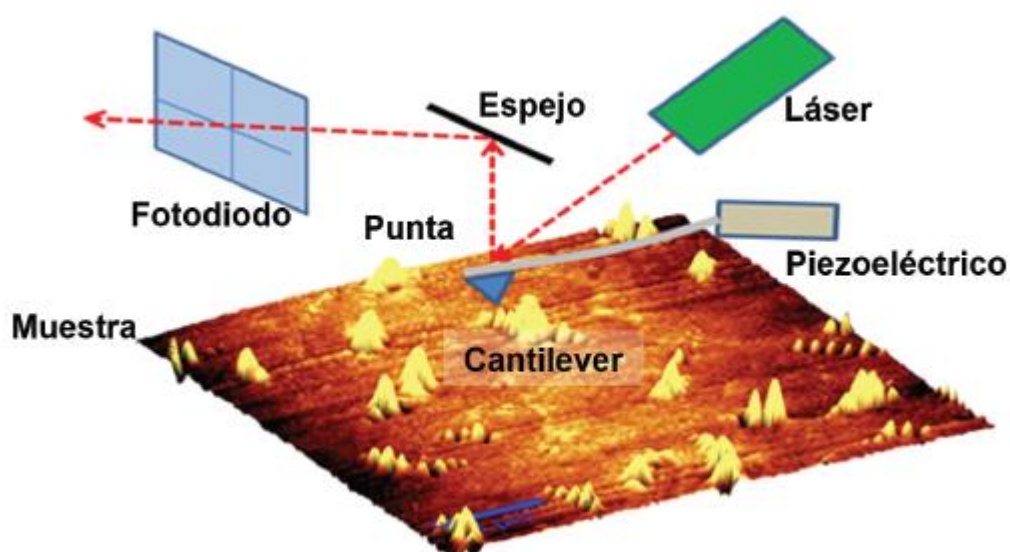


Imagen 5: Partes y funcionamiento del AFM.

(Fuente: Adriana G. Karina K, Microscopia de fuerza atómica como herramienta en la investigación de asfaltos, Revista infraestructura vial, Vol 22, pag 20-27, 2020.)

Espectrofotómetro: mide la cantidad de luz atenuada que pasa a través de una solución, su principio de funcionamiento se basa en la ley de Lambert-Beer la cual expresa la relación de luz absorbida a una longitud de onda determinada y la concentración de un cromóforo en solución. Cuando la luz penetra en la solución de moléculas las energiza cambiando su nivel de energía (Cristina C et al, 2018) [43] el nivel de absorción de esa energía a diferentes longitudes de onda representado en los saltos entre niveles de energía nos puede indicar que material esta disuelto y la cantidad de absorción de energía en una longitud de onda determinada (Abril N, et al.) [44]. Los dispositivos que usan este principio de funcionamiento tienen un análisis de espectro que cubre la luz ultravioleta- Visible o UV-Vis (**Imagen 6**).

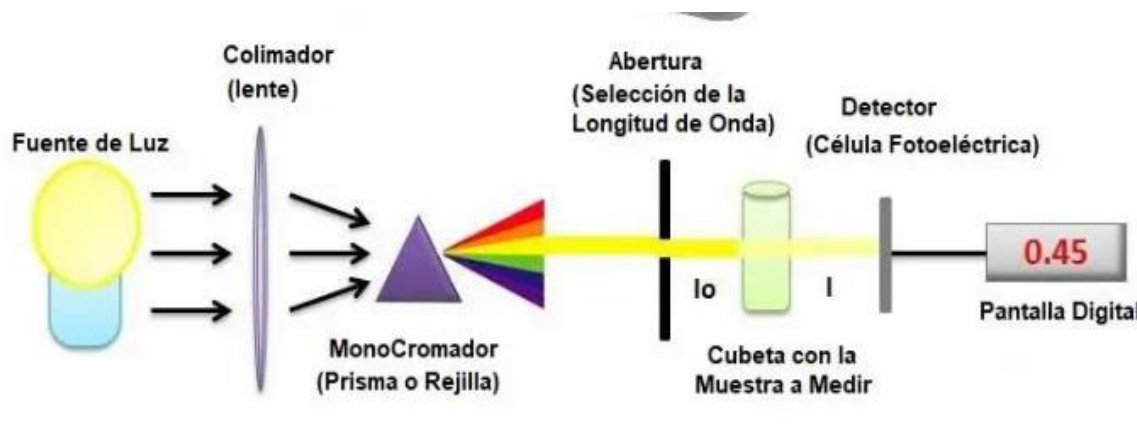


Imagen 6: Esquema de espectrofotómetro.

(Fuente: Cristina C. Ricardo V. Ángel G. Angélica V. Eduardo R, Aplicaciones y generalidades de un espectrofotómetro, UV-VIS UV-1800, EAN universidad, pag 7-10 , 2018)

Plasmón superficial: bajo ciertas condiciones la luz puede viajar por la superficie de los metales sin alejarse de ella, esta onda que viaja por la superficie involucra el campo electromagnético y los electrones libres presentes en los metales estas ondas fueron llamadas plasmones superficiales la energía de estos plasmones puede ser medida por métodos de espectrofotometría para observar en que longitud de onda se encuentran (G. Francisco, M. Luis, 2008) [45].

6.2 Conversor

Convertidor conmutado: Los convertidores son circuitos que cambian un nivel de voltaje continuo en otro de salida continuo y regulado. Un convertidor conmutado consta de varios interruptores; si el interruptor se comporta de manera ideal: cuando este se encuentra cerrado el nivel de salida es el mismo nivel que el de entrada y cuando se encuentra abierto el nivel de salida es cero. La componente de salida se modifica variando el ciclo de trabajo del tren de pulsos en el

interruptor siendo esta la fracción de tiempo en el que este mantiene cerrado. La potencia absorbida por el convertidor ideal es cero, la carga calculada absorbe toda la potencia dándonos una eficiencia del 100%. Por tanto, en un sistema real se esperan pérdidas por conmutación. (Hart, 2001) [46].

6.3 Conversor Buck

Es un tipo de convertidor conmutado del cual se obtiene siempre un voltaje de salida menor voltaje de entrada. Sus aplicaciones más comunes se encuentran en fuentes de voltaje CC regulada y control de motores CC. (Mohan, 2009) [47]. El circuito del convertidor Buck consta de: una fuente de voltaje CC en la entrada (V_{in}), dos interruptores en paralelo (S1 y S2), un filtro LC y en paralelo una carga resistiva (RL). **Imagen 7**

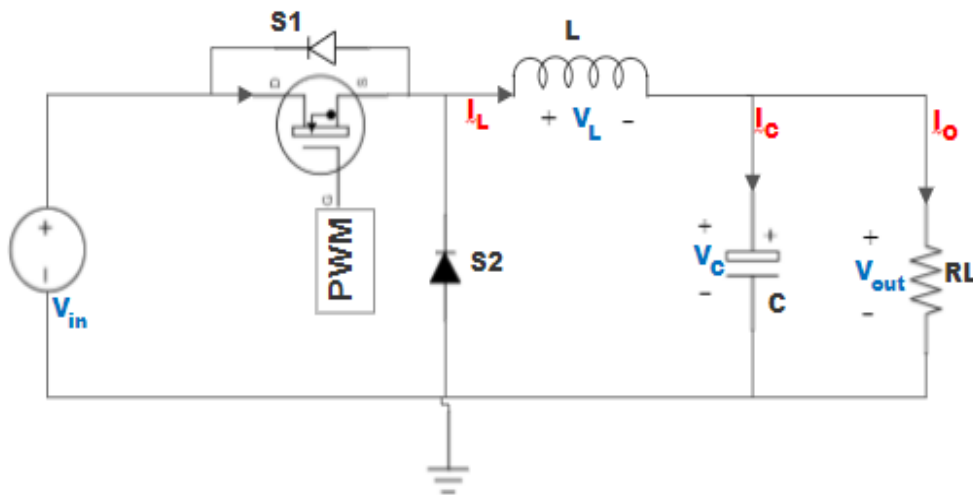


Imagen 7. Circuito conversor Buck. (Fuente: autor)

El análisis del conversor **en régimen permanente** tiene las siguientes características:

1. La **corriente** en la **bobina** es periódica:

$$I_L(t + T) = I(t) \quad (1)$$

2. La **tensión** media de la bobina es cero:

$$V_L = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} V_L(t) dt = 0 \quad (2)$$

3. La corriente media del condensador es cero:

$$I_C = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} I_C(t) dt = 0 \quad (3)$$

4. La potencia entregada por la fuente es igual a la suministrada por la carga, la fuente también suministra las pérdidas:

$$P_{in} = P_{out} \quad (4)$$

El análisis del convertidor se realizará en dos estados: el primer estado corresponde a los interruptores S1 encendido y S2 apagado **Imagen 8** el segundo estado corresponde a los interruptores S1 apagado y S2 encendido en un tiempo T **Imagen 8**.

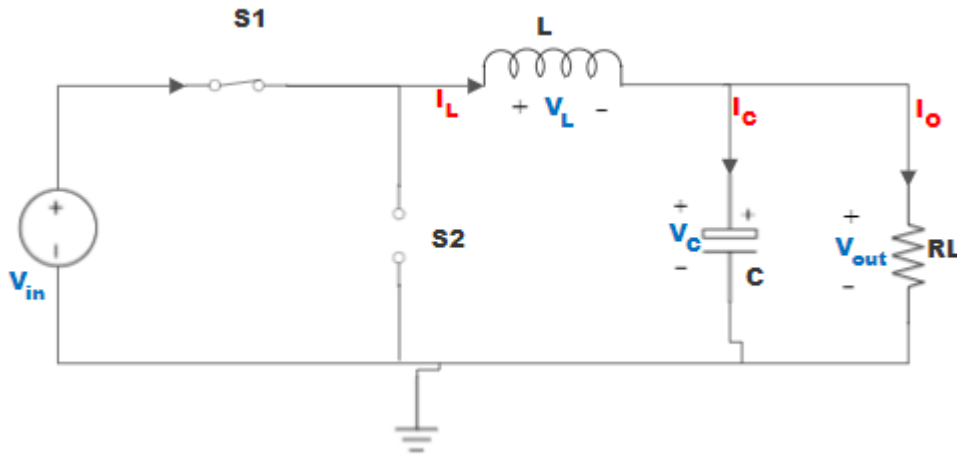


Imagen 8. Circuito equivalente entre $0 \leq t \leq DT$. (Fuente: autor)

6.3.1 Análisis del circuito cuando el interruptor S1 está cerrado y el interruptor S2 abierto

Tensión en la inductancia (L):

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_{in} - V_{out}}{L} \quad (5)$$

La derivada de la corriente en la inductancia es positiva por tal razón la corriente se incrementa de manera lineal (**Imagen 9**). Para calcular los cambios de la corriente se modifica la ecuación (5) así:

$$\Delta i_{L1} = \frac{V_{in} - V_{out}}{L} * DT \quad (6)$$

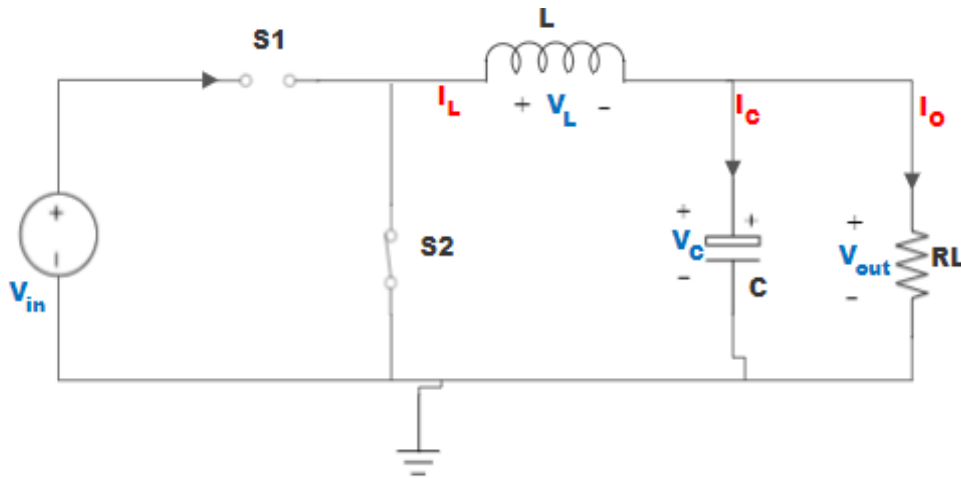


Imagen 9. Circuito equivalente entre $DT \geq t \geq T$. (Fuente: autor)

6.3.2 Análisis de circuito cuando el interruptor S1 está abierto y el interruptor S2 está cerrado

Tensión en la inductancia (L):

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{-V_{out}}{L} \quad (7)$$

La derivada de la corriente en la inductancia es negativa por tal razón la corriente se ve decrementada de manera lineal. Para calcular los cambios de la corriente se modifica la ecuación (7) así:

$$\Delta iL_2 = \frac{-V_{out}}{L} * (1 - D) * T \quad (8)$$

En el funcionamiento de régimen permanente requiere la corriente sea la misma al final y principio de ciclo de conmutación por ello se debe cumplir la siguiente condición:

$$\Delta iL_1 + \Delta iL_2 = 0 \quad (9)$$

Reemplazando las ecuaciones (6) y (8) tenemos

$$\frac{V_{in} - V_{out}}{L} * D * T + \frac{-V_{out}}{L} * (1 - D) * T = 0 \quad (10)$$

De la ecuación (10) despejamos V_{out} :

$$V_{out} = V_{in} * D \quad (11)$$

El voltaje de salida (V_{out}) depende del ciclo útil de trabajo D , si el voltaje de entrada (V_{in}) varia se puede ajustar el ciclo útil de trabajo para seguir obteniendo el mismo voltaje de salida (V_{out}) o cualquier otro voltaje de menor valor que el de la entrada.

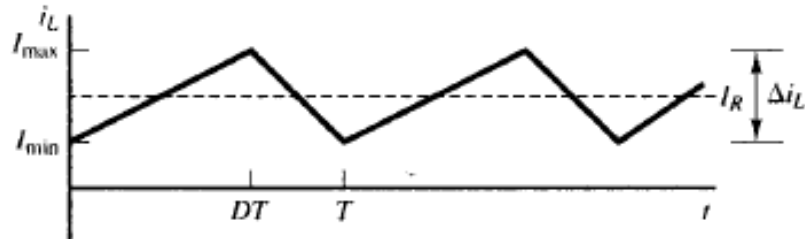


Imagen 10. Forma de onda corriente de salida en la inductancia en estado estable.

(Fuente: Hart, D. 2001. "Convertidores CC-CC. H.W. Prentice Hall, Electrónica de potencia, 1 ed., Vol. 1, pp. 206.Prentice Hall.)

6.3.3 Balance de flujo

La componente continúa obtenida por la conmutación de los interruptores está dada por la siguiente expresión:

$$\frac{1}{L} \int_0^{DT} V_{in} - V_{out} dt + \int_{DT}^T -V_{out} dt = 0 \quad (12)$$

$$(V_{in} - V_{out}) * D - V_{out} * (1 - D) = 0 \quad (15)$$

$$V_{in} * D - V_{out} = 0 \quad (14)$$

$$D = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (13)$$

Para que exista una corriente permanente a la salida es necesario tener un valor de inductancia mínima para garantizarla, una forma de calcularla es usando la pendiente en la forma de onda de la corriente de salida (**Imagen 10**), así:

$$\Delta i_L = \frac{V_{in} - V_{out}}{2Lf} * D \quad (16)$$

De la ecuación (16) se despeja la inductancia:

$$L = \frac{V_{out} * (1 - D)}{2 * \Delta i_L * f} \quad (17)$$

6.3.4 Rizado de la tensión de salida

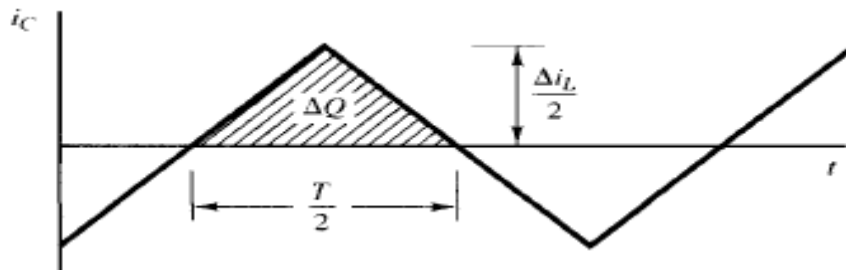


Imagen 11. Forma de onda corriente de salida en el capacitor en estado estable.

(Fuente: Hart, D. 2001. "Convertidores CC-CC. H.W. Prentice Hall, Electrónica de potencia, 1 ed., Vol. 1, pp. 209. Prentice Hall.)

Para que exista una tensión permanente de salida es necesario tener un valor de capacitancia mínima para garantizarla, una forma de calcular el valor de esta capacitancia es relacionar la corriente y el voltaje en el capacitor usando la forma de onda de corriente en el capacitor (**Imagen 11**).

$$Q = C * \Delta V \quad (18)$$

Usando el modelo matemático para encontrar el área del triángulo se despeja la carga Q del capacitor, así:

$$Q = \frac{T}{2} * \Delta i_L * \frac{1}{2} \quad (19)$$

Comparando las igualdades (18) y (19) despejamos el valor de la capacitancia:

$$C = \frac{\Delta i L}{4f \Delta v} \quad (20)$$

La potencia de salida se calcula usando la ley de ohm relacionando el voltaje de salida (V_{out}) con la resistencia de carga, así:

$$P = \frac{V_{out}^2}{R} \quad (21)$$

7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1 Diseño de conversor Buck

Para el desarrollo de un sistema para la elaboración de películas delgadas basadas en nanopartículas metálicas es necesario implementar un conversor tipo Buck, para ello se dimensiona los dispositivos a usar en el conversor. Para empezar, es necesario tener en cuenta las siguientes condiciones:

- Voltaje de salida (V_{out}): 24 V para alimentar un motor de CC (corriente continua).
- Voltaje de entrada (V_{in}): de 30 Voltios (los cuales se obtienen de un transformador de 120 - 30 voltios AC que son rectificadas por un puente de diodos de onda completa).
- Potencia 20 W (P).
- Corriente máxima (I_{max}): 800mA.
- Ripple de corriente: 5%.
- Ripple de voltaje: 2%.
- Frecuencia de conmutación: 70 KHz

$$\Delta i_L = \text{ripple de corriente} * I_{max} \quad (22)$$

$$\Delta i_L = 0.05 * 800mA \quad (23)$$

$\Delta i_L = 40 \text{ mA}$ es valor máximo de rizado esperado en la corriente de salida.

$$\Delta v = \text{ripple de voltaje} * V_{out} \quad (24)$$

$$\Delta v = 0.02 * 24V \quad (25)$$

$\Delta v = 480 \text{ mV}$ (mili Voltios) es el valor máximo de rizado esperado en la tensión de salida.

7.1.1 Cálculo del ciclo útil

El ciclo útil del sistema para obtener el máximo nivel de salida que requerimos (24 V) se hallara con la ecuación (13):

$$D = \frac{24 V}{30 V} \quad (26)$$

D = el ciclo útil de trabajo o fracción de periodo en el cual el interruptor S1 está cerrado para lograr una salida de 24 V es del 80%.

7.1.2 Cálculo del valor de la inductancia

Para garantizar una corriente permanente a la salida es necesario tener un valor de inductancia que la pueda garantizar, el valor de esta inductancia se halla con la ecuación (17) reemplazando los valores:

$$L = \frac{24 V * (1 - 0.8)}{2 * (40mA) * 70KHz} \quad (27)$$

L = 0.85 mH es el valor mínimo de la inductancia para garantizar una corriente permanente de salida.

7.1.3 Cálculo del valor del capacitor

Para garantizar una tensión permanente a la salida del circuito es necesario calcular un valor de capacitancia que la pueda garantizar, el valor de este capacitor se halla con la ecuación (20).

$$C = \frac{40mA}{4 * 70kHz * (480mV)} \quad (28)$$

C = 298 nF es el valor mínimo del capacitor para garantizar una tensión de salida.

7.1.4 Cálculo del valor de la resistencia de carga

El valor mínimo de la resistencia de carga que puede tener el circuito para obtener la máxima potencia (20 W) del sistema se despeja de la ecuación (21).

$$R = \frac{V_{out}^2}{P} \quad (29)$$

Después de despejar R se reemplaza los valores dados en las condiciones del sistema en la ecuación (29) y se halla el valor de la resistencia.

$$R = \frac{24V^2}{20W} \quad (30)$$

$R = 30 \, \Omega$ es el valor de resistencia mínimo para que el conversor pueda otorgar una potencia superior a 20 W.

7.2 Simulación de conversor Buck

Con la ayuda del software PSIM se simula conversor Buck (**Imagen 12**) con las condiciones propuestas en la sección 7.1 sobre el diseño del conversor:

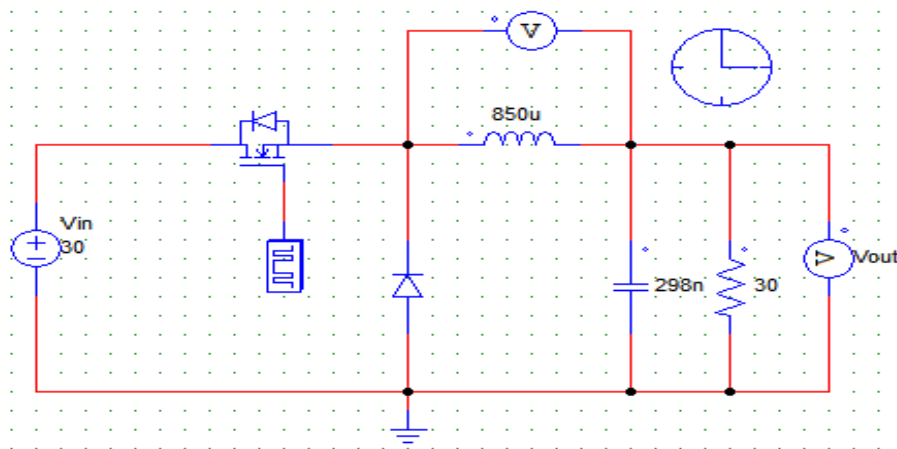


Imagen 12. Circuito de conversor Buck en PSIM. (Fuente: autor)

7.2.1 Voltaje de salida

En las condiciones propuestas se espera un voltaje de rizo no superior al 2% del voltaje de salida (V_{out}) que equivale a 480mV como se ve en la ecuación (25) con la ayuda del software PSIM se observa que el diseño cumple con los parámetros (**Imagen 13**).

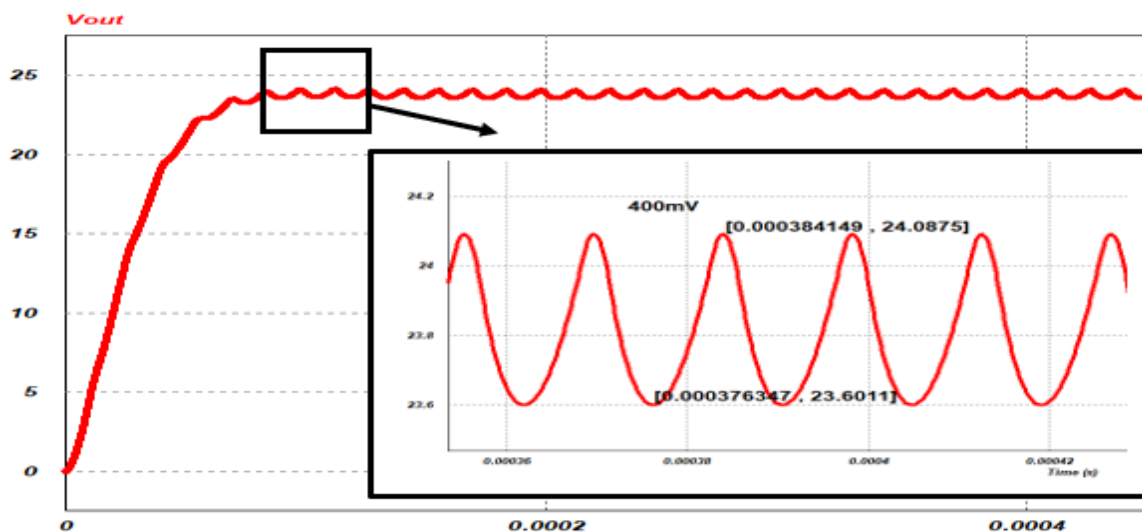


Imagen 13. Voltaje de salida (V_{out}) con aumento en el rizo resultante. (Fuente: autor)

7.2.2 Corriente de salida

En las condiciones propuestas se espera una corriente de rizo no superior al 5% de la corriente máxima (I_{max}) que equivale a 40 mA como se ve en la ecuación (23) con la ayuda del software PSIM se observa que el diseño cumple con los parámetros (**Imagen 14**).

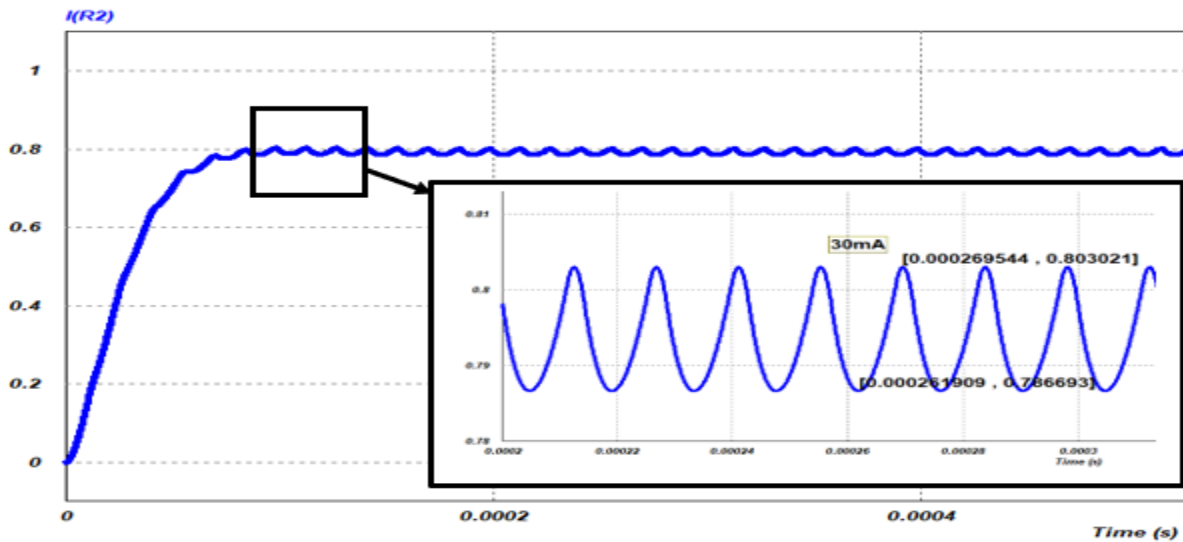


Imagen 14. Corriente de salida (I_{out}) con aumento en el rizo resultante. (Fuente: autor)

7.2.3 Potencia entregada por el circuito

En las condiciones propuestas se espera una potencia máxima de 20 W (P) con ayuda del software PSIM se observa que el diseño cumple con los parámetros (teniendo en cuenta que se desprecian 300 mW) (**Imagen 15**):

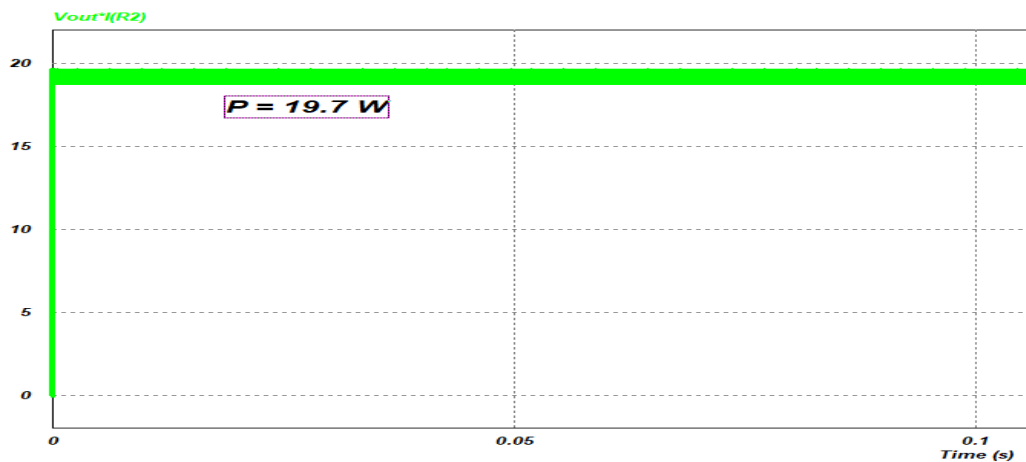


Imagen 15. Potencia entregada por el circuito. (Fuente: autor)

7.3 DISEÑO DE LA INDUCTANCIA

El valor de la inductancia calculada para el diseño del conversor dc – dc tipo Buck no se encuentra en el mercado sumado a esto es difícil encontrar una inductancia que posea características que se acoplen a circuitos de potencia. Estas limitaciones hacen que sea necesario diseñar y construir la inductancia del conversor:

7.3.1 Diseño de la inductancia

Con el área de ventana del núcleo es posible calcular el número de vueltas (n) del cable conductor en el núcleo:

$$n = \frac{L * I_{max}}{Ae * B_{max}} \quad (31)$$

Dónde: Ae = área de ventana de la unión entre los dos núcleos, Bmax = densidad máxima de flujo magnético.

Para determinar la sección transversal cable (s) a usar se usa la siguiente expresión matemática:

$$s = \frac{I_{max}}{J} \quad (32)$$

Para el diseño en específico de esta inductancia se usan dos núcleos de ferrita en E por esto se deben separar con algún material o simplemente una brecha para evitar pérdidas por densidad de flujo magnético a esta separación se le llamara (lgap):

$$lgap = \frac{\mu_0 * n^2 * Ae}{L} \quad (33)$$

Dónde: μ_0 = (permeabilidad magnética del aire), n = número de vueltas, Ae = área de ventana de la unión entre los dos núcleos y L= inductancia.

7.3.2 Implementación de la inductancia

Se han seleccionado dos núcleos de ferrita con referencia N97 ya que nos ofrecen un comportamiento estable en frecuencias iguales a 100 kHz, partiendo de la selección del núcleo se establecen las condiciones iniciales para la construcción de la inductancia.

Condiciones iniciales

- I_{max} : 800 mA
- Frecuencia de conmutación: 70 kHz
- A : 2.5 coeficiente de llenado magnético estimado
- L : 850 μ H
- B_{max} : 380 mT (valor establecido en la hoja de datos del núcleo de ferrita N97)
- J : 3.5 A / mm² (valor establecido en la hoja de datos del núcleo de ferrita N97)
- A_e : 70x10⁻⁷ mm (valor establecido en la hoja de datos del núcleo de ferrita N97)
- $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{Tm}{A}$ (permeabilidad magnética del aire)

7.3.3 Número de vueltas

Estableciendo las condiciones iniciales se procede a calcular el número de vueltas (n) con la ecuación (31):

$$n = \frac{850\mu H * 800mA}{70 \times 10^{-7} * 0.38T} \quad (34)$$

$n = 255$ es el número de vueltas del cable conductor alrededor del núcleo de ferrita.

El área de la sección transversal del cable (s) se calcula usando la ecuación (32):

$$s = \frac{800mA}{3.5 \frac{A}{mm^2}} \quad (35)$$

7.3.4 Calibre del cable

$s = 0.22 \text{ mm}^2$ es el área de la sección transversal, con la tabla de valores de AWG se establece que el calibre del cable a utilizar es de 24 AWG.

7.3.5 Gap del entre los núcleos

Para el cálculo de la distancia que debe haber entre la unión entre los dos núcleos y evitar la saturación se utiliza la ecuación (33):

$$lgap = \frac{4\pi \times 10^{-7} \frac{Tm}{A} * 255^2 * 70 \times 10^{-7}}{850\mu H} \quad (36)$$

$lgap = 0.66 \text{ mm}$ es la distancia que debe haber entre las uniones de los dos núcleos de ferrita.

7.4 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA PARA PRODUCCIÓN DE PELÍCULAS DELGADAS

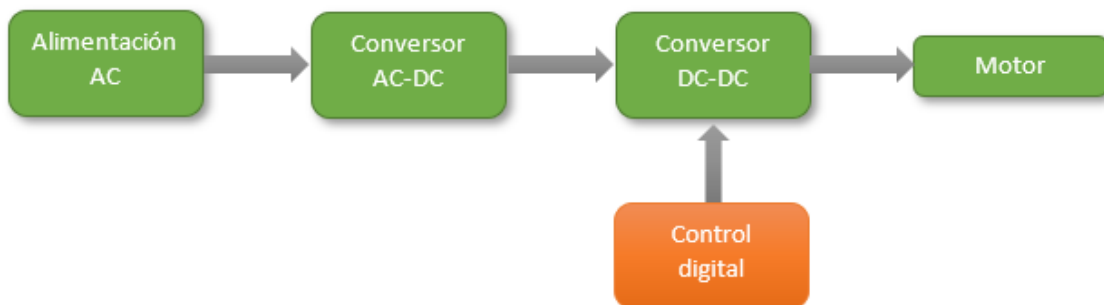


Imagen 16: Diagrama de bloques del sistema para la producción de películas delgadas. (Fuente: autor)

Se usará el diagrama de bloques de la (**Imagen 16**) como modelo para la implementación del sistema para la elaboración de películas delgadas el cual consta de una alimentación AC obtenida de un transformador comercial, la señal que sale del transformador pasa a un conversor AC-DC que rectifica la señal con un puente de diodos de onda completa, la señal obtenida por el conversor AC-DC pasa a un conversor DC-DC del tipo Buck cuyo análisis se encuentra en la sección ;Error! No se encuentra el origen de la referencia., el conversor DC-DC tiene un control digital en lazo abierto por ende se usa un microcontrolador que genera una señal PWM ingresada por un teclado matricial 4x4 que permite al conversor AC-AC regular el voltaje que se obtiene a la salida para alimentar el motor:

7.5 Lista de materiales y costo

Material	Costo (dólares)
Váquela de 10 x 10 cm con circuito impreso (incluido IVA y transporte)	15
Transistor tipo Mosfet (STD5N20LT4).	2.06
Driver (MCP1402T-E/OT).	1.30
Motor (24 V, 7000 RPM)	12.38
Optoacoplador (TLP2366(TPL,E)	1.47
Capacitor 1 μ F, 16 V	0.48
Capacitor 10 pF, 50 V	0.20
Capacitor 10 μ F, 25 V	0.60
Capacitor 470 μ F, 200 V	4.23
Capacitor 2.2 μ F, 25V	0.30
Capacitor 0.043 μ F, 400V	1.25

Resistencia 20 ohm, ½ W	1.44
Resistencia 2500 ohm, 1/5 W	1.34
Resistencia 160 ohm, 1/8 W	0.20
Resistencia 100 ohm, 1/8 W	0.42
Resistencia 0 ohm, 1/8 W	0.17
Núcleos de ferrita (B66329G0000X197)	8.76
Diodo Zener (5 voltios de voltaje de saturación)	0.50
Fuentes aisladas de 18 V,	4.90
Fuente aislada de 5 V, 1W	6.08
Microcontrolador (16f 887A).	2.83
Teclado matricial 4 x 4.	5.95
LCD 16 x2.	3.95
Transformador de 120 a 24V, 2ª	13.72
Resistencia de potencia 200 ohm y 22 Watts.	0.46
Caja de plástico negro 20 x 10 cm.	5.72
Conectores molex 2 y 3 pines.	0.11
Alambre de cobre calibre 24 (AWG), 18m	6.86
Ventosa 1.969 pulgadas.	0.23
Módulo encoder HC - 020k	2.17
Total	105.08

Tabla 1: lista de los materiales usados para desarrollar un dispositivo de recubrimiento por centrifugación (la tasa de cambio está fijada para el valor del dólar en Colombia en octubre de 2021) (Fuente: Autor).

7.6 Alimentación AC y conversor AC-DC

El sistema completo se alimenta de la energía proporcionada por la red eléctrica de 120 V pico a 60 Hz, debido a que se requiere alimentar el control digital con ese nivel de voltaje se hace necesario reducirla con un transformador comercial de 120 V a 30 V, así el voltaje será el adecuado para la alimentación del circuito de control digital y es suficiente para suplir el consumo del conversor Buck.

El transformador reduce el voltaje en AC sin embargo el sistema necesita una fuente de voltaje DC y para obtener ese tipo de voltaje se implementa un sistema de conversión AC – DC que consta de la configuración de diodos en puente completo, con este sistema se rectifica la tensión obtenida del transformador y se filtra el ruido resultante con un condensador para obtener una señal DC rectificada y con un mínimo de ruido.

7.7 Control digital

El conversor DC – DC tipo Buck planteado para la alimentación del motor tiene un control digital en lazo abierto que consta de: un microcontrolador, un teclado matricial 4 x 4, una LCD (liquid crystal display) 16X2, un driver, una fuente aislada de 5 voltios para energizar el microcontrolador y una fuente aislada de 18 voltios para energizar el driver.

El control digital pretende modificar el ciclo útil en el transistor MOSFET usando un microcontrolador 16f887 el cual adquiere los datos para modificarlo de un teclado matricial 4x4, los cuales se muestran en la pantalla de la LCD. El microcontrolador 16f887 tiene dos módulos CCP1 y CCP2 (captura/comparación/PWM) los dos módulos tienen un funcionamiento idéntico, para este caso se utiliza el módulo CCP1 ubicado en el pin 17 en modo PWM, la alimentación de la LCD 16x2 y el microcontrolador se efectúa usando la fuente de alimentación aislada de 5 voltios

lo que nos permite proteger los circuitos de posibles picos de voltaje. La señal PWM del microcontrolador pasa a un optoacoplador y de este a una fuente aislada de 18 voltios esto asegura que el driver acondicione la señal para el correcto funcionamiento del MOSFET del conversor Buck.

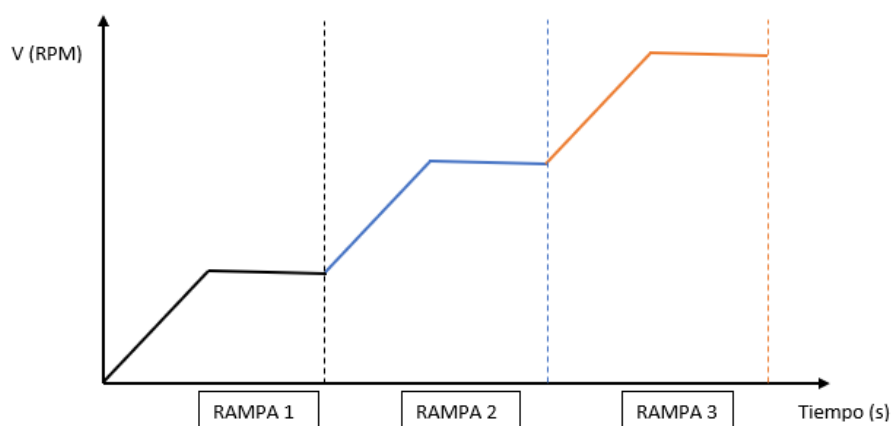


Imagen 17: Rampas de velocidad. (Fuente: autor)

7.8 Principio de funcionamiento

Integrando el funcionamiento del diagrama de bloques (**Imagen 16**) se controla un motor que puede alcanzar una velocidad máxima de 7000 RPM según especificaciones, 24 voltios de alimentación y una potencia máxima de 20 Watts, para obtener las películas delgadas es necesario que la muestra se encuentre sometida a una aceleración centrífuga (Abhishek Chandramohan, et al. 2016) [48] para este caso he planteado tres rampas de velocidad ascendentes (**Imagen 17**): la primera rampa consiste en la fase de dispersión del material sobre el sustrato, la segunda rampa evapora los solventes y la tercera rampa corresponde a la formación de la película delgada. La velocidad y tiempo de duración de cada rampa son ingresados por el teclado matricial 4x4 al microcontrolador según las condiciones que necesite la muestra para lograr alguna propiedad en específico y su grosor.

7.9 Programación del pic16f887

Después de identificar el módulo CCP1 del microcontrolador se configuran los registros que se requieren para el funcionamiento del módulo los valores de estos registros están en la hoja técnica del microcontrolador **ANEXO 3**: un registro pos-escaler de 1 y un timer2 de 71 (este valor se calcula con la ecuación de la hoja de datos del microcontrolador).

El valor de timer2 que se encuentra en la hoja técnica del microcontrolador esta adecuado para una frecuencia de PWM de 78 KHz, para encontrar un valor de timer2 adecuado este se calcula con respecto a la resolución del PWM, el oscilador y la frecuencia del PWM (70 KHz) con la siguiente ecuación:

$$\text{Timer2} = \frac{TPWM}{4 * T_{osc}} - 1 \quad (37)$$

Donde: TPWM= periodo de la frecuencia del PWM, T_{osc}= periodo del oscilador y timer2= registro de tiempo.

$$T_{osc} = \frac{1}{F_{osc}} \quad (38)$$

Donde: F_{osc}= Frecuencia del oscilador.

$$TPWM = \frac{1}{FPWM} \quad (39)$$

Donde: FPWM= frecuencia del PWM

Se reemplaza el valor de la frecuencia del oscilador en la ecuación (38) en este caso el valor del oscilador interno es muy pequeño para obtener una resolución de 8bits por ello se agrega en el diseño un oscilador externo de cristal de cuarzo de 20 MHz.

$$T_{osc} = \frac{1}{20 \text{ MHz}} \quad (40)$$

$$T_{osc} = 5 \times 10^{-5} \text{ s}$$

Se reemplaza la frecuencia del PWM en la ecuación (39) para hallar el periodo.

$$T_{PWM} = \frac{1}{70 \text{ KHz}} \quad (41)$$

$$T_{PWM} = 1.42857142 \times 10^{-5} \text{ s}$$

Usando la ecuación (37) se reemplazan los valores de las ecuaciones (40) y (41) así:

$$\text{Timer2} = \frac{1.42857142 \times 10^{-5} \text{ s}}{4 \times 5 \times 10^{-8} \text{ s} * 1} - 1 \quad (42)$$

$$\text{Timer2} = 71 \mu\text{s}$$

La programación del microcontrolador se realizó usando el software PICC compiler para la configuración del módulo CCP1. Se programaron las entradas de los periféricos correspondientes a la LCD y el teclado matricial 4x4 quedaron ubicados en los puertos D y B del microcontrolador respectivamente. Para capturar los datos del teclado se programó una función la cual es llamada dentro de un ciclo for anidado donde se puede ingresar el valor de la velocidad en RPM y el tiempo en segundos de cada una de las tres rampas, estos datos aparecen en la LCD a medida que se ingresan al microcontrolador.

Se hacen dos funciones para capturar el valor de la tecla donde a cada tecla se le asigna un valor usando la función interna del programa KBD, en las funciones diseñadas se asigna el tiempo de espera entre cada selección de tecla, la tecla de borrado de datos y la tecla para que los datos sean guardados.

Luego en la función principal después de definir la frecuencia y las salidas del PWM en un ciclo **WHILE** se le asignan los mensajes que mostrara la LCD en cada rampa y se llama la función tecla

para mostrar y guardar los datos ingresados por el teclado, la velocidad se ingresa por teclado y se empieza a contar desde el ciclo útil máximo debido a que el optoacoplador invierte la señal de salida del microcontrolador en un ciclo **for** se decrementa el valor en 1 bit para que el motor vaya incrementando la velocidad y llegar a la velocidad ingresada por el teclado, luego se ingresa el valor del tiempo que dura esa rampa y se determina mediante un incremento en un ciclo **for** de un retardo de un segundo por conteo, para las siguiente rampa de velocidad el decremento se empieza desde el ultimo valor del ciclo **for** para que la siguiente rampa empiece a incrementar la velocidad desde la velocidad anterior, se sigue el procedimiento indicado anteriormente para configurar las demás rampas. Cuando el ciclo concluye el valor de la velocidad empieza a incrementarse en el ciclo **for** hasta llegar al máximo valor de ciclo útil con esto el motor se detiene (se detiene en el máximo valor de ciclo útil en el código de programación debido a que el optoacoplador invierte la señal). El código completo esta en (**Anexo 1 (Programación)**).

7.10 Montaje del circuito

Para la PCB (printed circuit board) por sus siglas en ingles se realizó un diseño usando el software PROTEUS con dispositivos SMT (Surface mount thechnology) y THT (through hole

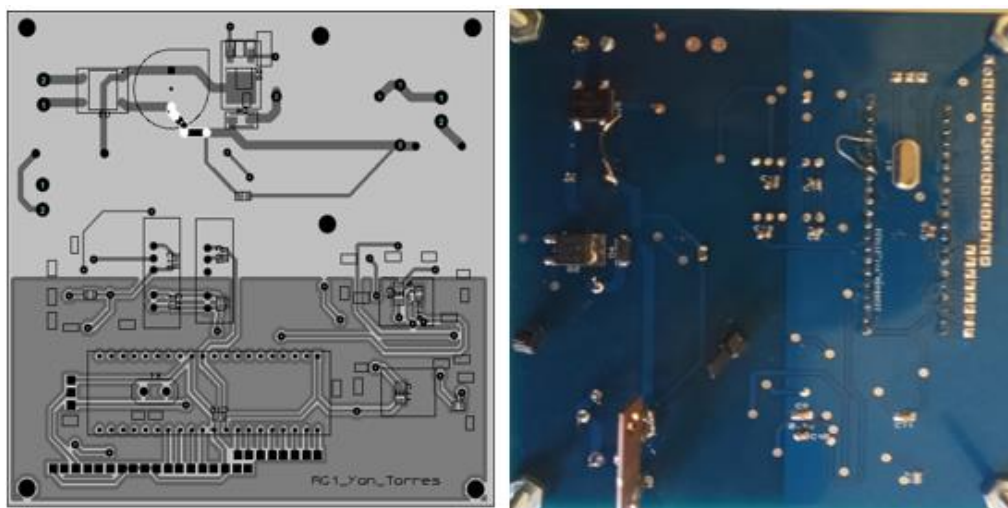


Imagen 18: Diseño y montaje de la tarjeta vista inferior. (Fuente: autor)

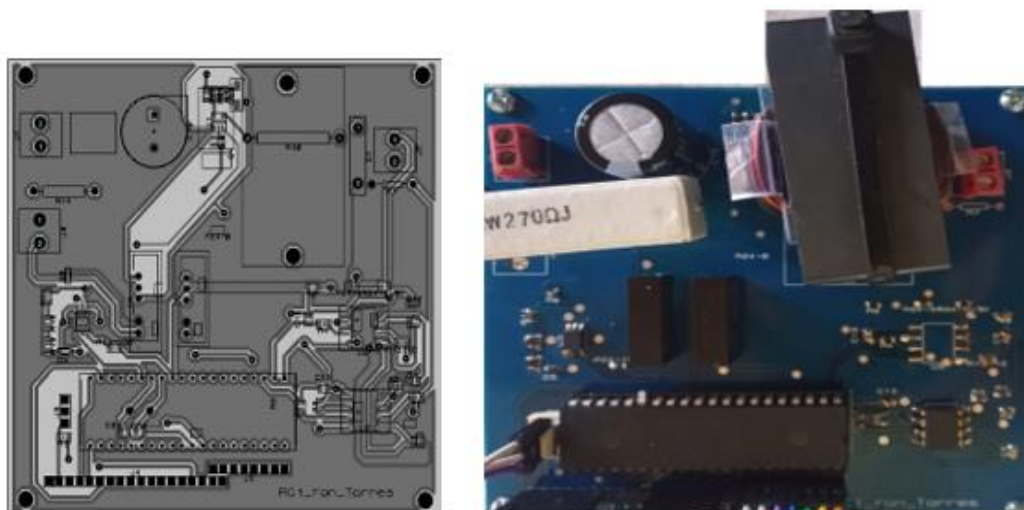


Imagen 19: *Diseño y montaje de la tarjeta vista superior. (Fuente: autor)*

technology) luego se imprimió en vácueta de dos caras: el diseño y el montaje de la parte superior se presentan en la (**Imagen 18**), el diseño y montaje de la parte inferior se presentan en la (**Imagen 19**).

La impresión del diseño de la PCB se hizo en la empresa china JLCPCB se logró obtener 5 PCB con la impresión del diseño, luego con una estación de soldadura se procede a soldar los dispositivos electrónicos en la PCB con estaño sólido, posteriormente se hacen pruebas de funcionamiento comprobando que el circuito y sus componentes realizan la función designada en el diseño

7.11 Sistema para la elaboración de películas delgadas

Después de probar el funcionamiento de la tarjeta se le conectan los periféricos: teclado matricial 4x4, la LCD 16x2 y el motor de 24 voltios DC a 7000 RPM, estos componentes y la tarjeta se ubican en una caja negra que hace sus veces de encapsulado del dispositivo. Se muestran las tres vistas del dispositivo final (**Imagen 20**):

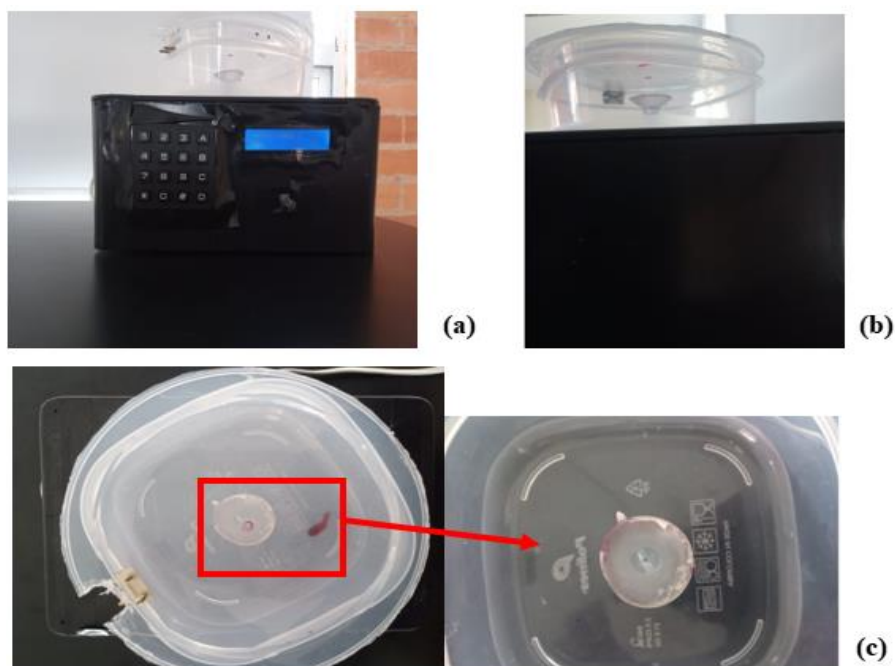


Imagen 20: Vista frontal del dispositivo final (a), vista lateral del dispositivo final (b, vista superior del dispositivo final con detalle en la ventosa (c). (Fuente: autor)

7.11.1 Dispositivo mecánico para la sujeción de los sustratos

Para la sujeción de los sustratos se usó una ventosa de 1.969 pulgadas adherida al eje que se extiende desde el rotor (**Imagen 21**), al usar sustratos de vidrio nos asegura que el sustrato este fijo y no se vaya mover o caer por la velocidad de la centrifugación. La interfaz del dispositivo es amable con el usuario permitiendo fácil acceso a las funciones como a su respectiva configuración como se muestra en su manual de uso (**12.2Anexo 2 (Manual)**).

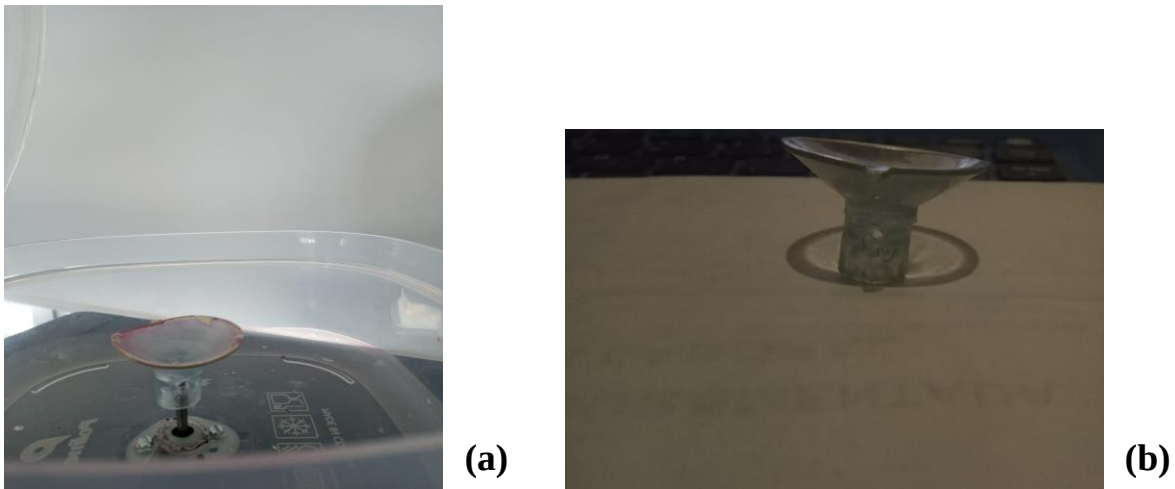


Imagen 21: Ventosa montada en el rotor del motor (a), ventosa de 1.969 pulgadas (b).
(Fuente: autor)

Velocidad de centrifugación

Con los parámetros de programación establecido es la sección **Programación del pic16f887** en el cual se definió el valor del cristal de oscilación en 20 MHz, el preescaler en 1 y el tiempo de interrupción en 72 se espera que la resolución de la PWM este en los 8 bits (microchip 2015) [49], si los 24 Voltios se obtienen en el 80% del ciclo útil entonces:

$$256 \text{ bits} * 0.8 = 204.8 \text{ bits} \quad (43)$$

Según el resultado de la relación matemática (43) el voltaje requerido de 24 Voltios se alcanza en los 204.8 bytes entonces se espera que:

$$\frac{24 \text{ V}}{204} = 0.117 \text{ V} \quad (44)$$

Con el resultado de la relación matemática (44) podemos establecer que por cada byte corresponden 117 mV esto corresponde a nuestro valor teórico.

Los valores de la velocidad obtenidos con el sensor HC- 020k con respecto al voltaje se presentan en la **Tabla 2** con los datos obtenidos experimentalmente mostrados por la tabla se construye una gráfica (**Imagen 22**) con el software Excel del comportamiento de la velocidad con respecto al incremento de voltaje teniendo en cuenta que el motor esta sin carga usando las herramientas de Excel se calcula la ecuación del gráfico con el cual se predice el comportamiento de la velocidad, siendo de gran utilidad en la programación del microcontrolador para relacionar la velocidad real con los valores ingresados:

Voltaje (V)	Velocidad (RPM)
3,51	0
7,02	2600
10,53	3000
14,04	4200
17,55	5500
21,06	6400
22,23	6800
23,4	7200

Tabla 2: Velocidad en relación al voltaje. (Fuente: autor)

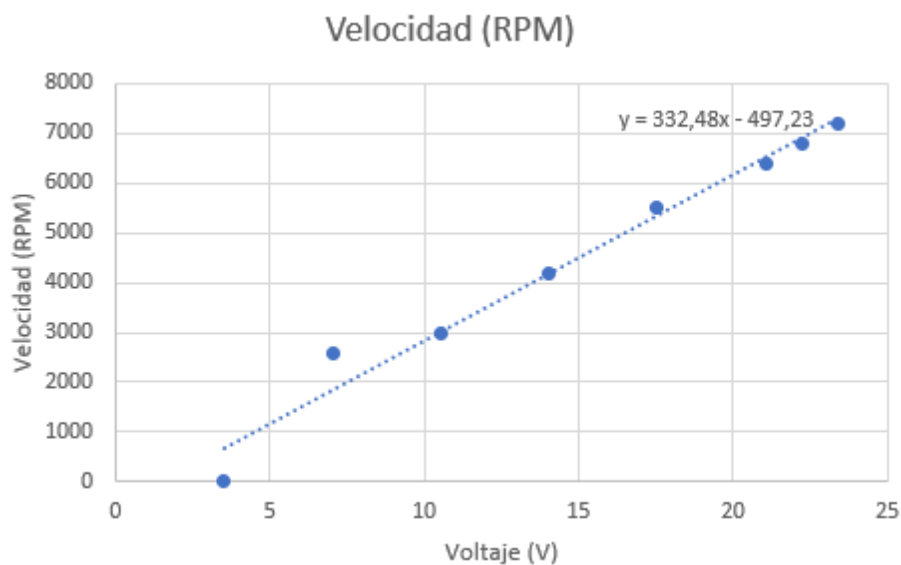


Imagen 22: Grafica de la relación entre el incremento del voltaje en voltios y la velocidad en RPM. (Fuente: autor)

7.12 SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS METÁLICAS

Se sintetizo nanopartículas de plata usando el método de reducción química de soluciones acuosas.

7.13 Protocolo de síntesis

7.13.1 Materiales y reactivos

Los materiales y reactivos que se usaron para la síntesis de nanopartículas de plata se encuentran en la **Tabla 3**:

Materiales	Reactivos
Soporte universal (dos mosquetones)	AgNO_3 (nitrato de plata)
Plancha calefactora	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ (ácido ascórbico)
Agitador magnético	$\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ (citrato de sodio)
Balón de tres bocas (250 ml)	NaCl (cloruro de sodio)
Balón de tres bocas (25 ml)	Agua destilada
Balón aforado (25 ml)	
Pipeta con pera de goma (10 ml)	
Tubo de centrifugado (50 ml)	
Tubo refrigerante	
Balanza electrónica	

Tabla 3: Materiales y reactivos para la síntesis de nanopartículas de plata. (Fuente: autor)

7.13.2 Procedimiento para la síntesis muestra 1

Se prepara una solución A y una solución B:

Solución A:

Esta solución corresponde a las semillas de las nanopartículas de plata.

Paso 1: se agregan 0.250 g de citrato de sodio en 25 ml de agua destilada (como agente reductor) en un balón aforado de 25 ml, se agregan 0.250 g de nitrato de plata en 25 ml de agua destilada (como precursor) en un balón aforado de 25 ml, se agregan 29.9 mg de sal en 25 ml de agua destilada (para el control del PH) en un balón aforado de 25 ml, cada una de estas mezclas se agita de manera manual.

Paso 2: En un balón de tres bocas de 25 ml se mezcla los reactivos obtenidos en el paso 1 en un volumen de 2.50 ml con las siguientes cantidades: 1ml de citrato de sodio, 0.22 ml de sal, 0.25 ml de nitrato de plata, 1.05 ml de agua destilada.

Paso 3: La **solución A** resultante del paso 2 se mezcla con un agitador magnético a 600 RPM en una plancha calefactora a temperatura ambiente durante 5 minutos obteniendo un color rosa claro (**Imagen 23**).



***Imagen 23:** Solución A. (Fuente: autor)*

Solución B:

Esta solución corresponde a la estabilización de las semillas de nanopartículas de plata.

Paso 1: se agregan 0.4403 g de ácido ascórbico a 25ml de agua destilada en un balón aforado de 25 ml (que funciona como estabilizador).

Paso 2: en un balón de 3 bocas de 250 ml se agregan 47.58 ml de agua destilada junto con la solución obtenida en el paso 1. Se disuelve con un agitador magnético a 900 RPM en una plancha calefactora a 100°C durante 1 hora obteniendo una solución incolora (**Imagen 24**).



***Imagen 24:** Solución B. (Fuente: autor)*

7.13.3 Síntesis de nanopartículas muestra 1

La solución A se agrega a la solución B en su totalidad cuando la solución B todavía está en la plancha calefactora, después se reduce la velocidad de agitación a 300 RPM y se deja enfriar

a temperatura ambiente, la muestra toma un color verde oscuro esta solución contiene las nanopartículas de plata disueltas en un medio acuoso (**Imagen 25**). (G. Pablo, et al) [50]



Imagen 25: nanopartículas de plata muestra 1 suspendidas en medio acuoso. (Fuente: autor)

Se extraen tres muestras llamadas alícuotas, la alícuota 1 se extrae inmediatamente después de agregar la solución A en la solución B, la segunda se extrae a los 30 minutos de empezar con la formación de las nanopartículas, la tercera se extrae antes de poner a enfriar las nanopartículas (**Imagen 26**).



Imagen 26: alícuotas extraídas de la muestra 1. (Fuente: autor)

Se prepara una solución A y una solución B:

Solución A:

Esta solución corresponde a las semillas de las nanopartículas de plata.

Paso 1: se agregan 0.250 g de citrato de sodio en 25 ml de agua destilada (como agente reductor) en un balón aforado de 25 ml, se agregan 0.250 g de nitrato de plata en 25 ml de agua destilada (como precursor) en un balón aforado de 25 ml, se agregan 29.9 mg de sal en 25 ml de agua destilada (para el control del PH) en un balón aforado de 25 ml, cada una de estas mezclas se agita de manera manual.

Paso 2: En un balón de tres bocas de 25 ml se mezcla los reactivos obtenidos en el paso 1 en un volumen de 2.50 ml con las siguientes cantidades: 4ml de citrato de sodio, 0.29 ml de sal, 1 ml de nitrato de plata, 1.05 ml de agua destilada.

Paso 3: La solución A resultante del paso 2 se mezcla con un agitador magnético a 600 RPM en una plancha calefactora a temperatura ambiente durante 5 minutos obteniendo un color rosa claro (**Imagen 24**).

Solución B:

Esta solución corresponde a la estabilización de las semillas de nanopartículas de plata.

Paso 1: se agregan 0.4403 g de ácido ascórbico a 25ml de agua destilada en un balón aforado de 25 ml (que funciona como estabilizador).

Paso 2: en un balón de 3 bocas de 250 ml se agregan 190 ml de agua destilada. Se disuelve con un agitador magnético a 900 RPM en una plancha calefactora a 100°C durante 1 hora cuando la solución llega a los 100 °C se le agregan 10.05 ml de ácido ascórbico obteniendo una solución incolora (**Imagen 27**).



***Imagen 27:** solución B (Fuente: autor)*

7.13.4 Síntesis de nanopartículas muestra 2

La solución A se agrega a la solución B en su totalidad cuando la solución B todavía está en la plancha calefactora, después se reduce la velocidad de agitación a 300 RPM y se deja enfriar a temperatura ambiente, la muestra toma un color amarillo claro esta solución contiene las nanopartículas de plata disueltas en un medio acuoso (**Imagen 28**).



***Imagen 28:** nanopartículas de plata muestra 2 suspendidas en medio acuoso. (Fuente: autor)*

Se extraen tres muestras llamadas alícuotas, la alícuota 1 se extrae inmediatamente después de agregar la solución A a la solución B, la segunda se extrae a los 30 minutos de empezar con la formación de las nanopartículas, la tercera se extrae antes de poner a enfriar las nanopartículas (**Imagen 29**).



Imagen 29: alícuotas extraídas de la muestra 2. (Fuente: autor)

7.14 ELABORACIÓN DE LAS PELICULAS DELGADAS

7.15 Preparación de los sustratos

Para la elaboración de las películas delgadas los sustratos de vidrio que van a ser utilizados para formar la película deben tener una superficie hidrofílica la cual nos permite una mejor distribución del material (**Imagen 30**).



Imagen 30: Superficie hidrofóbica e hidrofílica. (Fuente: autor)

Los pasos que se siguieron para la limpieza del sustrato de vidrio y lograr su estado hidrofílico fueron:

- Enjuague a 100° C, con 1 ml de detergente en 100 ml de agua desionizada por 15 minutos.
- Un enjuague con agua desionizada por 5 minutos.
- Se sumergen los sustratos en alcohol isopropílico por 5 minutos.
- Un enjuague con agua desionizada por 5 minutos.
- Se sumergen los sustratos en una solución de 5 gr de NaOH (hidróxido de sodio) en 50 ml de agua desionizada.
- Un enjuague con agua desionizada.
- Los sustratos se conservan en agua desionizada fría evitando que se sobrepongan.

Se manipularon los sustratos con guantes y pinzas para evitar su posible contaminación.

(C. Ricardo) [51]

Se obtuvieron sustratos totalmente hidrofílicos en la (**Imagen 31**) se aprecia una superficie hidrofílica a la izquierda obtenida con el tratamiento de la preparación de los sustratos y otra superficie a la derecha totalmente hidrofóbica la cual no fue sometida a la preparación.



Imagen 31: Superficie hidrofílica izquierda e hidrofóbica derecha. (Fuente: autor)

7.16 Recubrimiento por centrifugación

Cuando el sustrato obtiene propiedades hidrofílicas se espera que el material que se va a depositar se disperse de manera homogénea durante el proceso de centrifugado, con los sustratos en estado hidrofílico se aplican tres rampas de velocidad para obtener tres películas delgadas con diferente espesor sobre cada sustrato, las dos primeras rampas se mantuvieron constantes para que la dispersión y evaporación del solvente fuera igual para las tres películas, sin embargo, para obtener un espesor diferente para cada una de ella se modificó la velocidad de la rampa en 3000 RPM, 5000 RPM, 7000 RPM. Para generar las películas con nanopartículas de plata, se tomaron las nanopartículas sintetizadas y se centrifugaron para concentrar la mayor cantidad de nanopartículas, se logró obtener aproximadamente 1 gr por 4ml, lo cual se colocaron en la superficie hidrofílica, pero no se logró la viscosidad adecuada ni la tasa de evaporación de adecuada, así que como

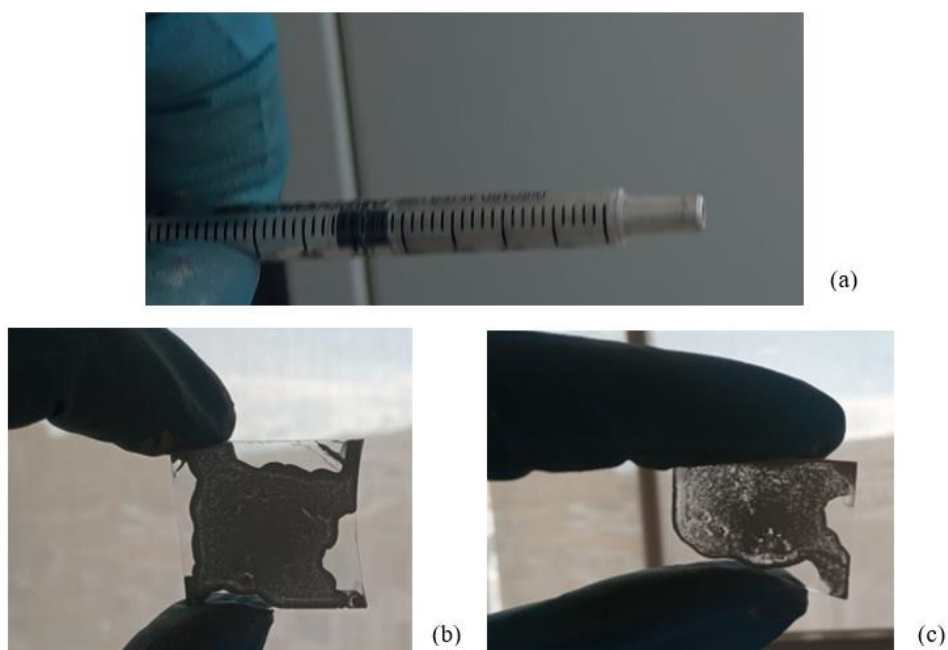


Imagen 32: Películas delgadas producidas por centrifugación dinámica (a) y (b). (Fuente: autor)

alternativa se usó pintura de plata en estado coloidal PELCO (16031) con un 60% de plata y un solvente thinner 16021 proporcionado por PELCO. Se probaron los métodos centrifugación estática y dinámica. El dispositivo de recubrimiento por centrifugación se recubrió con papel aluminio en el recipiente de centrifugado **Imagen 33** para poder aprovechar el material que es expulsado del sustrato durante el proceso.



Imagen 33: Dispositivo de recubrimiento por centrifugación con la cubierta de aluminio.
(Fuente: autor)

7.16.1 Centrifugación dinámica

Se producen películas (**Imagen 32**) (b) y (c) depositando el material (**Imagen 32**) (a) de a poco en el lapso de tiempo de la primera rampa mientras el sustrato está girando como especifica la literatura.

Las dos películas obtenidas están centrifugadas a 3000 rpm inicialmente, se puede notar que la dispersión del material no se produce de manera uniforme por lo tanto no se continúan fabricando películas por este método.

7.16.2 Centrifugación estática

Se producen películas depositando la totalidad del material mientras el sustrato está estático antes de empezar con las rampas de centrifugado como especifica la literatura.

Se elaboraron tres películas a diferentes velocidades de centrifugación **Tabla 4** en la tercera rampa 3000, 5000 y 7000 rpm consecutivamente evidenciando por este método una dispersión uniforme del material en el sustrato (**Imagen 34**).

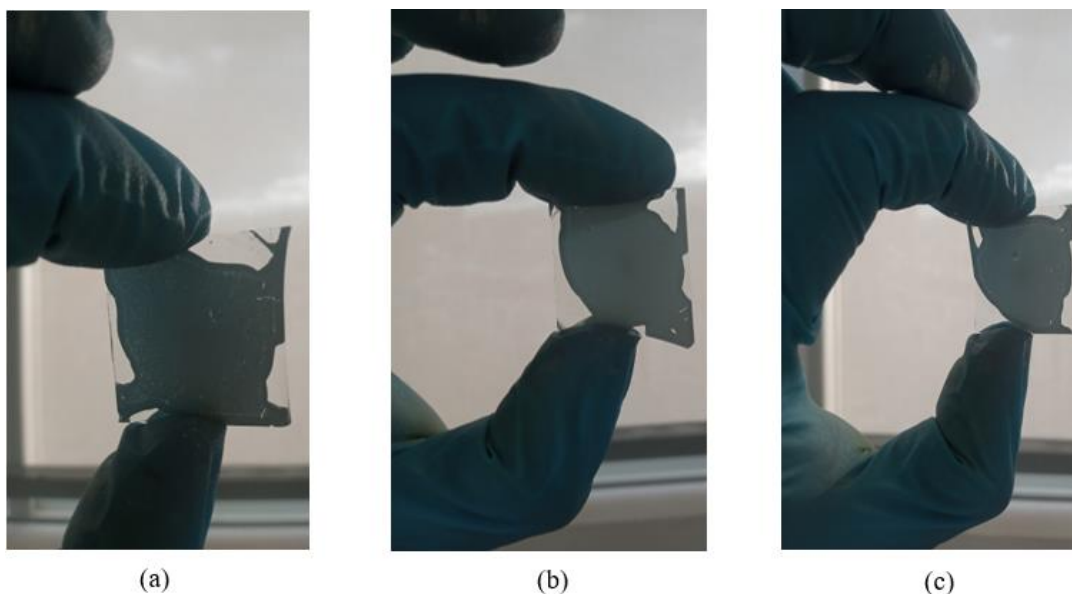


Imagen 34: películas delgadas producidas por centrifugación estática: 3000 rpm (a), 5000 rpm (b), 7000 rpm (c). (Fuente: autor).

Muestra	Tiempo1 (segundos)	Velocidad1 (RPM)	Tiempo2 (segundos)	Velocidad2 (RPM)	Tiempo3 (segundos)	Velocidad3 (RPM)
3000 RPM	20	1000	20	2000	40	3000
5000 RPM	20	1000	20	2000	40	5000
7000 RPM	20	1000	20	2000	40	7000

Tabla 4: Rampas de velocidad de las tres muestras. (Fuente: autor).

7.17 Caracterización UV-Vis

Se caracterizó el espectro de absorción de las muestras 1 y 2 usando el espectrómetro UV-VIS Genesys 180, equipo disponible en la Universidad Santo Tomás Sede Tunja. Se detectó el pico de absorción más alto del plasmón en una longitud de onda de 404 nm lo cual indica que se han formado nano-esferas de plata para la muestra 1 (**Imagen 35**) ya que se encuentra muy cerca del pico de plasmón perteneciente a la resonancia dipolar de nano-esferas de plata (Chengcai L, et al) [52], el tamaño de las nanopartículas obtenidas esta entre los 50nm y 100 nm según la absorción de su plasmón superficial. Para la muestra 2 se detectó una meseta en entre 320 nm y 420 nm en el espectro de absorción de longitud de onda (**Imagen 36**) lo cual indica que la forma de las nanopartículas de plata suspendidas es triangular y su tamaño esta entre los 100 nm y 200 nm según la absorción del plasmón superficial.

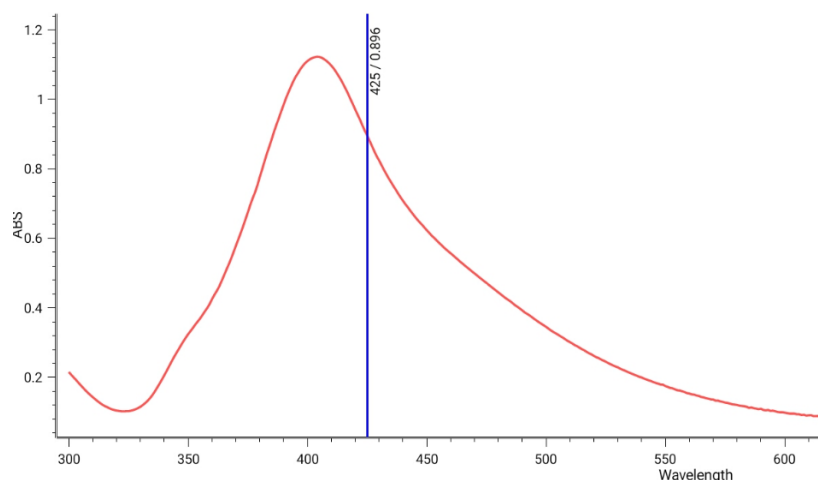


Imagen 35: Espectro de absorción UV- VIS nanopartículas de plata muestra 1 (Esferas).
(Fuente: autor)

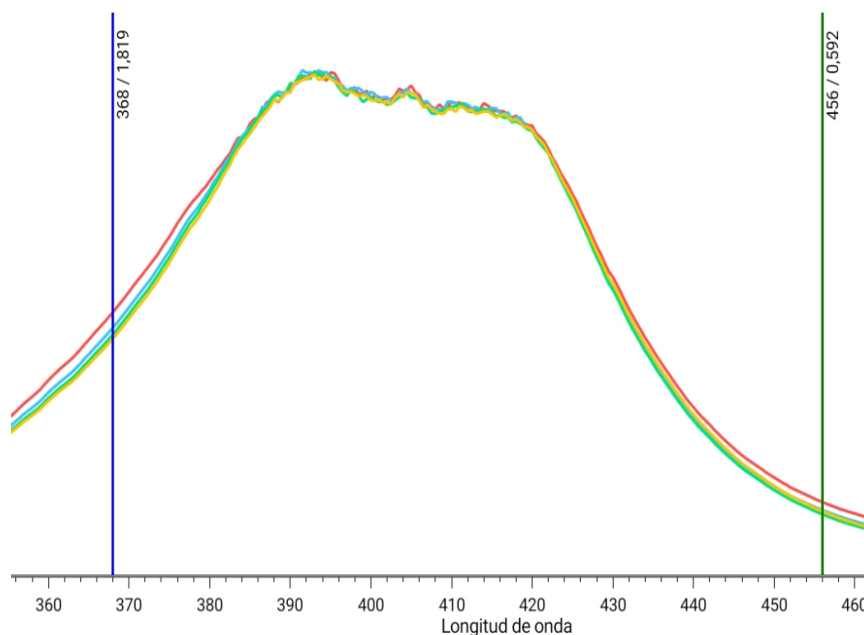


Imagen 36: Espectro de absorción UV- VIS nanopartículas de plata muestra 2 (triángulos).
(Fuente: autor)

7.18 Caracterización morfológica

Una vez obtenidas las películas delgadas en los sustratos de vidrio por el método de recubrimiento por centrifugación se mide su grosor y se observa su topología superficial mediante AFM (microscopio de fuerza atómica) usando un equipo Cypher ES.

7.18.1 3000 RPM

La película obtenida a una centrifugación de 3000 RPM mostro una superficie irregular con un grosor aproximado de $0.75\mu\text{m}$ (**Imagen 37**)(a), vemos la distribución del material sobre la superficie (**Imagen 37**)(b) las partes blancas corresponden a la altura máxima del material sobre el sustrato y las oscuras corresponden a las partes más profundas, no se observa homogeneidad en la

distribución de la película sobre el sustrato puesto que la diferencia entre las partes más profundas y más altas es notable durante el recorrido del cantiléver (**Imagen 37**)(c) :

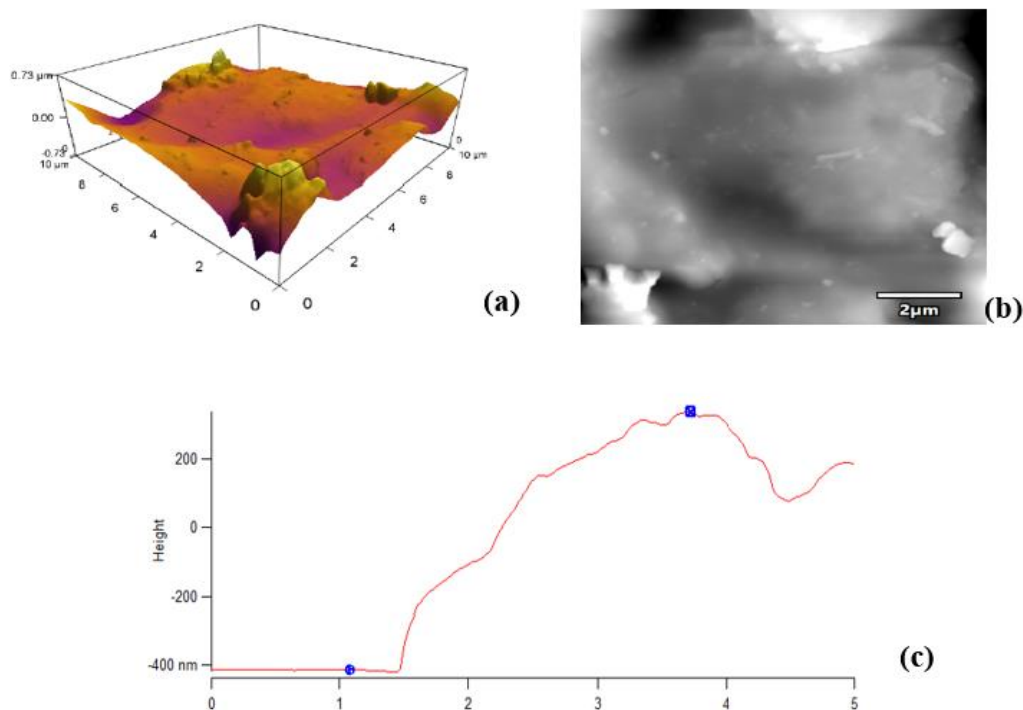


Imagen 37: Topología de la superficie de la película delgada formada a 3000 RPM (a), imagen tomada con el AFM a 2 μm de escala (b), grosor de la película delgada en nm (c).
(Fuente: autor)

La película obtenida a una centrifugación de 5000 RPM mostro una superficie irregular con un grosor aproximado de $1.5\mu\text{m}$ (**Imagen 38**)(a), vemos la distribución del material sobre la superficie (**Imagen 38**)(b), las partes blancas corresponden a la altura máxima del material sobre el sustrato y las oscuras corresponden a las partes más profundas, la película mostro una superficie porosa, se observa menos homogeneidad en la distribución de la película sobre el sustrato puesto que la diferencia entre las partes más profundas y más altas es notable durante el recorrido del cantiléver (**Imagen 38**)(c):

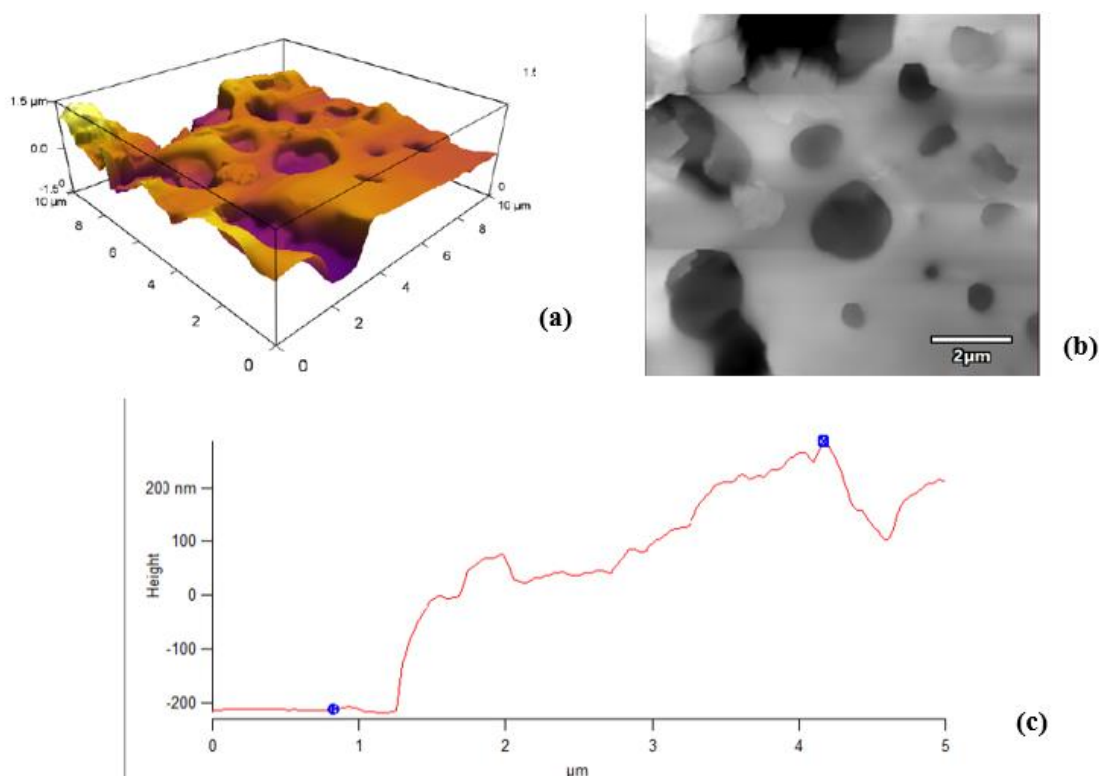


Imagen 38: Topología de la superficie de la película delgada formada a 3000 RPM (a), imagen tomada con el AFM a 2 μm de escala (b), grosor de la película delgada en nanómetros (c). (Fuente: autor)

7.18.3 7000 RPM

La película obtenida a una centrifugación de 7000 RPM mostro una superficie más regular con respecto a las películas centrifugadas a 3000 y 5000 RPM con un grosor aproximado de $0.5\mu\text{m}$ (**Imagen 39**)(a), vemos la distribución del material sobre la superficie (**Imagen 39**)(b), las partes blancas corresponden a la altura máxima del material sobre el sustrato y las oscuras corresponden a las partes más profundas, se muestra una distribución más homogénea del material sobre el sustrato, la diferencia entre la parte más profunda de la película y la más alta se mantiene permitiendo ver una mejor distribución de la película (**Imagen 39**)(c).

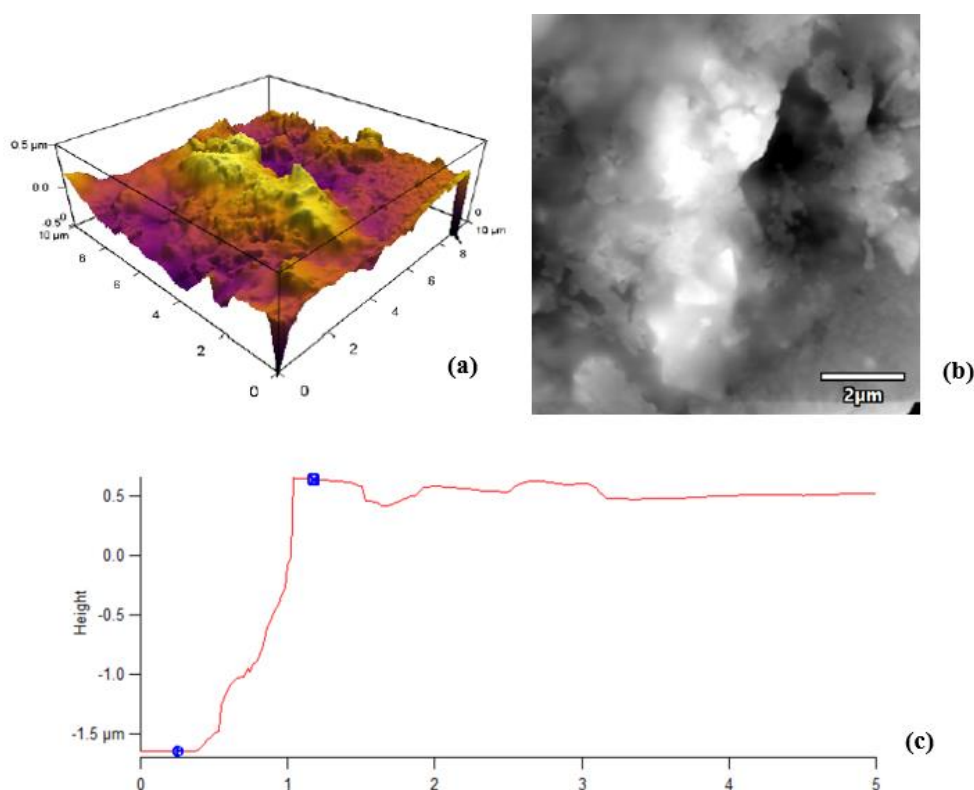


Imagen 39: Topología de la superficie de la película delgada formada a 7000 RPM (a), imagen tomada con el AFM a 2 μm de escala (b), grosor de la película delgada en nanómetros (c).
(Fuente: autor)

8 CONCLUSIONES

- Se estableció un protocolo para obtener nanopartículas de plata en medio acuoso. El método utilizado es altamente replicable; esto se comprueba con la síntesis de varias muestras usando el mismo protocolo y obteniendo las mismas nanopartículas de plata. Sin embargo, no se logró obtener la viscosidad suficiente para que las nanopartículas de plata se fijaran en el sustrato de vidrio, la velocidad centrifuga expulsa todo el material antes de que este adhiriera.
 - Se sintetizan dos muestras (muestra 1 y muestra 2) de nanopartículas de plata en suspensión, a partir de las pruebas de absorción hechas por el espectrofotómetro UV-Vis se determina que la muestra 1 tiene un tamaño de nanopartícula de plata más pequeño que la muestra 2, por lo tanto, el proceso con el que se obtuvo la muestra 1 es el más óptimo para ser replicado y tener nanopartículas con estas características.
 - Se diseña y se construye un sistema electrónico que usa el principio de la centrifugación para obtener películas delgadas. El conversor tipo Buck utilizado para alimentar el motor es bastante robusto esto nos garantiza que las corrientes parasitas o cortos por el posible sobre esfuerzo del motor no afecten el sistema. La interfaz construida con el teclado y la pantalla hace que sea sencillo para el usuario hacer las configuraciones necesarias que se ajusten a sus necesidades.
- Se demostró que el sistema mecánico que se usó para la sujeción del sustrato donde se forma la película no es el más óptimo debido a que la ventosa se ensucia con el material de la película y pierde sus características mecánicas de sujeción.

- La absorbancia de las nanopartículas de plata que está entre los 400 a 420 nm de longitud de onda esto nos indica que se trata de nanopartículas de plata y el tamaño de la nanopartícula que esta por el orden de 50 a 100 nm para las muestras sintetizadas.
- Las imágenes obtenidas con el microscopio de fuerza atómica (AFM) nos muestran que: las películas centrifugadas a una velocidad máxima de 3000 RPM tienen una superficie irregular y un grosor de $0.75\ \mu\text{m}$, las películas centrifugadas a una velocidad máxima de 5000 RPM tienen una superficie porosa con un grosor de $1.5\ \mu\text{m}$, las películas centrifugadas a una velocidad máxima de 7000 RPM mostraron una mejor distribución de material y homogeneidad con respecto a las películas centrifugadas a velocidades menores, además el grosor aproximado de la película fue menor $0.5\ \mu\text{m}$.

9 RECOMENDACIONES

9.1 Dispositivo

- Para mejorar el funcionamiento del dispositivo se recomienda poner en una sola tarjeta la alimentación de la etapa lógica y la etapa de potencia, para optimizar su flujo de carga y reducir ruidos.
- Mejorar el diseño de la cámara donde se centrifuga la película agregando sensores para monitorear en tiempo real el proceso.
- Cambiar el sistema de sujeción de la película ya que la ventosa presento problemas.

9.2 Síntesis

- Se recomienda sintetizar las nanopartículas usando otros reactivos que le puedan dar mayor viscosidad, para que puedan adherirse a cualquier sustrato.
- Sintetizar un mayor volumen de muestra debido a que durante las pruebas de calibración esta puede desperdiciarse.

10 TRAYECTORIA INVESTIGATIVA

El recorrido investigativo que culmino en la realización de este proyecto empieza con la afiliación al SEMILLERO DE NANOESTRUCTURAS Y NUEVOS MATERIALES DE CIENCIAS BÁSICAS desde el año 2019.

Se colaboró activamente como investigador en el proyecto: SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL MORFOLOGICA Y MAGNÉTICA DEL SISTEMA $\text{Eu-xTRxBa}_5\text{Cu}_8\text{O}_{18-\gamma}$ MODIFICADO CON ITRIO Y LUTECIO, entre otros.

Producto del trabajo en el semillero fue posible participar en los siguientes eventos:

- 1- Ponente III Congreso Internacional de Ciencias Básicas realizado en la ciudad de Tunja en el año 2019 con el producto: ESTUDIO MÉTODOS PARA LA SÍNTESIS DE MATERIALES DOPADOS CON TIERRAS RARAS EN APLICACIONES PARA SENSORICA.
- 2- Ponente en el V Encuentro Ciencia Mujer y Tecnología realizado en la ciudad de Duitama en el año 2019 con el producto: SÍNTESIS DE ÓXIDO DE SILICIO DOPADO CON TIERRAS RARAS POR REACCIÓN DE ESTADO SÓLIDO.
- 3- Colaboración en la edición de memorias del IV Encuentro Ciencia Mujer y Tecnología realizado en la ciudad de Tunja en el año 2018.

Gracias al tema de enfoque del semillero y con las investigaciones desarrolladas a partir de este se determina el tema central de este trabajo.

11 REFERENCIAS

[1] Y. Zhao, P. Chen, X. Zhang, N. Cai, X. Geng y S. Xiong, "Utilización de luz controlable en células solares de película delgada a base de silicio", 2008 Asia Optical Fiber Communication & Optoelectronic Exposition & Conference , 2008 , págs. 1-3.

[2] Fang-Xing Jian y SK Kurinec, "Películas delgadas de óxido de tantalio para aplicaciones microelectrónicas", *Actas del XI Simposio Bienal de Microelectrónica Universidad / Gobierno / Industria*, 1995, págs. 101-104, doi: 10.1109 / UGIM.1995.514124.

[3] W. Wang, J. Shi y D. Ma, "Memoria de transistor de película delgada orgánica con puerta flotante de nanopartículas", en *IEEE Transactions on Electron Devices* , vol. 56, no. 5, págs. 1036-1039, mayo de 2009, doi: 10.1109 / TED.2009.2016031.

[4] H. Liu, C. Hung y W. Hsu, "Deposición de películas delgadas de óxido por deposición de pirólisis por pulverización ultrasónica para aplicaciones de transistores de película delgada InGaZnO", en *IEEE Electron Device Letters* , vol. 39, no. 10, págs.1520-1523, octubre de 2018, doi: 10.1109 / LED.2018.2866288.

[5] W. Wang, H. Lee y C. Chung, "Preparación de nanofibras y película delgada a base de Si-Ti mediante electrohilado de una sola aguja", *Conferencia Internacional de Empaquetado Electrónico de 2019 (ICEP)* , 2019, págs. 404-406, doi: 10.23919 / ICEP.2019.8733428.

[6] AK Shafura *et al.* , "Características de conductividad eléctrica de una película delgada de óxido de zinc dopado con estaño depositada mediante el método de inmersión sol-gel", *Simposio internacional sobre gestión tecnológica y tecnologías emergentes de 2014*, págs. 86-89, doi: 10.1109 / ISTMET .2014.6936483.

[7] J. Zhao, F. -J. Ma, J. -Yun, A. Ho-Baillie y S. Bremner, "Capas de óxido de vanadio y óxido de níquel recubiertas por centrifugación sobre silicio para una célula solar de contacto selectivo de

portador", *IEEE 44th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)* 2017, 2017, págs. 1845-1849, doi: 10.1109 / PVSC.2017.8366591.

[8] Scopus, "recubrimiento por centrifugación", análisis de resultados de la búsqueda, 202, base de datos Scopus.

[9] AS Baburin *et al.* , "Dependencia de la estructura cristalina de las propiedades ópticas de la película delgada de plata a lo largo del tiempo", *Simposio de investigación sobre el progreso en electromagnética de 2017 - Primavera (PIERS)* , 2017, págs. 1497-1502, doi: 10.1109 / PIERS.2017.8261984.

[10] T. Jackson, "Organic thin film electronics," *IEEE International Electron Devices Meeting*, 2005. *IEDM Technical Digest.*, 2005, pp. 438-441, doi: 10.1109/IEDM.2005.1609373.

[11] M. W. J. Prins, J. F. M. Cillessen, J. B. Giesbers and K. -. Grosse-Holz, "Large memory effect in oxidic thin-film transistors with a ferroelectric insulator," *1996 54th Annual Device Research Conference Digest*, 1996, pp. 76-77, doi: 10.1109/DRC.1996.546321.

[12] N. Lovecchio, V. Ferrara, D. Caputo y G. De Cesare, "Transistor de película delgada sobre vidrio basado en empalme de silicio amorfo pin", *2021 44.a Convención Internacional sobre Tecnologías de la Información, la Comunicación y Electrónica (MIPRO)* , 2021, págs. 60-63, doi: 10.23919/MIPRO52101.2021.9596739.

[13] Bo Liu, Guang-Zhong Xie, Xiao-Song Du, Xian Li y Ping Sun, "Transistor de película fina orgánica basado en pentaceno como sensor de gas", *Conferencia internacional de 2009 sobre computación percibida y análisis de inteligencia* , 2009, págs. 1-4, doi: 10.1109/ICACIA.2009.5361165.

[14] Xian Li *et al.* , "Sensores de gas de etanol basados en transistores de película delgada de ftalocianina de cobre" , *Procedimiento de análisis de inteligencia y de la Conferencia internacional de 2010*, 2010, págs. 470-473, doi: 10.1109/ICACIA.2010.5709943.

[15] Jian-Fei Yan et al ., "La investigación del sensor de gas de formaldehído basado en transistores orgánicos de película delgada", The 2010 International Conference on Apperceive Computing and Intelligence Analysis Proceeding , 2010, pp. 213-216, doi: 10.1109/ ICACIA.2010.5709885.

[16] M. Tyunina, J. Levoska and I. Jaakola, "Dielectric Hysteresis in Thin-Film Ferroelectrics and Relaxors," 2006 15th IEEE International Symposium on the Applications of Ferroelectrics, 2006, pp. 164-167, doi: 10.1109/ISAF.2006.4387866.

[17] Y. Zhao, P. Chen, X. Zhang, N. Cai, X. Geng y S. Xiong, "Utilización de luz controlable en células solares de película delgada basadas en silicio", 2008 Comunicación de fibra óptica de Asia y exposición y conferencia optoelectrónica , 2008 , págs. 1-3.

[18] BD Washo, "Reología y modelado del proceso de revestimiento por rotación", en *IBM Journal of Research and Development* , vol. 21, no. 2, págs. 190-198, marzo de 1977, doi: 10.1147 / rd.212.0190.

[19] . Bornside, DE, Macosko, CW , Scriven, LE, MODELADO DE REVESTIMIENTO DE CENTRIFUGADO, 1987 Revista de tecnología de imágenes 13 (4) , págs.122-130.

[20] Yih-O Tu, "Modelado matemático y recubrimiento por rotación de simulación por computadora de ferrofluido", en *IEEE Transactions on Magnetics* , vol. 24, no. 6, págs. 3129-3131, noviembre de 1988, doi: 10.1109 / 20.92357.

[21] Potanin AA, Modelado macro y microrreológico de recubrimiento por rotación , 1992 Ciencias de la Ingeniería Química 47 (8) , págs.1871-1879

[22] Zheng, M. Gu, M. Jin, Y. Jin, Propiedades ópticas de la película fina de PVP con dispersión de plata , G. 2001 Boletín de investigación de materiales 36 (5-6) , págs.853-859

[23] MF Hossain, S. Paul, MA Raihan y MA Goffar Khan, "Fabricación de revestidor giratorio digitalizado para la deposición de películas delgadas", Conferencia internacional de 2014 sobre ingeniería eléctrica y tecnología de la información y la comunicación, 2014, págs. 1-5, doi: 10.1109 /ICEEICT.2014.6919158.

[24] Z. Kaddachi, M. Belhi, M. Ben Karoui y R. Gharbi, "Diseño y desarrollo de un sistema de recubrimiento por rotación", 2016 XVII Conferencia Internacional sobre Ciencias y Técnicas de Control Automático e Ingeniería Informática (STA) , 2016, págs. 558 -562, doi: 10.1109 / STA.2016.7952005.

[25] Heiddy P. Quiroz, Jorge A. Calderón, A. Dussan, Micro-structural and morphological properties and magnetic behavior of Ga Λ Sb (Λ = Mn, Ni) nanostructured thin films by magnetron co-sputtering, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Volume 497, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2019.165942>.

[26] C. Pulzara-Mora, A. Pulzara-Mora, A. Forero-Pico, M. Ayerbe-Samaca, J. Marqués-Marchán, A. Asenjo, N.M. Nemes, D. Arenas, R. Sáez Puche, Structural, morphological and magnetic properties of GaSbMn/Si(111) thin films prepared by radio frequency magnetron sputtering, Thin Solid Films, Volume 705, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2020.137971>.

[27] V. Galeano, O. Arnache, I. Supelano, C.A. Parra Vargas, O. Morán, Growth and characterization of textured YBaCo₂O_{5+ δ} thin films grown on (001)-SrTiO₃ via DC magnetron sputtering, Thin Solid Films, Volume 609, 2016, Pages 1-5, <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2016.04.020>.

[28] L.F. Mulcué Nieto, W. Saldarriaga, W. de la Cruz, E. Restrepo, Carlos Daniel Acosta-Medina, N. Sanchez, S. Mendoza, N. Duarte, Llanos Mora-López, Structural, morphological, electrical and optical properties of amorphous In_xAl_{1-x}N thin films for photovoltaic applications, Journal of Non-Crystalline Solids, Volume 499, 2018, Pages 328-336, <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2018.07.047>.

[29] G. Orozco-Hernández, J.J. Olaya, J.E. Alfonso, C.A. Pineda-Vargas, C. Mtshali, Optical response of bismuth based thin films synthesized via unbalanced magnetron DC sputtering technique, Thin Solid Films, Volume 628, 2017, Pages 170-175, <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2017.03.018>.

[30] Heiddy P. Quiroz, Anderson Dussan, Synthesis temperature dependence on magnetic properties of cobalt doped TiO₂ thin films for spintronic applications, Applied Surface Science, Volume 484, 2019, Pages 688-691, <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.03.068>.

[31] A.P. Pardo González, J. Torres, Physical properties of ZnSe_{1-x}Tex, thin films prepared with a single three-chamber evaporation coaxial source, Thin Solid Films, Volume 660, 2018, Pages 421-427, <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2018.05.017>.

[32] J.D. Gamez, H. Martínez-Sánchez, J.L. Valenzuela, L. Marín, L.A. Rodríguez, E. Snoeck, L.E. Zamora, G.A. Pérez Alcázar, J.A. Tabares, Magnetic τ -MnAlC thin film fabrication by high-vacuum thermal evaporation, *Materials Letters*, Volume 293, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2021.129657>.

[33] Efraín Gómez Méndez, Chrystian M. Posada, Juan M. Jaramillo Ocampo, Statistical analysis of Sr substituted NiFe₂O₄ thin films for liquefied petroleum gas sensor applications, *Materials Science and Engineering: B*, Volume 278, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2022.115614>.

[34] FF Vidor, G. Wirth, F. Assion, K. Wolff y U. Hilleringmann, "Caracterización y análisis de la histéresis en un transistor de película delgada de nanopartículas de ZnO", en *IEEE Transactions on Nanotechnology* , vol. 12, no. 3, págs. 296-303, mayo de 2013, doi: 10.1109 / TNANO.2012.2236891.

[35] E.Flint. "Principios de cristalografía" vol1. Pags. 175, 183.

[36] I,Miguel. B, Patricia. "Microscopía electrónica de barrido y la caracterización de materiales" *RevistasCel*.tomo63.pag 44-51.

[37] Jorge.B, "Síntesis, caracterización microestructural y resistencia a la corrosión de películas delgadas de BixSi₂O₇ producidas por el método sol-gel", pag 20, 2017.

[38] valencia. Johana, "síntesis y caracterización de cristales de oxiclورو de bismuto por métodos hidrotermal y solvothermal en presencia de diferentes agentes estabilizantes", *Universidad Iberoamericana*, 2013.

[39] N. Pandey, S. Tripathi, B. Kumar y DK Dwivedi, "Deposición y caracterización de películas finas para diversas aplicaciones", 2018 5a Conferencia internacional de la sección IEEE Uttar Pradesh sobre ingeniería eléctrica, electrónica e informática (UPCON) , 2018, págs. 1 -6, doi: 10.1109 / UPCON.2018.8596908.

[40] T. Shiosaki, "Crecimiento y aplicaciones de películas delgadas piezoeléctricas y ferroeléctricas", *IEEE Symposium on Ultrasonics* , 1990, págs. 537-546 vol.1, doi: 10.1109 / ULTSYM.1990.171422.

[41] Abril D. Antonio B. Emilio F. Aurora G. Jesús J. José P. Fermín T. saac T, Espectrometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas.

[42] J. Francisco, M. Martin, Plasmones superficiales, investigación y ciencia, 2008.

[43] Hart, D. 2001. "Convertidores CC-CC. H.W. Prentice Hall, Electrónica de potencia, 1 ed., Vol. 1, pp. 202–203. Prentice Hall.

[44] Cristina C. Ricardo V. Ángel G. Angélica V. Eduardo R, Aplicaciones y generalidades de un espectrofotómetro, UV-VIS UV-1800, EAN universidad, pag 7-10 , 2018

[45] Angela B. Luis M. Carlos M. Juan J. Marta M. Joaquín L. Tamara Z. Alberto A, "Preparación de nanopartículas de plata en ausencia de polímeros estabilizantes", Quim NOVA, 2010.

[46] N. Mohan, "Electrónica de potencia. Convertidores, aplicaciones y diseño", McHill, pag 144. 2009.

[47] Abhishek C. Nikolai V. Vladimir G. Michael C. Andrew J. Gallant^{1,3} & Dagou A. "Modelo para monocapa de gran superficie cobertura de poliestireno nano-esferas por recubrimiento por rotación", Cientific reports, pag 3, 2016, Nature.

[48] Yu K .sukdeb K .Pravin K .Sabarinathan R & Joon M, "Shape-Dependent Skin Penetration of Silver Nanoparticles: Does It Really Matter?", Sci Rep 5, 16908 (2015). <https://doi-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/10.1038/srep16908>.

[49] Microchip, "hoja de datos 16f887", pag 128, 2015.

[50] C. Ricardo, "calibración de técnicas de deposición de películas finas para la fabricación de celdas solares orgánicas nanoestructuradas", Universidad de las fuerzas armadas Ecuador (ESPE), Pag 49 -49, 2016.

[51] Pablo. G, Patricia. O, “Fabricación y caracterización de nanopartículas de plata con potencial uso en el tratamiento del cáncer de piel”, Ingeniería y desarrollo, DOI: <http://dx.doi.org/10.14482/inde.37.1.6201>, 2019

[52] Chengcai L. Yuhong Z. Xiaowei Z. Yuewu Z. Yanguang W. The role of poly(ethylene glycol) in the formation of silver nanoparticles, Journal of colloid and interface science, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2005.03.005>.

12 ANEXOS

12.1 Anexo 1 (Programación)

```
#INCLUDE <16F887.h>
#DEVICE ADC=10
#USE DELAY(CLOCK=20000000, Crystal=20000000)
#FUSES XT,NOPROTECT,NOWDT,NOBROWNOUT,PUT,NOLVP
#DEFINE USE_PORTB_KBD TRUE

//Por defecto el teclado se conecta al puerto B,
//como el microcontrolador que se esta usando
//no tiene puerto D se conecta al puerto B.*/

//Incluir en el encabezado el driver para manejar el teclado telefónico MODIFICADO

#include <LCD.C>
#include <KBD4x4.C>

#include <stdlib.h>
#include <string.h>

#use standard_io(b)
#define KEYHIT_DELAY 200
#byte PORTB= 6
#byte PORTC= 7
#BYTE PORTA= 5
#BYTE PORTD= 8

//Tiempo de espera del teclado en milisegundos

float R=0, R2, R3, t1=0, t2=0, t3=0;
char tecla,c;
int Timer2,Poscaler,i;
int16 duty0, duty, duty1, duty2, tiempo1, tiempo2, tiempo3;

//define los variables flotantes.
//define los valores tipo string
//define los valores enteros
//define los valores de 16 bits

/*=====*/
/*===== FUNCION TECLA =====*/
/*=====*/
//Funcion encargada de esperar a que se presione una tecla
char tecla(void)
{
    char c;
    do{
        c=kbd_getc();
    }
    while(c=='\0');
    return(c);
}

//nombra la variable tipo char como "c"
//espera hasta que se presione una tecla
//Captura valor del teclado

//condicional para reiniciar la captura de datos
// retorna c

=====*/
===== FUNCION PARA DIGITAR TIEMPO =====*/
=====*/
calon(int nd)

ta funcion captura el escalon desde el teclado, si el proceso está tomando
tos el escalon sirve para exitar el sistema, por otro lado si el sistema
tá controlando, el escalo sirve para establecer el setpoint del sistema

val;
i;
str[5]; //Variable tipo String

0]='0';

i=0;i<nd;i++)

//nombra la variable larga "val"
// define el valor entero i para los incrementos
// nombra la variable tipo string de 5 elementos

// nombra la variable string con un solo elemento

// ciclo for para capturar los valores del teclado

-tecla();
delay_ms(30);
if(c=='#'){
    reset_cpu();}
f(c!='*'){

//Lee el valor del teclado y espera hasta que alguna tecla se pulse
// tiempo de retardo entre la lectura de una tecla y otra
// Condición que nos impone que si se pulsa la tecla "#" en el teclado se guarde el dato
//función para reiniciar
//Muestra el dígito presionado en el LCD

lcd_gotoxy(5+i,4);
lcd_putc(c);

// define la posición de los caracteres en la LCD
//muestra el caracter

str[i]=c;

//Almacena el dato presionado en la variable String

lse(i=nd;);

// condición si se presiona "*" sale del For
```

```

/*=====*/
/*===== FUNCION DEL PRINCIPAL =====*/
/*=====*/
void main() //funcion principal
{
    Timer2=71; // división de tiempo de 71
    Poscaler=1; // amplificación despues de la lectura 1
    setup_timer_2(t2_div_by_1,Timer2,Poscaler); //Configuración de Timer 2 para establecer frec. PWM a 1kHz
    setup_ccp1(ccp_pwm); //Configurar modulo CCP1 en modo PWM
    //Dejo en cero la salida PWM
    port_b_pullups (0xFF); //Utiliza las resistencias PULL UP internas del puerto B
    set_tris_c(0); //se activa el puerto c
    set_tris_d(0); //se activa el puerto d
    LCD_INIT(); //Inicializo el LCD
    LCD_PUTC("\f"); //limpio el LCD
    kbd_init(); //llamo la función detectado
    disable_interrupts(GLOBAL); //se deshabilita las interrupciones globales para que los retrasos de los delay no se acumulen

    while(true) //se inicia el ciclo
    {
        lcd_gotoxy(1,1); //se define la posición de los caracteres en la LCD
        LCD_PUTC("velocidad 1"); //se define el dato que se le pide ingresar al usuario
        lcd_gotoxy(1,4); //posición de la segunda palabra en la LCD
        LCD_PUTC("V1: "); //espacio para ingresar el dato
        R=escalon(5); //llama la función para digitar el escalon de excitacion

        (R>0) ? 100:R; //Valida si R esta entre 0 y 256 (Esto es otra forma de usar el if - else)
        duty = R; // el valor del ciclo util sera igual al valor ingreso por teclado

        lcd_gotoxy(1,1); //se define la posición de los caracteres en la LCD
        LCD_PUTC("tiempo 1"); //se define el dato que se le pide ingresar al usuario
        lcd_gotoxy(1,4); //posición de la segunda palabra en la LCD
        LCD_PUTC("t1: "); //espacio para ingresar el dato
        t1=escalon1(4); //llama la función para digitar el escalon de excitacion

        (t1>0) ? 260:t1; //Valida si R esta entre 0 y 256 (Esto es otra forma de usar el if - else)
        tiempo1= t1; // el valor de tiempo para la duración de la rampa 1 esta dado por t1 ingresado por teclado

        lcd_gotoxy(1,1); //se define la posición de los caracteres en la LCD
        LCD_PUTC("velocidad 2"); //se define el dato que se le pide ingresar al usuario
        lcd_gotoxy(1,4); //posición de la segunda palabra en la LCD
        LCD_PUTC("V2: "); //espacio para ingresar el dato
        R2=escalon(5); //llama la función para digitar el escalon de excitacion

        (R2>0) ? 100:R2; //Valida si R esta entre 0 y 256 (Esto es otra forma de usar el if - else)
        duty1= R2; // el valor del ciclo util sera igual al valor ingreso por teclado

        lcd_gotoxy(1,1); //se define la posición de los caracteres en la LCD
        LCD_PUTC("tiempo 2"); //se define el dato que se le pide ingresar al usuario
        lcd_gotoxy(1,4); //posición de la segunda palabra en la LCD
        LCD_PUTC("t2: "); //espacio para ingresar el dato
        t2=escalon1(4); //llama la función para digitar el escalon de excitacion

        (t2>0) ? 260:t2; //Valida si R esta entre 0 y 256 (Esto es otra forma de usar el if - else)
        tiempo2= t2; // el valor del ciclo util sera igual al valor ingreso por teclado

        lcd_gotoxy(1,1); //se define la posición de los caracteres en la LCD
        LCD_PUTC("velocidad 3"); //se define el dato que se le pide ingresar al usuario
        lcd_gotoxy(1,4); //posición de la segunda palabra en la LCD
        LCD_PUTC("V3: "); //espacio para ingresar el dato
        R3=escalon(5); //llama la función para digitar el escalon de excitacion
    }
}

```

```

(R3>0) ? 100:R3;
duty2= R3;

lcd_gotoxy(1,1);
LCD_PUTC("tiempo 3");
lcd_gotoxy(1,4);
LCD_PUTC("t3:      ");
t3=escalon1(4);

(t3>0) ? 260:t3;
tiempo3= t3;

for(duty=300;duty>=R;duty--){
    //Muestra el SETPOINT en pantalla
    lcd_gotoxy(1,4);
    printf(lcd_putc,"Va: %3.1Lu",duty);
    delay_ms(20);
    set_pwm1_duty(duty);
}
//delay_ms(tiempo1);
for(tiempo1=0;tiempo1<=t1;tiempo1++){
    delay_ms(100);
}
for(duty1=duty;duty1>=R2;duty1--){
    //Muestra el SETPOINT en pantalla
    lcd_gotoxy(1,4);
    printf(lcd_putc,"Vb: %3.1Lu",duty1);
    delay_ms(20);
    set_pwm1_duty(duty1);
}

for(tiempo2=0;tiempo2<=t2;tiempo2++){
    delay_ms(100);
}
for(duty2=duty1;duty2>=R3;duty2--){
    //Muestra el SETPOINT en pantalla
    lcd_gotoxy(1,4);
    printf(lcd_putc,"Vc: %3.1Lu",duty2);
    delay_ms(20);
    set_pwm1_duty(duty2);
}
for(tiempo3=0;tiempo3<=t3;tiempo3++){
    delay_ms(100);
}
r(duty0=duty2;duty0<=300;duty0++){
    //Muestra el SETPOINT en pantalla
    lcd_gotoxy(1,4);
    printf(lcd_putc,"Vr: %3.1Lu",duty0);
    delay_ms(20);
    set_pwm1_duty(duty0);
}

//Valida si R esta entre 0 y 256 (Esto es otra forma de usar el if - else)
// el valor del ciclo util sera igual al valor ingreso por teclado

//se define la posición de los caracteres en la LCD
//se define el dato que se le pide ingresar al usuario
//posición de la segunda palabra en la LCD
//espacio para ingresar el dato
//Llama la funcion para digitar el escalon de excitacion

//Valida si R esta entre 0 y 256 (Esto es otra forma de usar el if - else)
// el valor de tiempo para la duración de la rampa 1 esta dado por t1 ingresado por teclado

// se crea un ciclo for para decrementar el ciclo util empezando por el más alto debido a que la
// señal que sale del microcontrolador se invertira
//se define la ubicación donde estarán los caracteres
//con esta función se muestra en la pantalla de la LCD el valor ingresado por teclado(ciclo util)
//retardo en la lectura del dato
// el valor de ciclo util ingresado es leído por el pwm del microcontrolador.

//en este ciclo for el dato de tiepo ingresado se incrementa en 1 segundo hasta llegar al limite ingresado
//tiempo de reatardo equivalente a 1 segundo entre cada conteo

// se crea un ciclo for para decrementar el ciclo util empezando por el valor del ciclo util anterior
// para que la velocidad del motor se incremente desde este punto
//se define la ubicación donde estarán los caracteres
//con esta función se muestra en la pantalla de la LCD el valor ingresado por teclado(ciclo util)
//retardo en la lectura del dato
// el valor de ciclo util ingresado es leído por el pwm del microcontrolador.

//en este ciclo for el dato de tiepo ingresado se incrementa en 1 segundo hasta llegar al limite ingresado
//tiempo de reatardo equivalente a 1 segundo entre cada conteo

// se crea un ciclo for para decrementar el ciclo util empezando por el valor del ciclo util anterior
// para que la velocidad del motor se incremente desde este punto
//se define la ubicación donde estarán los caracteres
//con esta función se muestra en la pantalla de la LCD el valor ingresado por teclado(ciclo util)
//retardo en la lectura del dato
// el valor de ciclo util ingresado es leído por el pwm del microcontrolador.

// se crea un ciclo for para decrementar el ciclo util empezando por el valor del ciclo util cero para
// disminuyendo la velocidad del motor hasta llegar a cero (valor máximo de 300 bits debido a que se invierte
//se define la ubicación donde estarán los caracteres
//con esta función se muestra en la pantalla de la LCD el valor ingresado por teclado(ciclo util)
//retardo en la lectura del dato
// el valor de ciclo util ingresado es leído por el pwm del microcontrolador

```

12.2 Anexo 2 (Manual)

MANUAL DE USUARIO PARA EL USO DEL PROTOTIPO DEL RECUBRIDOR POR CENTRIFUGACIÓN

Fuente de alimentación: 120 Voltios

Velocidad máxima de rotación: 7000 RPM

Tiempo máximo entre rotación: 600 s

Instrucciones

1. Establecer la rampa de operación. Este dispositivo está diseñado para ejecutar tres velocidades diferentes (máximo 7000 RPM (Revoluciones Por Minuto) de manera ascendente cada una por un tiempo determinado (máximo 600 segundos) por cada rampa). El cambio de velocidad esta dado por 50 RPM por segundo.
2. Conectar el dispositivo a una fuente de 120 Voltios.
3. En la pantalla observará que el dispositivo pide ingresar la primera velocidad de la rampa (figura 1), esta se ingresa con el teclado numérico con el que cuenta el dispositivo, luego presione la tecla asterisco (*) (figura 2) para guardar el dato (la velocidad está dada en RPM):

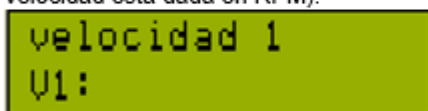


Figura 1. Velocidad 1.

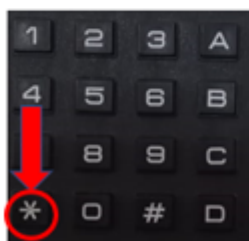


Figura 2. Tecla para guardar el dato.

4. En la pantalla observara que el dispositivo pide que se ingrese el tiempo de duración de la rampa (figura 3), este se ingresa con el teclado numérico con el que cuenta el dispositivo, luego presione la tecla asterisco (*) (figura 4) para guardar el dato (el tiempo esta dado en segundos):

(*) (figura 4) para guardar el dato (el tiempo esta dado en segundos):

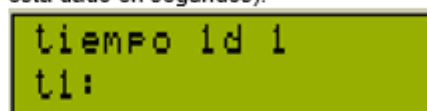


Figura 3. Tiempo 1.

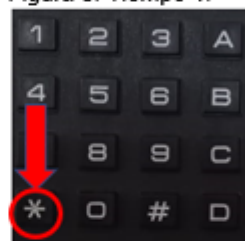


Figura 4. Tecla para guardar el dato.

5. En la pantalla observará que el dispositivo pide ingresar la segunda velocidad de la rampa (figura 5), esta se ingresa con el teclado numérico con el que cuenta el dispositivo, luego presione la tecla asterisco (*) (figura 6) para guardar el dato (la velocidad está dada en RPM):

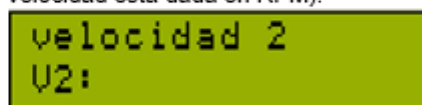


Figura 5. Velocidad 2.

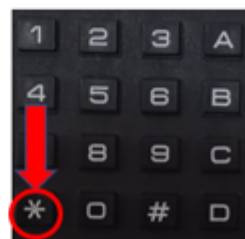


Figura 6. Tecla para guardar el dato.

6. En la pantalla observara que el dispositivo pide que se ingrese el tiempo de duración de la rampa (figura 7), este se ingresa con el teclado numérico con el que cuenta el