



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA
DEPOSICIÓN DE MONOCAPAS Y PELÍCULAS FINAS DE
NANOPARTÍCULAS PARA EL PROCESAMIENTO DE
NANOMATERIALES EN EL LABORATORIO DE CIENCIA DE LOS
MATERIALES DEL DECEM.**

AUTOR: ORBE CANDO ANDREA ESTEFANÍA

DIRECTOR: ING. HERNÁN LARA

CODIRECTOR: ING. XAVIER SÁNCHEZ

SANGOLQUÍ, AGOSTO 2015

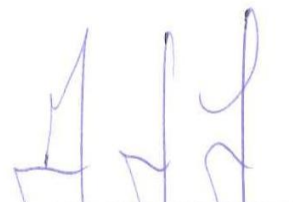
**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

CERTIFICADO DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA DEPOSICIÓN DE MONOCAPAS Y PELÍCULAS FINAS DE NANOPARTÍCULAS PARA EL PROCESAMIENTO DE NANOMATERIALES EN EL LABORATORIO DE CIENCIA DE LOS MATERIALES DEL DECEM” fue realizado en totalidad por la Srta. **ORBE CANDO ANDREA ESTEFANÍA**, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica.



Ing. Hernán Lara
DIRECTOR



Ing. Xavier Sánchez
CODIRECTOR

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **ORBE CANDO ANDREA ESTEFANÍA**, declaro que el proyecto: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA DEPOSICIÓN DE MONOCAPAS Y PELÍCULAS FINAS DE NANOPARTÍCULAS PARA EL PROCESAMIENTO DE NANOMATERIALES EN EL LABORATORIO DE CIENCIA DE LOS MATERIALES DEL DECEM”**, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas bibliográficas y referencias correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este proyecto es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, Agosto 2015



Andrea Estefanía Orbe Cando
CI: 171682624-1



Ing. Francisco Terneus

**DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA
MECATRÓNICA**



**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
CARRERA DE INGENIRÍA MECATRÓNICA**

AUTORIZACIÓN

Yo: **ORBE CANDO ANDREA ESTEFANÍA**

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE la publicación en la biblioteca virtual de la institución del proyecto de grado titulado “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA DEPOSICIÓN DE MONOCAPAS Y PELÍCULAS FINAS DE NANOPARTÍCULAS PARA EL PROCESAMIENTO DE NANOMATERIALES EN EL LABORATORIO DE CIENCIA DE LOS MATERIALES DEL DECEM**”. Cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad.



Andrea Estefanía Orbe Cando

Ci: 171682624-1

Sangolquí, Agosto 2015

DEDICATORIA

Quiero dedicar este gran logro a la persona que se decidió a darlo todo desde el comienzo para que yo llegue a donde ahora me encuentro, mi madre Susana Cando, que a pesar de que la vida no ha sido fácil bajo ninguna circunstancia, ella ha sabido llevarme a este gran éxito, ella lo apostó todo desde que yo era pequeña cuando mi padre se marchó. Siempre puso por delante de todo a mi hermana y a mí, y es por todo ese sacrificio que hoy celebro junto a mi madre esta meta.

Además, aunque muy lejos de lo perceptible, dedico este trabajo a mi padre José Orbe, que cuando recién partió no comprendí que él sería mi mayor ejemplo para alcanzar esta ingeniería, pero a lo largo de mi curso por mi vida universitaria siempre fue él mi razón de continuar y mi motivación para ser cada día mejor y conseguir mis estudios de tercer nivel. Él inspiró en mí ese deseo de ingresar a esta universidad y seguir sus pasos, universidad de la cual ahora salgo con una gran alegría por mi triunfo en la carrera que seleccioné.

También dedico parte de este triunfo a mi hermana mayor, Catherine Orbe, quien consiguió su título también en esta universidad; ella siempre estuvo pendiente de mí desde comienzo a fin de mi carrera y aunque tenemos nuestra manera extraña para demostrar cariño sé que ella siente parte suya este logro así como lo siento yo cuando ella alcanza una meta.

AGRADECIMIENTO

Agradezco por todo su esfuerzo, confianza, dedicación y sacrificio a mi mamita Susy, quien con sus palabras fuertes y correctas ha sabido darme el aliento necesario para continuar por un buen camino y alcanzar mi meta.

A mi padre José, quien fue un ejemplo de vida para mí, con sus risas, sus cariños y sobre todo su inteligencia que fue reconocida en esta misma universidad. Siempre te llevo conmigo mi papito lindo.

Mi hermana Cathy, que a pesar de que muchas veces discrepamos en nuestras opiniones, siempre hemos sido un gran soporte mutuo en los momentos de tristeza y dificultad.

A mi novio Carlos Vásconez, quien vivió muy de cerca todas las dificultades y siempre estuvo junto a mi dándome el apoyo necesario, guiándome con mucho amor, paciencia y sinceridad, incluso defendiéndome en el momento menos esperado, te amo mi vida.

Mi mejor amiga Natalia, que a pesar de que somos tan diferentes, hemos construido una de una gran amistad sincera. Gracias por soportarme y por ese cariño tan único que sientes conmigo, el cual hace diferente nuestra amistad, te adoro amiga.

A todas las personas que en su momento formaron parte de mi vida, que han aportado con su granito a que esta etapa culmine; en especial a Valeria, te quiero mucho amiga.

Por último agradezco a mi tío Toño quien cuando inicie mi carrera supo darme las palabras precisas que se quedaron para siempre en mi mente, “La universidad no es de velocidad, es de resistencia”, muchas gracias tío.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO	¡Error! Marcador no definido.
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	¡Error! Marcador no definido.
AUTORIZACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE CUADROS	xv
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	3
1.1 ANTECEDENTES.....	3
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	5
1.4 OBJETIVOS.....	6
1.4.1 Objetivo General.	6
1.4.2 Objetivos Específicos.....	7
1.5 ALCANCE DEL PROYECTO	7
1.5.1 Spin Coater.	7

1.5.2 Dip Coater.....	8
-----------------------	---

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS	10
-----------------------------------	-----------

2.1 TIPOS DE PROBETAS.....	10
----------------------------	----

2.1.1 Aceros.....	10
-------------------	----

2.1.2 Polímeros acrílicos.....	10
--------------------------------	----

2.1.3 Vidrio, sílice fundida o cuarzo.	11
---------------------------------------------	----

2.2 REQUERIMIENTOS DE ENSAYOS.....	11
------------------------------------	----

2.3 DEFINICIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS MÁQUINAS QUE CONSTITUYEN EL SISTEMA.....	12
--------------------------------------------------------------------------------------	----

2.4 Posibles errores en la elaboración de probetas.....	15
---------------------------------------------------------	----

2.4.1 Poca reproductibilidad.....	15
-----------------------------------	----

2.4.2 Película demasiado delgada.	16
----------------------------------------	----

2.4.3 Agujeros.....	16
---------------------	----

2.4.4 Calidad deficiente de la película.....	16
----------------------------------------------	----

2.4.5 Círculo central.....	17
----------------------------	----

2.4.6 Remolino.....	17
---------------------	----

2.4.7 Áreas no recubiertas.....	18
---------------------------------	----

2.4.8 Rayas como difuminaciones.....	18
--------------------------------------	----

CAPÍTULO III

DISEÑO MECATRÓNICO	20
---------------------------------	-----------

3.1 DISEÑO DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS.....	20
----------------------------------------------	----

3.1.1 Spin Coater.....	20
------------------------	----

3.1.2 Dip Coater.....	29
-----------------------	----

3.2	DISEÑO DE LOS COMPONENTES ELÉCTRICOS Y/O ELECTRÓNICOS.....	41
3.2.1	L298n.....	41
3.2.2	Interfaz para el usuario.....	44
3.3	DISEÑO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL	44
3.4	DISEÑO DEL SOFTWARE NECESARIO.....	47
3.4.1	Etapa de configuración.....	48
3.4.2	Etapa de operación.....	48
3.4.3	Etapa de paro.....	48
3.4.4	Etapa de control.....	48
CAPÍTULO IV		
CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN.....		50
4.1	IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO, EQUIPO O MÁQUINA.	50
4.1.1	Spin coater.....	50
4.1.2	Dip Coater.....	54
4.2	IMPLEMENTACIÓN DE LOS COMPONENTES ELÉCTRICOS Y/O ELECTRÓNICOS.....	62
4.2.1	Pantalla LCD 16 x 2.	62
4.2.2	Conexión de señal del shield hacia el motor.	62
4.2.3	Conexión shield de motores.....	63
4.2.4	Alimentación de caja de control.	63
4.2.5	Encendido/apagado de todo el sistema de control.....	64
4.3	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.....	64
4.3.1	Conexión de señal de salida PWM hacia shield de motor.....	65
4.3.2	Pulsadores de control de configuración de parámetros.	65

4.3.3 Alimentación Arduino.	66
4.4 PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.....	66
4.4.1 Acceso para programación de placa de control Arduino Uno.	66
CAPÍTULO V	
ANÁLISIS DE PRUEBAS Y RESULTADOS.....	72
5.1 PROTOCOLO DE PRUEBAS.....	72
5.2 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO.....	72
5.2.1 Spin Coater.	72
5.2.2 Dip Coater.	74
CAPÍTULO VI	
ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO	78
6.1 MANO DE OBRA.....	78
6.2 MATERIALES DIRECTOS.....	78
6.3 COSTOS TOTALES.....	81
CAPÍTULO VII	
ANÁLISIS FRENTE A EQUIPOS COMERCIALES.....	85
CAPÍTULO VIII	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	88
7.1 CONCLUSIONES.....	88
7.2 RECOMENDACIONES.....	89
BIBLIOGRAFÍA.....	91
ANEXOS.....	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Variación de velocidad de tipo escalón	8
Figura 2. Proceso de Spin Coating.....	13
Figura 3. Proceso de Dip Coating.....	15
Figura 4. Agujeros	16
Figura 5. Círculo central	17
Figura 6. Remolino.....	18
Figura 7. Áreas no recubiertas	18
Figura 8. Rayas como difuminaciones.....	19
Figura 9. Síntesis del Sistema Mecánico	20
Figura 10. Sustratos de Silicón en forma de obleas	21
Figura 11. Plato Giratorio Spin Coater	22
Figura 12. Rotomatic marca Wen	24
Figura 13. Desplazamiento Resultante o Modular AISI 1020.....	26
Figura 14. Desplazamiento Resultante o Modular AISI 304	27
Figura 15. Análisis de Factor de Seguridad para el acero AISI 1020.....	28
Figura 16. Juego de engranes Double Gearbox.....	29
Figura 17. Caja reductora relación 344.2:1	31
Figura 18. Caja reductora relación 12.7:1	31
Figura 19. Acople para motores	34
Figura 20. Mecanismo de polea	36
Figura 21. Mecanismo piñón cremallera	36
Figura 22. Movimiento de mecanismo piñón cremallera.....	37
Figura 23. Desplazamiento Resultante o Modular AISI 1020.....	38
Figura 24. Desplazamiento Resultante o Modular AISI 304	38
Figura 25. Análisis de Factor de Seguridad AISI 1020.....	40
Figura 26. Síntesis Sistema Eléctrico/ Electrónico	41
Figura 27. Síntesis Sistema de Control.....	44
Figura 28. Lazo abierto del sistema de control	45

Figura 29. Pulso sin modulación	49
Figura 30. Montaje de motor	50
Figura 31. Ubicación de rodamiento para evitar fricción y vibración del eje del motor	51
Figura 32. Soportes de Spin Coater	52
Figura 33. Plato giratorio Spin Coater.....	52
Figura 34. Equipo Spin Coater.....	53
Figura 35. Ubicación de motor (bajas velocidades).....	54
Figura 36. Ubicación de motor (altas velocidades).....	54
Figura 37. Mecanismo Piñón grande-cremallera.....	55
Figura 38. Mecanismo piñón pequeño-cremallera.....	56
Figura 39. Cajas de reducción	57
Figura 40. Acople de funcionamiento para los dos motores	57
Figura 41. Etapa de reducción motor de bajas velocidades	58
Figura 42. Eje de salida de caja de reducción	59
Figura 43. Soportes de Dip Coater	60
Figura 44. Montaje total del equipo Dip Coater	61
Figura 45. Pantalla LCD 16 x 2.....	62
Figura 46. Conexión de señal del shield hacia el motor.....	62
Figura 47. Conexión shield de motores	63
Figura 48. Alimentación de caja de control	63
Figura 49. Encendido/Apagado de todo el sistema de control	64
Figura 50. Implementación del sistema de control	64
Figura 51. Conexión de señal de salida PWM hacia shield de motor.....	65
Figura 52. Pulsadores de control de configuración de parámetros	65
Figura 53. Alimentación Arduino	66
Figura 54. Acceso para programación de Arduino UNO	66
Figura 55. Proceso Spin Coater.....	67
Figura 56. Configuración de tiempos y velocidades por ingreso de teclado para Spin Coater.....	68

Figura 57. Funcionamiento de botón Stop para Spin Coater.....	69
Figura 58. Proceso Dip Coater	70
Figura 59. Configuración de funcionamiento de Dip Coater.....	71
Figura 60. Tacómetro digital	73
Figura 61. Variación de voltaje en función de bits.....	75
Figura 62. Incremento de voltaje según variación de BITS.....	76
Figura 63. Spin Coater comercial	85
Figura 64. Dip Coater comercial	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Materiales propuestos para la fabricación el plato giratorio.....	22
Tabla 2 Comparación de desplazamiento y costo para selección de soporte	27
Tabla 3 Combinaciones disponibles para variación de revoluciones a la salida.....	30
Tabla 4 Análisis comparativo desplazamiento y costo.....	39
Tabla 5 Velocidad de Spin Coater según variación de Bits	73
Tabla 6 Voltaje de salida a motor de bajas velocidades de Dip Coater según variación de Bits.....	74
Tabla 7 Voltaje de salida a motor de altas velocidades de Dip Coater según variación de Bits	75
Tabla 8 Rango de operación según combinación de piñón y voltaje de alimentación al motor para altas velocidades.....	76
Tabla 9 Rango de operación según combinación de piñón y voltaje de alimentación al motor para bajas velocidades.....	77
Tabla 10 Resumen rangos de trabajo de Spin Coater y Dip Coater.....	77
Tabla 11 Costo de materiales, mano de obra y horas de funcionamiento de máquinas.....	78
Tabla 12 Costo materiales empleados en SPIN COATER.....	79
Tabla 13 Costo de materiales empleados en DIP COATER.....	80
Tabla 14 Costos totales por equipo y del proyecto	81
Tabla 15 Costos estimados con materiales NO RECICLADOS para SPIN COATER.....	82
Tabla 16 Costos estimados con materiales NO RECICLADOS para DIP COATER.....	83

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Secuencia de funcionamiento de Spin Coating	12
Cuadro 2	Secuencia de funcionamiento de Dip Coating	14
Cuadro 3	Comparación motores DC	23
Cuadro 4	Características del motor para Spin Coater	25
Cuadro 5	Características del rodamiento seleccionado	25
Cuadro 6	Componentes del juego de engranes	30
Cuadro 7	Características del motor para bajas velocidades de Dip Coater	32
Cuadro 8	Características del motor para altas velocidades de Dip Coater	33
Cuadro 9	Partes del acople entre los dos motores del Dip Coater	34
Cuadro 10	Cuadro comparativo para selección de transformación de movimiento	35
Cuadro 11	Características del L298N	42
Cuadro 12	Comparación entre tecnología Microchip y Arduino	46
Cuadro 13	Características Arduino Uno	47

RESUMEN

Se diseñó e implementó dos equipos para realizar muestras de **nanomateriales**. Como enfoque principal se planteó la construcción de dichos equipos con materiales reciclados y/o de sencilla fabricación, permitiendo que estos sean ensamblados a costos accesibles para laboratorios de colegios y universidades. Existen varios tipos de equipos que realizan muestras para nanomateriales por revestimiento de **nanosustratos**, se analizaron dos de los equipos más comunes en esta área que son **SPIN COATER** y **DIP COATER**, que realizan las muestras por velocidad de giro y sumergimiento, respectivamente. Los rangos de trabajo para el *Spin Coater* se definió entre 400RPM y 5000RPM, para el *Dip Coater* el rango de trabajo fue entre 1cm/min y 1cm/h con un desplazamiento máximo de 25cm. Las especificaciones fueron la base para la selección de todos los elementos ya que podían variar tanto en velocidad, tiempo de trabajo e incluso precisión y cada una de estas características influye directamente en el costo final de los equipos. Los nanomateriales han sido utilizados en varios campos desde varios años atrás siendo la industria del petróleo una de las más antiguas para obtener los derivados de la misma, abriéndose paso en la industria automotriz, la medicina, la electrónica, la industria textil e incluso en la cosmética con el claro ejemplo de los protectores solares. El desarrollo de estos equipos permitirá incursionar a los estudiantes de ingeniería de manera didáctica en la ciencia de nanomateriales, además ayudará a demostrar la capacidad de desarrollar sistemas **open-source** y/o de bajo costo que ayuden en áreas de investigación.

PALABRAS CLAVES:

- **NANOMATERIALES**
- **NANOSUSTRATOS**
- **SPIN COATER**
- **DIP COATER**
- **OPEN - SOURCE**

ABSTRACT

These were designed and implemented two equipment for samples of nanomaterials. As the main focus of that equipment building arose from recycled materials and / or easy to manufacture, allowing them to be assembled at affordable costs for laboratories of colleges and universities. Several types of machines that perform samples by coating to nanomaterials with nanosustratos, two of the most common equipment analyzed in this area that are SPIN COATER and DIP COATER, performing samples by immersion and rotation speed, respectively. The working ranges for Spin Coater defined between 400rpm and 5000rpm, and the Dip Coater for the working range was between 1 cm / min and 1 cm / h with a maximum displacement of 25cm. The specifications were the basis for the selection of all items as they could vary in speed, working time and even precision and each of these characteristics directly influences the final cost of the equipment. Nanomaterials have been used in various fields for several years before the oil industry being one of the oldest for derivatives thereof, breaking through in the automotive industry, medicine, electronics, textiles and even the cosmetics with the example of sunscreens. The development of this equipment will allow students of engineering to venture didactic science of nanomaterials also help demonstrate the ability to develop open-source systems and / or low-cost help in research areas.

KEYWORDS:

- **NANOMATERIALS**
- **NANOSUBSTRATES**
- **SPIN COATER**
- **DIP COATER**
- **OPEN SOURCE**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El término Nanomateriales, muy utilizado en la actualidad, engloba todos aquellos materiales con características estructurales de una dimensión entre 1-100 nanómetros. Este término se lo ha tratado desde aproximadamente 10 años atrás, causando entonces una gran expectativa sobre el futuro de los nanomateriales y sobre el impacto y gran aporte que estos tendrán en el desarrollo de la tecnología.

La gran dedicación en el estudio de estos materiales, ha abierto un inmenso campo de aplicaciones no solo en el área técnica, sino también llegando a formar parte en la cosmética, la medicina e incluso en prendas de vestir.

Actualmente, a pesar que aún existen muchas interrogantes sobre el término nanomateriales, ya es más común el uso del mismo y por esta razón hay más necesidades de investigación para lo cual se requiere realizar las pruebas necesarias con los diferentes compuestos. Estas pruebas se llevan a cabo en las probetas realizadas con las diferentes metodologías en los equipos necesarios.

Al ser un nuevo campo de investigación y con tantas aplicaciones inteligentes y científicas, las pruebas previas al uso comercial de los nanomateriales se realizan en equipos de alta precisión y con las diversas metodologías que existen, dando así un costo elevado en adquisición de los mismos.

La Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, en su enfoque de mejora continua al servicio de sus estudiantes, puso su apoyo para realizar dos de los equipos más utilizados en elaboración de las probetas para ensayos de nanomateriales.

Estos equipos ya existen en el mercado, pero el fin de la elaboración de este proyecto de tesis titulado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA DEPOSICIÓN DE MONOCAPAS Y PELÍCULAS FINAS DE NANOPARTÍCULAS PARA EL PROCESAMIENTO DE NANOMATERIALES EN EL LABORATORIO DE CIENCIA DE LOS MATERIALES DEL DECEM”, es diseñar y ensamblar los mismo con materiales de bajo costo incluyendo materiales reciclables.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La Mecatrónica se ha convertido en estos últimos años en un área de interés en universidades y centros de investigación en el mundo. En este sentido, la Mecatrónica se ha descrito como una aproximación requerida de conocimientos y una nueva cultura para realizar la nueva generación de máquinas, robots y mecanismos inteligentes requeridos en nuevas aplicaciones tecnológicas y científicas, tal como señala uno de los puntos del perfil profesional del Ingeniero Mecatrónico de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE:

“Diseña equipos y sistemas mecatrónicos utilizando herramientas computacionales y satisfaciendo requisitos de calidad, seguridad y economía tomando en cuenta códigos y normas técnicas nacionales e internacionales.”
(UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS, 2015)

La Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, en su enfoque de mejora continua al servicio de sus estudiantes, puso su apoyo para realizar dos de los equipos más utilizados en elaboración de las probetas para ensayos de nanomateriales. Los equipos son *SPIN COATER* y *DIP COATER*.

Estos equipos ya existen en el mercado, pero el fin de la elaboración de este proyecto de tesis titulado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA DEPOSICIÓN DE MONOCAPAS Y PELÍCULAS FINAS DE NANOPARTÍCULAS PARA EL PROCESAMIENTO DE NANOMATERIALES EN EL LABORATORIO DE CIENCIA DE LOS MATERIALES DEL DECEM”, es diseñar y ensamblar los mismo con materiales de bajo costo incluyendo materiales reciclables.

Existe una serie de técnicas que se utilizan para depositar nanopartículas en forma de película delgada o monocapa sobre un sustrato, y la elección depende de la zona que se está tratando de cubrir y los equipos disponibles. En general, los parámetros experimentales, tales como la elección del disolvente, la concentración de partículas, y la temperatura afectan a todos los procesos de deposición, y deben ser controlados para producir una película con el grosor y la morfología deseada. Se propone la construcción de dos instrumentos muy comunes y de bajo costo, un *spin coater* y un *dip coater*.

Con estas técnicas se podrán preparar una amplia gama de monocapas y películas delgadas de nanopartículas.

1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El desarrollo del presente proyecto se enfoca en dotar de nuevos equipos al laboratorio de Ciencia de los Materiales, específicamente para el procesamiento de nanomateriales.

Los beneficiarios directos serán la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, además de otras universidades y centros de investigación del país que requieran el servicio para realizar probetas de nanomateriales.

Mediante la construcción de los primeros equipos de *spin coating* y *dip coating* en el país, el DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA será capaz de posicionarse a la vanguardia de la nanotecnología en Ecuador. El instrumento se puede utilizar para preparar películas delgadas de nanopartículas y nanocompuestos de alta calidad. Varios grupos de investigación están trabajando actualmente con tales materiales en Ecuador. El diseño y la construcción de estos instrumentos darán lugar a publicaciones en revistas científicas nacionales e internacionales.

Muchas universidades alrededor del mundo han empezado a desarrollar aplicaciones basadas en *software* y *hardware* pertenecientes a la corriente *open source*, mismas que demandan de un bajo costo inicial y el costo final depende directamente de las prestaciones hechas con el mismo, es decir no se requieren costos extras de licencias, patentes o franquicias. La mayoría de científicos que hacen el trabajo experimental conocen los precios a menudo extremos que se pagan por los equipos científicos. Menor costo y menor inversión en tiempo son en realidad sólo los beneficios secundarios de la utilización de hardware de código abierto en un laboratorio. Las principales ventajas del uso *open source* en la ciencia es la personalización y control (Pearce, 2014).

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General.

Diseñar y construir los instrumentos para deposición de monocapas y películas finas de nanopartículas para el desarrollo de un laboratorio de

procesamiento de nanomateriales en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

1.4.2 **Objetivos Específicos.**

- Desarrollar los sistemas mecatrónicos para un *spin coater* y *dip coater* para el laboratorio de Ciencia de Materiales para el procesamiento de nanomateriales.
- Analizar y seleccionar alternativas adecuadas para los diferentes sistemas tanto mecánicos, eléctricos y de control del *dip coater* y *spin coater*.
- Definir los parámetros de control para el correcto funcionamiento requerido para la obtención de probetas de nanomateriales con una buena calidad.
- Elaborar manuales de operación y mantenimiento de los equipos.

1.5 **ALCANCE DEL PROYECTO**

El proyecto consta de dos máquinas principales las cuales se detallan a continuación con las especificaciones requeridas.

1.5.1 **Spin Coater.**

- En este se depositan películas delgadas de materiales disueltos en un solvente volátil. El sistema permite la deposición de capas delgadas de hasta 5cm² de área y es construido a base de un motor comercial de un

taladro y un circuito electrónico diseñado para controlar la velocidad de giro y tiempo de giro desde 5.000rpm hasta 10.000rpm.

- La variación de la velocidad debe ser de tipo escalón, es decir, un cambio rápido no progresivo.

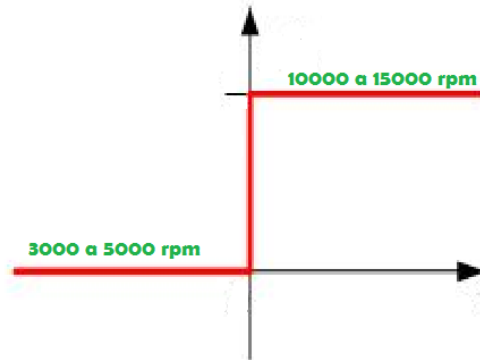


Figura 1. Variación de velocidad de tipo escalón

- El equipo cuenta con un modo de manejo físicamente en el equipo.
- Es posible modificar las velocidades de trabajo dependiendo de los sustratos utilizados y las necesidades en el momento de la práctica.
- Visualización de las velocidades manejadas en cada práctica.

1.5.2 Dip Coater.

- Utilizado para sustratos pequeños (1 cm^2 aproximadamente), es un método de deposición fácil y regulable, el mismo consiste en la dispersión de nanopartículas sobre un sustrato dejando que se seque bajo condiciones controladas de presión y temperatura. El mismo se construye en base a un motor DC con la regulación de la velocidad de hasta 1 cm/h .

- Se emplea una caja reductora para obtener la velocidad deseada.
- El equipo cuenta con un modo de manejo físicamente en el equipo.
- Visualización de la velocidad de operación.

CAPÍTULO II FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 TIPOS DE PROBETAS

El *coating* consiste en depositar un material sobre la superficie de un objeto, por lo general denominado sustrato. En muchos casos los recubrimientos son realizados para mejorar alguna(s) propiedades o cualidades de la superficie del sustrato, tales como aspecto, adhesión, características de mojado, resistencia a la corrosión, resistencia al desgaste, y resistencia a las rayaduras entre muchas otras. En otras ocasiones, particularmente en procesos de impresión y fabricación de dispositivos semiconductores (en los cuales el sustrato es un disco de material semiconductor), el recubrimiento es una parte esencial para la funcionalidad del producto terminado.

Para los dos tipos de recubrimientos (*coating*) ya sea por velocidad de giro o por sumergimiento, existen varios materiales de probetas a utilizar, los cuales dependen de la aplicación en la cual se desea hacer las pruebas.

2.1.1 Aceros.

(Acero, Acero Inoxidable, Aluminio, Titanio, Magnesio): Se realizan muestras para evaluar las propiedades de protección contra la corrosión y adherencia en sustratos de acero al carbono comercial.

2.1.2 Polímeros acrílicos.

Controles de la nanoestructura para optimizar las propiedades físicas de algunos polímeros. El disolvente empleado es el ácido trifluoroacético o TFA (CF_3COOH).

En el parque automotor, los plásticos son sumergidos para mejorar la resistencia a los químicos, solventes, luz ultravioleta y abrasiva, así como la durabilidad exterior.

2.1.3 Vidrio, sílice fundida o cuarzo.

El vidrio es indudablemente el soporte más utilizado para el TiO_2 . El éxito de estos recubrimientos se basa en la gran adherencia entre el TiO_2 y el vidrio (tanto en el vidrio blando como en el vidrio tipo Pyrex o Borosilicato).

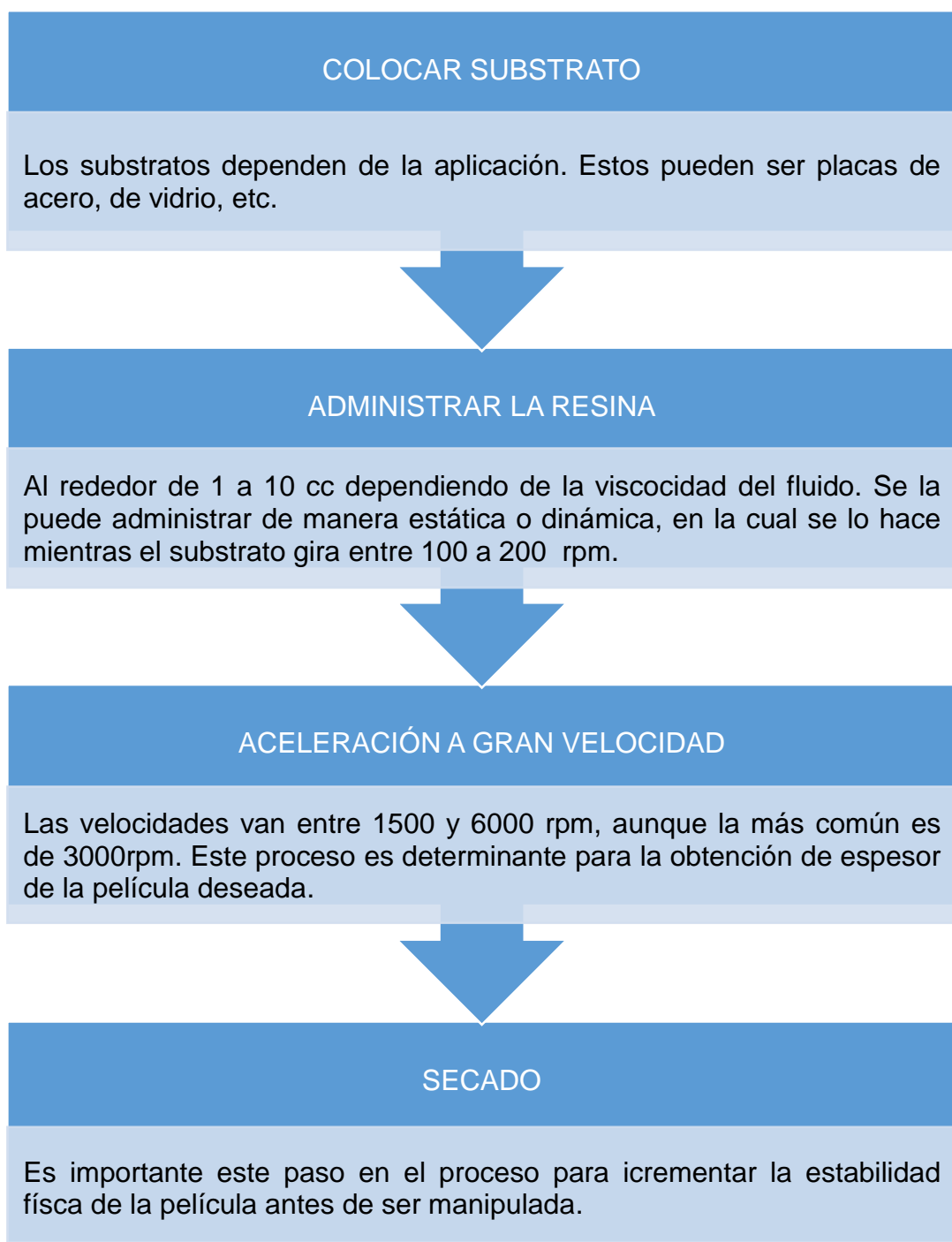
2.2 REQUERIMIENTOS DE ENSAYOS

- Mantener un ambiente limpio alrededor del *coater* para minimizar la generación de partículas durante el proceso.
- Las películas se preparan sobre sustratos de vidrio y silicio, previamente lavados con un agente detergente y enjuagados repetidas veces con agua destilada antes de la deposición.
- Asegurarse que el disco giratorio esté limpio y libre de algún residuo resistente de polímero. Limpiar con acetona y toallas de limpieza si es necesario.

2.3 DEFINICIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS MÁQUINAS QUE CONSTITUYEN EL SISTEMA

Cuadro 1

Secuencia de funcionamiento de Spin Coating



En el Cuadro 1 se explica a breves rasgos la forma de realizar el ensayo con el equipo *Spin Coater*, dando así a conocer también las etapas necesarias que se debe cumplir.

A continuación la Figura 2 representa de forma gráfica el proceso normal de *spin coating*.

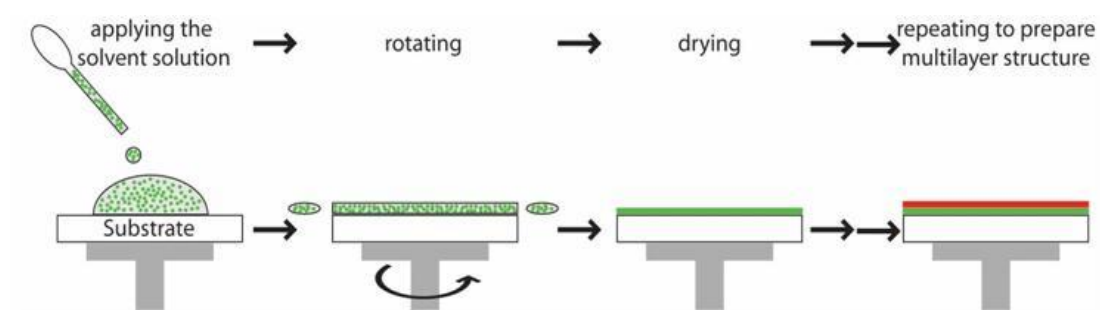
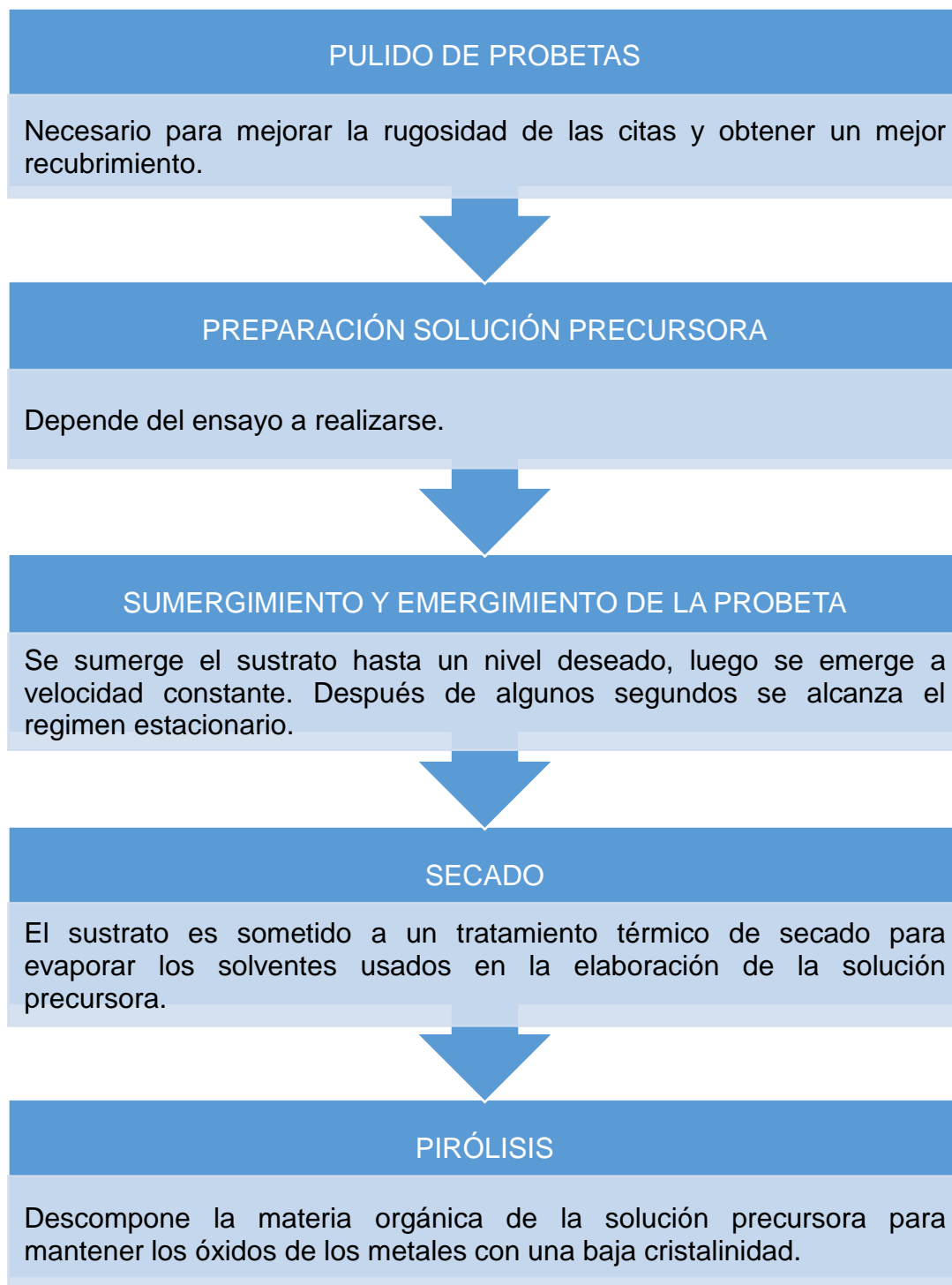


Figura 2. Proceso de Spin Coating

FUENTE: (Daniel, SNe Research, 2011)

Cuadro 2

Secuencia de funcionamiento de Dip Coating

El proceso de *dip coating* se encuentra simplificado en el Cuadro 2.

La deposición por el proceso de *dip coating* es un método que permite la formación de películas delgadas para diferentes espesores sobre un sustrato. El método involucra la inmersión de un sustrato en un reservorio de solución durante un corto periodo de tiempo, de manera de asegurar que el sustrato se moje totalmente y luego se retira de la solución. (David Leal, 2011).

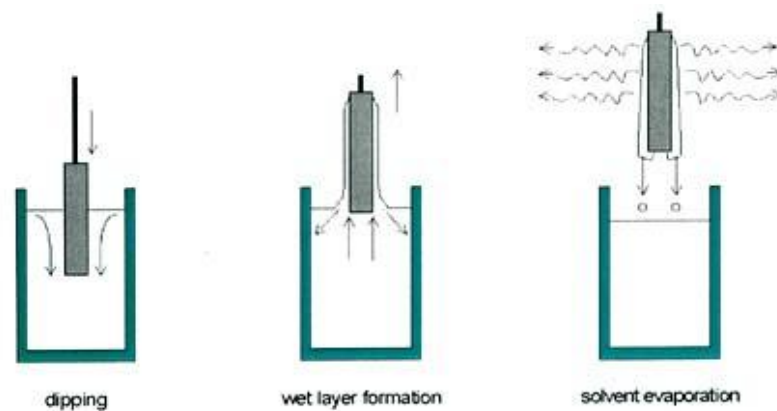


Figura 3. Proceso de Dip Coating

FUENTE: (Chemmat Technology, 2001)

2.4 Posibles errores en la elaboración de probetas

2.4.1 Poca reproductibilidad.

- Condiciones de escape o ambientales variables.
- El sustrato no está centrado correctamente.
- Insuficiente dispensación de volumen.
- Aplicación inadecuada de resina.
- Equilibrio inestable en los parámetros de velocidad/tiempo.

2.4.2 Película demasiado delgada.

- Velocidad de giro demasiado alta.
- Tiempo de giro demasiado largo.
- Mala selección de resina.

2.4.3 Agujeros.

- Burbujas de aire.
- Partículas en el fluido.
- Partículas existentes en la superficie del substrato previo a dispensar la resina.

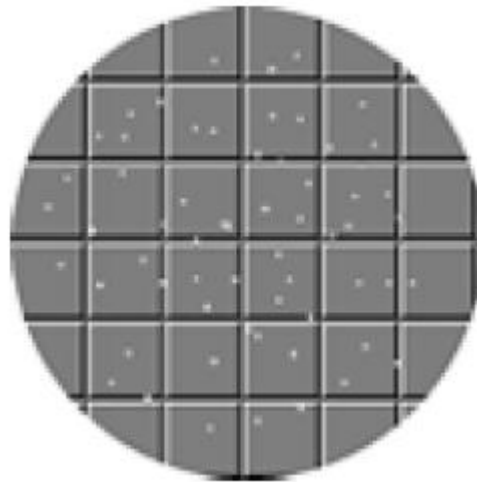


Figura 4. Agujeros

FUENTE: (Cost Effective Equipment, 2012)

2.4.4 Calidad deficiente de la película.

- Volumen de escape demasiado alto.
- Aceleración demasiado rápida.

- Balance inestable en velocidad/ parámetros de tiempo.
- Insuficiente volumen dispensado.
- Inapropiada aplicación de la resina.

2.4.5 **Círculo central.**

- Si el círculo es del mismo diámetro del plato giratorio entonces se debe cambiar la velocidad de giro.

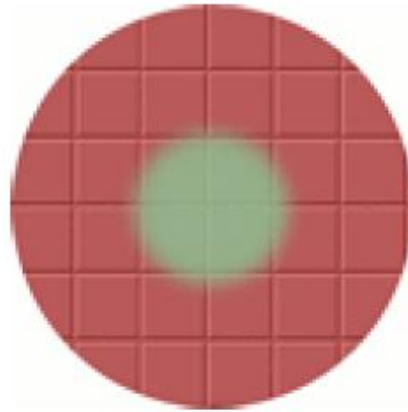


Figura 5. Círculo central

FUENTE: (Cost Effective Equipment, 2012)

2.4.6 **Remolino.**

- Fluido llamado substrato está fuera del centro del plato.
- Ajuste de velocidad de giro y la aceleración demasiado altas.
- Tiempo de giro muy corto.



Figura 6. Remolino

FUENTE: (Cost Effective Equipment, 2012)

2.4.7 Áreas no recubiertas.

- Insuficiente volumen de resina dispensado.

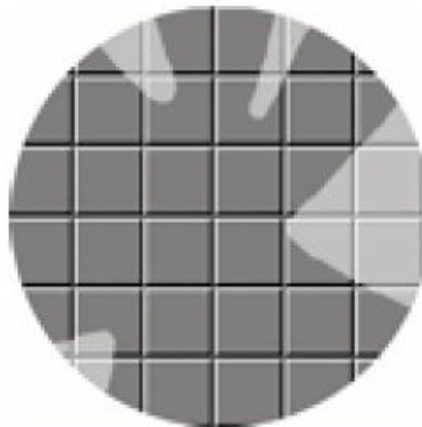


Figura 7. Áreas no recubiertas

FUENTE: (Cost Effective Equipment, 2012)

2.4.8 Rayas como difuminaciones.

- Velocidad al dispensar el fluido es demasiado alta.
- Ajuste de la velocidad de giro y la aceleración es demasiado alta.

- Existen partículas en la superficie del sustrato antes de dispensar.
- El fluido no está siendo dispensado en el centro de la superficie del sustrato.

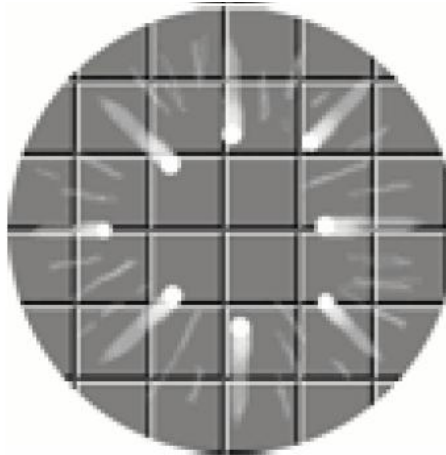


Figura 8. Rayas como difuminaciones

FUENTE: (Cost Effective Equipment, 2012)

CAPÍTULO III DISEÑO MECATRÓNICO

3.1 DISEÑO DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS

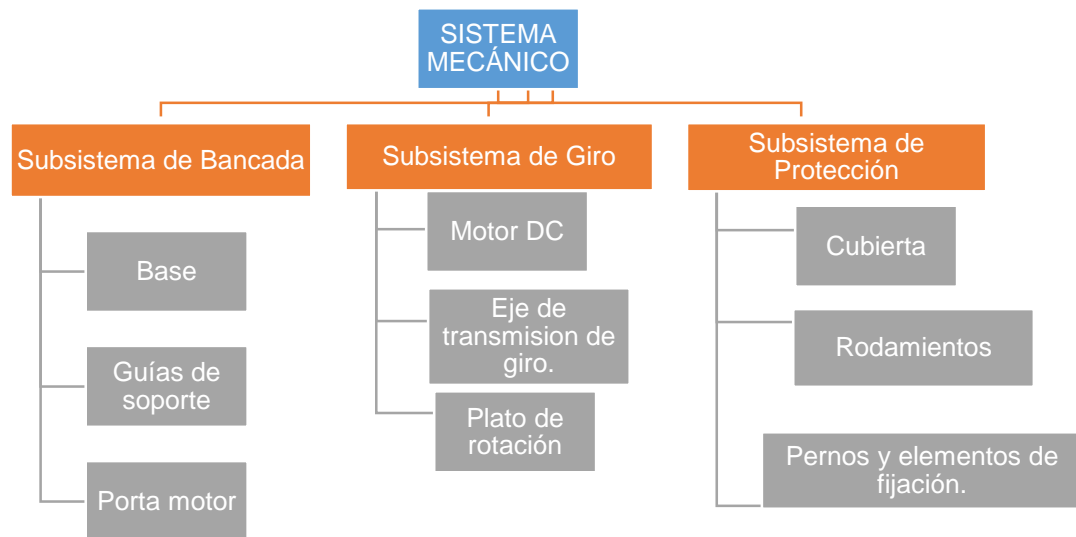


Figura 9. Síntesis del Sistema Mecánico

3.1.1 Spin Coater.

Es necesario mencionar los requerimientos de operación del equipo para en base a estos buscar las opciones de elementos y poder seleccionar la más idónea.

Se planteó un rango de operación entre 400 RPM y 5000 RPM. Además de las condiciones de facilidad de operación por el usuario, dimensiones totales del equipo pequeñas, liviano y principalmente bajo costo.

3.1.1.1 *Plato giratorio.*

Los ensayos realizados en el equipo llamado *Spin Coater* son mediante velocidad de giro, se utiliza un plato giratorio y se plantea a continuación el diseño.

Sobre el plato giratorio se ubica el sustrato que generalmente tiene forma de un disco pequeño. Estos se observan en la figura 10.



Figura 10. Sustratos de Silicón en forma de obleas

FUENTE: (TED PELLA)

Como conclusión el plato no soporta un peso elevado, por lo cual no existe riesgo de deformación o falla del material.

Otro punto muy importante es la consideración de peso del plato giratorio, es decir, este debe ser sumamente liviano para no oponerse al giro que da el motor.

Se plantea el maquinado del plato giratorio de un diámetro de 60 mm. y un espesor de 2mm., .

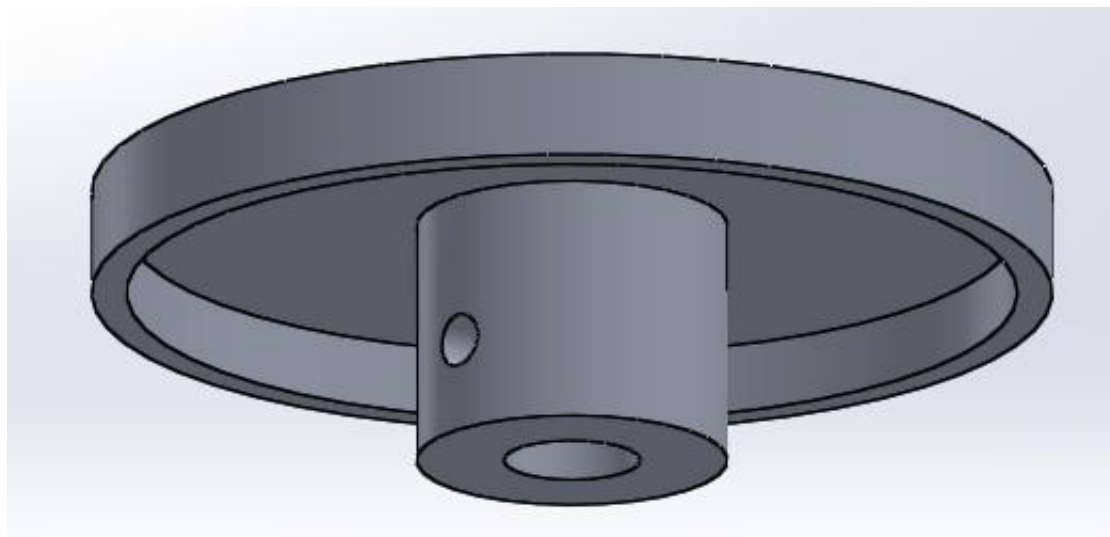


Figura 11. Plato Giratorio *Spin Coater*

En base a este maquinado se tiene un volumen de 8.863 cm^3 , con este valor se realizará el análisis para distintos materiales enfocado en el peso del plato y costos.

Tabla 1

Materiales propuestos para la fabricación el plato giratorio

MATERIAL	DENSIDAD (g/cm³)	PESO (Kg)	COSTO (\$/Kg)	COSTO TOTAL
AISI 1020	7,87	0,0698	1,5	0,1046
ALUMINIO 6061	2,7	0,0239	2,64	0,0632
ACERO AISI 304	7,93	0,0703	5,42	0,3809

Se concluye que la opción para el maquinado del plato giratorio se debe realizar en Aluminio 304, el cual da el menor peso de la pieza y además el costo final es mucho menor en referencia a los otros materiales propuestos.

3.1.1.2 Selección del motor.

Para la selección del motor utilizado en el equipo se debe tener en cuenta principalmente el tamaño deseado aproximado del equipo. Por este motivo quedan descartados los motores de combustión ya que no existen en medidas tan pequeñas, dejando así la selección entre motores eléctricos.

Como segundo punto a analizar se debe tener en cuenta la facilidad de controlar el motor seleccionado. Existen dos opciones de motores eléctricos los AC. y los DC., la primera opción utiliza para su control un variador de frecuencia que es más complejo a diferencia de un motor DC. que se controla con PWM (variación de anchura de pulso), o variando el voltaje de alimentación. Por lo cual un motor AC queda descartado debido a su forma de controlar.

Entre los motores eléctricos DC. se tienen 3 opciones:

- Motor a pasos
- Servo motor
- Motor con escobillas

Cuadro 3

Comparación motores DC

TIPO	Señal de control	Movimiento	Velocidad	Orientación	Costo
MOTOR A PASOS	Secuencia adecuadas, pulsos	Rotación con cabeceo	Bajas RPM (<500 RPM)	Precisión en grados de giro.	Medio: (5A)
SERVOMOTOR	PWM	Rotación continua	Altas RPM (>1000 RPM)	Precisión en posicionamiento.	Alto: (10A)
MOTOR DE ESCOBILLAS	PWM	Rotación continua	Altas y bajas RPM	Rotación continua a altas RPM	Bajo: (A)

Dentro de los requerimientos del equipo, la rotación del plato giratorio debe ser continua por lo que se descarta el motor a pasos.

Otro aspecto muy importante es el económico y analizando el cuadro 4 se puede observar que un servomotor es de costo muy elevado, por lo cual queda descartado, dando como resultado la selección de un motor DC. de escobillas.

Como parte final para seleccionar el motor DC se debe tener en cuenta la variación de revoluciones de trabajo, por lo que se seleccionó el motor de un Rotomatic marca Wen, el cual es un instrumento que se utiliza para taladrar placas PCB, como pulidor o incluso tiene sus discos de corte. Este instrumento tiene la posibilidad de variar sus velocidades de trabajo mediante un circuito electrónico propio.



Figura 12. Rotomatic marca Wen

FUENTE: (Amazon)

El motor seleccionado tiene las siguientes especificaciones:

Cuadro 4

Características del motor para Spin Coater

CARACTERÍSTICA	VALOR
Voltaje alimentación	12V
Potencia	12 W
Corriente máxima consumida	Hasta 1 A
Dimensiones (Diámetro*altura)	40 mm* 49 mm
Control	Shield Arduino UNO

FUENTE: Placa industrial del motor para *Spin Coater*

Debido a las altas revoluciones a las cuales opera el equipo se requiere de un elemento que evite la vibración del eje del motor y a su vez aporte con una fricción reducida o incluso nula entre el eje del motor y el elemento. Para lo cual se seleccionó un rodamiento # 696Z.

Cuadro 5

Características del rodamiento seleccionado

Característica	Especificación
Marca	NSK
D	15 mm
d	6 mm
B	5 mm
Tipo	696Z
Límite de Velocidad	40000 RPM
Categoría	Rodamiento de bola

FUENTE: (NSK Motion & Control, 2014)

Se seleccionó este rodamiento en base al diámetro del eje del motor que es de 6mm. Además este debe ser de tipo Z ya que se requiere extra pulido en la pista para que exista la mínima oposición al giro del motor.

El equipo trabaja hasta 5000 RPM y se observa que el rodamiento soporta hasta 40000 RPM.

3.1.1.3 *Estructura de soporte.*

En el *Spin Coater* no se tiene una carga influyente aplicada hacia los soportes. El peso aplicado está calculado en 0.066 Kg.

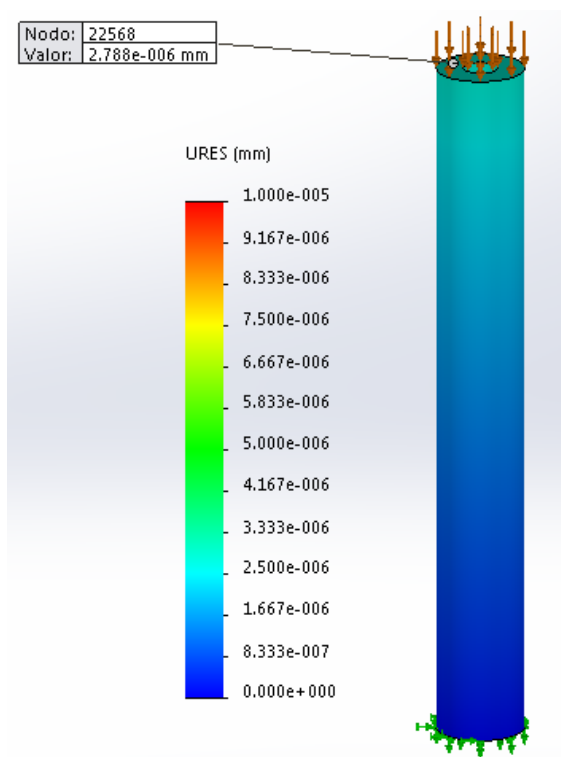


Figura 13. Desplazamiento Resultante o Modular AISI 1020

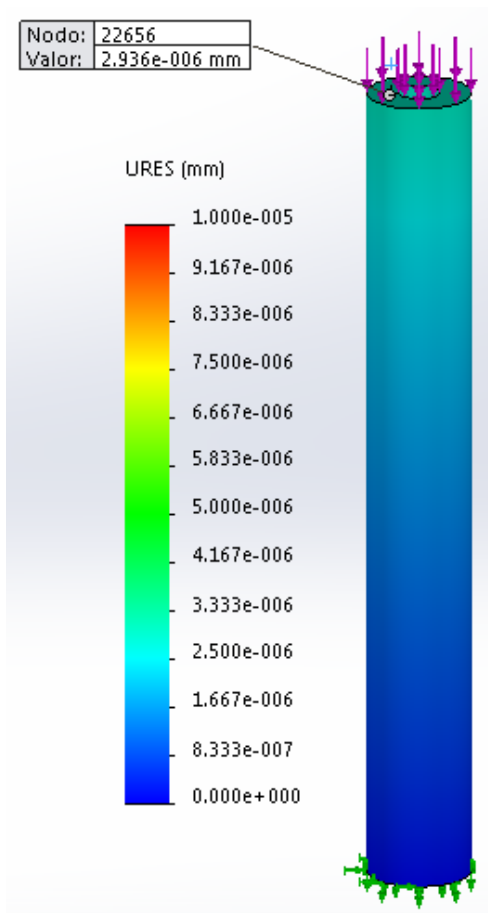


Figura 14. Desplazamiento Resultante o Modular AISI 304

El análisis fue realizado entre los dos materiales que se encuentran comercialmente en presentación de ejes.

Tabla 2

Comparación de desplazamiento y costo para selección de soporte

MATERIAL	DESPLAZAMIENTO (mm)	PESO (Kg)	COSTO (\$/Kg)
AISI 1020	2.78×10^{-6}	1,4	1,5
AISI 304	2.93×10^{-6}	1,4	5,42

A pesar que en el análisis se demuestra que el desplazamiento no es tan variable entre los dos materiales, se observa un menor valor de desplazamiento resultante para el AISI 1020, además se toma en cuenta la otra característica que es el costo del material. En base a los resultados se selecciona el Acero AISI 1020.

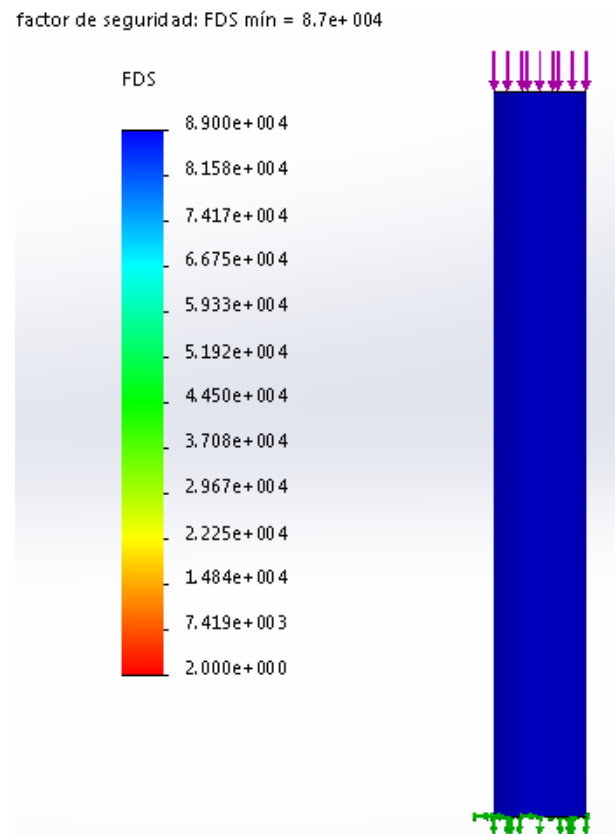


Figura 15. Análisis de Factor de Seguridad para el acero AISI 1020

Se realiza un análisis de Factor de seguridad donde se determina que para el material seleccionado es 87000, lo que confirma que el material para la pieza no sufriría deformación o desplazamiento considerable.

3.1.2 Dip Coater.

Las características de funcionamiento del *Dip Coater*, se plantearon en un rango entre 1cm/h y 1cm/min. Además del desplazamiento que debe ser entre 20 y 25 cm.

3.1.2.1 *Caja reductora.*

Al definirse que el Dip Coater va a trabajar a tan bajas revoluciones relacionadas al avance tan lento, es indispensable el uso de una caja reductora. Es así que se requiere la implementación de engranes los cuales mejoraran el torque y reducen al valor deseado las velocidades.

Debido a que el equipo debe tener dimensiones relativamente pequeñas los engranes deben ser proporcionales y la fabricación de engranes en las dimensiones alrededor de los 15 mm de diámetro es demasiado costosa e incluso es difícil conseguir buena precisión por lo cual se plantea adquirir un juego de engranes utilizados para proyectos de robótica móvil de marca Tamiya.







Figura 16. Juego de engranes *Double Gearbox*

FUENTE: (TAMIYA USA)

Cuadro 6

Componentes del juego de engranes

DENOMINACIÓN	No. DIENTES	REPRESENTACIÓN
G1	8	
G2	34/12	
G3	36/12	
G4	36	

Estos engranes permiten varias combinaciones para conseguir diferentes RPM a la salida con el mismo motor. Las posibilidades de combinación son las siguientes:

Tabla 3

Combinaciones disponibles para variación de revoluciones a la salida

TIPO	RELACIÓN	TORQUE	ROTACIÓN
A	12,7 : 1	94 gf*cm	1039 RPM
B	38,2 : 1	278 gf*cm	345 RPM
C	114,7 : 1	809 gf*cm	115 RPM
D	344,2 : 1	2276 gf*cm	38 RPM

Se utilizará 2 cajas reductoras con diferente combinación cada una. Las relaciones de reducción serán las siguientes:

- Relación tipo D (344.2 : 1)

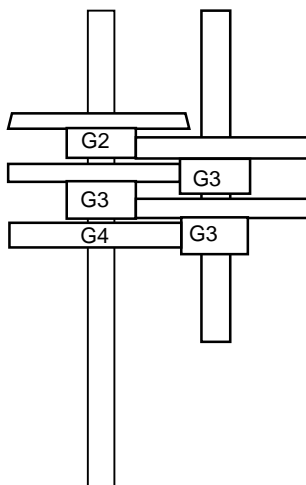


Figura 17. Caja reductora relación 344.2:1

- Relación tipo A (12.7 : 1)

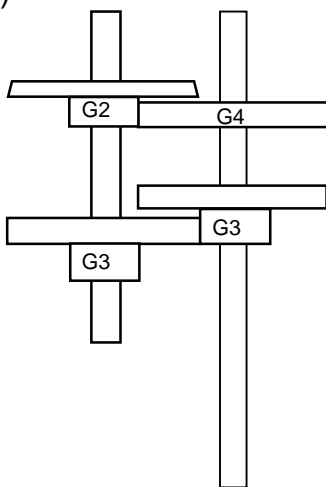


Figura 18. Caja reductora relación 12.7:1

Con lo cual se obtiene una relación final de **4371.34 : 1**

3.1.2.2 Selección del motor.

En principio se pensó en el uso de un solo motor para operación del equipo y se realizaría las combinaciones de los engranes mediante una palanca de cambios como se utiliza para los vehículos pero debido a las pequeñas dimensiones de los elementos empleados se dificultaría la implementación de la misma y de igual manera encarecería los costos de fabricación de piezas tan pequeñas. Debido a la complejidad de cubrir todo el rango de trabajo se decidió usar dos motores. El tipo de motor seleccionado fue motor DC de escobillas y se lo realizó en base al cuadro comparativo 3.

Se decidió dividir en dos rangos de operación que son:

- Bajas velocidades: de 0.0166 cm/min a 0.6 cm/min
- Altas velocidades: de 0.4 cm/min a 1 cm/min

Para cubrir el requerimiento de trabajo en velocidades bajas, se utilizó un motor que fue de origen reciclado, por lo que no se realizó cálculos de diseño, se comprobó las revoluciones a la salida y se determinó 175 RPM.

Cuadro 7

Características del motor para bajas velocidades de Dip Coater

CARACTERÍSTICA	VALOR
Voltaje alimentación	24V
Potencia	20 W
Corriente máxima consumida	Hasta 1 A
Dimensiones (Diámetro*altura)	40 mm* 15 mm
Control	Shield Arduino UNO

FUENTE: Placa industrial del motor 1 del Dip Coater

El motor seleccionado para cubrir el rango de trabajo de altas velocidades, se lo tomó del juego de engranes y motores utilizados para proyectos de robótica móvil de marca Tamiya, el cual tiene las siguientes características:

Cuadro 8

Características del motor para altas velocidades de Dip Coater

CARACTERÍSTICA	VALOR
Voltaje alimentación	3V
Potencia	5 W
Corriente máxima consumida	Hasta 2 A
Dimensiones (Diámetro*altura)	20 mm* 27 mm
Control	Shield Arduino UNO

FUENTE: Placa industrial del motor 2 del Dip Coater

Se utilizó el motor que se incluye en el paquete de juego de engranes, ya que este viene directamente para funcionar correctamente con las cajas reductoras, asegurando así un correcto trabajo del motor para el proyecto.

3.1.2.3 Acople para funcionamiento de dos motores a la misma entrada.

Como se definió el trabajo con dos motores para diferentes velocidades, estos deben ir conectados al mismo eje de entrada, por lo que se requiere de un acople mecánico para lograr el cambio entre el uso de un motor o el uso del otro motor cuando sea necesario, lo cual depende del rango de velocidad a la que se va a trabajar.

Se propone el uso de engranes cónicos los cuales permiten una transmisión de movimiento circular a 90° entre ellos. El engrane cónico utilizado es parte de

los engranes del kit marca Tamiya (G2), solo que se lo modifiko para aplicarlo en este acople.

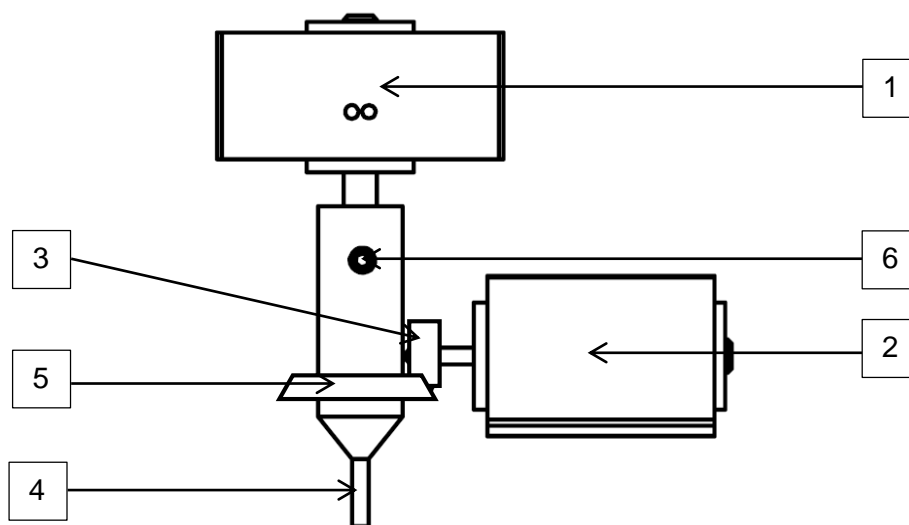


Figura 19. Acople para motores

Cuadro 9

Partes del acople entre los dos motores del Dip Coater

NÚMERO DE PARTE	NOMBRE DE LAS PARTES
1	Motor 1, 24V, 175 RPM.
2	Motor 2, 5V, <i>Double Gearbox</i> .
3	Piñón G1, <i>Double Gearbox</i> .
4	Eje de transmisión a caja de reducción.
5	Engrane G2, <i>Double Gearbox</i> cortado engrane de 12 dientes.
6	Prisionero M3x3mm.

Se debe recalcar que el motor 2 va fijado sobre una placa móvil lo cual permite que se retire este motor cuando entra en funcionamiento el motor 1 que se lo fija mediante el prisionero y cuando se requiere el funcionamiento del motor 2 se acerca la placa móvil y se afloja el prisionero del motor 1.

3.1.2.4 *Transformación de velocidad angular a velocidad lineal.*

Se consideran 2 formas para transformar la velocidad angular entregada por la caja reductora a velocidad lineal requerida para bajar o subir la probeta.

Un requisito importante en el funcionamiento del *dip coater* es conseguir una vibración despreciable al descenso de la probeta pero aún más importante es la subida de la misma. Bajo esta característica se descartó el uso de hilos, piolas o cables flexibles para portar las probetas, ya que estos a pesar de que el movimiento es muy lento, vibran.

Lo idóneo para transportar las probetas, ya que es rígido, es el cable sólido, y por características de espesor y costos se seleccionó cable sólido AWG 12, con un diámetro de 2.05 mm

Quedando así dos posibilidades de transformación del movimiento mencionados a continuación:

Cuadro 10

Cuadro comparativo para selección de transformación de movimiento

MECANISMO	MONTAJE	COSTO	DESVENTAJA
POLEA - CABLE	Difícil	Accesible	Deformación del cable
PIÑÓN-CREMALLERA	Medio	Accesible	

3.1.2.4.1 *Polea – cable.*

Para este mecanismo muy sencillo se utiliza la polea al final del eje de salida de la caja de reducción y en esta se enrolla el alambre. La dificultad con

el uso de este mecanismo radica en el diámetro del cable ya que no es fácil de manipularlo para enrollarlo y cuando se desenrolla el cable no quedaría totalmente recto, por lo que se necesitaría de un motor extra o algún mecanismo extra para conseguir templar el cable y esto implica incremento de costos.

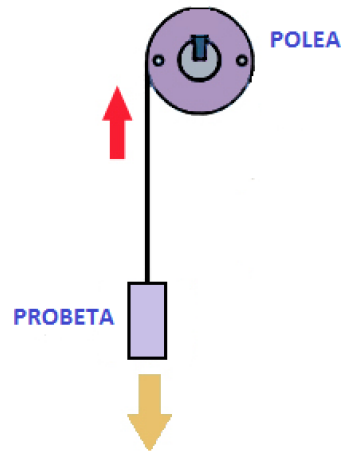


Figura 20. Mecanismo de polea

FUENTE: (FUERZA Y C, 2009)

3.1.2.4.2 *Piñón – cremallera.*

Al igual que el mecanismo anterior en el eje de salida de la caja de reducción se coloca un piñón.

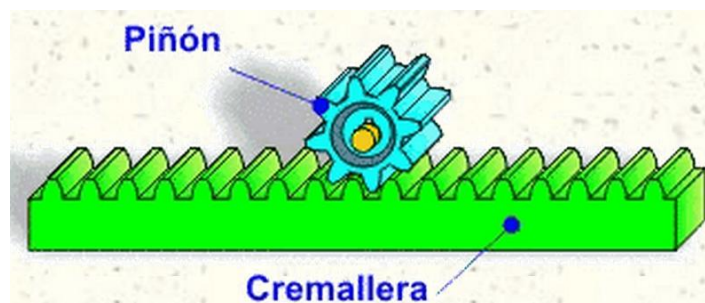


Figura 21. Mecanismo piñón cremallera

FUENTE: (bligoo)

Cuando el piñón gira, sus dientes empujan los de la cremallera, provocando el desplazamiento lineal de esta.

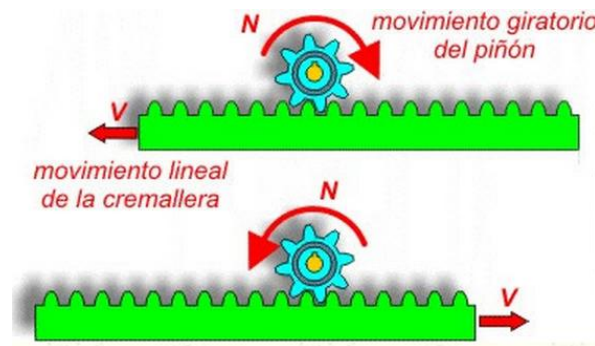


Figura 22. Movimiento de mecanismo piñón cremallera

FUENTE: (bligoo)

La probeta se colocaría en el extremo de la cremallera y la longitud de la cremallera dependería de la distancia que desea que recorra la probeta.

Después de analizadas las dos posibilidades de transformación de movimiento, se selecciona el mecanismo piñón cremallera debido al problema presentado en el análisis del mecanismo polea – cable para enrollar y desenrollar el cable.

3.1.2.5 **Estructura de soporte.**

Por la forma en la que funciona el *dip coater*, se requiere de una estructura con una base firme, una placa donde se encuentra fijo todo el sistema y columnas que soportarán la última placa.

El peso total de la placa superior con todos los elementos montados se estima en 1.7 Kg.

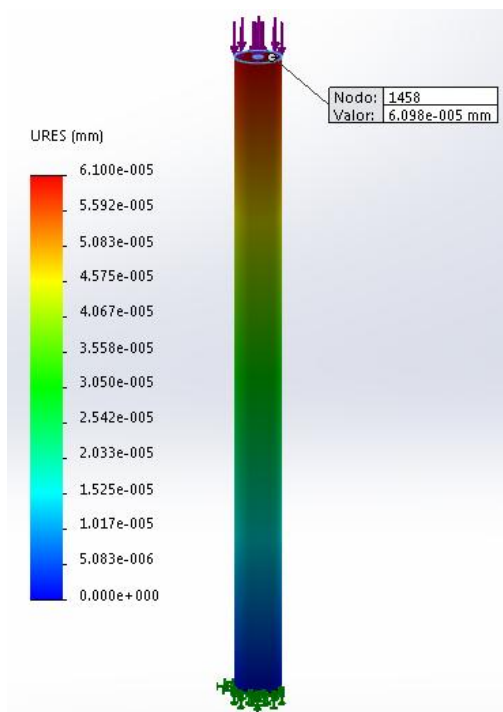


Figura 23. Desplazamiento Resultante o Modular AISI 1020

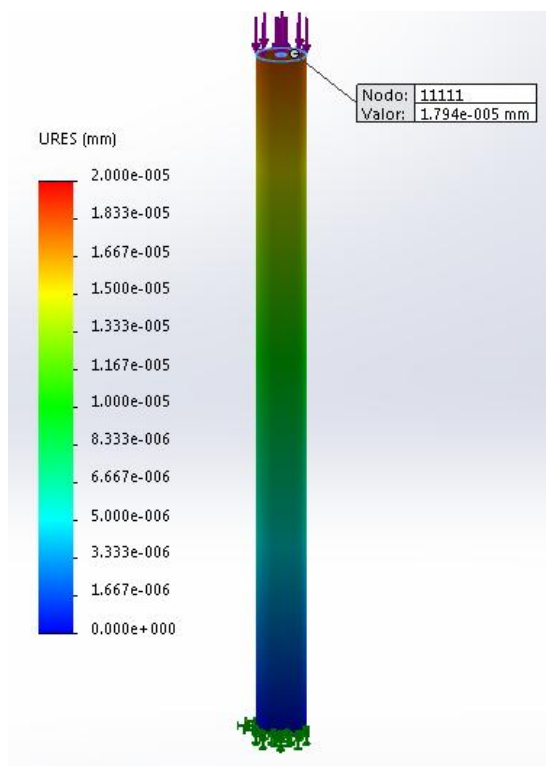


Figura 24. Desplazamiento Resultante o Modular AISI 304

Se realiza el análisis para dos tipos de materiales que se encuentran comercialmente en ejes y se elabora un cuadro comparativo.

Tabla 4

Análisis comparativo desplazamiento y costo

MATERIAL	DESPLAZAMIENTO (mm)	PESO (Kg)	COSTO (\$/Kg)
AISI 1020	6.01×10^{-5}	1,39	1,5
AISI 304	1.79×10^{-5}	1,40	5,42

El desplazamiento generado para los dos materiales es mínimo y a pesar de que el desplazamiento será mayor para el acero AISI 1020 se selecciona este basandose en el costo del material y además porque para la elaboración del equipo no es necesario el uso de Acero inoxidable (AISI 304).

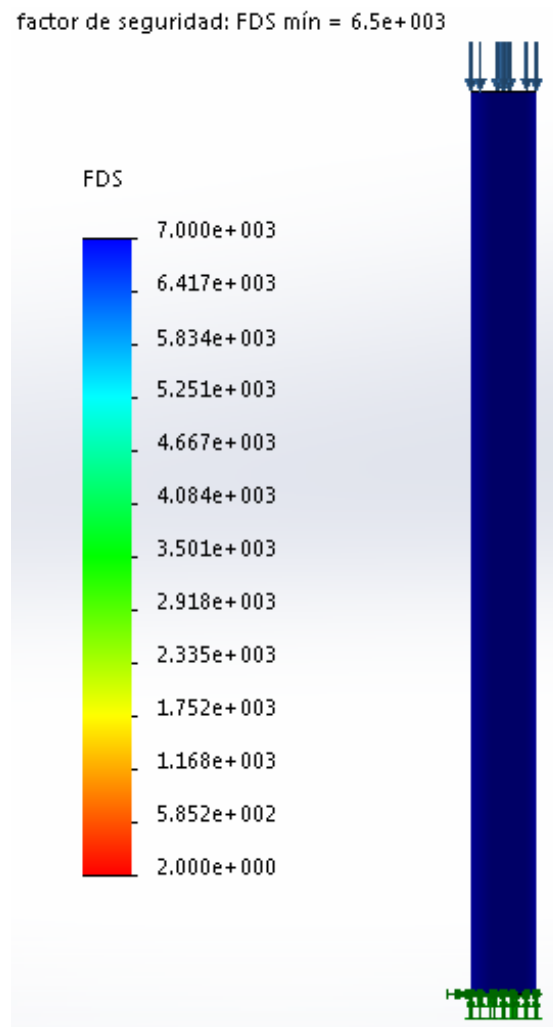


Figura 25. Análisis de Factor de Seguridad AISI 1020

Se realiza también un análisis respecto al factor de seguridad con lo que se justifica que el material seleccionado se encuentra sobredimensionado para la carga a soportar con un Factor de seguridad de 6500.

3.2 DISEÑO DE LOS COMPONENTES ELÉCTRICOS Y/O ELECTRÓNICOS

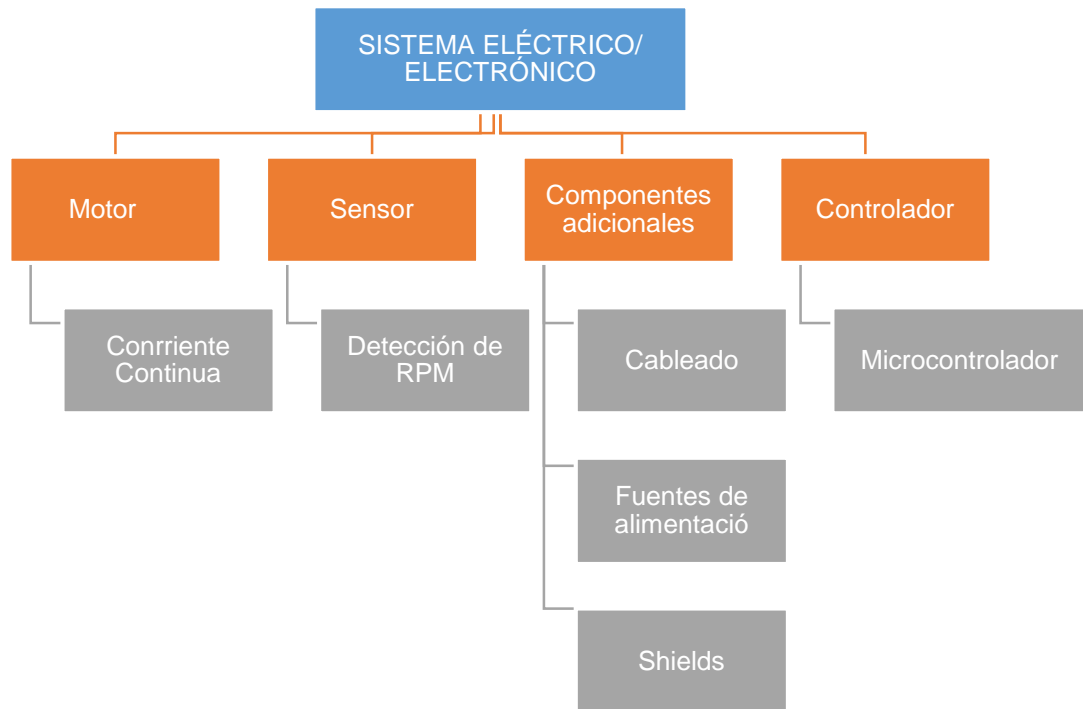


Figura 26. Síntesis Sistema Eléctrico/ Electrónico

3.2.1 L298n.

El control de los motores se lo realiza con un puente H el cual permite tener cambios de giro en el motor. Se puede fabricar este tipo de controlador o se puede utilizar el shield que es propio para trabajo con Arduino.

Este shield trabaja con un L298N, del cual el dato relevante es la potencia máxima que se va a soportar.

Cuadro 11

Características del L298N

PARÁMETRO	VALOR
Voltaje de alimentación máxima	46 V
Potencia máxima	25 W
Corriente máxima	4A
Voltaje mínimo	2.3 V

FUENTE: (Datasheets 360, 2000)

Se calcula la corriente a la que va a trabajar el L298N en base a la ecuación para el cálculo de potencia, la cual depende del voltaje de cada motor.

$$P = V * I$$

Ecuación 1

3.2.1.1 *Spin Coater.*

$$P = 25 W$$

$$V = 12 V$$

$$I = \frac{25}{12}$$

$$I = 2.08 A$$

La corriente máxima que soporta el shield para este motor es de 2.08 A. y en el cuadro 4 se determinó que el motor consume hasta 1 A. Al comparar este valor con el valor de corriente máximo soportado por el shield para el motor se concluye que si es válido el uso del mismo.

3.2.1.2 *Dip Coater.*

El mismo procedimiento se realizó para los motores utilizados para el Dip Coater.

El cálculo para el motor de bajas velocidades (24 V).

$$P = 25 W$$

$$V = 24 V$$

$$I = \frac{25}{24}$$

$$I = 1.04 A$$

La corriente máxima consumida por este motor también es de 1 A. especificada en el cuadro 7, de igual manera se verifica con la máxima soportada por el shield y se concluye que está dentro del rango admitido.

Para el motor de altas velocidades (3.3 V).

$$P = 25 W$$

$$V = 3.3 V$$

$$I = \frac{25}{3.3}$$

$$I = 7.57 A$$

Verificando con el cuadro 8, que determina que el valor máximo de corriente para este motor es de 2 A., se concluye que si está dentro del valor aceptado por el controlador y se lo puede utilizar sin riesgo.

3.2.2 Interfaz para el usuario.

Adicional en la parte electrónica se utilizará un LCD 16x2, es el más sencillo para mostrar el menú de programación de los valores de velocidad y de tiempos deseados, además se mostrará la velocidad a la que se encuentra operando los equipos.

3.3 DISEÑO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL

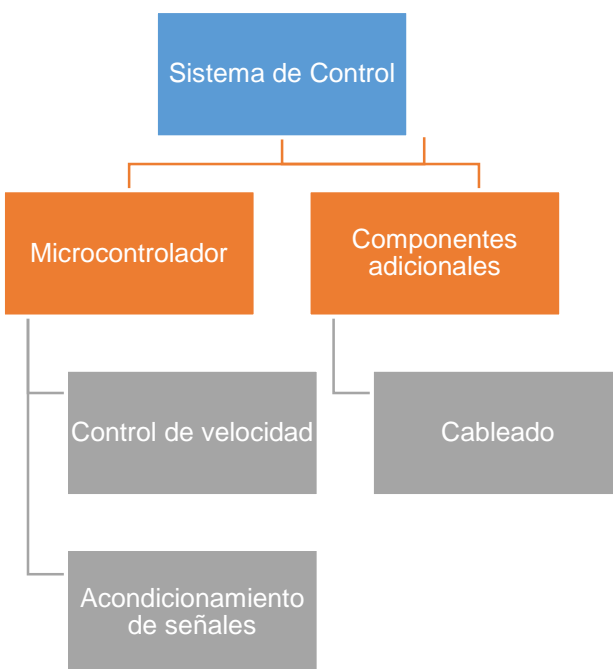


Figura 27. Síntesis Sistema de Control

Para la parte de control se buscó innovación y facilidad de uso. Debido a la magnitud de la aplicación y enfocado en el objetivo de abaratar costos, quedan descartados los PLCs.

La siguiente opción son los microcontroladores, los cuales manejan a la planta utilizando un algoritmo de control en lazo abierto para control de la velocidad tanto para el *Spin*, como para el *Dip Coater*. El sistema de control se encarga de mantener constantes las velocidades y tiempos de duración de acuerdo a la selección del usuario.

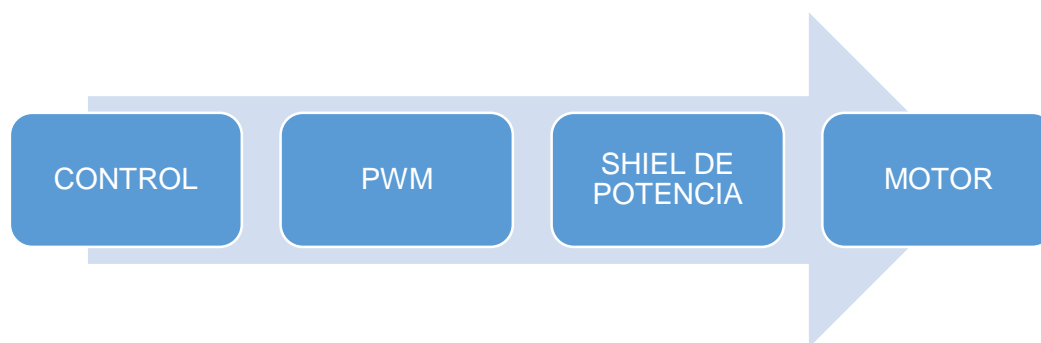


Figura 28. Lazo abierto del sistema de control

Comúnmente son utilizados los microcontroladores de Microchip pero actualmente existen nuevas alternativas con facilidad de programación tanto en hardware como en software, que a la larga se reflejan en costos.

Se tienen dos posibilidades para uso de controladores los conocidos PIC y las nuevas placas de ARDUINO.

Se realizará a continuación un cuadro comparativo entre las dos opciones.

Cuadro 12

Comparación entre tecnología Microchip y Arduino

CARACTERÍSTICA		MICROCHIP	ARDUINO
COSTO		Moderado	Elevado
TAMAÑO		Pequeño	Normal
PROGRAMACIÓN	HARDWARE	Placa externa	Cable
	SOFTWARE	Difícil	Amigable
CUIDADO		Minucioso	Reducido
SIMULACIÓN		Si	No

En el cuadro 13, se observa que el costo es elevado de ARDUINO con respecto a MICROCHIP pero analizando con respecto al cuidado que necesita cada uno, a largo plazo se necesita más de un PIC lo que aumenta el costo de inversión.

Además un beneficio igual relacionado con el cuidado de manipulación es la facilidad de programación ya que el PIC necesita ser trasladado a la placa externa corriendo riesgo de quemarse y Arduino solo se debe conectar el cable en el terminal respectivo.

Bajo las consideraciones anteriores y añadiendo el deseo de utilizar elementos electrónicos nuevos se seleccionó como controlador al ARDUINO UNO que tiene las siguientes características:

Cuadro 13**Características Arduino Uno**

CARACTERÍSTICAS	VALORES
Microcontrolador	ATmega328
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límites)	6-20V
Pines digitales I/O	14 (6 salidas PWM)
Pines entradas analógicas	6
Memoria	32 KB (ATmega328)
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Oscilador	16 MHz

FUENTE: (ARDUINO)

Como extra se puede recalcar que esta placa posee dos salidas de voltaje que pueden ser utilizadas como fuente, una de 5V y otra de 3.3 V.

Se utilizará dos Arduino UNO, cada uno independiente para la parte de control de los 2 equipos.

Esta placa se encarga de recibir la programación de tiempos y velocidades ingresadas mediante el teclado y a su vez envía en bits (de 0 a 255) al shield de control de los motores la información consiguiendo velocidades diferentes. Este tipo de control de velocidad se lo conoce como control PWM.

3.4 DISEÑO DEL SOFTWARE NECESARIO

Se mencionó en la etapa de selección de elementos de control al Arduino UNO, el cual trabaja con su propio software libre que es amigable con el usuario.

3.4.1 Etapa de configuración.

De igual manera para los dos equipos en esta etapa se adquiere y almacena los valores configurados para velocidad y tiempo deseados para cada ensayo por la persona que se encuentre operándolos.

3.4.2 Etapa de operación.

Mediante el teclado utilizado se ingresará con un botón la señal para el comienzo del proceso indistintamente para cada equipo.

3.4.3 Etapa de paro.

Se añade un botón como paro de emergencia para detener el proceso en caso de un mal funcionamiento.

3.4.4 Etapa de control.

Después de ingresadas las variables necesarias, se encuentra la parte de control de velocidades de operación de los motores. Estas velocidades ingresadas se ven reflejadas en los shields para los motores como señales PWM que dan en porcentaje un mayor o menor ciclo de trabajo de los motores.

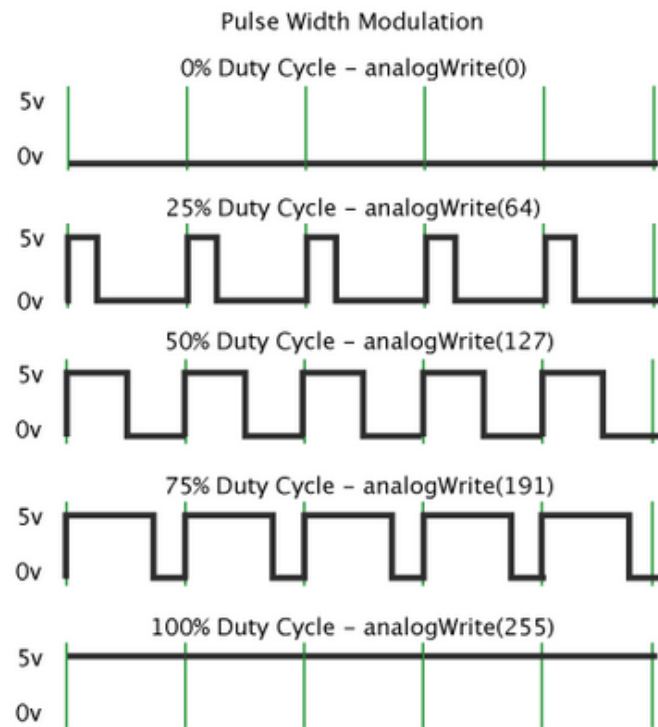


Figura 29. Pulso sin modulación

FUENTE: (ARDUINO)

CAPÍTULO IV CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

4.1 IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO, EQUIPO O MÁQUINA.

4.1.1 Spin coater.

4.1.1.1 *Montaje del motor.*

Para el montaje del motor se construyó una tipo abrazadera a la medida del motor, la cual se sujeta con 2 pernos M10 a la placa que aprisiona el motor hacia la placa base del motor.



Figura 30. Montaje de motor

4.1.1.2 ***Ubicación de rodamiento para evitar fricción y vibración del eje del motor.***

Como se explicó en la parte de diseño la disminución de vibración y fricción son las necesidades principales para el funcionamiento, por lo cual se implementó este rodamiento que además de mantener el eje del motor centrado y sin vibración, también evita la fricción del mismo con el resto de elementos.



Figura 31. Ubicación de rodamiento para evitar fricción y vibración del eje del motor

4.1.1.3 ***Ubicación de los soportes del plato superior hacia la base del equipo.***

Al ser equipos de precisión, todas sus piezas deben estar correctamente maquinadas y alineadas, como parte especial estos soportes ya que sostienen el plato superior que está alineado para el eje del plato giratorio y que una mínima variación podría ocasionar un movimiento erróneo de giro.

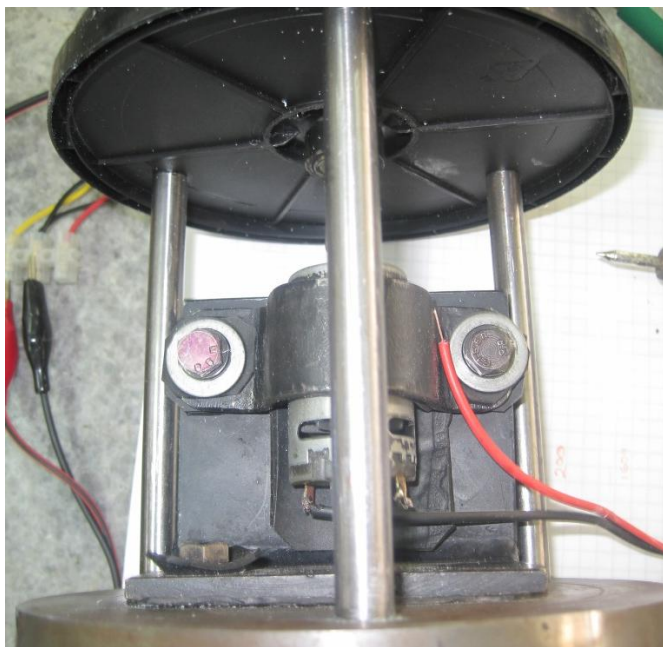


Figura 32. Soportes de Spin Coater

4.1.1.4 *Ensamblaje del plato giratorio.*



Figura 33. Plato giratorio Spin Coater

4.1.1.5 *Montaje final del equipo.*

La siguiente figura 34 muestra como resultado final el equipo llamado *Spin Coater*.

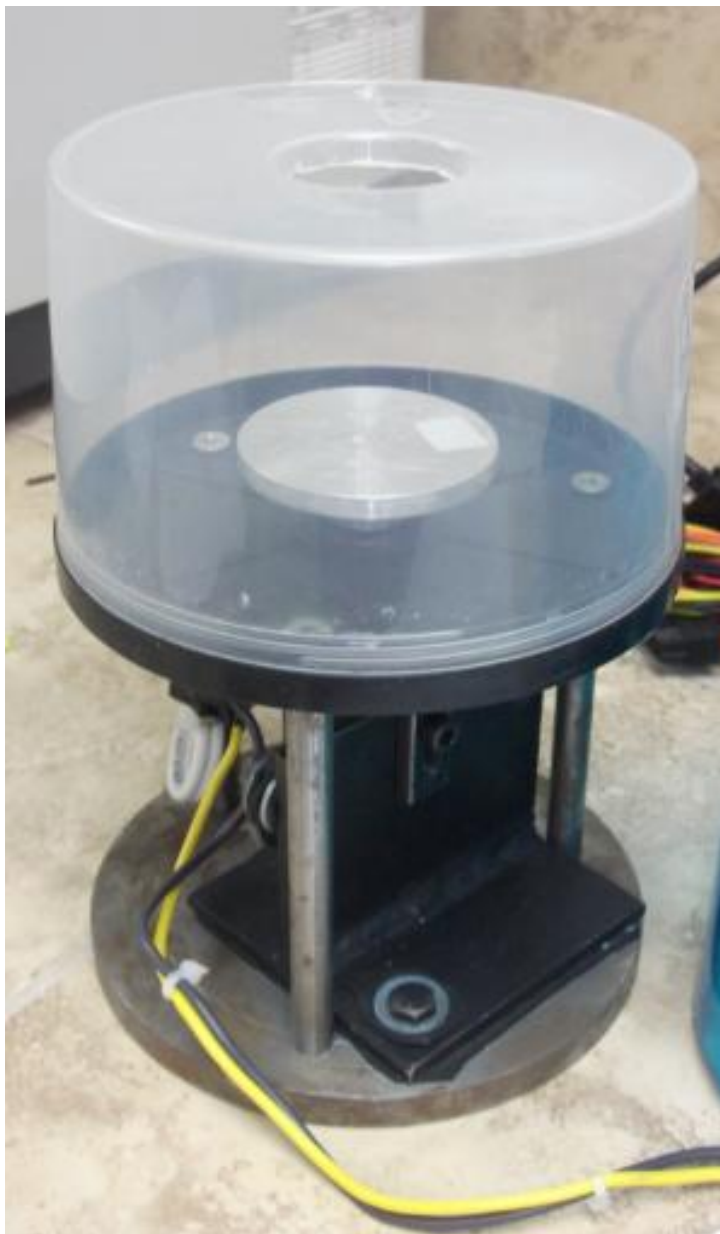


Figura 34. Equipo Spin Coater

4.1.2 Dip Coater.

4.1.2.1 *Ubicación motor 1 (bajas velocidades).*

La ubicación del motor 1 se dio de acuerdo a las distancias necesarias entre este y el resto de elementos.

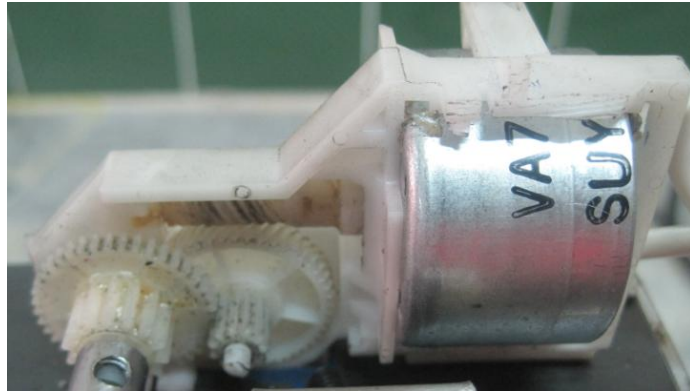


Figura 35. Ubicación de motor (bajas velocidades)

4.1.2.2 *Ubicación motor 2 (altas velocidades).*

De igual manera que para el anterior motor, la ubicación de este segundo motor se dio en base a la distribución del resto de elementos.

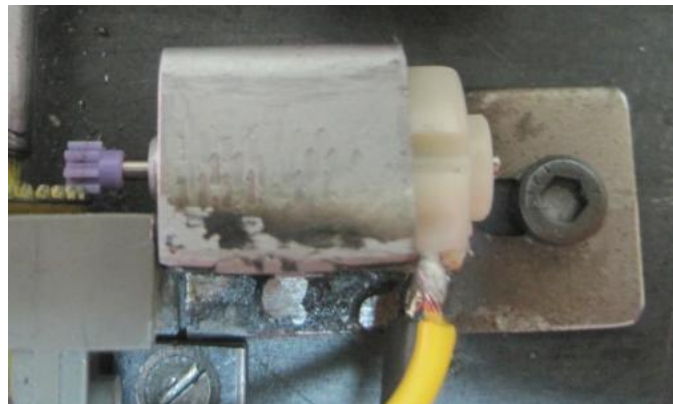


Figura 36. Ubicación de motor (altas velocidades)

4.1.2.3 *Piñón- cremallera.*

Para este mecanismo se implementaron dos combinaciones diferentes que entre si lo único que varía es el piñón. Con el cambio de este piñón y adicional con el uso de los 2 motores, se consigue aún mas rangos de velocidad, que dependen tanto del motor que se este utilizando y a su vez del piñón.



Figura 37. Mecanismo Piñón grande-cremallera



Figura 38. Mecanismo piñón pequeño-cremallera

4.1.2.4 ***Cajas de reducción.***

Acorde a lo establecido en el diseño se consiguió los engranes pequeños para autos robots y se armó las cajas con las combinaciones necesarias. Entre si se encuentran unidas por un eje propio de los elementos originales del juego de engranajes.

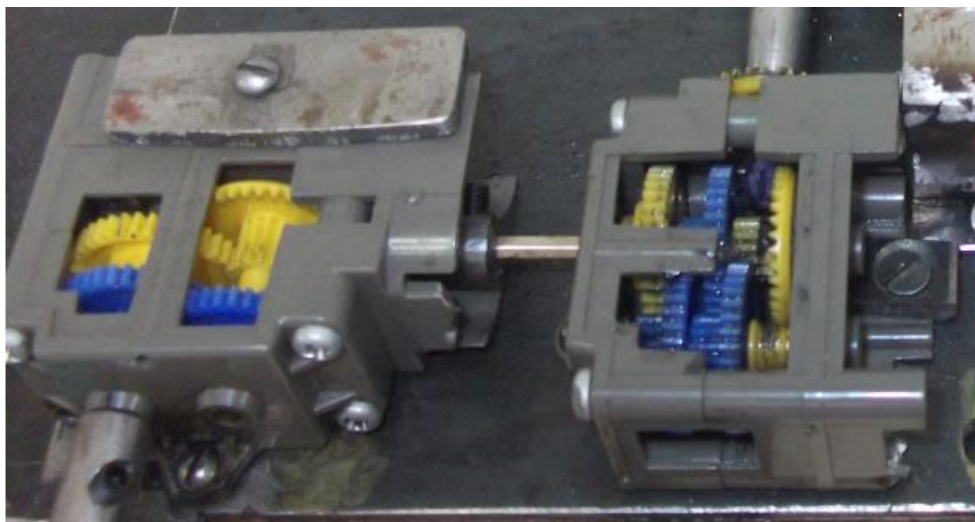


Figura 39. Cajas de reducción

4.1.2.5 *Acople para funcionamiento con 2 motores.*

Se presenta en la siguiente imagen el acople realizado con 2 engranes provenientes del juego de engranajes adquiridos en la electrónica y un eje maquinado a la medida.

Por un extremo ingresa el engrane del motor 1 y en la parte del engrane de color amarillo ingresa el motor 2.



Figura 40. Acople de funcionamiento para los dos motores

4.1.2.6 *Etapa de reducción motor de bajas velocidades.*

Bajo el mismo concepto de aumento de potencia que tienen las cajas reductoras, el tornillo sin fin-corona aporta en potencia. Además ayuda a la transmisión de movimiento entre ejes que se encuentran perpendiculares.

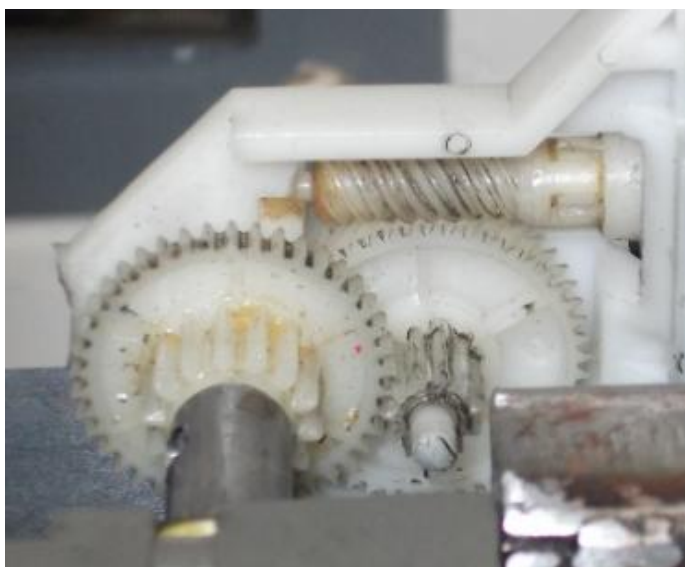


Figura 41. Etapa de reducción motor de bajas velocidades

4.1.2.7 *Eje de salida de caja de reducción.*

Este eje es el encargado de transmitir el movimiento desde la caja de reducción hacia los piñones por lo que es importante su correcto maquinado para evitar cabeceos o movimientos que se puedan transmitir a la probeta y a su vez afectar en la calidad del ensayo.



Figura 42. Eje de salida de caja de reducción

4.1.2.8 *Montaje de soportes entre la placa superior y la base del equipo.*

Estos soportes son los que básicamente dan la distancia de recorrido de las probetas, por lo cual se realizó un análisis previo de necesidades de posibles recorridos para en base a eso maquinar la longitud de los soportes.



Figura 43. Soportes de Dip Coater

4.1.2.9 *Montaje final del equipo.*

En la figura 44 se muestra el equipo final llamado *Dip Coater*.



Figura 44. Montaje total del equipo Dip Coater

4.2 IMPLEMENTACIÓN DE LOS COMPONENTES ELÉCTRICOS Y/O ELECTRÓNICOS

4.2.1 Pantalla LCD 16 x 2.

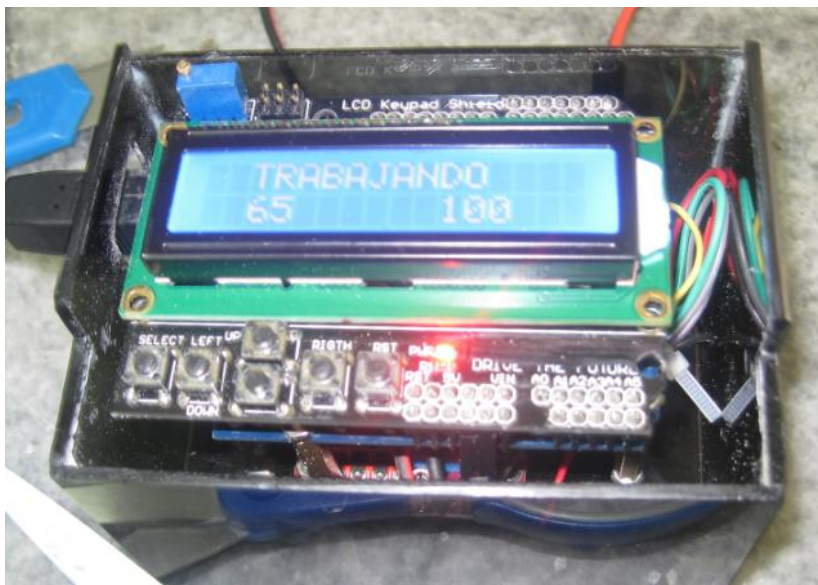


Figura 45. Pantalla LCD 16 x 2

4.2.2 Conexión de señal del shield hacia el motor.

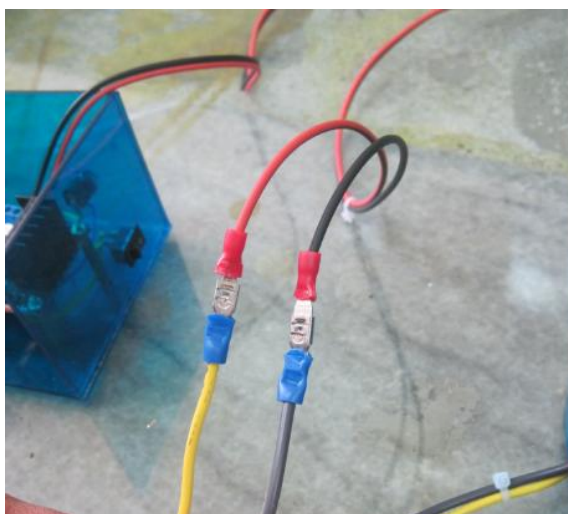


Figura 46. Conexión de señal del shield hacia el motor

4.2.3 Conexión shield de motores.

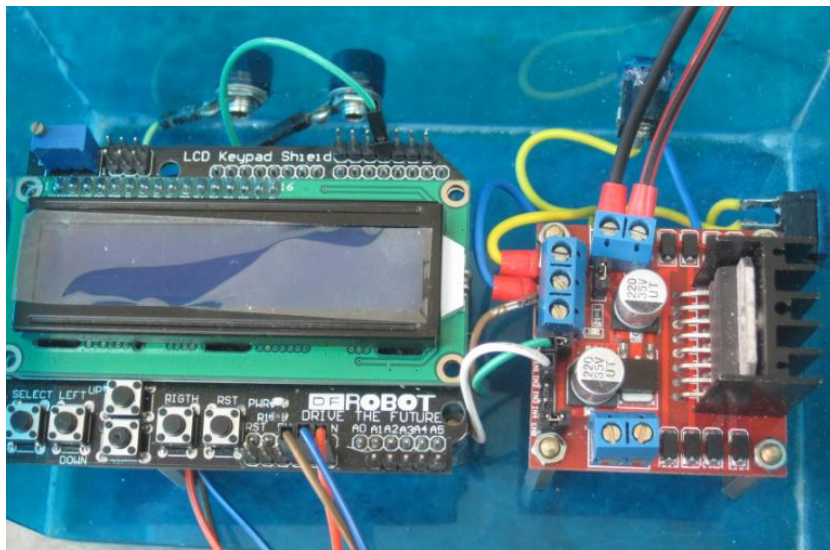


Figura 47. Conexión shield de motores

4.2.4 Alimentación de caja de control.



Figura 48. Alimentación de caja de control

4.2.5 Encendido/apagado de todo el sistema de control.



Figura 49. Encendido/Apagado de todo el sistema de control

4.3 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

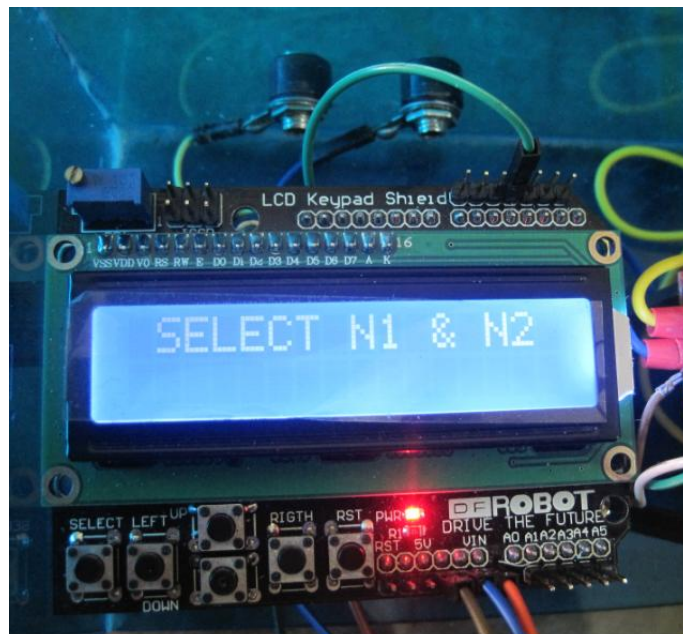


Figura 50. Implementación del sistema de control

4.3.1 Conexión de señal de salida PWM hacia shield de motor.

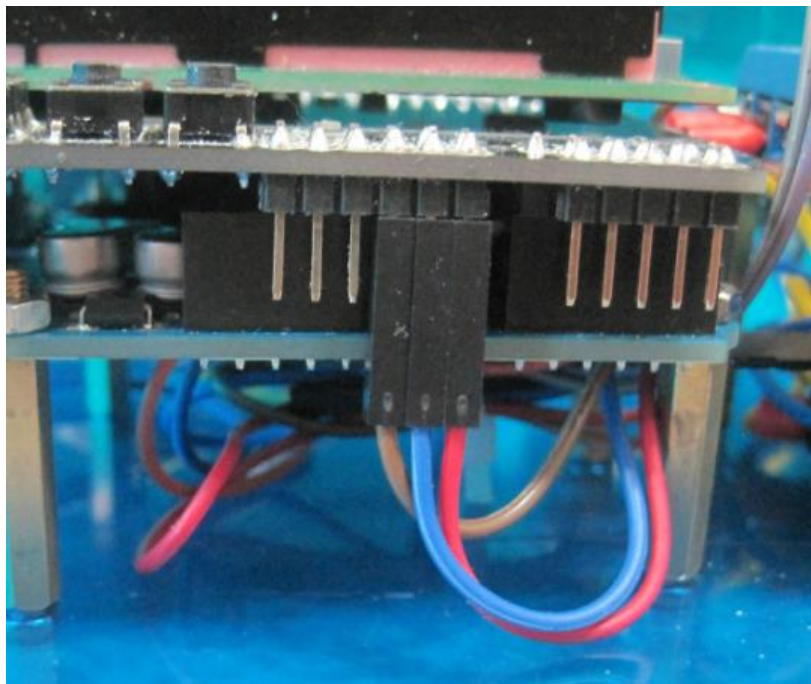


Figura 51. Conexión de señal de salida PWM hacia shield de motor

4.3.2 Pulsadores de control de configuración de parámetros.



Figura 52. Pulsadores de control de configuración de parámetros

4.3.3 Alimentación Arduino.

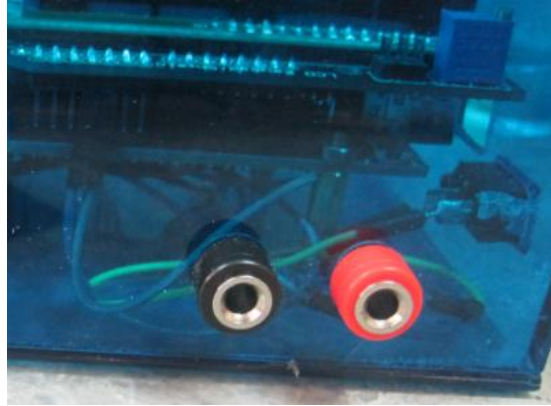


Figura 53. Alimentación Arduino

4.4 PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

4.4.1 Acceso para programación de placa de control Arduino Uno.

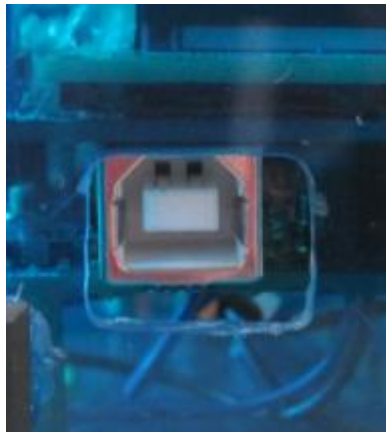


Figura 54. Acceso para programación de Arduino UNO

Para la programación del control de los motores tanto del *Spin Coater* como del *Dip Coater* se utilizará el software libre de Arduino, ya que este es amigable con el programador y además no tiene ningún costo de uso.

4.4.1.1 *Spin Coater.*

De manera general el proceso se desarrolla de la forma detallada en el siguiente gráfico:



Figura 55. Proceso Spin Coater

Detalladamente se realiza el ingreso de cada una de las velocidades. La velocidad 1 está relacionada con la velocidad inicial a la que gira el disco y la velocidad 2 con la segunda etapa de giro a altas velocidades.

Los tiempos están relacionados con los mismos números de sus respectivas velocidades.

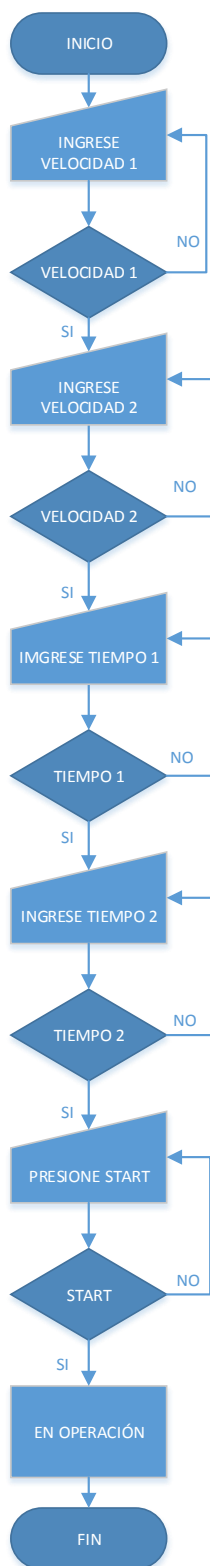


Figura 56. Configuración de tiempos y velocidades por ingreso de teclado para Spin Coater

Para la etapa mientras transcurre la operación, se tiene la posibilidad de un STOP a manera de emergencia, para lo cual se detalla la forma de funcionamiento.

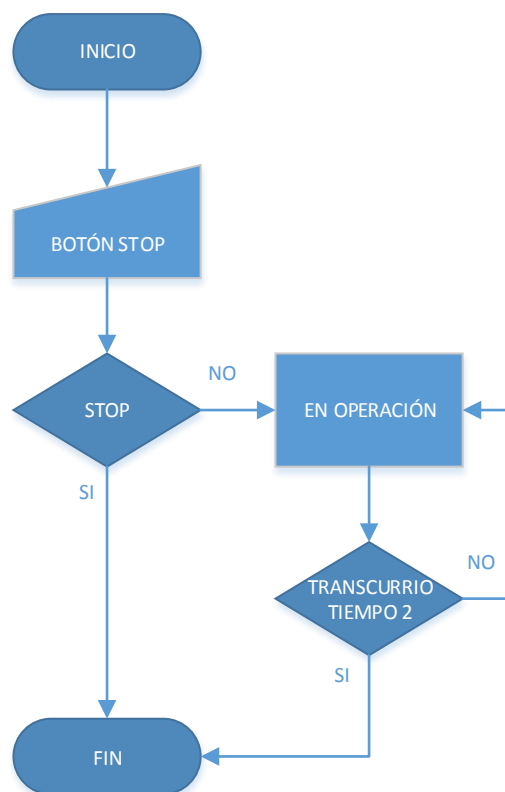


Figura 57. Funcionamiento de botón Stop para Spin Coater

4.4.1.2 *Dip Coater.*

El principio de funcionamiento del *dip coater* es semejante al del *spin coater* con referencia al ingreso de velocidades. La variante se da en la parte de ingreso de tiempos ya que solo se ingresará un tiempo de subida de la probeta aproximado al que debería tardar en llegar a la parte superior.

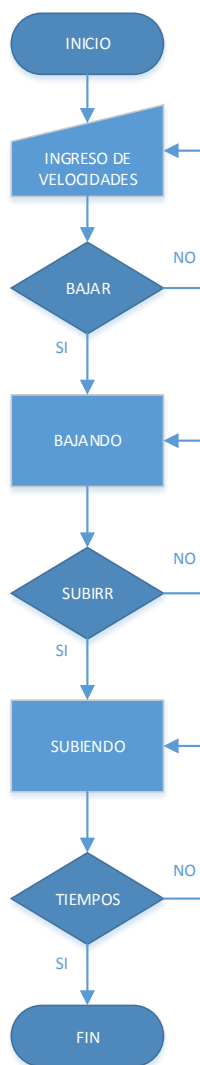


Figura 58. Proceso Dip Coater

La forma de operación al subir respecto al bajar, es diferente. Las dos operaciones se inician cuando se han establecido los parámetros de las velocidades, la diferencia es que la bajada se la realiza mientras se mantenga presionado un botón ya que los tamaños de las probetas, la longitud del cable que las soporta e incluso el nivel del disolvente utilizado varían así que no se puede tener un tiempo exacto.

La operación de subida se da pulsando un botón de subida y está si se realiza con un tiempo ya fijado sin opción a modificarlo con ingreso por teclado. Para esta operación se tiene un STOP para un paro de emergencia. Se detalla a continuación:

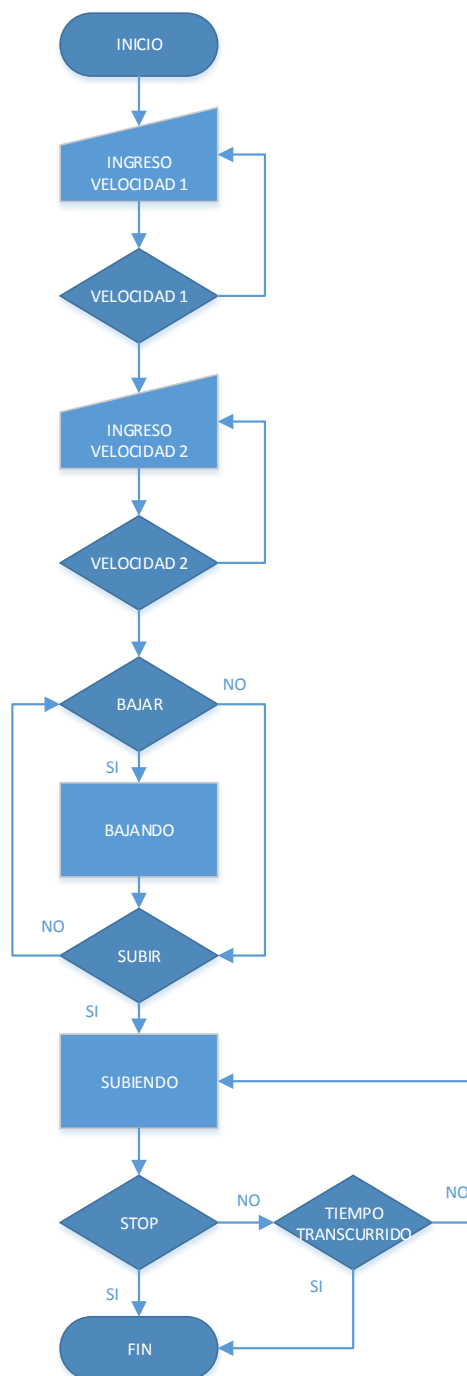


Figura 59. Configuración de funcionamiento de Dip Coater

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1 PROTOCOLO DE PRUEBAS

El protocolo a seguir para validación de funcionamiento de los equipos es el siguiente:

1. Verificación mediante puerto serial del funcionamiento del teclado utilizado para la configuración de velocidades y tiempos.
2. Verificación del funcionamiento de la salida de señal PWM.
3. Verificación de respuesta del shield del motor.
4. Toma de velocidades obtenidas.

5.2 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO

5.2.1 Spin Coater.

Una vez que se realizaron los 3 primeros pasos anteriormente citados, se procede a la toma y documentación de datos.

La forma de tomar los datos del *Spin Coater* está dada velocidad de giro en RPM, estas son muy altas así que se registra el dato de velocidad en función de los bits enviados directamente con un tacómetro digital que trabaja mediante un haz de luz.



Figura 60. Tacómetro digital

FUENTE: (TMS Web Shop)

Tabla 5

Velocidad de Spin Coater según variación de Bits

BITS	MEDIDAS CON 2 MARCAS					RPM
	N1	N2	N3	N4	N5	
35	710	782	685	690	711	357,8
38	1030	959	964	958	940	485,1
39	1049	1030	1050	1030	1030	518,9
40	1215	1180	1160	1180	1170	590,5
45	1680	1720	1710	1710	1723	854,3
46	1950	1890	1860	1860	1820	938
47	2010	2009	2000	2040	1990	1004,9
48	2255	2180	2120	2110	2080	1074,5
50	2270	2350	2310	2290	2270	1149
52	2632	2610	2530	2530	2490	1279,2
55	3135	3110	3114	3120	3170	1564,9
60	3880	3820	3790	3760	3690	1894

5.2.2 Dip Coater.

Para el *Dip Coater* fue necesario utilizar 2 motores para alcanzar el rango de funcionamiento deseado. A continuación se muestran las dos tablas de prueba de baja velocidad y de alta velocidad respectivamente para cada motor.

El *Dip Coater* se define con velocidades lineales, las mismas que son muy bajas y no es necesario ningún instrumento especial, comprobando así las velocidades de operación entre un punto fijo en la riel de la cremallera y uno móvil ubicado en la cremallera.

Tabla 6

Voltaje de salida a motor de bajas velocidades de Dip Coater según variación de Bits.

MOTOR 24V	
BITS	VOLTAJE SALIDA
255	22,4
225	19,8
200	17,7
175	15,6
150	13,4
125	11,2
100	8,9
75	6,7
50	4,4
25	2,1

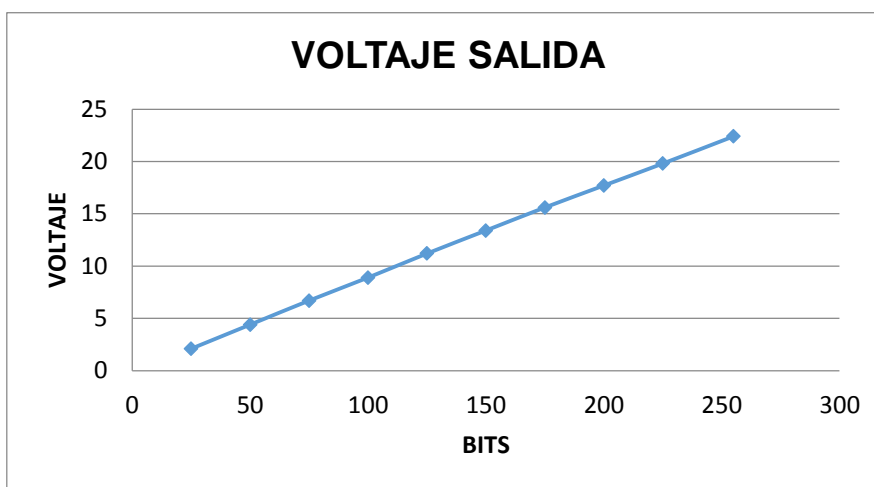


Figura 61. Variación de voltaje en función de bits

La gráfica muestra el incremento lineal del voltaje mientras se va variando los BITS de control. Lo que hace un control PWM es regular el ancho de pulso que se traduce como voltaje que alimenta al motor, como la resistencia que es la carga, en este caso el motor, sigue siendo la misma el incremento deberá ser lineal.

Tabla 7

Voltaje de salida a motor de altas velocidades de Dip Coater según variación de Bits

MOTOR 3V		
BITS	VOLTAJE SALIDA	
50	2,9	MÁXIMO
45	2,8	
40	2,6	
35	2,4	
30	2,2	
25	2	
20	1,9	
15	1,8	
12	1,4	
10	1	MÍNIMO

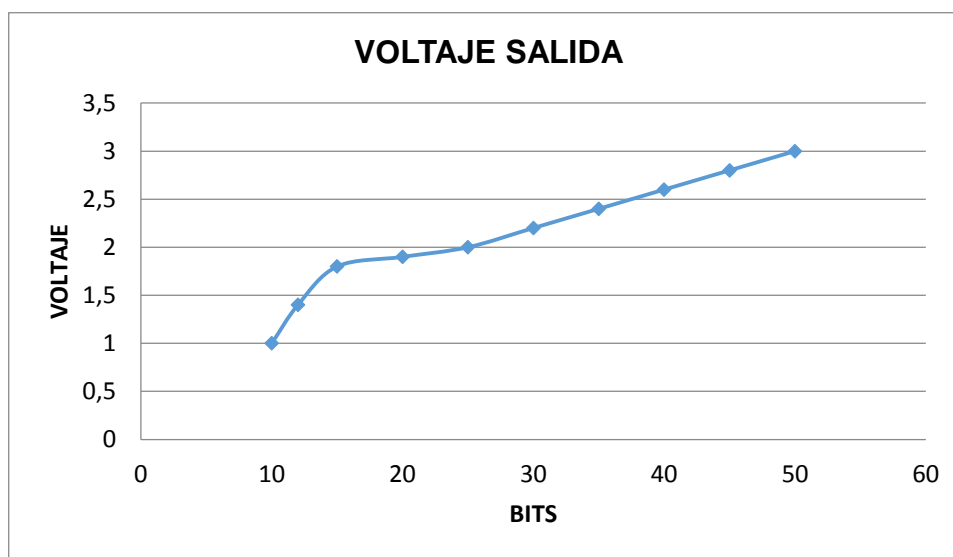


Figura 62. Incremento de voltaje según variación de BITS

En la gráfica se observa un comportamiento no lineal al inicio, esto se debe a que el motor se encuentra operando a muy bajo voltaje y se vuelve difícil de controlar en este rango o incluso podría suceder que no rompa la inercia, además que el shield que se encarga del control también tiene su voltaje mínimo para trabajar de 2.3V por lo que a tan bajo número de bits podría tener un funcionamiento incorrecto.

Tabla 8

Rango de operación según combinación de piñón y voltaje de alimentación al motor para altas velocidades

VOLTAJE	VELOCIDAD [cm/min]			
	SUBIDA		BAJADA	
	GRANDE	PEQUEÑA	GRANDE	PEQUEÑA
3	31,08	4,91	30,76	4,83
1.5	11,26	1,71	11,53	1,68

Tabla 9

Rango de operación según combinación de piñón y voltaje de alimentación al motor para bajas velocidades

VELOCIDAD [cm/min]				
VOLTAJE	SUBIDA		BAJADA	
	GRANDE	PEQUEÑA	GRANDE	PEQUEÑA
24	0.83	0.114	0.82	0.12
3	0.018	0.013	0.018	0.014

Los rangos de operación finales que se obtuvieron se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 10

Resumen rangos de trabajo de Spin Coater y Dip Coater

EQUIPO	RANGO DE TRABAJO	
	MINIMO	MÁXIMO
SPIN COATER	340 RPM	5000 RPM
DIP COATER	1,71 cm/ min	0,013 cm/ min

Se puede observar que los rangos de trabajo de los dos equipos cumplen con los requerimientos y que incluso tienen más amplitud de lo solicitado.

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO

6.1 MANO DE OBRA

La mano de obra está relacionada entre el personal operativo que trabajo en el maquinado de las piezas y las horas empleadas por los mismos, además del material necesario ocupado en estas.

Se considera una mano de obra alrededor de \$ 2.80 dólares por hora de trabajo en el taller.

Tabla 11

Costo de materiales, mano de obra y horas de funcionamiento de máquinas.

EQUIPO	COSTO MANO DE OBRA \$
Spin Coater	350
Dip Coater	320

6.2 MATERIALES DIRECTOS

Como se explicó previamente en varias ocasiones, uno de los principales objetivos de la construcción de los equipos es reducir costos frente a equipos comerciales y el uso de materiales reciclados en su mayoría.

A continuación se describe el costo de los materiales empleados en los equipos.

Tabla 12

Costo materiales empleados en SPIN COATER.

DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO \$	CANTIDAD	COSTO TOTAL \$
Cables Banana-Lagarto	0,5	2	1,00
Conectores Banana	0,20	2	0,40
Conectores Plug Jack	0,75	1	0,75
Switch ON/OFF	0,29	2	0,58
Shield LCD 16x2 Arduino Uno	11,30	1	11,30
Arduino UNO	32,50	1	32,50
Módulo Arduino Puente H	12,00	1	12,00
Tacómetro Digital	32,00	1	32,00
Fuente 5V/ 12V	24,99	1	24,99
Cables Arduino	3,20	1	3,20
Rodamiento	4,20	1	4,20
Cable flexible # 22	0,23	2	0,46
Cable flexible # 16	0,55	5	2,75
Postes 20mm	0,36	4	1,44
Postes 25mm	0,44	4	1,76
TOTAL			129,33

Tabla 13

Costo de materiales empleados en DIP COATER

DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO \$	CANTIDAD	COSTO TOTAL \$
Juego Piñón-Cremallera	8,66	1	8,66
Double Gear Box Kit	15,36	1	15,36
Cables Banana-Lagarto	0,50	2	1,00
Conectores Banana	0,20	2	0,40
Conectores Plug Jack	0,75	2	1,50
Switch ON/OFF	0,29	2	0,58
Shield LCD 16x2 Arduino Uno	11,30	1	11,30
Arduino UNO	32,50	1	32,50
Módulo Arduino Puente H	12,00	1	12,00
Fuente 5V/ 12V	24,99	1	24,99
Fuente 24 V	20,00	1	20,00
Cables Arduino	3,20	1	3,20
Cable flexible # 22	0,23	2	0,46
Cable flexible # 16	0,55	5	2,75
Postes 20mm	0,36	4	1,44
Postes 25mm	0,44	4	1,76
TOTAL			137,90

6.3 COSTOS TOTALES

Después de analizadas las partes que intervienen en la fabricación y ensamble de cada uno de los equipos se obtiene un costo total de los equipos, el cual se resume en la siguiente tabla.

Tabla 14
Costos totales por equipo y del proyecto

EQUIPO	COSTO TOTAL \$
Spin Coater	479,33
Dip Coater	457,90
TOTAL	937,23

Al analizar las tablas anteriores, existen varios componentes que no son tomados en cuenta debido a que estos fueron de procedencia de reciclaje.

Es evidente que no siempre se contará con los mismos materiales de reciclaje disponibles, por lo que a continuación se detalla el costo estimado que se emplearía si no se utilizan los elementos reciclados y si estos se reemplazan por unos existentes en el mercado con características similares valderas para el funcionamiento correcto, dando como resultado las mismas especificaciones de operación de los equipos.

Tabla 15

Costos estimados con materiales NO RECICLADOS para SPIN COATER

DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO \$	CANTIDAD	COSTO TOTAL \$
Cables Banana-Lagarto	0,50	2	1,00
Conectores Banana	0,20	2	0,40
Conectores Plug Jack	0,75	1	0,75
Switch ON/OFF	0,29	2	0,58
Shield LCD 16x2 Arduino Uno	11,30	1	11,30
Arduino UNO	32,50	1	32,50
Módulo Arduino Puente H	12,00	1	12,00
Tacómetro Digital	32,00	1	32,00
Fuente 5V/ 12V	24,99	1	24,99
Cables Arduino	3,20	1	3,20
Rodamiento	4,20	1	4,20
Cable flexible # 22	0,23	2	0,46
Cable flexible # 16	0,55	5	2,75
Postes 20mm	0,36	4	1,44
Postes 25mm	0,44	4	1,76
Caja de CD´s	2,00	1	2,00
Motor 5000 RPM	24,90	1	24,90
TOTAL			156,23

Tabla 16

Costos estimados con materiales NO RECICLADOS para DIP COATER

DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO \$	CANTIDAD	COSTO TOTAL \$
Juego Piñón-Cremallera	8,66	1	8,66
Double Gear Box Kit	15,36	1	15,36
Cables Banana-Lagarto	0,50	2	1,00
Conectores Banana	0,20	2	0,40
Conectores Plug Jack	0,75	2	1,50
Switch ON/OFF	0,29	2	0,58
Shield LCD 16x2 Arduino Uno	11,30	1	11,30
Arduino UNO	32,50	1	32,50
Módulo Arduino Puente H	12,00	1	12,00
Fuente 5V/ 12V	24,99	1	24,99
Fuente 24 V	20,00	1	20,00
Cables Arduino	3,20	1	3,20
Cable flexible # 22	0,23	2	0,46
Cable flexible # 16	0,55	5	2,75
Postes 20mm	0,36	4	1,44
Postes 25mm	0,44	4	1,76
Motor 200 RPM	11,52	1	11,52
TOTAL			149,42

Las tablas de costo estimados tienen señalados los elementos que se añadirían y el costo de los mismos.

Comparando el valor inicial en el caso del *Spin Coater*, la diferencia incrementada sería de \$ 26,90 dólares. Para el caso del Dip Coater la diferencia es de \$11,52 dólares. Se puede observar que ninguno de los dos valores es extremadamente alto lo cual no repercutiría en un incremento exagerado de los equipos.

CAPÍTULO VII

ANÁLISIS FRENTE A EQUIPOS COMERCIALES

En el mercado ecuatoriano son escasos los equipos para realizar probetas de nanomateriales por lo cual es necesario importar los mismos. Adicional a esto cada equipo tiene un costo alrededor desde los \$1500 dólares y se incrementa aún más con el valor de importación.


Z551562 ALDRICH

Chemat precision spin-coater

AC input 115 V

[MSDS](#)
[SIMILAR PRODUCTS](#)

POPULAR DOCUMENTS: [BULLETIN \(PDF\)](#)



[Purchase](#)
[Safety & Documentation](#)
[Peer-Reviewed Papers](#) 0
[Related Products](#) 3

Properties		Price and Availability					
Related Categories	Chemat, Labware, Manufacturer Browser, Materials Science Labware, Spin Coaters More...	SKU-Pack Size	Availability				
description	2-stage	Z551562-1EA	✓ Estimated to ship on 09.03.15 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Price (USD)</th> <th>Quantity</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5,370.50</td> <td><input type="text"/></td> </tr> </tbody> </table>	Price (USD)	Quantity	5,370.50	<input type="text"/>
Price (USD)	Quantity						
5,370.50	<input type="text"/>						
feature	speed 1,000 - 8,000 rpm 3-60 seconds (Stage 2) speed 500 - 2,500 rpm 2-18 seconds (Stage 1)	Did you use this product in your Paper? If so click here. Set your institution to view full text papers.					
stability	< 1%						

Figura 63. Spin Coater comercial

Fuente: (SIGMA-ALDRICH)

Desktop Dip Coater with variable Speed (1-200 mm/min) - PTL-MM01



Sale Price: **USD \$1,998.00**
 If you are international, please click this.

In stock

Item Number: PTL-MM01
 Transported by LTL Freight (Truck)

Quantity: **BUY**

[Email this page to a friend](#)

[Click to enlarge](#)

PTL-MM01 is a **CE certified** Desktop Dip Coater designed for R&D Lab to prepare various optical or epitaxial films from liquid solution.

SPECIFICATIONS:


Dipping/Pulling 	<ul style="list-style-type: none"> Dipping/Pulling Speed: 1-200 mm/minute adjustable via digital panel Travel Distance: 0-200mm adjustable via digital panel
Voltage	AC 110V/220V

Figura 64. Dip Coater comercial

FUENTE: (MTI CORPORATION, 1994)

Se tomaron como comparación estos dos equipos citados en las figuras 63 y 64 debido a que son los más parecidos en el mercado al referirse a voltaje de alimentación y rangos de funcionamiento.

En un capítulo previo, donde se documentó las pruebas de funcionamiento, se especificó los rangos de operación que cubrían los equipos del presente proyecto, los cuales fueron establecidos basados en las necesidades del mercado.

Realizando una comparación con los equipos citados, se observa que tanto el *Spin Coater* como el *Dip Coater* realizados en este proyecto alcanzan estos parámetros comerciales, e incluso en el caso del *Dip Coater*, el equipo no comercial ofrece un parámetro más bajo en cuanto al desplazamiento mínimo se refiere.

Otro punto muy importante es el software libre utilizado para la programación del controlador de velocidades y tiempos (software de Arduino), el cual es accesible a cualquier usuario y amigable con los mismos, dando así la facilidad de modificación directa en la placa de control, Arduino UNO, de acuerdo a necesidades de cada operario.

Además de todo lo antes mencionado, refiriéndose únicamente a los costos empleados para la construcción de los equipos se puede concluir que frente a otros equipos comerciales con características similares de operación son mucho más económicos los realizados en este proyecto, incluso si se utiliza el costo total con el reemplazo de los materiales reciclados que se utilizaron para este.

Bajo los puntos mencionados también se debe recalcar que se cumplió con dos objetivos que a pesar que no eran parte del proyecto, si se deseaba dar un enfoque de ahorro y reutilización de materiales en la medida posible en el ensamble de los equipos. Utilizando así, incluso una caja de CDs como parte importante del *Spin Coater*.

CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- Los dos equipos construidos, , cumplen con los rangos propuestos de operación, para el *Spin Coater* de 340 RPM a 5000 RPM, y para el *Dip Coater* de 1.17cm/min a 0.013 cm/min, basados tanto en la necesidad del usuario correspondiente al momento del planteamiento del proyecto e incluso a los rangos a los que trabajan equipos comerciales.
- El uso de materiales reciclados para la construcción de los equipos, permitió cumplir con el objetivo de disminuir costos y así conseguir que los equipos representen una opción de ensamblaje de los mismos dentro de la universidad para efectos didácticos
- Debido a la poca inversión de costos que es casi a la mitad frente a equipos comerciales y además del cumplimiento de rangos de operación, se puede concluir que los equipos diseñados y construidos en el presente proyecto alcanzan a ser competencia ante los otros equipos, dando lugar a la posibilidad de ensamblar un *Spin Coater* o un *Dip Coater* en nuestro país, y más aún dentro de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.
- Las dimensiones de los equipos planteadas como requerimiento del usuario, dificultaron el acople de piezas en especial en el *Dip Coater* para el uso de dos motores hacia un mismo eje, añadiendo así un problema más de precisión y manipulación de las piezas, que al final se pudo resolver dejando de lado un poco la teoría que sugiere el uso de un

matrimonio mecánico y ocupando un poco más la práctica y disponibilidad de elementos.

- El uso de *Open Source* da un aporte en el aspecto económico y principalmente en la facilidad de modificar la programación de control de los equipos. Pudiendo ser modificada para posteriores necesidades de manejo u operación.
- La carrera de Ingeniería Mecatrónica tiene un amplio abanico de posibilidades de aplicación, los cuales no necesariamente son en maquinaria pesada o en proyectos industriales grandes, lo cual fue demostrado al emplear los conocimientos necesarios y adecuados para un correcto diseño, ensamble y puesta en funcionamiento de los equipos del presente proyecto.

7.2 RECOMENDACIONES

- El medio ambiente en el que se utilizan los equipos pueden influir tanto en la calidad de los ensayos realizados como en el correcto funcionamiento de los equipos. Es por esto que se debe primero analizar y asegurar un lugar óptimo donde se va a instalar los equipos evitando así también continuos traslados y movimientos de los mismos.
- Al ser los primeros equipos para ensayos de nanomateriales realizados en la Universidad se tuvieron varios diseños previos y maquinado de piezas incorrectas antes del modelo planteado como final. Al tener claro cual es el modelo básico correcto para el ensamble de los equipos, se podría enfocar un nuevo proyecto en la mejora de estos modelos para

así darles mayor estética, confiabilidad y precisión, ubicándolos más aun como competencia para los equipos comerciales importados.

- Debido al uso de piezas tan pequeñas se recomienda un análisis enfocado en la Ingeniería de precisión que mantiene su desarrollo por el mecanizado CNC y que tiene como principio el maquinado de piezas pequeñas con gran precisión ya que suelen tener su aplicación en prótesis, instrumentos de medición, industria aeroespacial, óptica, etc.
- Es muy importante seguir exactamente los manuales de usuario anexados para así evitar daños de los elementos y daños electrónicos, dando un alargue de vida útil de los equipos e incluso reflejándose esto en la calidad de las probetas obtenidas.
- El tipo de proyectos como el presente, que presentan el desafío de ensamblar equipos similares a los del mercado pero de una manera más económica y sencilla, sin dejar de lado el óptimo funcionamiento de los mismos, ayudan a incentivar a más estudiantes en el aspecto de que si es posible en un principio copiar los modelos ya existentes y en base a eso mejorarlos y adaptarlos a nuestros requerimientos de mercado.

BIBLIOGRAFÍA

- Datasheets 360.* (2000). Retrieved Febrero 2014, from <http://www.datasheets360.com/pdf/8368969094402121916>
- FUERZA Y C.* (2009). Retrieved Marzo 2014, from <http://www.fuerzaycontrol.com/entrenamiento/fuerza/medios-de-entrenamiento/maquinas-de-polea-i-mecanismo-basico/>
- Amazon.* (n.d.). Retrieved Agosto 2015, from http://www.amazon.com/WEN-2307-Variable-100-Piece-Accessories/dp/B00A8DXKXS/ref=sr_1_6?ie=UTF8&qid=1439936871&sr=8-6&keywords=rotomatic
- Apexicindia.* (n.d.). *Apexicindia.* Retrieved Mayo 2015, from <http://www.apexicindia.com/en/technologies/dip-coating-technology>
- ARDUINO.* (n.d.). Retrieved Febrero 2014, from <https://www.arduino.cc/en/pmwiki.php?n=Main/ArduinoBoardUno>
- ARDUINO.* (n.d.). Retrieved from <http://playground.arduino.cc/ArduinoNotebookTraduccion/Appendix3>
- Bianchi, R. F., & Panssiera, M. F. (2006, Septiembre). Progress in Organic Coating. *Science Direct*, 33 - 36.
- bligoo.* (n.d.). Retrieved from http://tecno8vo.bligoo.cl/content/view/847765/Cremallera-Pinon.html#.VdFmAPI_Oko
- Chemat Tecnology. (2001, Diciembre). *CERAMIC INDUSTRY.* Retrieved Agosto 2014, from <http://www.ceramicindustry.com/articles/83256-advances-in-sol-gel-technology>
- Cost Effective Equipment. (2012). Spin Coater Theory.
- Daniel. (2011). *SNe Research.* Retrieved from http://www.sneresearch.com/eng/info/show.php?c_id=4970&pg=5&s_sort=&sub_cat=&s_type=&s_word=

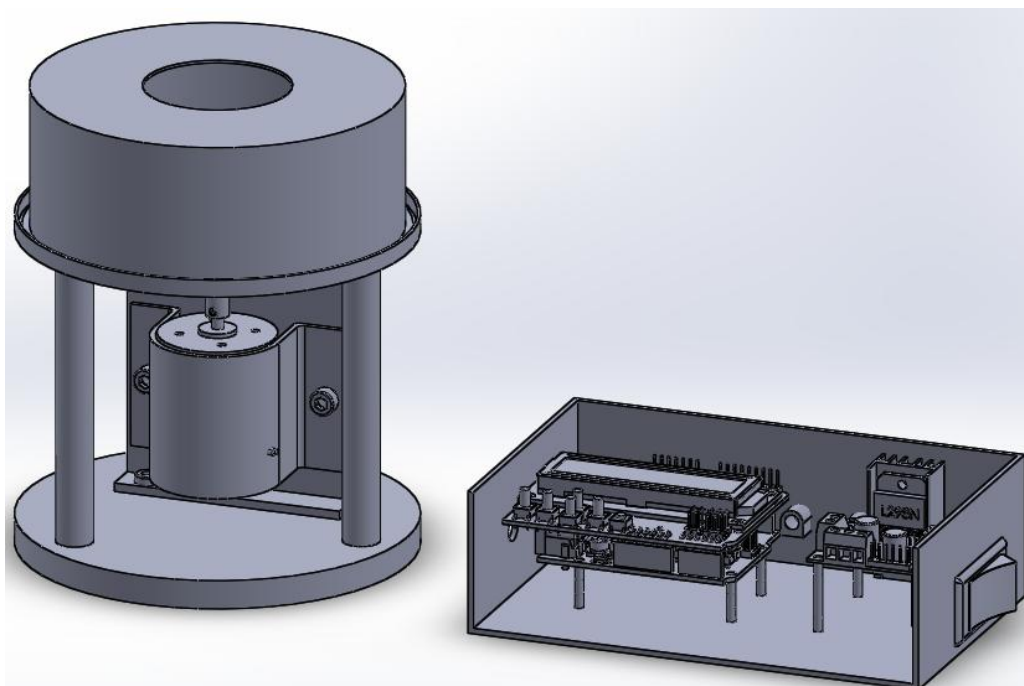
- Daniel. (2011, Septiembre). *SNe Research*. Retrieved Agosto 2014, from http://www.sneresearch.com/eng/info/show.php?c_id=4970&pg=5&s_sort=&sub_cat=&s_type=&s_word=
- David Leal, L. G. (2011). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA ELABORACIÓN DE PELÍCULAS DELGADAS, POR EL MÉTODO DE INMERSIÓN*. Venezuela: Universidad Central de Venezuela.
- Fardousi, M., Hossain, M., Islam, M., & Ruslan, S. R. (2013). Cost-Effective Home-Made Spin Coater for Depositing Thin Films. *Journal of Modern Science and Technology*.
- Kay, L., & Shapira, P. (2008). Developing nanotechnology in Latin America. Springer Science+Business Media B.V. 2008.
- Kong, E. S. (2015). *Nanomaterials, Polymers and Devices: Materials Functionalization and Device*. New Jersey: Wiley.
- Ladeiro, D. A. (2011). *SÍNTESIS DE MEMBRANAS POLIMÉRICAS CON SPIN COATER*. Zarazoga: Universidad de Zarazoga.
- LUURTSEMA, G. A. (1997). *SPIN COATING FOR RECTANGULAR SUBSTRATES*. Berkeley: Universidad de California.
- MTI CORPORATION. (1994). *MTI CORPORATION*. Retrieved Julio 30, 2015, from <http://www.mtixtl.com/DesktopDipCoaterwithvariableSpeed1-200mm/min-PTL-MM01.aspx>
- NSK Motion & Control. (2014). *NSK Motion & Control*. Retrieved Febrero 2014, from http://www.jp.nsk.com/app02/NSKOnlineCatalog/en/bearing/result.jsp#/Prod_Type1=DGBB&yobi=696&yobiMatch=0&dmin=&dmax=&odmin=&odmax=&widthMin=&widthMax=&Prod_Type2=ESM_MD
- OSSILA. (n.d.). *Ossila*. Retrieved Agosto 8, 2014, from <http://www.ossila.com/pages/spin-coating>
- Pearce, J. (2014). *Open-Source Lab*. Oxford: Elsevier.

- Roberto J. Candal, J. R. (n.d.). *MATERIALES PARA FOTOCATÁLISIS Y*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.
- SIGMA-ALDRICH. (n.d.). *SIGMA-ALDRICH*. Retrieved Julio 30, 2015, from <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/z551589?lang=en®ion=EC>
- TAMIYA USA. (n.d.). Retrieved Agosto 2015, from <http://www.tamiyausa.com/items/geniuseries-educational-kits-50/educational-construction-38000/double-gearbox-89918>
- TED PELLA. (n.d.). *TED PELLA*. Retrieved Febrero 2014, from http://www.tedpella.com/vacuum_html/Substrates_Supports_Wafers_Slides.htm#52
- TMS Web Shop. (n.d.). Retrieved Julio 2015, from http://www.tmswebshop.co.uk/buy/tachometer_dt-2234c+.jpg
- TMSWEBSHOP. (n.d.). *TMSWEBSHOP*. Retrieved Julio 2015, from http://www.tmswebshop.co.uk/buy/tachometer_dt-2234c+.jpg
- Tracton, A. A. (2006). *COATING TECHNOLOGY HANDBOOK*. Boca Ratón: Taylor & Francis Group.
- UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS. (2015). *CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA*. Retrieved from <http://mecatronica.espe.edu.ec/perfil-profesional/>

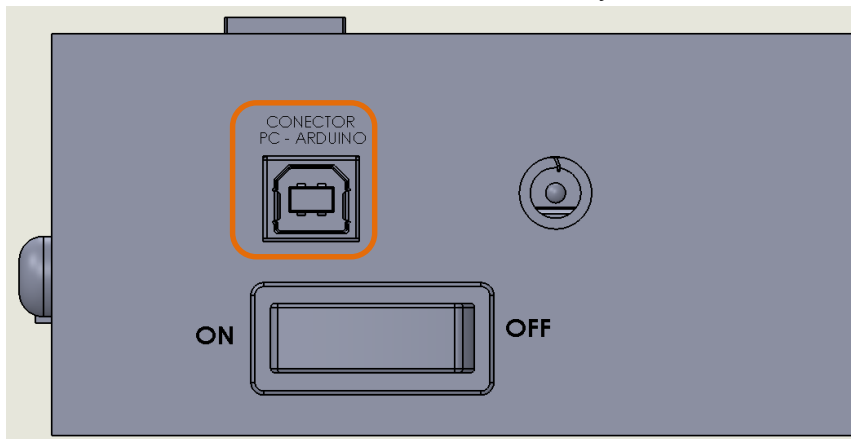
ANEXOS

ANEXO 1: MANUAL DE FUNCIONAMIENTO

SPIN COATER

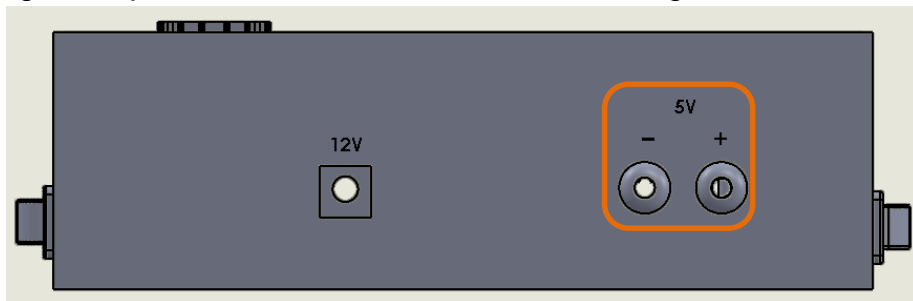


1. Verificar que toda la caja de control se encuentre completamente desenergizada.
2. Conectar el cable de comunicación entre la PC y el Arduino UNO.

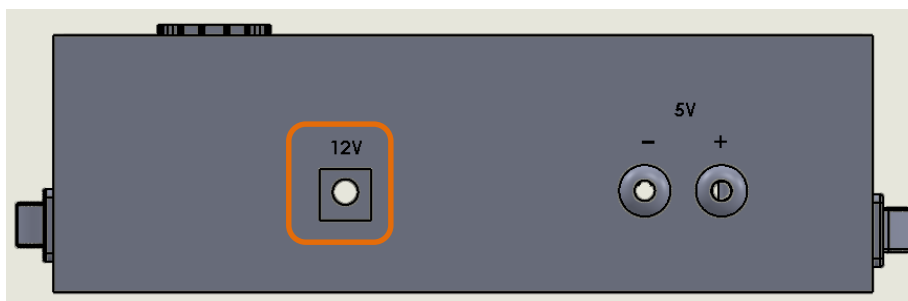




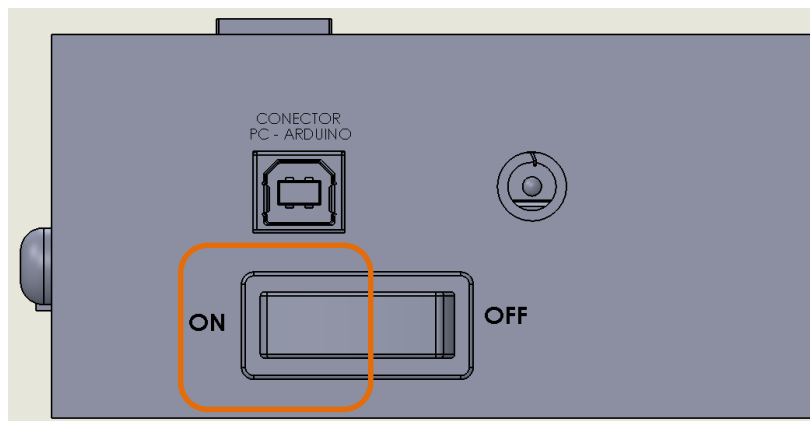
3. Cargar el programa de control de SPIN COATER.
4. Desconectar el cable de comunicación entre la PC y Arduino UNO.
5. Energizar la paca de control Arduino UNO de la siguiente manera:



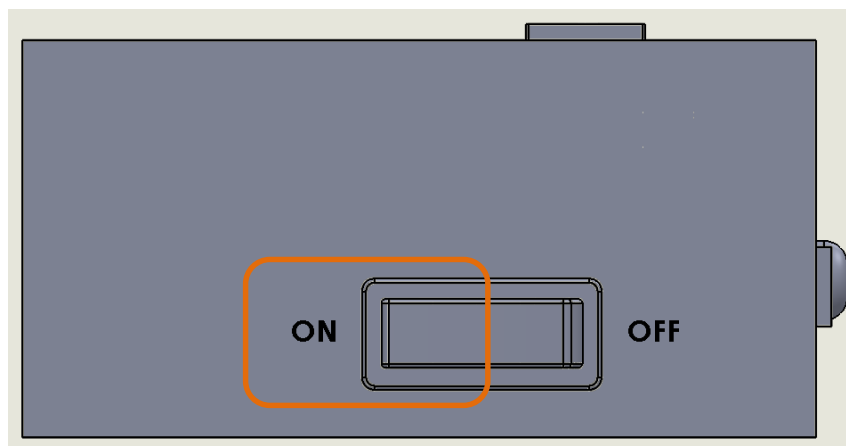
- 5.1. El cable de color rojo conectar en el terminal indicado con el signo positivo (+).
 - 5.2. El cable de color negro conectar en el terminal identificado con el signo negativo (-).
6. Energizar el shield de control del motor conectando el plug del cable asignado a la fuente de 12V. en el conector correspondiente identificado.



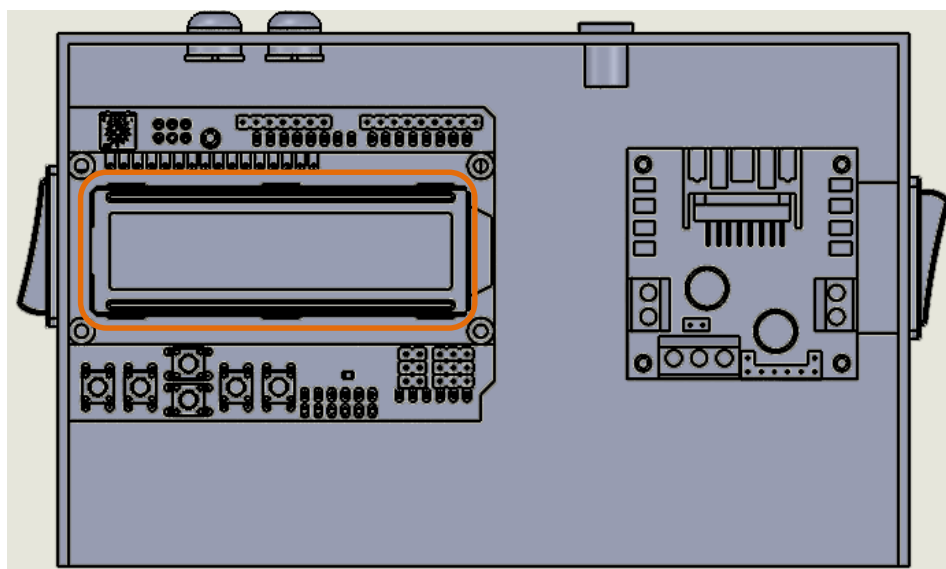
7. Encender el Arduino UNO con el switch en ON.



8. Energizamos el shield de control del motor con el switch en posición ON.

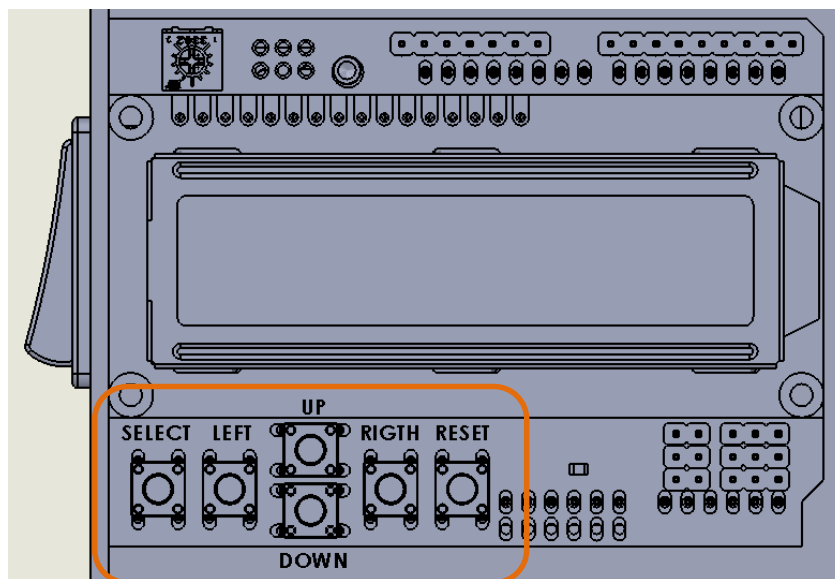


9. Configurar los parámetros de funcionamiento según las indicaciones que se presentan en el LCD.



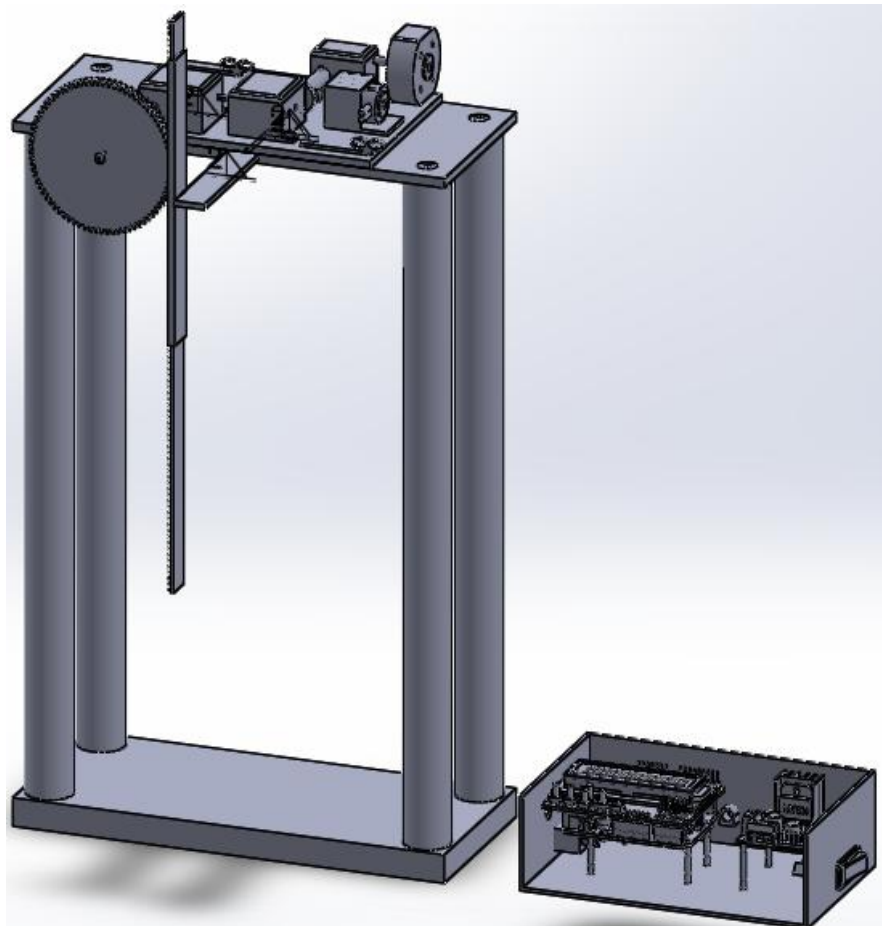
Los parámetros a ser configurados son:

- N1: Velocidad inicial.
- N2: Velocidad de ensayo.
- T1: Tiempo que dura la velocidad inicial.
- T2: Tiempo que dura la velocidad de ensayo.

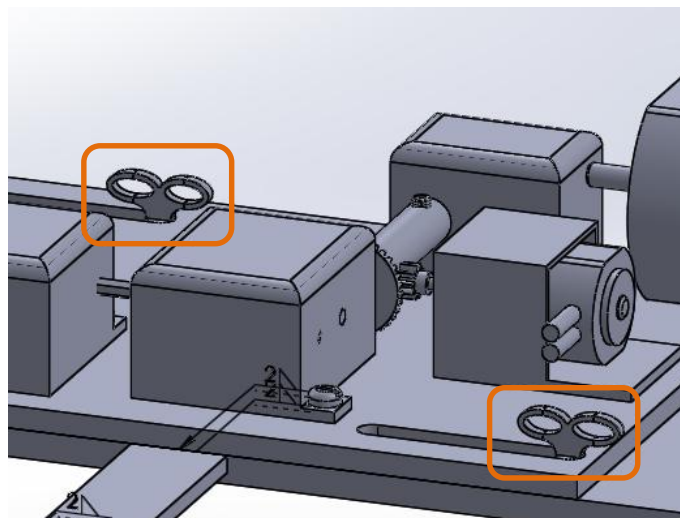


- 9.1. Presione el botón LEFT para configurar N1.
 - 9.2. Presione el botón UP si desea subir la velocidad de bajada, o el botón DOWN si desea disminuir la velocidad de bajada.
 - 9.3. Presiones el botón RIGTH para configurar N2.
 - 9.4. Presione el botón UP si desea subir la velocidad de subida, o el botón DOWN si desea disminuir la velocidad de subida.
 - 9.5. Presione el botón SELECT para confirmar la configuración de velocidades.
 - 9.6. Presiones el botón LEFT para configurar T1.
 - 9.7. Presione el botón UP si desea subir el tiempo, o el botón DOWN si desea disminuir el tiempo.
 - 9.8. Presiones el botón RIGTH para configurar T2.
 - 9.9. Presione el botón UP si desea subir el tiempo, o el botón DOWN si desea disminuir el tiempo.
 - 9.10. Presione el botón SELECT para confirmar la configuración de tiempos e iniciar inmediatamente con el ensayo.
10. Cuando el ensayo termine usted puede volver a configurar los parámetros de trabajo o volver a presionar el botón SELECT para iniciar un nuevo ensayo.
 11. Al terminar la práctica Desenergizar completamente la caja de control.

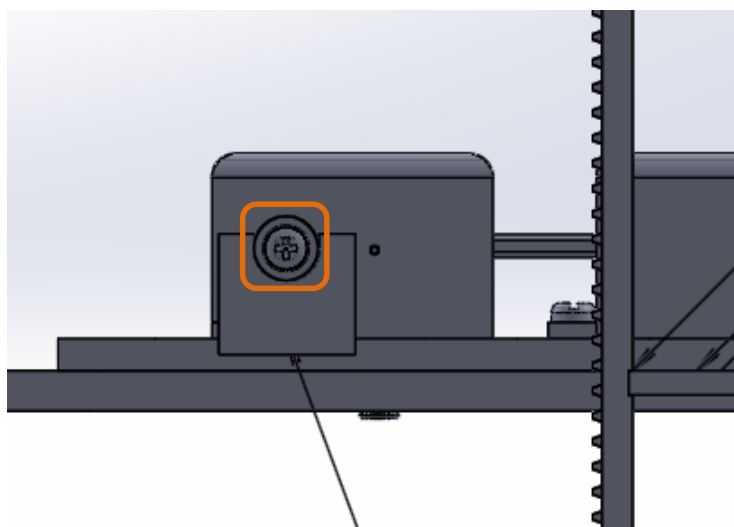
DIP COATER



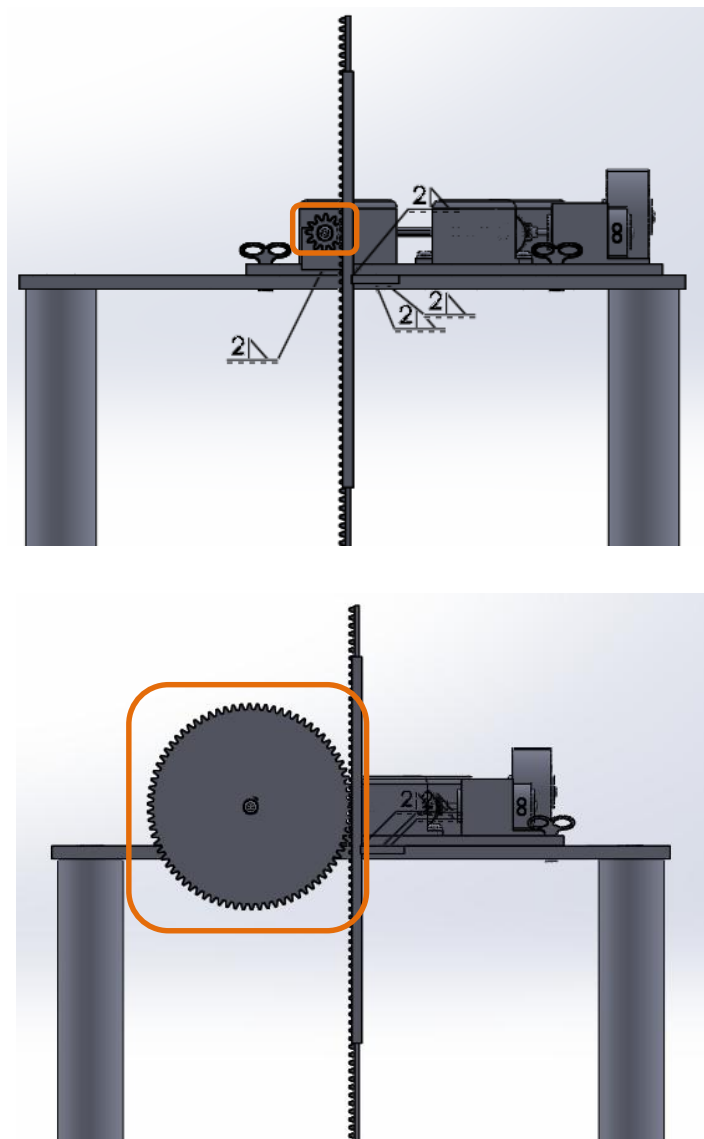
1. Seleccionar el piñón necesario.
2. Aflojar las mariposas para poder ubicar la base en la posición adecuada al engrane.



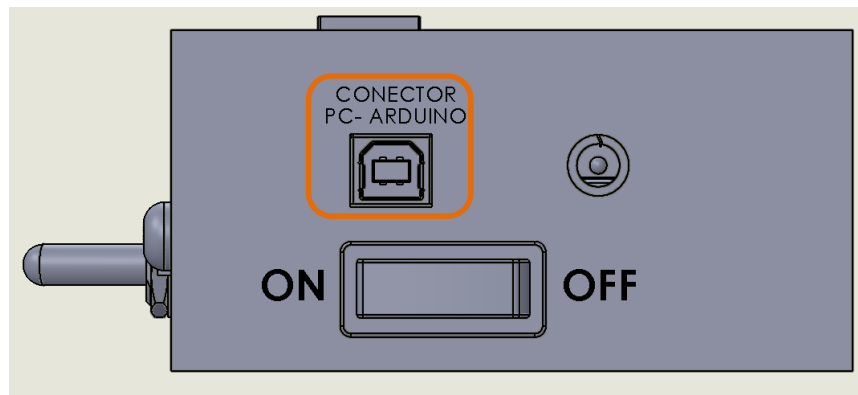
3. Aflojar el tornillo que ajusta el piñón al eje.



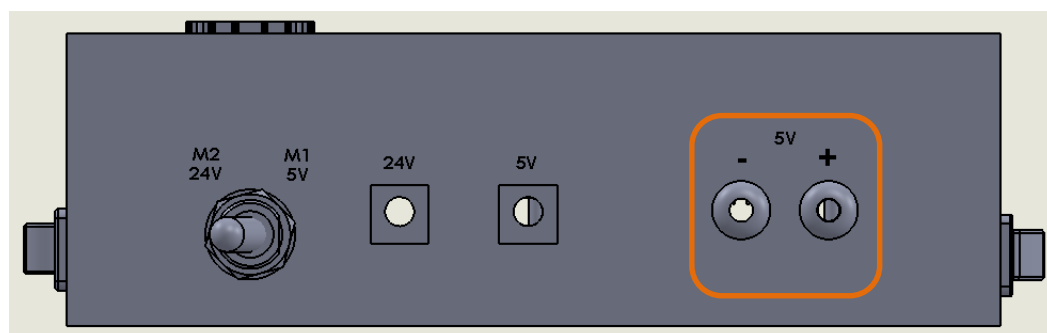
4. Colocar el piñón a ser utilizado según necesidades del usuario.



5. Ajustar mariposas en posición requerida.
6. Verificar que la caja de control se encuentre completamente desenergizada. Todos los switches posicionados en OFF.
7. Conectar el cable de comunicación entre la PC y Arduino UNO.



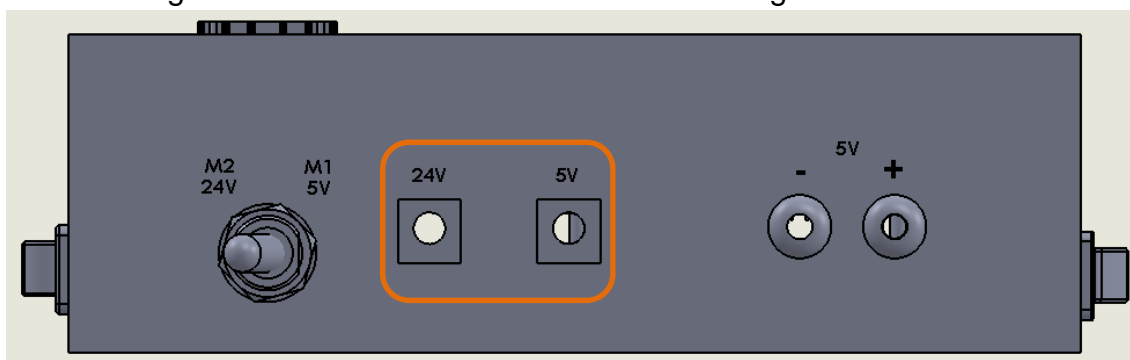
8. Cargar el programa de control de DIP COATER.
9. Desconectar el cable de comunicación entre la PC y Arduino UNO.
10. Energizar la placa de control Arduino UNO de la siguiente manera:



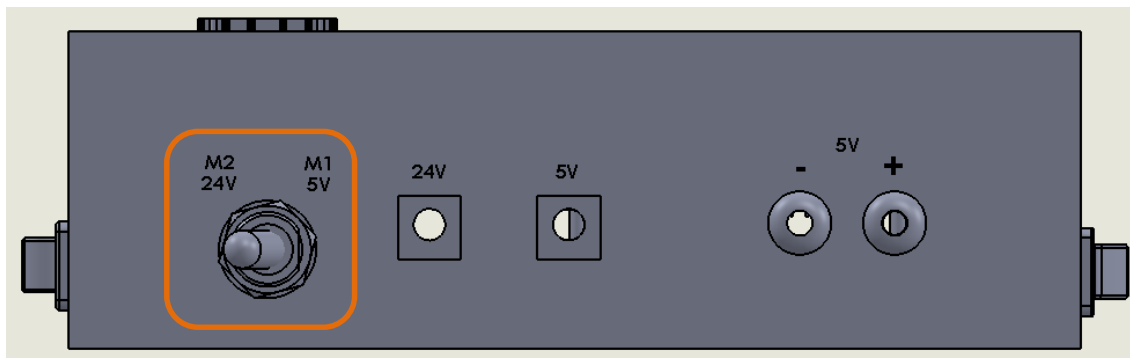


- 10.1. El cable de color rojo conectar en el terminal indicado con el signo positivo (+).
- 10.2. El cable de color negro conectar en el terminal identificado con el signo negativo (-).

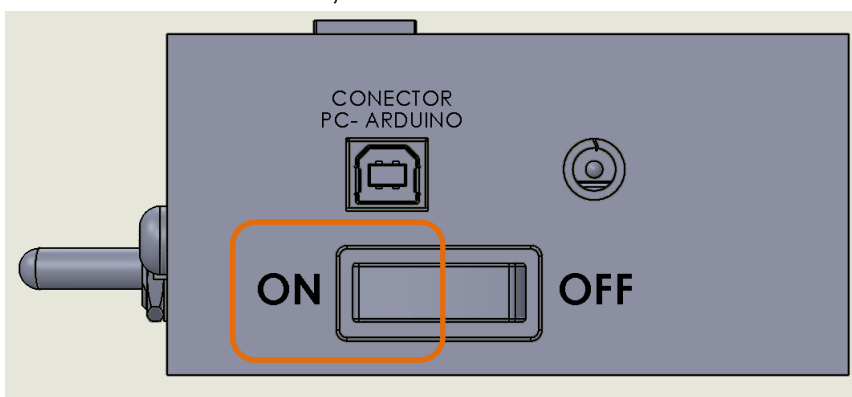
11. Energizar el Shield de control del motor de la siguiente manera:



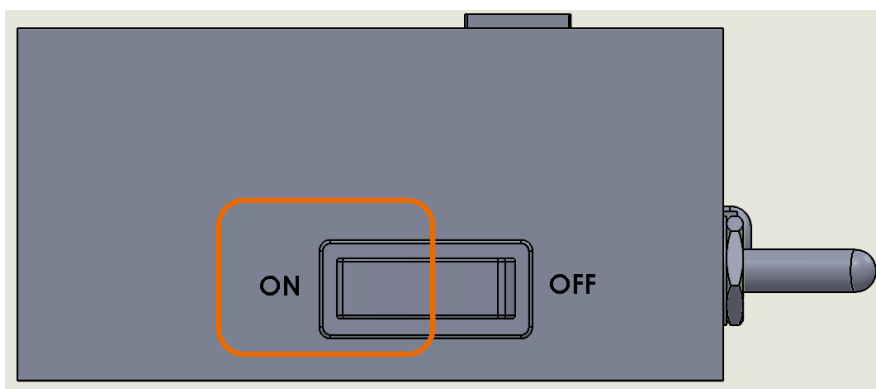
- 11.1. Conectar el plug del cable asignado a la fuente de 24V. en el conector correspondiente identificado.
 - 11.2. Conectar el plug del cable asignado a la fuente de 5V. en el conector correspondiente identificado.
12. Seleccionar el motor con el que se desea trabajar dependiendo las necesidades del usuario.



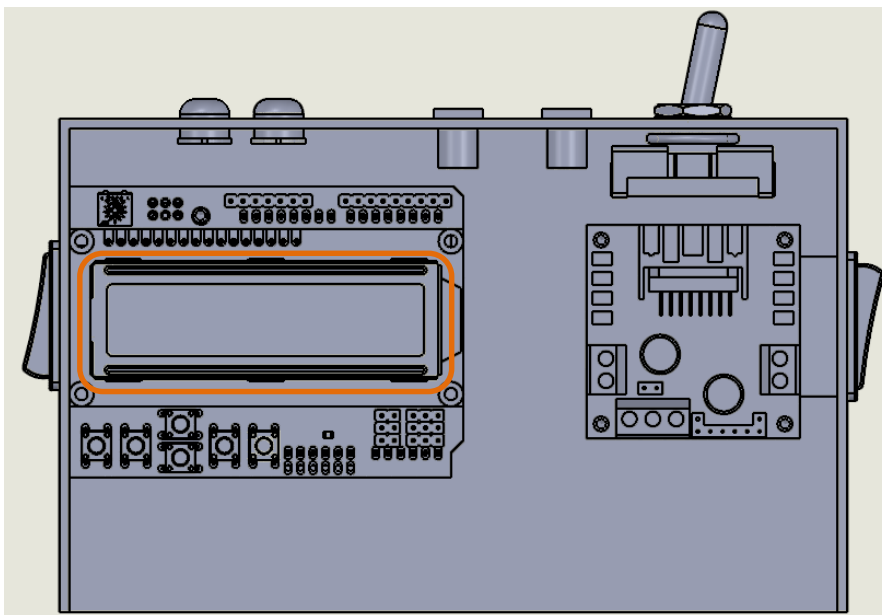
13. Encender el Arduino UNO, con el switch en ON.



14. Encender el shield de control de motores con el switch en ON.

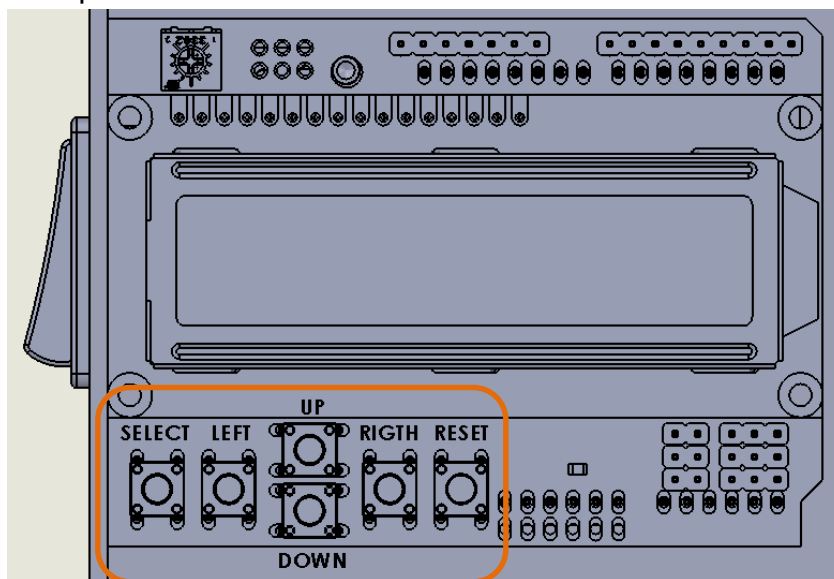


15. Configurar los parámetros de funcionamiento según las indicaciones que se presentan en el LCD.



Los parámetros a ser configurados son:

- N1: Asignación de velocidad de bajada.
- N2: Asignación de velocidad de subida.
- T1: Tiempo de subida.



- 11.1. Presione el botón LEFT para configurar N1.
- 11.2. Presione el botón UP si desea subir la velocidad de bajada, o el botón DOWN si desea disminuir la velocidad de bajada.
- 11.3. Presiones el botón RIGTH para configurar N2.

- 11.4. Presione el botón UP si desea subir la velocidad de subida, o el botón DOWN si desea disminuir la velocidad de subida.
 - 11.5. Presione el botón SELECT para confirmar su configuración de velocidades.
 - 11.6. Presione el botón LEFT para configurar T1.
 - 11.7. Presione el botón UP si desea subir el tiempo, o el botón DOWN si desea disminuir el tiempo.
 - 11.8. Presione el botón SELECT para confirmar su configuración de tiempo.
-
16. Mantenga presionado el botón DOWN para comenzar el ensayo y permitir que baje la probeta.
 17. Cuando la probeta haya sido sumergida completamente, presione el botón UP para empezar el ascenso automático de la probeta.
 18. Al finalizar el ensayo, presionar el botón RESET para empezar una nueva práctica con una nueva configuración de parámetros.
 19. Desenergizar toda la caja de control posicionando los switches en OFF.

ANEXO 2: MANUAL DE MANTENIMIENTO

Las máquinas en general siempre se encuentran propensas a fallos o daños permanentes debido al uso de las mismas.

Este manual es de prevención de fallos o daños debido a condiciones normales de trabajo.

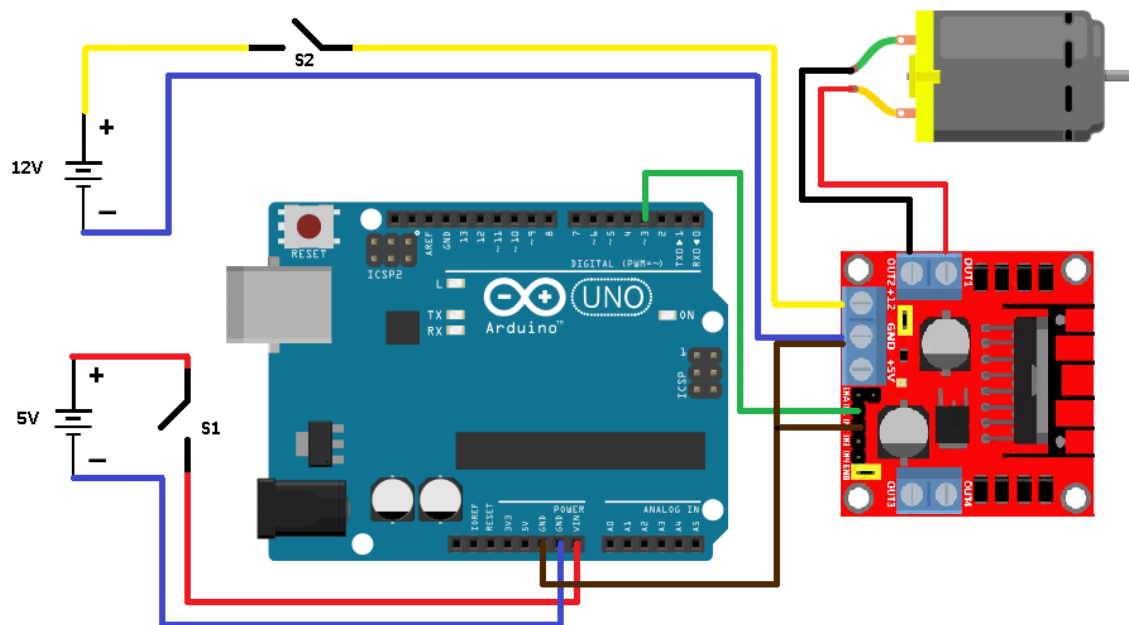
Es así que se definen los siguientes puntos y recomendaciones para mantener las condiciones óptimas de la máquina.

1. Utilizar una fuente certificada y previamente comprobada con respecto a entregas de voltaje.
2. Utilizar cables de calibre adecuado y bien soldados para evitar contacto con partes metálicas, con otros cables o incluso con el usuario, pudiendo ocasionar un corto circuito o un shock eléctrico a la persona.
3. Debido a la velocidad a la que se maneja el SPIN COATER es necesario revisar periódicamente (depende de la frecuencia de trabajo del equipo) las condiciones del rodamiento del eje motriz y del motor, para asegurar una fricción casi nula.
4. Lubricar periódicamente los engranajes utilizados en el DIP COATER, esto ayuda a evitar fricción y desgaste de los mismos.
5. Limpiar la base recolectora del SPIN COATER con un paño húmedo cada que se termine un ensayo, esto es para asegurar que el plástico no pueda dañarse por la exposición prolongada a los diferentes sustratos utilizados.
6. Dependiendo la frecuencia de trabajo del SPIN COATER es necesario retirar el plato giratorio y limpiarlo completamente para evitar mezclas que sean imperceptibles a la visibilidad humana o incluso evitar una posible corrosión del mismo.
7. Después del uso de los equipos asegurarse de cortar completamente la energía.
8. Trasladar los equipos con mucho cuidado ya que al ser estos utilizados para gran precisión cualquier movimiento brusco podría descentrar los ejes y al momento de utilizar producir fricción o incluso un atasco de las piezas.

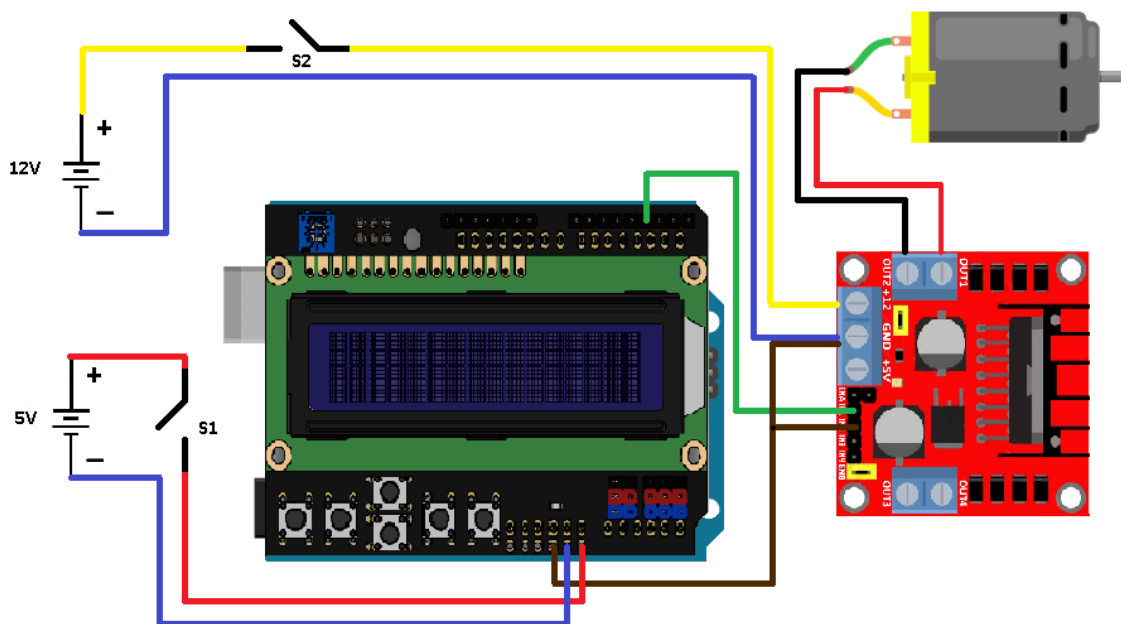
ANEXO 3: DIAGRAMA DE CONEXIÓN ELECTRÓICA

SPIN COATER

Conexión directa al Arduino UNO.



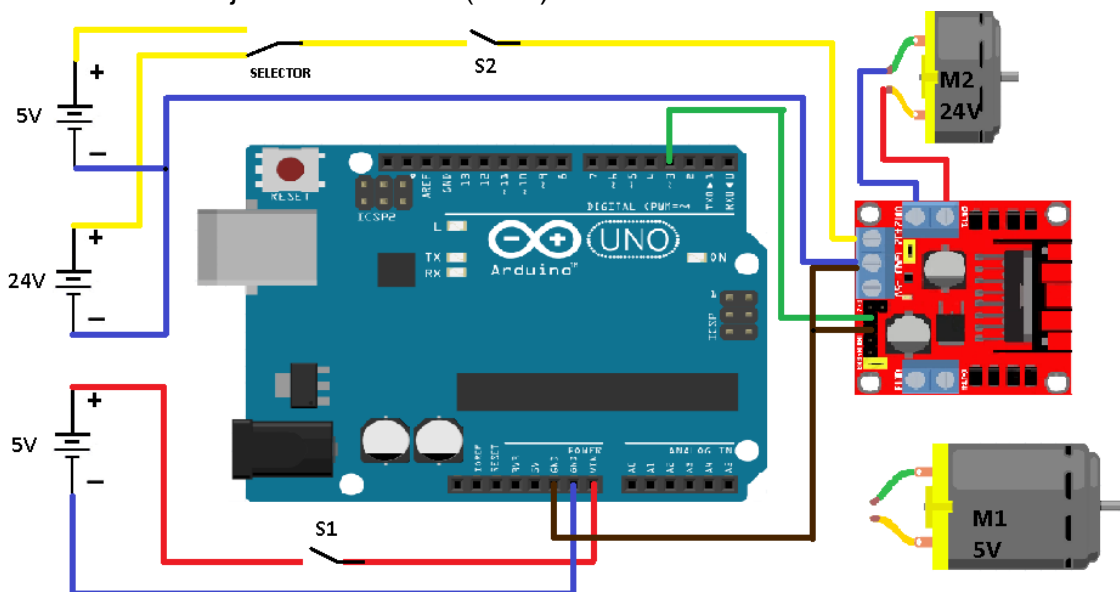
Conexión en el shield del LCD.



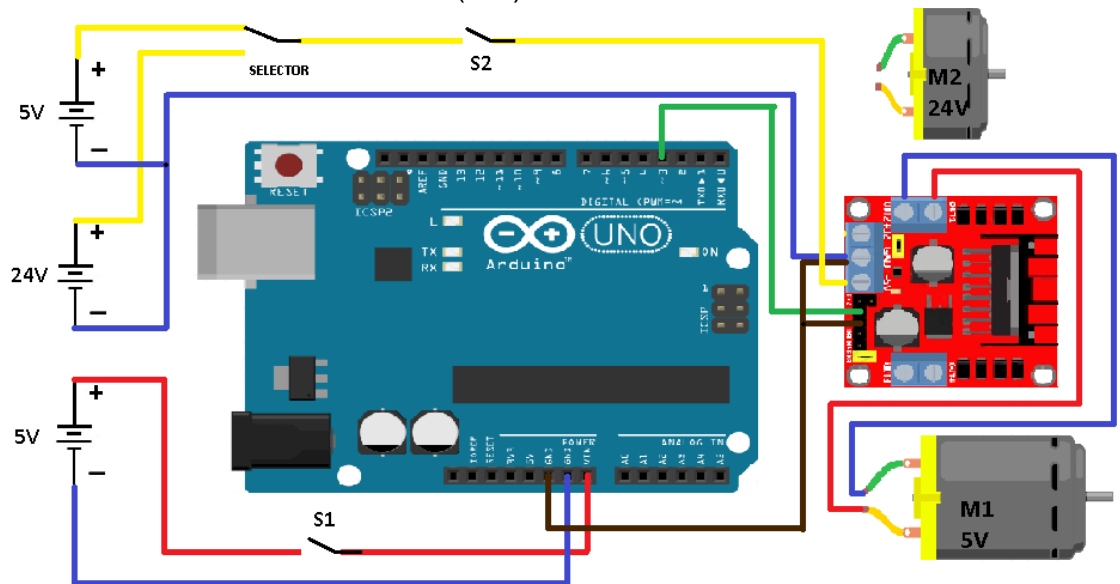
DIP COATER

Conexión directa a Arduino UNO.

- Motor Bajas Velocidades (24V.)

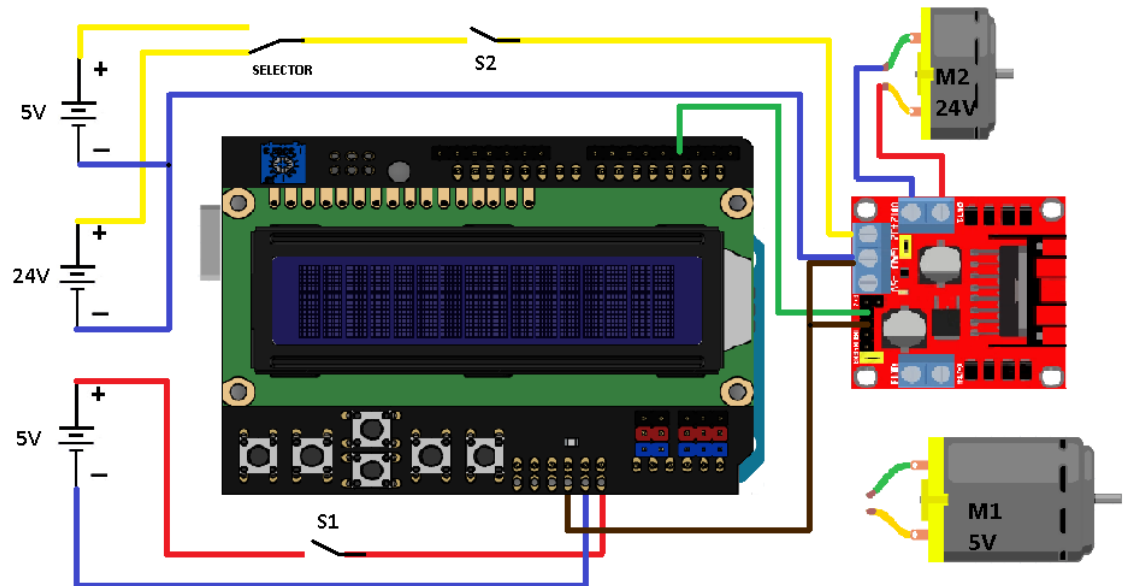


- Motor Altas Velocidades (5V.)

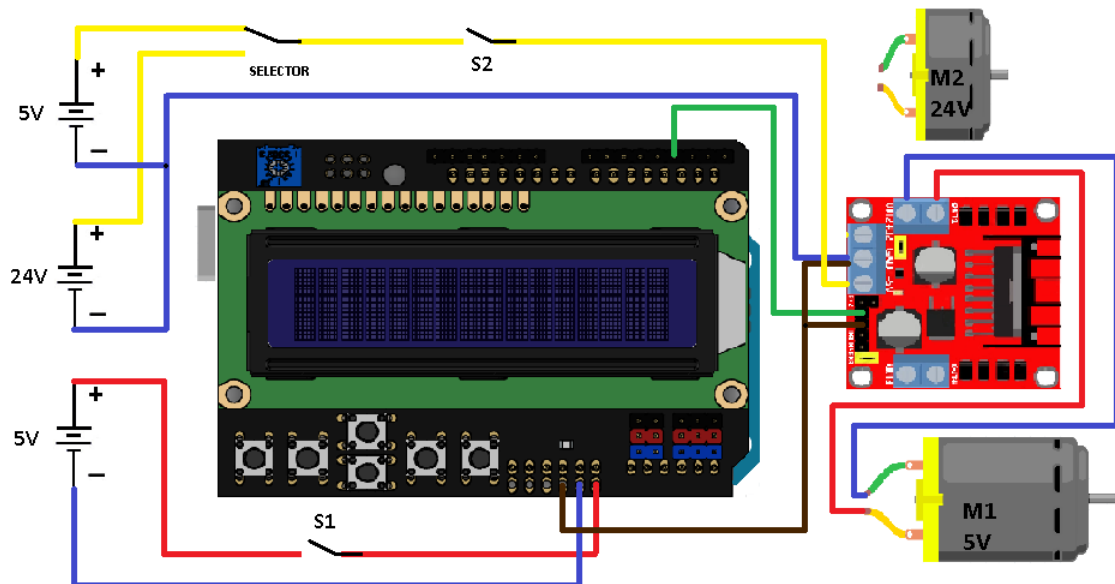


Conexión con el shield del LCD

- Motor Bajas Velocidades (24V.)



- Motor Altas Velocidades (5V.)



ANEXO 4: PROGRAMACIÓN ARDUINO UNO

SPIN COATER

```

#include <Wire.h>
#include<LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(8,9,4,5,6,7);

int analogPin2=3; //PWM motor
int analogPin=0; //KEYPAD LCD

int button=0;
int n1=36;
int t1=0;
int t11=0;
int n2=45;
int t2=0;
int t22=0;
int aux=0;
int aux1=0;
int aux2=0;

void setup(){
  pinMode(analogPin,INPUT);
  pinMode(analogPin2,OUTPUT);
  delay(500);
  lcd.begin(16,2);
  lcd.print("!!SPIN COATER!!");
  delay(1000);
  //Print some initial text to the LCD.
  lcd.setCursor(0,0); //top left
  lcd.print(" SELECT N1 & N2 ");
  lcd.setCursor(0,1); //bottom left
  lcd.print("N1 SELEC N2 RIGTH");
  delay(2000);
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("          ");
  //analogWrite(analogPin2,200);
  //delay(2000);
  //analogWrite(analogPin2,0);
}

void loop(){

```

```

delay(100);
button=analogRead(analogPin);

if (aux==1){
  if ((button>=120)&&(button<=145)){ //up
    n1=n1+1;
    lcd.setCursor(6,1);
    lcd.print(n1);
  }
  if ((button>=300)&&(button<=325)){ //down
    n1=n1-1;
    lcd.setCursor(6,1);
    lcd.print(n1);
  }
}

if (aux==2){
  if ((button>=120)&&(button<=145)){ //up
    n2=n2+5;
    lcd.setCursor(6,1);
    lcd.print(n2);
  }
  if ((button>=300)&&(button<=325)){ //down
    n2=n2-5;
    lcd.setCursor(6,1);
    lcd.print(n2);
  }
}

if(aux2==1){//left-start
  aux=0;
  aux1=0;
  aux2=0;
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print(" TRABAJANDO ");
  lcd.setCursor(2,1);
  lcd.print(t1);
  lcd.setCursor(10,1);
  lcd.print(t2);
  analogWrite(analogPin2,n1+40);
  delay(300);
  analogWrite(analogPin2,n1);
  delay(t11);
}

```

```

    analogWrite(analogPin2,n2);
    delay(t22);
    analogWrite(analogPin2,0);
    delay(500);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print(" FINALIZADO ");
    delay(2000);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print(" RESET - NUEVA ");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(" LEFT - TIEMPO ");
    delay(2000);
}

if ((button<5)&&(aux1==0)){ //n2
    aux=2;
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print(" VELOCIDAD n2 ");
    lcd.setCursor(6,1);
    lcd.print(n2);
}
if ((button>=710)&&(button<=750)&&(aux1==0)){ //n1
    aux=1;
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print(" VELOCIDAD n1 ");
    lcd.setCursor(6,1);
    lcd.print(n1);
}

// AUMENTO-----
if ((button>=475)&&(button<=500)){
    aux1=aux1+1;
    aux=0;

    lcd.clear();
    delay(100);
    if((aux1==1)&&(aux2==0)){
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print(" SELECT TIEMPO ");
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print("T1 SELEC T2 RIGTH");
    }
}

```



```

        delay(2000);
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print("      ");
    }
}
if ((button<5)&&(aux1==1)){ //t2
    aux=4;
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print(" TIEMPO t2 ");
    lcd.setCursor(6,1);
    lcd.print(t2);
}
if ((button>=710)&&(button<=750)&&(aux1==1)){ //t1
    aux=3;
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print(" TIEMPO t1 ");
    lcd.setCursor(6,1);
    lcd.print(t1);
}
    if (aux==3){
        if ((button>=120)&&(button<=145)){ //up
            t1=t1+1;
            t11=t1*1000;
            lcd.setCursor(6,1);
            lcd.print(t1);
        }
        if ((button>=300)&&(button<=325)){ //down
            t1=t1-1;
            t11=t1*1000;
            lcd.setCursor(6,1);
            lcd.print(t1);
        }
    }

}

    if (aux==4){
        if ((button>=120)&&(button<=145)){ //up
            t2=t2+1;
            t22=t2*1000;
            lcd.setCursor(6,1);
            lcd.print(t2);
        }
        if ((button>=300)&&(button<=325)){ //down
            t2=t2-1;
            t22=t2*1000;

```

```

        lcd.setCursor(6,1);
        lcd.print(t2);
    }
}

```

```

    if (aux1>=2){
        aux2=1;
    }
//AUMENTO-----
    delay(50);
}

```

DIP COATER

```

#include <Wire.h>
#include<LiquidCrystal.h>

```

```

LiquidCrystal lcd(8,9,4,5,6,7);

```

```

int analogPin2=11; //PWM motor
int analogPin3=3; //PWM motor
int analogPin=0; //KEYPAD LCD

```

```

int button=0;
int n1=0;
int n1pwm=0;
int n2=0;
int n2pwm=0;
int aux=0;
int aux1=0;
int aux2=0;

```

```

void setup(){
    pinMode(analogPin,INPUT);
    pinMode(analogPin2,OUTPUT);
    pinMode(analogPin3,OUTPUT);
    delay(500);

```

```

    lcd.begin(16,2);
    lcd.print("!!DIP COATER!!");

```

```

delay(1000);
//Print some initial text to the LCD.
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0); //top left
lcd.print(" SELECT N1 & N2 ");
lcd.setCursor(0,1); //bottom left
lcd.print("N1 SELEC N2 RIGTH");
delay(2000);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("          ");
}

void loop(){
  delay(100);
  button=analogRead(analogPin);
  analogWrite(analogPin2,0);
  analogWrite(analogPin3,0);
  delay(100);

  if ((button>=390)&&(button<=425)){ //left
    aux1=1;
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print(" PREPARADO ");
  }
  if ((button>=240)&&(button<=265)&&(aux1>=1)){ //down
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print(" BAJANDO!!!! ");
    lcd.setCursor(6,1);
    analogWrite(analogPin2,0);
    analogWrite(analogPin3,n1);
  }

  if ((button>=95)&&(button<=110)&&(aux1>=1)){ //up
    aux2=1;
    aux1=0;
  }
  if (aux2==1){
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print(" SUBIENDO!!! ");
    lcd.setCursor(6,1);
  }
}

```

```

    analogWrite(analogPin2,n2);
    analogWrite(analogPin3,0);
    delay (60000);
    analogWrite(analogPin2,0);
    analogWrite(analogPin3,0);
    delay(100);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print(" FINALIZADO ");
    delay(2000);
    aux2=0;
    aux1=0;
    aux=0;
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print(" RESET - NUEVA ");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(" LEFT - TIEMPO ");
    delay(1000);
}

//lcd.print(n2);

if ((button>=625)&&(button<=650)&&(aux1==0)){ //n1-select
    aux=1;
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print(" VELOCIDAD n1 ");
    lcd.setCursor(6,1);
    lcd.print(n1);
}

if ((button<5)&&(aux1==0)){ //n2-right
    aux=2;
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print(" VELOCIDAD n2 ");
    lcd.setCursor(6,1);
    lcd.print(n2);
}

if (aux==1){
    if ((button>=95)&&(button<=110)){ //up
        n1=n1+5;
        lcd.setCursor(6,1);
        lcd.print(n1);
    }
}

```

```
}  
if ((button>=245)&&(button<=260)){ //down  
    n1=n1-1;  
    lcd.setCursor(6,1);  
    lcd.print(n1);  
}  
}  
  
if (aux==2){  
    if ((button>=95)&&(button<=110)){ //up  
        n2=n2+5;  
        lcd.setCursor(6,1);  
        lcd.print(n2);  
    }  
    if ((button>=245)&&(button<=260)){ //down  
        n2=n2-5;  
        lcd.setCursor(6,1);  
        lcd.print(n2);  
    }  
}  
    delay(5);  
}
```

PLANOS