

**[Ago-Dic,  
2019]**



**Juan Carlos Delgado Flores**

**REPORTE FINAL PARA ACREDITAR  
RESIDENCIA PROFESIONAL DE LA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN  
MECATRÓNICA**

**[DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT  
CARTESIANO AUTOMATIZADO PARA UN  
SISTEMA DE HILATURA: TRANSPORTE DE UN  
FILAMENTO POLIMÉRICO]**

**LABORATORIO DE CONVERSIÓN DE LA ENERGÍA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE PABELLÓN DE ARTEAGA**

**MC. VÍCTOR MANUEL VELASCO  
GALLARDO**  
Asesor externo

**DR. JOSÉ ALONSO DENA  
AGUILAR**  
Asesor interno

Diciembre de 2019

## **AGRADECIMIENTOS**

Me gustaría agradecer en estas líneas la ayuda que muchas personas y colegas me han prestado durante el proceso de investigación y redacción de este trabajo. En primer lugar, quisiera agradecer a mis padres que incondicionalmente me han ayudado y apoyado en todo mi producto, a mi padre, Carlos Delgado, por haberme orientado con valores en todos los momentos que necesité sus consejos.

Por el esfuerzo, dedicación, paciencia, por su confianza y por todo lo que me ha dado a lo largo de mi carrera y de mi vida, es te Proyecto de residencias profesionales va dedicado a mi madre, Silvia Flores.

Así mismo, deseo expresar mi reconocimiento al instituto tecnológico pabellón de Arteaga, al Dr. José Alonso Dena Aguilar como asesor interno y tutor, por haberme guiado, no solo en la elaboración de este trabajo de residencias, sino a lo largo de estos dos años de desde que decidimos desarrollar el proyecto y haberme brindado el apoyo para desarrollarme profesionalmente y seguir cultivando mis valores.

Agradezco a todos los docentes que, con su sabiduría, conocimiento y apoyo, motivaron a desarrollarme como persona y profesional en el Instituto Tecnológico pabellón de Arteaga.

## **RESUMEN**

### **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT CARTESIANO AUTOMATIZADO PARA UN SISTEMA DE HILATURA: TRANSPORTE DE UN FILAMENTO POLIMÉRICO”**

Por: **JUAN CARLOS DELGADO FLORES**

El Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga es una institución de educación superior que se localiza en el Municipio de Pabellón de Arteaga al norte del Estado de Aguascalientes y es perteneciente al Tecnológico Nacional de México (TecNM). Actualmente cuenta con una oferta educativa de 5 programas de Licenciatura y 1 programa de Posgrado con una matrícula superior a los 1200 estudiantes.

Dentro de sus instalaciones se encuentra el laboratorio de Conversión de la Energía adscrito al programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica donde se desarrollan proyectos de posgrado, investigación e innovación relativos a la línea de generación y aplicación del conocimiento “conversión de la energía”. Uno de estos proyectos se refiere al transporte de un filamento polimérico de poliacrilonitrilo (PAN) dentro de un baño de coagulación de una solución acuosa de dimetilformamida (DMF) contenida en un recipiente de media caña. Se estudia la producción de fibras poliméricas de PAN para sus posibles aplicaciones en sistemas de energías renovables. El DMF es un solvente específico del PAN.

La función del baño de coagulación es la de solidificar el filamento y retirar las trazas de solvente adheridas al filamento para incrementar su resistencia mecánica por lo que es necesario que el filamento sea transportado por toda la longitud del baño. Sin embargo y en particular, el DMF, es un solvente orgánico que produce daños a la salud por lo que se recomienda evitar su contacto en tiempos prolongados. Debido a lo anterior, se requiere de un sistema de transporte automatizado que realice la función de trasladar el filamento por el baño y así evitar el uso de sujeción manual por el usuario y sus consecuencias a la salud.

En este trabajo se aplicaron técnicas y metodologías de la Mecatrónica para diseñar y construir un sistema mecatrónico para el transporte de un filamento polimérico de PAN por medio de un robot cartesiano con terminación de un brazo robótico desde la boca extrusora (entrada al baño) hasta el sistema de estiramientos (salida) bajo un tiempo de residencia y velocidad de transporte determinados por métodos de diseño experimental. El robot cartesiano está previsto de una estructura de soporte de acero al carbón comercial en la que se integran diversos elementos de control numérico por computadora (CNC) como banda y polea dentadas, coples, motores DC con reductor, servomotores, *gripper* de sujeción, puentes H, shields, *displays*, entre otros. Donde todos los elementos CNC están controlados por un lenguaje programable en Arduino y una interfaz en software LabVIEW.

La propuesta de solución consistió en eliminar la manipulación manual de la conducción del filamento polimérico de PAN a través del baño de coagulación por medio de un elemento de sujeción de robot (*gripper*) que describa una trayectoria lineal y posteriormente vertical para conducir el filamento desde la salida de la boca extrusora hasta la puesta en los rodillos de estiramientos que garantiza eliminar cortes del filamento durante su traslado.

Se logró el diseño y construcción del brazo robótico y su pre-ensamble de montaje en la estructura principal. El sistema mecatrónico desarrollado permite un desplazamiento sin interrupciones.

Dirigido por:

**MC. Víctor Manuel Velasco Gallardo**

**Dr. José Alonso Dena Aguilar**

## ÍNDICE GENERAL

|                                                                                    | Pág. |
|------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....                                                       | 1    |
| 1.1 Descripción de la empresa y del puesto o área de trabajo del<br>residente..... | 2    |
| 1.2 Problema(s) a resolver.....                                                    | 5    |
| 1.3 Objetivos.....                                                                 | 6    |
| 1.3.1 Objetivo general.....                                                        | 6    |
| 1.3.2 Objetivos específicos.....                                                   | 6    |
| 1.4 Justificación.....                                                             | 6    |
| <b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....                                                     | 8    |
| 2.1 POLÍMEROS .....                                                                | 8    |
| 2.1.1 Características generales de un polímero .....                               | 8    |
| 2.1.2 Mecanismos simples de polimerización.....                                    | 8    |
| 2.2 EXTRUSIÓN .....                                                                | 9    |
| 2.2.1 Extrusión de polímeros.....                                                  | 9    |
| 2.3 HILATURA EN HÚMEDO.....                                                        | 11   |
| 2.3.1 Baño de coagulación. ....                                                    | 13   |
| 2.4 MICROCONTROLADORES.....                                                        | 13   |
| 2.4.1 Clasificación de microcontroladores.....                                     | 14   |
| 2.4.2 Periféricos.....                                                             | 15   |
| 2.4.3 Tipos de microcontroladores.....                                             | 15   |
| 2.5 ARDUINO.....                                                                   | 16   |
| 2.5.1 Interfaz Arduino: alimentación, pines, entradas y salidas.....               | 18   |
| 2.6 ROBOT CARTESIANO.....                                                          | 19   |
| 2.6.1 Lenguaje de programación de un robot cartesiano.....                         | 19   |
| 2.6.2. Tipos de robots cartesianos.....                                            | 21   |
| 2.7 BRAZO ROBOT.....                                                               | 24   |
| 2.7.1 Componentes de un brazo robótico.....                                        | 25   |
| 2.8 SOLIDWORKS.....                                                                | 27   |

|                                                                                            |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.9 SENSORES.....                                                                          | 28        |
| 2.10 SOFTWARE PROTEUS.....                                                                 | 31        |
| 2.11 SOFTWARE LabVIEW.....                                                                 | 32        |
| 2.12 filamento PLA para impresión 3D.....                                                  | 32        |
| <b>III. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES .....</b>                           | <b>34</b> |
| 3.1 Diseño del robot cartesiano y brazo robótico.....                                      | 34        |
| 3.2 Construcción del robot cartesiano y brazo robótico.....                                | 34        |
| 3.3 Sistema de control.....                                                                | 39        |
| 3.4 Cronograma de actividades.....                                                         | 42        |
| <b>IV. RESULTADOS.....</b>                                                                 | <b>43</b> |
| 4.1Diseño del robot cartesiano y brazo robótico. ....                                      | 43        |
| 4.1.1 Impresión 3D de las piezas para brazo robot en Makerbot print.....                   | 45        |
| 4.1.2 Colocación de servomotores en sistema de robot angular.....                          | 50        |
| 4.1.3 Diseño de sistema de traslación lineal para eje superior (y) y eje inferior (x)..... | 53        |
| 4.2 Construcción del robot cartesiano y brazo robótico.....                                | 57        |
| 4.2.1 La construcción del sistema de traslación.....                                       | 57        |
| 4.2.2 Colocación de Motores DC de 5-12 volts.....                                          | 61        |
| 4.2.3 sensores de fin de carrera.....                                                      | 62        |
| 4.3 Sistema de control.....                                                                | 66        |
| 4.3.1 Explicación del circuito electrónico en función al sistema.....                      | 66        |
| 4.3.2 Sistema de control de motores DC con L298N.....                                      | 68        |
| 4.2.4 Sistema de control-computacional: control digital.....                               | 70        |
| <b>V. CONCLUSIONES.....</b>                                                                | <b>75</b> |
| <b>VI. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS.....</b>                                   | <b>76</b> |

**VII. FUENTES DE INFORMACIÓN..... 77**

**Anexo 1..... 80**

**Anexo 1..... 81**

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                        | Pág. |
|----------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>Figura 1.</b> Organigrama de la institución y del área de residencia.....           | 4    |
| <b>Figura 2.</b> Analogía entre un polímero y un tren .....                            | 9    |
| <b>Figura 3.</b> Representación de la estructura del polietileno.....                  | 9    |
| <b>Figura 4.</b> Extrusión directa.....                                                | 10   |
| <b>Figura 5.</b> Máquina de extrusión simple .....                                     | 10   |
| <b>Figura 6.</b> Disposición típica de hilatura en húmedo.....                         | 11   |
| <b>Figura 7.</b> Equipo de hilatura en húmedo marca Maurer.....                        | 12   |
| <b>Figura 8.</b> Métodos de hilatura para fibra acrílica.....                          | 13   |
| <b>Figura 9.</b> Microcontrolador de 8 bits .....                                      | 16   |
| <b>Figura 10.</b> Imagen de un Arduino UNO.....                                        | 17   |
| <b>Figura 11.</b> Captura de pantalla del IDE de Arduino .....                         | 17   |
| <b>Figura 12.</b> Robot cartesiano versión estándar.....                               | 22   |
| <b>Figura 13.</b> Robot cartesiano versión compacto.....                               | 22   |
| <b>Figura 14.</b> Robots cartesianos lineal y de pórtico .....                         | 23   |
| <b>Figura 15.</b> El eje base (X) de un robot cartesiano generalmente está soportado a |      |

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| lo largo de toda su longitud, pero el eje Y o Z está en voladizo.....                              | 23 |
| <b>Figura 16.</b> Robot cartesiano versión de pórtico. ....                                        | 24 |
| <b>Figura 17.</b> Esquema de un brazo robot con grados de libertad.....                            | 26 |
| <b>Figura 18.</b> Brazo robot marca Unimate. ....                                                  | 26 |
| <b>Figura 19.</b> Diseño tridimensional de un brazo robótico con mecanismos de<br>traslación ..... | 27 |
| <b>Figura 20.</b> Diseño de un observatorio en el software SolidWorks.....                         | 28 |
| <b>Figura 21.</b> Clasificación completa de los sensores .....                                     | 30 |
| <b>Figura 22.</b> Sensor Keyes KY-040 Arduino Rotary Encoder .....                                 | 30 |
| <b>Figura 23.</b> motor de simulación de circuitos electrónicos .....                              | 31 |
| <b>Figura 24.</b> Entorno de programación LabVIEW (Block Diagram). ....                            | 32 |
| <b>Figura 25.</b> imagen de PLA para venta en tienda STEREN .....                                  | 33 |
| <b>Figura 26.</b> Brazo robótico vs brazo humano: articulaciones y movimientos.....                | 34 |
| <b>Figura 27.</b> Servo motor MG996R .....                                                         | 35 |
| <b>Figura 28.</b> Varilla roscada 8mm x 500mm.....                                                 | 36 |
| <b>Figura 29.</b> Motor a pasos NEMA 17.....                                                       | 36 |

|                                                                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 30.</b> Tuerca husillo trapezoidal 8mm .....                                                                                                                                 | 36 |
| <b>Figura 31.</b> Micro switch con palanca mouse touch .....                                                                                                                           | 37 |
| <b>Figura 32.</b> Cople rigido 5mm-8mm.....                                                                                                                                            | 37 |
| <b>Figura 33.</b> Chumacera de pared 8mm.....                                                                                                                                          | 37 |
| <b>Figura 34.</b> Impresora Makerbot z18 que se encuentra en el instituto tecnológico pabellón de Arteaga.....                                                                         | 39 |
| <b>Figura 35.</b> Brazo robot propuesto para la sujeción diseñado en SolidWorks.....                                                                                                   | 43 |
| <b>Figura 36.</b> Vista lateral del brazo con medidas de gripper.....                                                                                                                  | 44 |
| <b>Figura 37.</b> Medidas de alcance del robot desde su base hasta la punta del gripper.....                                                                                           | 44 |
| <b>Figura 38.</b> Comparación entre el diseño CAD y la impresión terminada del Primer eslabón del brazo robot.....                                                                     | 45 |
| <b>Figura 39.</b> simulación de la impresión 3D de la pieza base.....                                                                                                                  | 46 |
| <b>Figura 40.</b> Comparación entre el del diseño CAD y la impresión terminada del segundo eslabón del brazo.....                                                                      | 46 |
| <b>Figura 41.</b> Simulación de la impresión 3D del segundo eslabón.....                                                                                                               | 47 |
| <b>Figura 42.</b> Comparación entre el diseño CAD y la impresión terminada de la Base donde se fijará el primer eslabón del brazo robot a el carro del eje Y del robot cartesiano..... | 47 |

|                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 43.</b> Simulación de la impresión 3D para la base de primer eslabón.....                                                            | 48 |
| <b>Figura 44.</b> Comparación entre el diseño CAD y la impresión terminada del Tercer eslabón del brazo robot.....                             | 48 |
| <b>Figura 45.</b> Simulación de la impresión 3D del tercer eslabón.....                                                                        | 49 |
| <b>Figura 46.</b> Comparación entre el diseño CAD y la impresión terminada de la Pinza angular para el gripper.....                            | 49 |
| <b>Figura 47.</b> Simulación de la impresión 3D de las piezas que conforman la pinza angula para el gripper con un tiempo de 2 hrs 27 min..... | 50 |
| <b>Figura 48.</b> servomotor MG995 y servomotor MG90S.....                                                                                     | 51 |
| <b>Figura 49.</b> Primer eslabón con servomotor MG995.....                                                                                     | 51 |
| <b>Figura 50.</b> Sistema de eslabones con servomotores integrados.....                                                                        | 52 |
| <b>Figura 51.</b> Brazo robot completo.....                                                                                                    | 52 |
| <b>Figura 52.</b> vista isométrica del sistema de traslación con explosión del eje superior y eje inferior del robot cartesiano.....           | 53 |
| <b>Figura 53.</b> vista frontal del carrito slider.....                                                                                        | 54 |
| <b>Figura 54.</b> vista inferior del carrito slider.....                                                                                       | 54 |
| <b>Figura 55.</b> vista isométrica del carrito slider.....                                                                                     | 55 |

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 56.</b> Integración del brazo robótico al robot cartesiano.....                                                 | 55 |
| <b>Figura 57.</b> Vista frontal del sistema robótico completo.....                                                        | 56 |
| <b>Figura 58.</b> Vista lateral con medidas de alcance desde la base hasta la punta del gripper.....                      | 56 |
| <b>Figura 59.</b> Vista lateral con medidas de alcance desde la base hasta el gripper en posición de sujeción.....        | 57 |
| <b>Figura 60.</b> soleras de acero normal.....                                                                            | 58 |
| <b>Figura 61.</b> Fotografías de la soldadura usada durante el transcurso del desarrollo.....                             | 59 |
| <b>Figura 62.</b> Barrenado de piezas con taladro de banco y una broca de 6.8 mm.....                                     | 59 |
| <b>Figura 63.</b> Después de barrenar se machueliaron los orificios para sujetar los baleros con tornillos y tuercas..... | 60 |
| <b>Figura 64.</b> Para retirar rebaba y lisar la estructura se le da una pulida con disco de desbaste.....                | 60 |
| <b>Figura 65.</b> Fotografía donde se muestra el resultado del slider junto con el eje base.....                          | 61 |
| <b>Figura 66.</b> motor DC de 5 a 12 volts.....                                                                           | 62 |
| <b>Figura 67.</b> Fotografía de limit switch al inicio de carrera en la base inferior (x)...                              | 62 |
| <b>Figura 68.</b> limit switch en posición inicial del eje superior en sistema.....                                       | 63 |

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 69.</b> Fotografía de del eje superior (Y) con slider ya integrado al eje inferior (X).....        | 63 |
| <b>Figura 70.</b> Vista lateral del robot cartesiano terminado.....                                          | 64 |
| <b>Figura 71.</b> Vista de todos los equipos del sistema de hilatura juntos.....                             | 65 |
| <b>Figura 72.</b> Diseño del circuito en software proteus.....                                               | 67 |
| <b>Figura 73.</b> driver L298N.....                                                                          | 68 |
| <b>Figura 74.</b> Drives para control de motores DC dentro de la caja de control.....                        | 69 |
| <b>Figura 75.</b> Encoder rotatorio Keyes KY-040.....                                                        | 69 |
| <b>Figura 76.</b> diagrama de flujo de la secuencia del programa.....                                        | 72 |
| <b>Figura 77.</b> Front Panel del programa para robot cartesiano.....                                        | 73 |
| <b>Figura 78.</b> Conexión entrada Arduino en Diagrama de Bloques LabVIEW.....                               | 73 |
| <b>Figura 79.</b> Block Diagram sección de PIN modes y digital O/I PIN para señales...                       | 74 |
| <b>Figura 80.</b> Sección del case que generan los casos para una correcta secuencia de los movimientos..... | 74 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                             |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
|                                                                                                                             | Pág. |
| <b>Tabla 1.</b> Cuadro comparativo de procesos de hilatura en húmedo, hilatura en seco e hilado por fusión (extrusión)..... | 12   |

## I. INTRODUCCIÓN

El INSTITUTO TECNOLÓGICO DE PABELLÓN DE ARTEAGA es una institución de educación superior ubicada en el Municipio de Pabellón de Arteaga del Estado de Aguascalientes y como parte de sus objetivos se encuentra el desarrollo de proyectos de innovación e investigación a través de residencias profesionales que den soluciones a problemas de la industria, de ciencia aplicada o de desarrollo tecnológico. Su laboratorio de Conversión de la Energía inicio operaciones en enero de 2019 dentro del programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica que se oferta en el plantel y donde se promueven proyectos de posgrado, investigación e innovación acordes a la línea de investigación de conversión de la energía. Esta línea de investigación se enfoca a la aplicación de metodologías de la Mecatrónica en procesos de conversión de la energía y energías renovables mediante el diseño e integración de dispositivos, sistemas programables y procesos orientados para la generación, almacenamiento y uso eficiente de la energía.

Uno de estos proyectos se refiere al transporte de un filamento polimérico de poliacrilonitrilo (PAN) dentro de un baño de coagulación de una solución acuosa de dimetilformamida (DMF). Se estudia la producción de fibras poliméricas de PAN para su estudio en aplicaciones en sistemas de energías renovables.

La función del baño de coagulación es la de solidificar el filamento de PAN y retirar las trazas de solvente DMF adheridas al filamento para incrementar su resistencia mecánica. El DMF es un solvente orgánico específico del PAN y que presenta un grado de nivel bajo de toxicidad aguda y causa irritaciones de leves a moderadas en ojos y piel. Por lo que no se recomienda el contacto directo con esta sustancia en tiempos prolongados. Aunado a lo anterior, el uso de guantes flexibles de látex o silicón no es viable por la rápida degradación de su resistencia mecánica al contacto con el solvente. El uso de guantes de mayor resistencia de nitrilo o de caucho tampoco son recomendables por su rigidez de manipulación. Debido a que el filamento de PAN debe ser transportado por toda la longitud del baño de coagulación, para asegurar la eliminación de la mayor presencia de trazas de DMF, se requiere de un sistema de transporte automatizado que realice la función de trasladar el filamento de

PAN por el baño y así evitar el uso de sujeción manual por el usuario y sus consecuencias a la salud.

Considerando lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue eliminar la manipulación manual de la conducción del filamento polimérico de PAN a través del baño de coagulación por medio de un brazo robótico que describa una trayectoria lineal y posteriormente vertical para conducir el filamento desde la salida de la boca extrusora hasta la puesta en los rodillos de estiramientos.

En particular se diseñó y construyó un robot cartesiano con terminación de brazo robótico CNC automatizado y controlado por medio de un sistema embebido integrado por (i) sistema de transmisión del robot a través de un riel con bandas y poleas dentadas y motores DC con una longitud de 2 m, (ii) área de control donde se ubica el microcontrolador de tipo Arduino MEGA y módulos L298N y (iii) brazo robótico angular equipado con servomecanismos como servo motor MG996R. Todos los elementos mecatrónicos fueron controlados por un lenguaje programable para microcontroladores Arduino junto una interfaz en software LabVIEW para mantener trayectorias lineales y formar ángulos rectos.

La presente propuesta de eliminar la manipulación manual de la conducción del filamento polimérico de PAN a través del baño de coagulación permitió minimizar las pérdidas de material por cortes en su conducción dentro del baño coadyuvando a que se mantenga cierta resistencia mecánica del filamento (valor no cuantificado en este trabajo) y pueda ser empleado en etapas subsecuentes.

Este proyecto es la etapa 2 de 3 de un proyecto global denominado “desarrollo de un sistema mecatrónico de hilatura de fibras poliméricas acrílicas textiles para aplicaciones en sistemas de fuentes alternas de energía” (etapa 1 y 3 no presentados en este trabajo).

### **1.1 Descripción de la empresa y del puesto o área de trabajo del residente**

El ramo económico de la institución es la educación, específicamente la educación superior, así como el desarrollo de proyectos de innovación e investigación con la industria (desarrollo tecnológico) o académicos (ciencia aplicada).

Sus políticas de misión, visión, objetivos (retos) y valores de la institución son:

### *Misión*

Brindar un servicio de educación superior de calidad comprometido con la generación, difusión y conservación del conocimiento científico, tecnológico y humanista, a través de programas educativos que permitan un desarrollo sustentable, conservando los principios universales en beneficio de la humanidad.

### *Visión*

Ser una institución de educación superior reconocida a nivel nacional e internacional, líder en la formación integral de profesionistas de calidad y excelencia, que promueve el desarrollo armónico del entorno.

### *Objetivos de la empresa*

Asegurar la calidad de todos los procesos académicos, entre los que se encuentran:

- El diseño de especialidades
- Asesoría de residencias profesionales
- Desarrollo de proyectos de innovación
- Servicios de educación continua
- Investigación educativa
- Acreditaciones de planes de estudio

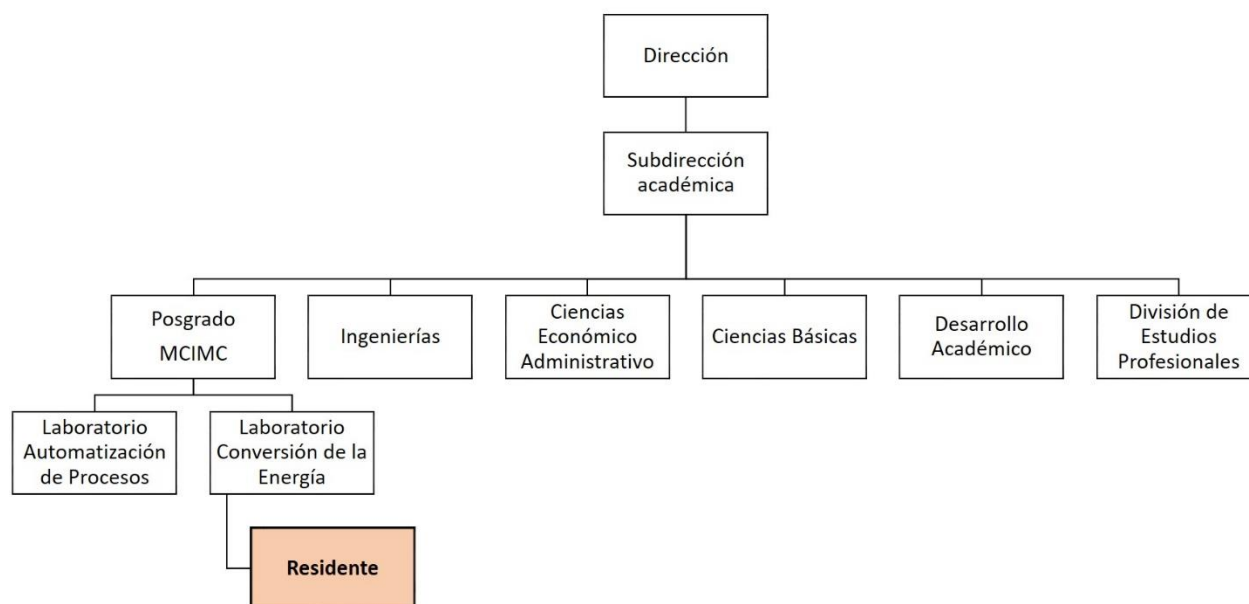
### *Valores*

A fin de guiar y orientar las acciones cotidianas de todo su personal, la institución define los siguientes valores institucionales:

- Compromiso. - lograr propósitos comunes mediante el trabajo responsable y en equipo, mejorando permanentemente el ser, hacer y tener mediante la participación activa y el liderazgo compartido.
- Responsabilidad. - decidir y actuar conforme al análisis previo de las consecuencias inmediatas o mediatas de las acciones.

- Respeto. - actitud personal y colectiva hacia la conservación, mejoramiento y protección de las diversas formas de vida, además de la aceptación de la diversidad propia de lo humano.
- Cooperación. - facilitar condiciones que allanen el trabajo de los demás, y capacitar a toda la gente para propiciar su desarrollo personal y profesional dentro y fuera de la institución.
- Honestidad. - liderazgo que toma decisiones con base en una información completa, retroalimentando directamente con resultados e impacto mutuo, dando transparencia a cada una de las acciones personales e institucionales.
- Equidad. - crear un ambiente que permita establecer un sistema de reconocimiento al esfuerzo individual y de grupo en la institución.

En la Figura 1 se presenta el organigrama de la institución, así como el área de trabajo del residente. Las funciones del residente son propias del proyecto de residencia y se enfocan al diseño, construcción, control y automatización de una cámara vertical de control de temperatura para una reacción polimérica exotérmica.



**Figura 1.** Organigrama de la institución y del área de residencia.

## 1.2 Problema(s) a resolver

Un polímero fundido puede ser extruido mediante técnicas de hilatura en húmedo donde la boca extrusora del equipo está sumergida en un baño de coagulación. El baño contiene una solución acuosa del solvente específico del polímero de composición específica. El filamento al entrar en contacto con el polímero se solidifica y se debe sujetar suave y firmemente del inicio de la boca con tiempos y velocidades controlados para evitar su pronta ruptura o comúnmente taponaduras del orificio de salida mientras se conduce sumergido en el baño de coagulación.

El PAN puede ser disuelto en DMF para ser extruido en fibras poliméricas. Sin embargo, el solvente causa problemas a la salud por lo que no se recomienda su contacto directo con la piel. Derivado de lo anterior, se han detectado las siguientes áreas de oportunidad:

### 1.- Seguridad en el control de transporte de filamento

- Eliminar el manejo manual de la toma de filamento y conducción a través de la longitud del baño de coagulación.
- Suprimir cualquier daño a la salud al operador por el contacto directo en la piel con el DMF.

### 2. - Automatización y control

- Disponer de un equipo mecatrónico que automáticamente sujete y conduzca el filamento polimérico dentro del baño de coagulación a velocidades y tiempos de residencia controlados.
- Adicionalmente, se tenga de manera automatizada el control del filamento del baño hasta la etapa subsecuente del proceso.

El control automatizado de la sujeción, transporte y manipulación del filamento polimérico mediante un dispositivo mecatrónico asegura que no se tengan rupturas ni taponaduras del sistema que provoquen pérdidas de material siendo lo deseable que el filamento sea continuo desde la primera toma hasta agotamiento de la materia prima.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo general

Diseñar y construir un robot de coordenadas cartesianas con brazo robótico mediante la integración de elementos mecánicos, eléctricos y de control y automatización para el transporte de un filamento polimérico de un sistema de hilatura.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar el diagrama grafico del robot cartesiano y brazo robótico mediante software de diseño Solid Works para definir dimensiones, componentes y funcionamiento del sistema.
- Construir el robot cartesiano y brazo robótico mediante el uso de materiales de fácil adquisición para la integración de componentes de control y automatización del sistema de transporte.
- Construir el sistema embebido de *open source* en Arduino mediante la integración de elementos de hardware y electrónica modular para desarrollar el sistema de control (código de programación) del robot cartesiano y del brazo robótico.

## 1.4 Justificación

En la industria textil las fibras acrílicas, como las de poliacrilonitrilo (PAN), son fibras sintéticas que en forma de hilo son empleadas en un gran número de productos textiles como colchas, tapetes, guantes, entre otros. Por lo que se considera que estas fibras tienen posibilidades de aplicación en sistemas de fuentes alternas de energía debido a que su aspecto es similar a la lana natural, pero son de mayor suavidad y de mantenimiento más simple.

La fabricación de fibras de PAN puede realizarse empleando una técnica denominada hilatura en húmedo que se caracteriza por el uso de disolventes para disolver el polímero y obtener un fluido de hilatura. El fluido de hilatura mediante un proceso de extrusión se transforma en filamentos cuando se hace pasar el fluido por

una boca extrusora (también llamada hilera), la cual se encuentra sumergida en un baño de coagulación. El baño de coagulación contiene un fluido específico en función del tipo de polímero y disolvente utilizado. En este caso para fibras de PAN la solución del baño de coagulación puede ser una solución agua:dimetilformamida en una relación 10:1 volumen/volumen. La función del baño de coagulación es la de solidificar el filamento y retirar las trazas de solvente adheridas al filamento. El Dimetilformamida (DMF) es un solvente orgánico que presenta un nivel bajo de toxicidad aguda y causa irritaciones de leves a moderadas en ojos y piel. Por lo que no se recomienda el contacto directo con esta sustancia en tiempos prolongados.

Debido a que el filamento debe ser transportado por toda la longitud del baño de coagulación, para asegurar la eliminación de la mayor presencia de trazas de disolvente, se requiere de un sistema de transporte automatizado que realice la función de trasladar el filamento por el baño y así evitar el uso de sujeción manual por el operador y sus consecuencias a la salud de él.

Por lo que resulta necesario el poder implementar acciones de control a través de mecanismos automatizados mecatrónicos para realizar la sujeción y transporte del filamento polimérico a través del baño de coagulación para evitar daños a la salud del operador. En este proyecto se contempla como una de estas acciones el diseño y construcción de un robot cartesiano con brazo robótico controlado por medio de un sistema embebido integrado por sistema de transmisión, área de control y brazo robótico con servomecanismos. Todos los elementos controlados por software y hardware de acceso libre Arduino. El estudio se enfocó a una extrusión de polimérica de fibras de poliacrilonitrilo.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 POLÍMEROS

Los polímeros son moléculas de gran tamaño, constituidas por grandes cadenas de moléculas en forma de eslabones denominados monómeros, los cuales están unidos mediante enlaces covalentes. Los eslabones están formados por átomos de carbono y pueden poseer grupos laterales o radicales con uno o más átomos de otros elementos. Estas moléculas son las que constituyen los materiales plásticos de uso cotidiano.<sup>1</sup>

#### 2.1.1 Características generales de un polímero

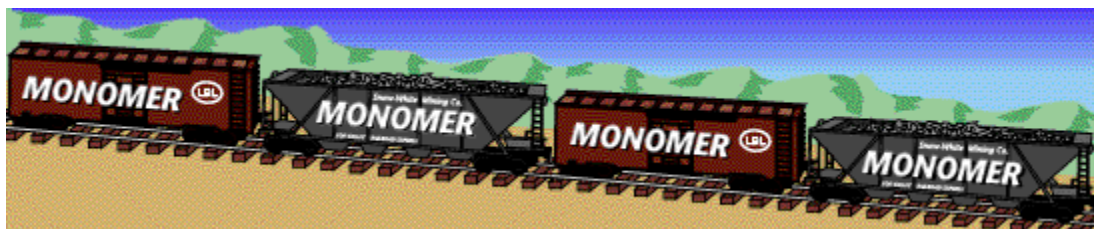
Algunas de sus propiedades físicas y químicas son:<sup>2</sup>

- **Bajo punto de fusión**, que permite procesarlo fácilmente para darle forma.
- **Baja densidad**, lo cual los hace útiles en industrias como la automovil por ser productos ligeros.
- **Pobre conductividad eléctrica y térmica**, permite usarlos como aislantes.
- **Poca reactividad química**, permite tenerlos en contacto con alimentos sin riesgos.

#### 2.1.2 Mecanismos simples de polimerización

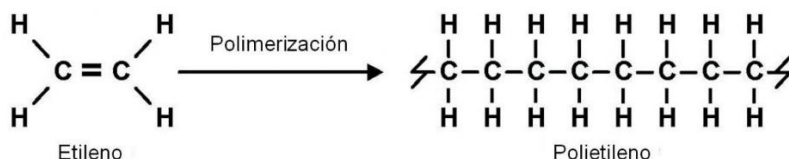
El método de polimerización por crecimiento de cadena se caracteriza porque los intermediarios del proceso (radicales libres, iones o complejos metálicos) son transitorios y no pueden aislarse. La polimerización por pasos se produce por reacciones entre moléculas que tienen grupos funcionales. A los compuestos intermediarios de peso molecular bajo se les llama oligómeros, y se pueden aislar. Ambos métodos se les puede describir como una reacción química sencilla que se efectúa repetidamente.<sup>1</sup>

En la Figura 2 se presenta una analogía entre un tren y una cadena polimérica donde el monómero (en este caso de dos tipos), representados por vagones, se unen uno tras otros formando una cadena larga de monómeros alternados.



**Figura 2.** Analogía entre un polímero y un tren.

En la Figura 3 se presenta la estructura de representación del polietileno, donde varias moléculas de monómero de etileno se unen en cadena para formar el polímero.<sup>2</sup>



**Figura 3.** Representación de la estructura del polietileno.

## 2.2 EXTRUSIÓN

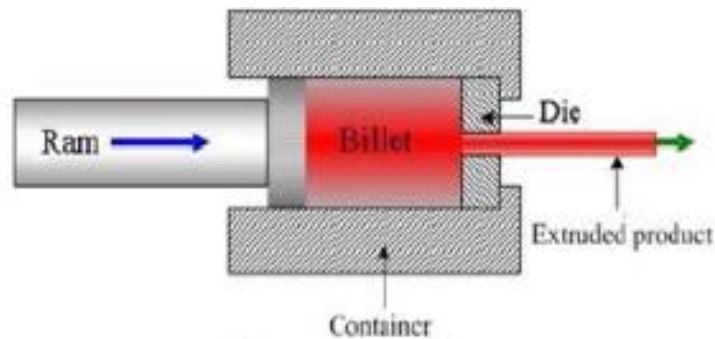
El proceso de extrusión es un método de fabricación de plásticos que se utiliza para crear objetos de un perfil de sección transversal fijo. Consiste en la acción de un material que es empujado a través de un “dado” por la sección transversal deseada. Este proceso puede ser empleado para la fabricación de formas como barandilla para deslizamiento puertas, tubos con varias secciones transversales, estructurales y formas arquitectónicas, y puertas y ventanas marcos, entre otros.<sup>3</sup>

### 2.2.1 Extrusión de polímeros

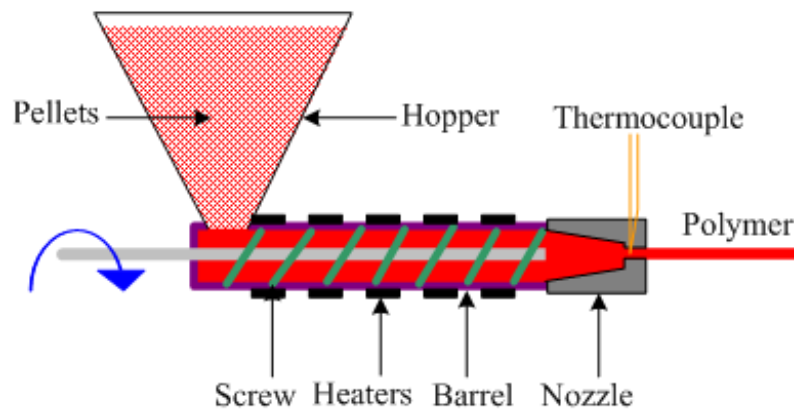
El material polimérico en forma de pequeños gránulos se alimenta a una maquina extrusora mediante una tolva de alimentación. Empleando un tornillo de alimentación, se va transportando el material haciéndose pasar de manera forzada por un troquel para convertirse en un producto de polímero continuo. Uno de los elementos principales de una maquina extrusora son sus dispositivos calefactores, que se

encuentran colocados sobre el barril, realizando la función de ablandar y fundir el polímero. La temperatura del material está controlada por termopares. El material extruido, que sale de la matriz, se enfría por aire soplado o en baño de agua. La extrusión de polímeros (en contraste con la extrusión de metales) es un proceso continuo que dura mientras se suministran gránulos crudos.<sup>4</sup>

En la Figura 4 se muestra un acercamiento de un proceso típico de extrusión. La solución polimérica roja se hace pasar por una broca extrusora mediante fuerza mecánica (p.e. pistón).<sup>3,5</sup> En la Figura 5 se presenta una vista general de una maquina extrusora. Los trozos de polímero se colocan en la tolva de alimentación, se funden y por medio de un tornillo se empuja el polímero fundido por una boca de salida dando una forma, comúnmente, de sección transversal.<sup>4</sup>



**Figura 4.** Extrusión directa.

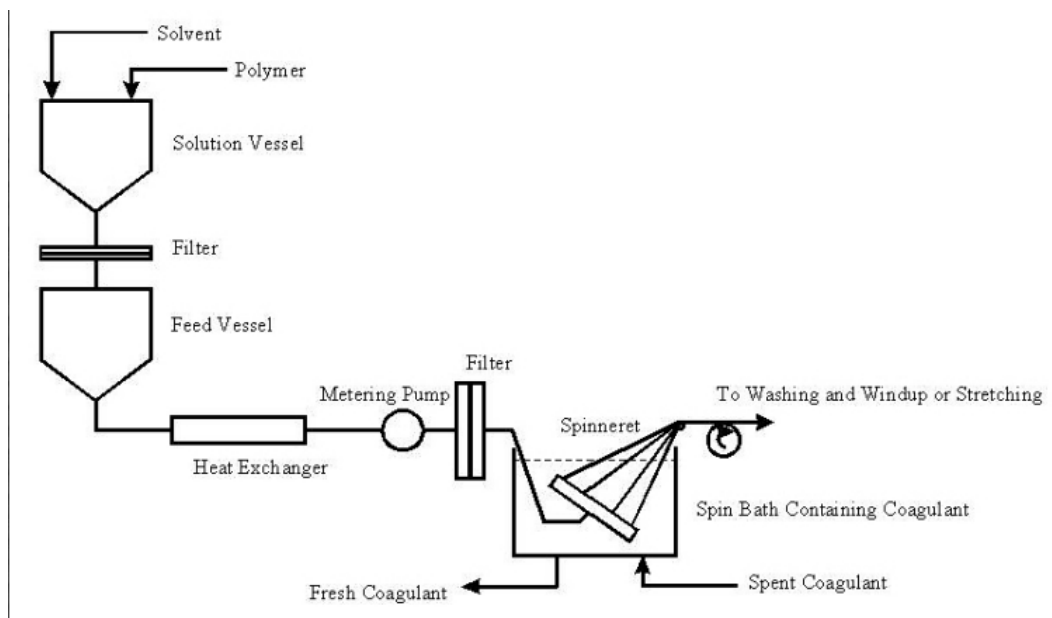


**Figura 5.** Máquina de extrusión simple.

## 2.3 HILATURA EN HÚMEDO

Es un proceso donde se utiliza un solvente no volátil para convertir la materia prima en una solución coloidal de hilado (fluido de hilatura). Obtenido el fluido de hilatura se somete a un proceso convencional de extrusión haciéndolo pasar a través de una boca extrusora (hilera). Después de la extrusión, el disolvente adherido al material se elimina en un medio de coagulación líquido. Finalmente, el hilo de filamento se enrolla inmediatamente en bobinas o se trata adicionalmente para ciertas características deseadas o uso final. Una de las ventajas de este proceso que se pueden manejar grandes volúmenes de producción. Algunas de las desventajas es que es un proceso lento, requiere de un proceso adicional de lavado para eliminar impurezas y comúnmente no se logran recuperar los solventes y químicos empleados.<sup>6</sup>

En la Figura 6 se presenta un esquema general de un proceso de hilado en húmedo. El baño de coagulación contiene coagulante fresco y gastado. Los hilos del filamento obtenido se conducen a un proceso de estirado.<sup>7</sup>



**Figura 6.** Disposición típica de hilatura en húmedo.

En la Tabla 1 se presentan comparaciones entre el proceso de hilatura en húmedo y otros procesos también empleados en el hilado de filamentos poliméricos (hilatura en seco y extrusión).<sup>6</sup>

**Tabla 1.** Cuadro comparativo de procesos de hilatura en húmedo, hilatura en seco e hilado por fusión (extrusión).

| Topics                 | Melt Spinning                                                                                 | Dry Spinning                                                                                                                       | Wet Spinning                                                                                                                         |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| →Production fiber type | Filament and Staple                                                                           | Only filament                                                                                                                      | Filament and Staple                                                                                                                  |
| →Productivity          | High                                                                                          | High                                                                                                                               | Low                                                                                                                                  |
| →Investment cost       | Low                                                                                           | High                                                                                                                               | Low                                                                                                                                  |
| →Solvent               | Not required                                                                                  | Only volatile organic solvent                                                                                                      | Both organic & inorganic solvent                                                                                                     |
| →Environmental hazard  | Non toxic                                                                                     | Toxic                                                                                                                              | Toxic                                                                                                                                |
| → Heat of spinning     | High                                                                                          | Very high                                                                                                                          | Low                                                                                                                                  |
| →Spinning speed        | 2500-3000 ft/min                                                                              | 2500-3000 ft/min                                                                                                                   | 150-300 ft/min                                                                                                                       |
| →Spinnerets holes      | 2000                                                                                          | 300-900                                                                                                                            | 20000-75000                                                                                                                          |
| →Example/Uses:         | Melt spinning is used for the production of polyester, nylon, olefin, saran and glass fibers. | Dry spinning is used in the production of acetate, triacetate, and some acrylic, modacrylic, spandex, and vinyon (PVC,PVA) fibers. | Wet spinning is used in the production of aramid, Lyocell, PVC, Vinton (PVA), viscose rayon, spandex, acrylic and modacrylic fibers. |

En la Figura 7, se muestra una máquina de hilatura en húmedo. Se observa una maquina extrusora previa al equipo de hilado en húmedo.<sup>8</sup>

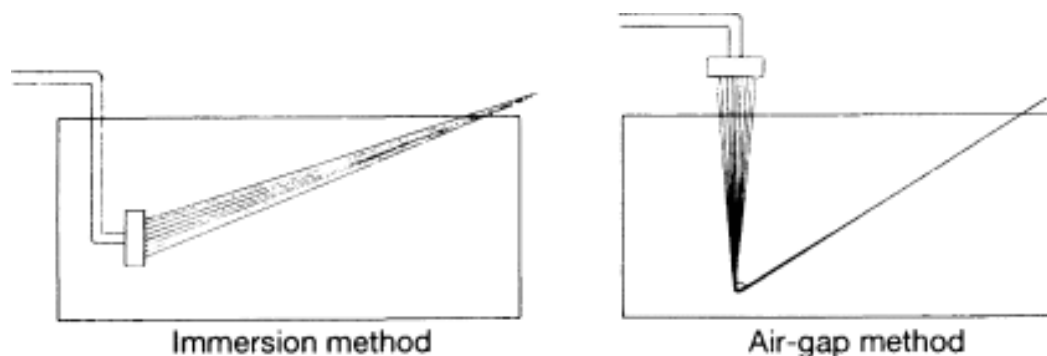


**Figura 7.** Equipo de hilatura en húmedo marca Maurer.

### 2.3.1 Baño de coagulación

Se trata de un baño líquido que proporciona la precipitación correcta de un fluido de hilatura de polímero extruido o fundido con la formación resultante aspecto sólido de una matriz. la mayoría de las veces, está representado por agua o algunos solventes orgánicos (como el dimetilformamida) que inducen la precipitación del polímero, el medio de coagulación es responsable del proceso de inversión de fase.<sup>9</sup>

En la Figura 8 se observa un baño de coagulación de inmersión o de capa de aire. En ambos los filamentos obtenidos entran en contacto con el baño para solidificar en una estructura sólida.<sup>10</sup>



**Figura 8.** Métodos de hilatura para fibra acrílica.

En el caso de emplear solventes orgánicos de riesgo para el contacto humano se emplean dispositivos para reducir el contacto humano en la manipulación del filamento

### 2.4 MICROCONTROLADORES

Los microcontroladores son dispositivos de circuito integrado (IC) mayormente utilizado para controlar otras partes de un sistema electrónico, generalmente a través de una unidad de microprocesador (MPU), memoria y algunos periféricos. Requieren funcionalidad de procesamiento e interacción ágil y receptiva con componentes digitales, analógicos o electromecánicos, estos dispositivos están optimizados para aplicaciones integradas.<sup>11</sup>

La CPU realiza operaciones aritméticas, gestiona el flujo de datos y genera señales de control de acuerdo con la secuencia de instrucciones creadas por el programador. Un microcontrolador consta de una unidad central de procesamiento (CPU), memoria no volátil, memoria volátil, periféricos y circuitos de soporte.<sup>11</sup> Los

circuitos extremadamente complejos necesarios para la funcionalidad de la CPU no son visibles para el diseñador. Los entornos de desarrollo integrados y lenguajes de alto nivel como C, escribir código para microcontroladores es a menudo una tarea bastante sencilla.

#### 2.4.1 Clasificación de microcontroladores<sup>12</sup>

- a) Los bits en el microcontrolador son microcontroladores de 8 bits, 16 bits y 32 bits. En el microcontrolador de 8 bits, el punto cuando el bus interno es de 8 bits, entonces la ALU realiza las operaciones aritméticas y lógicas. El microcontrolador de 16 bits realiza una mayor precisión y rendimiento en comparación con 8 bits. Un temporizador más largo de valor extremo puede resultar útil en ciertas aplicaciones y circuitos. El microcontrolador de 32 bits utiliza las instrucciones de 32 bits para realizar las operaciones aritméticas y lógicas. Estos se utilizan en dispositivos controlados automáticamente, incluidos dispositivos médicos implantables, sistemas de control de motores, máquinas de oficina, electrodomésticos y otros tipos de sistemas integrados.
- b) Los dispositivos de memoria se dividen en dos tipos.
- **Microcontrolador de memoria integrada:** sistema integrado que tiene una unidad de microcontrolador con todos los bloques funcionales disponibles en un chip, se denomina microcontrolador incorporado.
  - **Microcontrolador de memoria externa:** sistema integrado que tiene una unidad de microcontrolador la cual tiene todos los bloques funcionales disponibles en un chip, se denomina microcontrolador de memoria externa.
- c) Clasificación según la arquitectura de memoria.
- **Microcontrolador Harvard Memory Architecture:** Unidad de microcontrolador que tiene un espacio de direcciones de memoria diferente donde están el programa y la memoria de datos, el microcontrolador tiene una arquitectura de memoria Harvard en el procesador.
  - **Microcontrolador de arquitectura de memoria Princeton:** microcontrolador que tiene una dirección de memoria común para la memoria de programa y

memoria de datos, el microcontrolador tiene arquitectura de memoria Princeton en el procesador.

d) Clasificación según el conjunto de instrucciones

- **CISC:** Computadora de conjunto de instrucciones complejas. La cual Permite al programador usar una instrucción en lugar de muchas instrucciones más simples.
- **RISC:** Este tipo de conjuntos de instrucciones reduce el diseño de microprocesador para los estándares de la industria. Lo cual Permite que cada instrucción opere en cualquier registro o use cualquier modo de direccionamiento y acceso simultáneo a programas y datos.

#### 2.4.2 Periféricos<sup>11</sup>

- **Convertidores de datos:** Convertidor digital a analógico y viceversa, generador de voltaje de referencia
- **Generación de reloj:** oscilador interno, circuitería de cristal, circuito de fase bloqueada
- **Tiempo:** temporizador de uso general, reloj en tiempo real, contador de eventos externos, pulso con modulación
- **Procesamiento de señal analógica:** amplificador operacional, comparador analógico
- **Entrada / salida:** circuitos de entrada y salida digital de uso general, interfaz de memoria paralela
- **Comunicación en serie:** UART , SPI , I2C , USB (Keim, 2019)

#### 2.4.3 Tipos de microcontroladores

Uno de los MCU más comunes incluyen es el Intel MCS-51, a menudo denominado microcontrolador 8051, el cual se desarrolló por primera vez en 1985; el microcontrolador AVR desarrollado por Atmel en 1996; el controlador de interfaz programable (PIC) de Microchip Technology; y varios microcontroladores con licencia de Advanced RISC Machines (ARM). Varias empresas fabrican y venden microcontroladores, incluidos NXP Semiconductors, Renesas Electronics, Silicon Labs y

Texas Instruments.<sup>13</sup> Algunas aplicaciones específicas de los microcontroladores es su uso como procesador de señal digital. Con frecuencia, las señales analógicas entrantes vienen con un cierto nivel de ruido. El ruido en este contexto significa valores ambiguos que no pueden traducirse fácilmente en valores digitales estándar.<sup>13</sup>

En la Figura 9 se muestra un microcontrolador de 8 bits.<sup>11</sup>

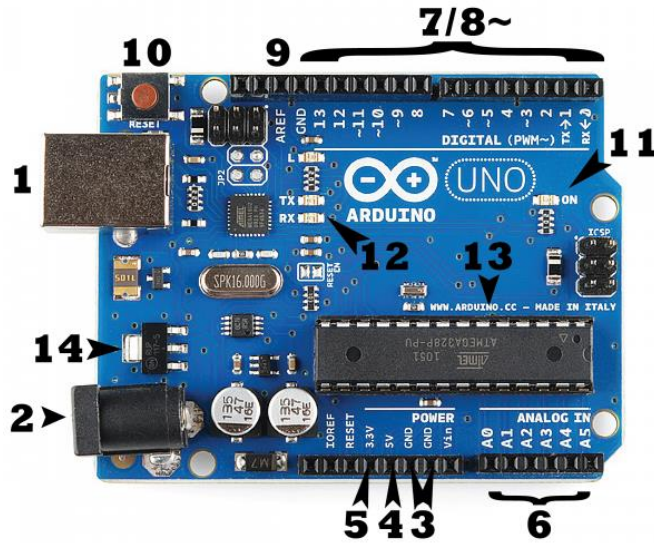


**Figura 9.** Microcontrolador de 8 bits.

## 2.5 ARDUINO

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software fácil de usar. Las placas Arduino pueden leer entradas (luz en un sensor, un dedo en un botón o un mensaje de Twitter) y convertirlo en una salida. Por ejemplo, con Arduino se puede activar un motor, encender un LED, publicar algo en línea, entre otras aplicaciones. Para su operación, se programa en lenguaje de programación Arduino las instrucciones de control de los dispositivos.<sup>14</sup>

Hay muchas variedades de placas Arduino que pueden usarse para diferentes propósitos, pero todos con la característica común de emplearse con el hardware y software de control de procesos de baja escala. En la Figura 10 se presenta un microcontrolador Arduino UNO, el cual es el más común y empleado para pequeños proyectos.<sup>15</sup> En la Figura 11, se observa una captura de pantalla del IDE de programación de Arduino.<sup>15</sup>



**Figura 10.** Imagen de un Arduino UNO.

```

Blink
/*
 * Blink
 * Turns on an LED on for one second, then off for one second, repeatedly.
 *
 * This example code is in the public domain.
 */

// Pin 13 has an LED connected on most Arduino boards.
// give it a name:
int led = 13;

// the setup routine runs once when you press reset:
void setup() {
  // initialize the digital pin as an output.
  pinMode(led, OUTPUT);
}

// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() {
  digitalWrite(led, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(1000);             // wait for a second
  digitalWrite(led, LOW);  // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(1000);             // wait for a second
}

```

**Figura 11.** Captura de pantalla del IDE de Arduino.

### 2.5.1 Interfaz Arduino: alimentación, pines, entradas y salidas<sup>15</sup>

El Arduino UNO puede alimentarse desde un cable USB que proviene de su computadora o una fuente de alimentación de pared. En la imagen de la Figura 9 se puede ver la conexión USB que está etiquetada con un número (1) y el conector de barril también está etiquetado con el mismo número.

Los pines del Arduino son los lugares donde conecta los cables para construir un circuito. El Arduino tiene varios tipos diferentes de pines, cada uno de los cuales está etiquetado en la placa y se utiliza para diferentes funciones:

- **GND (3):** abreviatura de 'Ground'. Hay varios pines GND en el Arduino, cualquiera de los cuales puede usarse para conectar a tierra su circuito.
- **5V (4) y 3.3V (5):** Como puede suponer, el pin de 5V suministra 5 voltios de potencia, y el pin de 3.3V suministra 3.3 voltios de potencia. La mayoría de los componentes simples utilizados con el Arduino funcionan felizmente con 5 o 3,3 voltios.
- **Analógico (6):** el área de pines debajo de la etiqueta 'Analog In' (A0 a A5 en UNO) son pines Analog In. Estos pines pueden leer la señal de un sensor analógico (como un sensor de temperatura) y convertirla en un valor digital que podamos leer.
- **Digital (7):** frente a los pines analógicos se encuentran los pines digitales (0 a 13 en UNO). Estos pines se pueden usar tanto para la entrada digital (como decir si se presiona un botón) como para la salida digital (como alimentar un LED).
- **PWM (8):** es posible que haya notado la tilde (~) junto a algunos de los pines digitales (3, 5, 6, 9, 10 y 11 en la UNO). Estos pines actúan como pines digitales normales, pero también se pueden usar para algo llamado Modulación de ancho de pulso (PWM).
- **AREF (9):** significa referencia analógica. La mayoría de las veces puedes dejar este pin solo. A veces se utiliza para establecer un voltaje de referencia externo (entre 0 y 5 voltios) como límite superior para los pines de entrada analógica.

TX es corto para transmitir, RX es corto para recibir. Estas marcas aparecen bastante en la electrónica para indicar los pines responsables de la comunicación en

serie. En nuestro caso, hay dos lugares en el Arduino UNO donde aparecen TX y RX: una por los pines digitales 0 y 1, y una segunda vez al lado de los LED indicadores TX y RX. En la Figura 9 estos componentes están etiquetados con el número (12). Estos LED nos darán algunas buenas indicaciones visuales cada vez que nuestro Arduino esté recibiendo o transmitiendo datos (como cuando estamos cargando un nuevo programa en la placa). También en la Figura 9 se observa el regulador de voltaje etiquetado con número (14) y permite controlar la cantidad de voltaje que se deja entrar en la placa Arduino.

## **2.6 ROBOT CARTESIANO**

Un sistema cartesiano se mueve en tres ejes ortogonales, X, Y y Z, de acuerdo con las coordenadas cartesianas. Los ejes de un robot cartesiano están *hechos de algún tipo de actuador lineal*. Lo que hace que un robot cartesiano sea un robot es *que los ejes realizan un movimiento coordinado*, a través de un controlador de movimiento común.<sup>16</sup>

Una máquina repite con precisión un conjunto de movimientos/tareas predeterminados. No puede pensar y actuar por sí mismo y responder a los cambios en el entorno externo. Un robot es una máquina inteligente y puede hacer más de lo que una máquina puede hacer, ya que se puede programar para realizar muchas tareas diferentes. Un robot puede tener conciencia situacional en cierto grado dependiendo de su tipo.<sup>17</sup>

### **2.6.1 Lenguaje de programación de un robot cartesiano**

En general los lenguajes de programación de C y C++ son los lenguajes de programación rápida con mejor soporte que ejecutan el ecosistema de robótica para el desarrollo integrado y la programación en tiempo real de alto nivel de los algoritmos de toma de decisiones de control, percepción y movimiento robótico, respectivamente.

La programación se realiza on-line, o sea, con el robot "in situ". No requiere la escritura de un programa, sino que se basa en la enseñanza directa de la máquina por el usuario. El método es similar a las normas de funcionamiento de una grabadora, ya

que disponen de unas instrucciones similares: PLAY (reproducir), RECORD (grabar), FF (adelantar), FR (atrasar), PAUSE, STOP, etc. Además, puede disponer de instrucciones auxiliares, como INSERT (insertar un punto o una operación de trabajo) y DELETE (borrar). La programación se realiza punto a punto, posicionando el elemento terminal del robot en los puntos precisos para ejecutar la tarea.<sup>18</sup>

Para guiar al robot por los puntos deseados se utilizan distintas soluciones:<sup>18</sup>

**a) Guiado Pasivo:** Si los actuadores del robot están desconectados y el programador aporta en forma directa la energía para mover el robot, se habla de un guiado pasivo. A su vez, puede ser de dos tipos:

- **Guiado Pasivo Directo:** En este caso, el programador puede tomar el extremo del robot y llevarlo hasta los puntos deseados a través de las trayectorias más adecuadas. La unidad de control del robot registra de manera automática la señal de los sensores de posición de las articulaciones en todos los puntos recorridos.
- **Guiado Pasivo por Maniquí:** Un robot doble posee una configuración idéntica que el robot real, pero es mucho más ligero y fácil de mover. La programación se realiza llevando de la mano a este doble, mientras que la unidad de control muestrea y almacena con cierta frecuencia los valores que toman los sensores de posición de las articulaciones, para su posterior repetición por el robot.

**b) Guiado activo:** Esta posibilidad permite emplear el propio sistema de accionamiento del robot, controlado desde una botonera o bastón de mando (conocido como joystick) para que sea éste el que mueva sus articulaciones. Atendiendo a la potencia del sistema, se habla de guiado básico y guiado extendido.

**c) Guiado Básico:** El robot es guiado por los puntos por los cuales se desea que pase durante la fase de ejecución automática del programa. Durante ésta, la unidad de control interpola dichos puntos según determinadas trayectorias. Muchas veces no es posible incluir ningún tipo de estructuras de control dentro

del programa, por lo que los puntos son recorridos siempre secuencialmente, en el mismo orden que se programaron.

- d) Guiado Extendido:** Permite especificar, junto a los puntos por los que deberá pasar el robot, datos relativos a la velocidad, tipo de trayectoria, precisión con la que se quiere alcanzar los puntos, control del flujo del programa, atención a entradas/salidas binarias, etc. En este caso, el método guiado de utilizado es el de la botonera o joystick. El guiado extendido aumenta la potencia del sistema de programación.

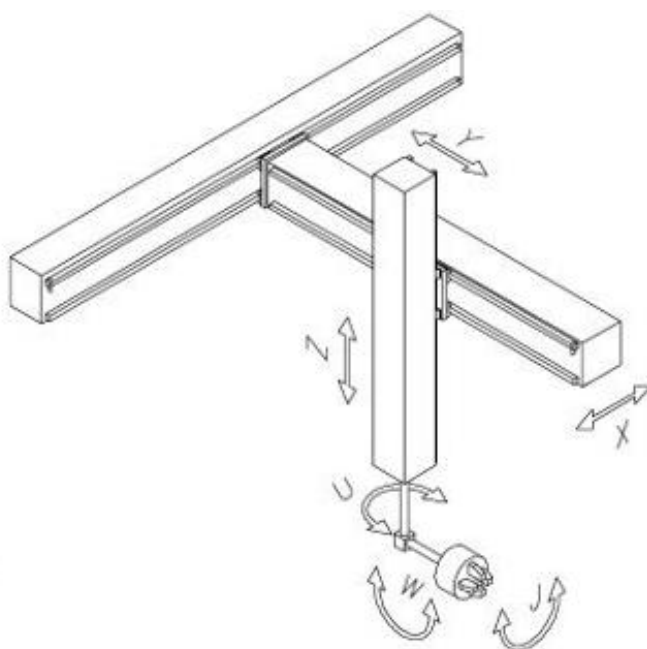
Otro método de programación de un robot cartesiano es a través de programación textual.<sup>18</sup>

El programa queda constituido por un texto de instrucciones o sentencias, cuya confección no requiere de la intervención del robot; es decir, se efectúan "off-line". Con este tipo de programación, el operador no define, prácticamente, las acciones del brazo manipulado, sino que se calculan, en el programa, mediante el empleo de las instrucciones textuales adecuadas para:

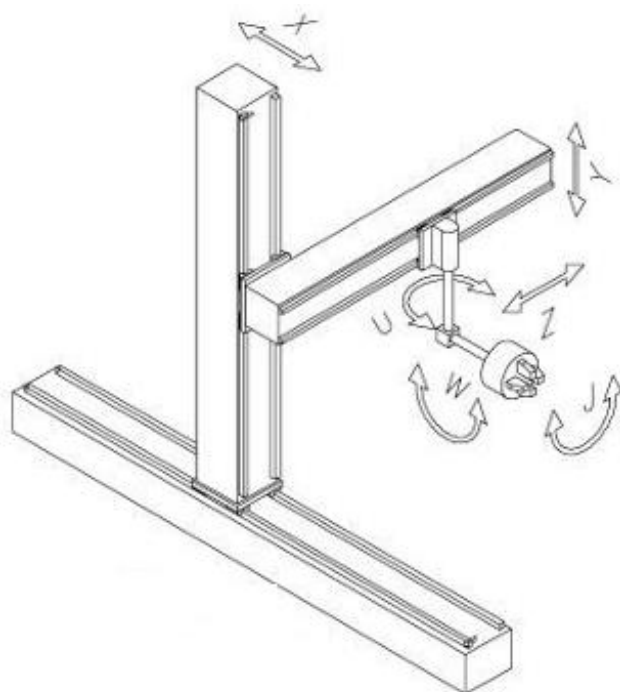
- **Articular**, cuando el lenguaje se dirige al control de los movimientos de las diversas articulaciones del brazo.
- **Cartesiano**, cuando el lenguaje define los movimientos relacionados con el sistema de manufactura, es decir, los del punto final del trabajo (TCP).

### 2.6.2. Tipos de robots cartesianos<sup>19,20</sup>

- **Versiones estándar:** el robot cartesiano en la versión estándar se presenta en la Figura 12. Este tipo de robot se puede suministrar con cualquier combinación de ejes, por ejemplo, se gira 90 grados a fin de tener la "Y" eje vertical, y la "Z" eje horizontal. Puede tener integrado servomotores o actuadores neumáticos.
- **Versiones compactas:** el robot cartesiano en la versión compacta se muestra en la Figura 13. La diferencia radica en la combinación de ejes para rotaciones específicas



**Figura12.** Robot cartesiano versión estándar.

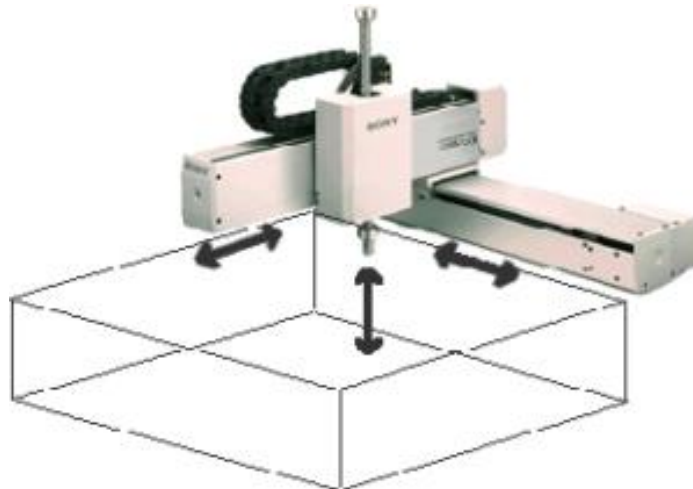


**Figura 13.** Robot cartesiano versión compacto.

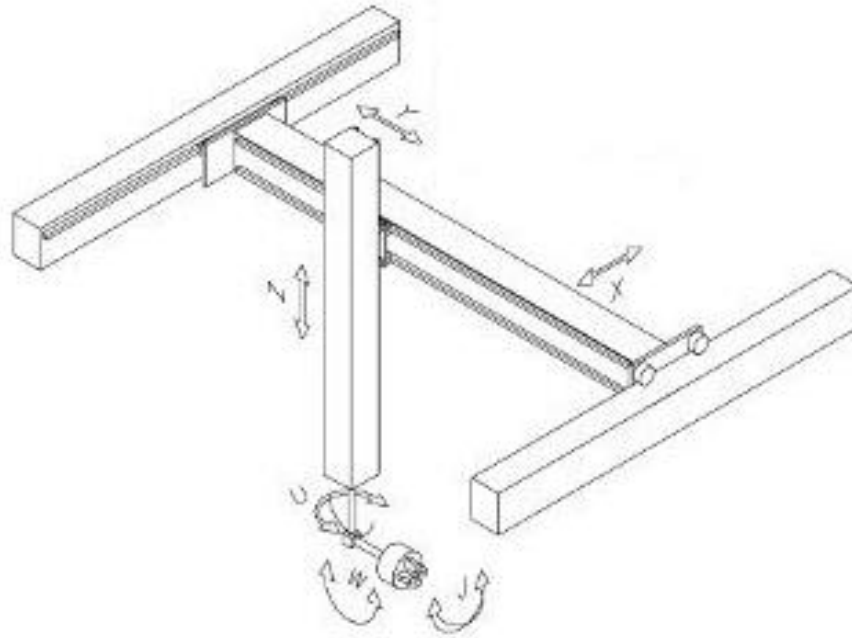
En la Figura 14 se presentan estructuras de robot lineal y de tipo pórtico. En la Figura 15 se aprecia los movimientos que puede realizar un robot cartesiano convencional.<sup>16</sup> En la Figura 16 se observa un robot cartesiano tipo pórtico.



**Figura 14.** Robots cartesianos lineal y de pórtico.



**Figura 15.** El eje base (X) de un robot cartesiano generalmente está soportado a lo largo de toda su longitud, pero el eje Y o Z está en voladizo.



**Figura 16.** Robot cartesiano versión de pórtico.

## 2.7 BRAZO ROBOT<sup>21</sup>

El brazo robótico es un brazo mecánico, generalmente programable, que realiza la misma función o similar al brazo humano. El brazo robótico generalmente se compone de siete segmentos metálicos, unidos por seis articulaciones para asimilar el funcionamiento de un brazo humano.

Un brazo robótico se puede caracterizar en 5 categorías principales en función de su estructura mecánica:

- **Robot cartesiano:** tiene tres articulaciones que coinciden con los ejes cartesianos XYZ estándar.
- **Robot cilíndrico:** tiene varias articulaciones que giran sobre ejes cilíndricos, que giran sobre una varilla fija.
- **Brazo esférico o polar:** son aquellos con articulaciones que le permiten una rotación completa a lo largo de un rango esférico.
- **Robot SCARA:** estos robots tienen dos juntas rotativas paralelas para permitir el movimiento completo a través de un plano, generalmente para el trabajo de recoger y colocar.

- **Robots articulados:** la configuración más utilizada debido a su flexibilidad para llegar a cualquier parte de la envoltura de trabajo. Se utiliza principalmente en aplicaciones tan complejas como operaciones de soldadura, perforación y soldadura.

### 2.7.1 Componentes de un brazo robótico<sup>22</sup>

**Controladores:** Los controladores son los principales procesadores de los brazos robóticos y actúan como sus cerebros. Pueden actuar automáticamente según lo programado o permitir la operación manual enviando instrucciones directamente de un técnico.

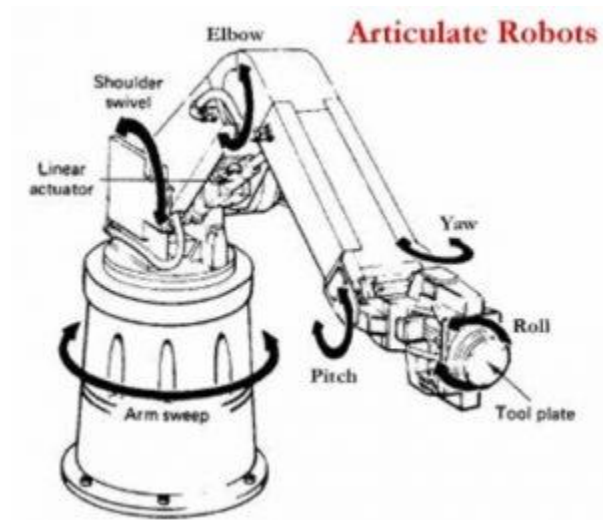
**Brazos:** El brazo es la sección principal del brazo robótico y consta de tres partes: el hombro, el codo y la muñeca. Estas son todas las articulaciones, con el hombro apoyado en la base del brazo, típicamente conectado al controlador, y puede moverse hacia adelante, hacia atrás o girar.

**Efecto final:** El efecto final actúa como la mano del brazo robótico. A menudo se compone de dos garras, aunque a veces tres, que se pueden abrir o cerrar por comando.

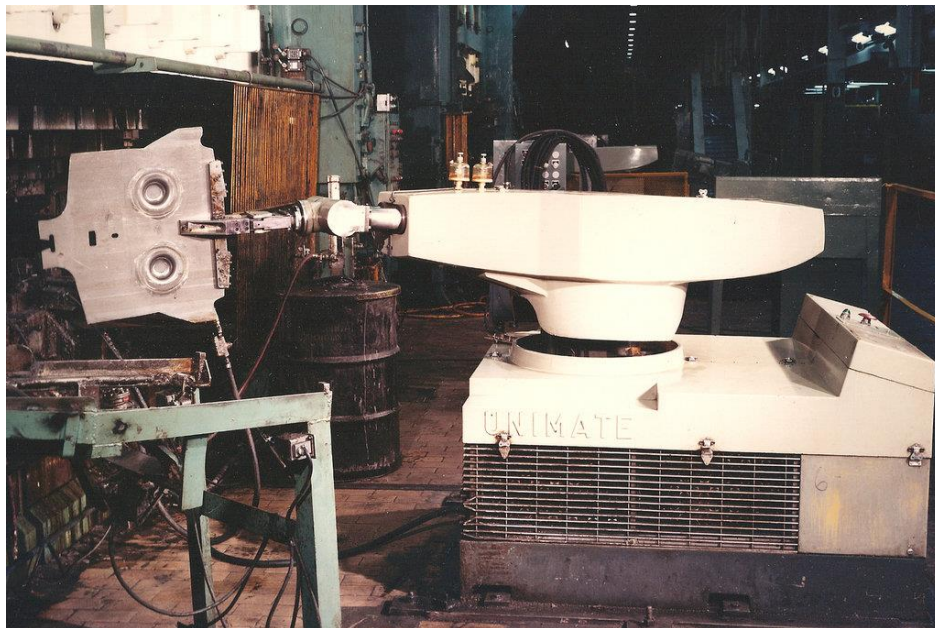
**Unidades:** Las unidades son esencialmente los motores entre las articulaciones que controlan el movimiento y las maniobras.

**Sensores:** Los sensores se encuentran con mayor frecuencia en robots avanzados. Algunos están llenos de sensores que les permiten detectar su entorno y reaccionar en consecuencia.

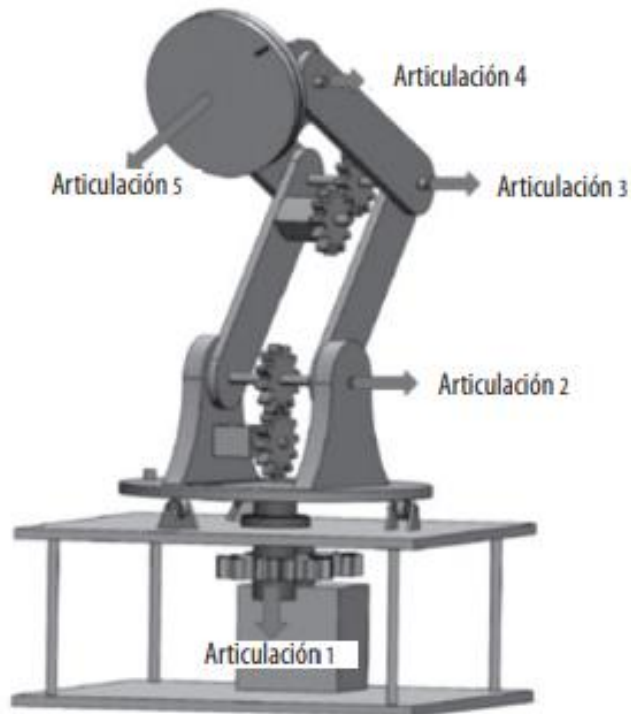
En la Figura 17 se muestra un brazo articulado. El brazo puede hacer movimientos articulados en X, Y, Z con diversos grados de libertad.<sup>21</sup> En la Figura 18 se presenta un brazo robot industrial comercial.<sup>23</sup> En la Figura 19, se observa el diseño tridimensional del brazo robótico con mecanismos de traslación.<sup>24</sup>



**Figura 17.** Esquema de un brazo robot con grados de libertad.



**Figura 18.** Brazo robot marca Unimate.



**Figura 19.** *Diseño tridimensional de un brazo robótico con mecanismos de traslación.*

## 2.8 SOLIDWORKS

SolidWorks es un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora) para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D que permite cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del producto. SolidWorks permite crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño.<sup>25</sup> Este software cuenta con herramientas útiles en el desarrollo de productos o procesos como, por ejemplo:

- para crear modelos y ensamblajes.
- para la fabricación mecánica.
- para evaluar el diseño y garantizar que es el mejor posible.

En la Figura 20, se observa un ejemplo de la capacidad de diseño de SolidWorks con mecanismos de traslación integrados.



**Figura 20.** *Diseño de un observatorio en el software SolidWorks.*

## 2.9 SENSORES

Un sensor es un dispositivo que detecta y responde a algún tipo de entrada del entorno físico. La entrada específica podría ser luz, calor, movimiento, humedad, presión o cualquiera de una gran cantidad de otros fenómenos ambientales. La salida es generalmente una señal que se convierte en una pantalla legible por humanos en la ubicación del sensor o se transmite electrónicamente a través de una red para su lectura o procesamiento posterior.<sup>13</sup>

Los sensores de interés para la manufactura se pueden clasificar como sigue:<sup>26,27,28</sup>

- Sensores mecánicos, para medir cantidades como posición, forma, velocidad, fuerza, torque, presión, vibración, deformación y masa.
- Sensores eléctricos, para medir voltaje, corriente, carga y conductividad.
- Sensores magnéticos, para medir campo, flujo y permeabilidad magnética.
- Sensores térmicos, para medir temperatura, flujo, conductividad y calor específico.
- Otros tipos como acústicos, ultrasónicos, químicos, ópticos, de radiación, láser y de fibra óptica.

- Sensores pasivos, son aquellos que generan señales representativas de las magnitudes a medir por intermedio de una fuente auxiliar. Ejemplo: sensores de parámetros variables (de resistencia variable, de capacidad variable, de inductancia variable).
- Sensores activos o generadores de señal, son aquellos que generan señales representativas de las magnitudes a medir en forma autónoma, sin requerir de fuente alguna de alimentación. Ejemplo: sensores piezoeléctricos, fotovoltaicos, termoelectrónicos, electroquímicos, magnetoeléctricos.
- Todo o nada, son los sensores que solo poseen dos estados, y que, estos estados, únicamente están separados por un valor umbral de la variable monitoreada.
- Digitales, estos sensores proporcionan una señal codificada en pulsos o sistemas como BCD, binario, etcétera.
- Analógicos, estos sensores proporcionan un valor de voltaje o corriente, donde la señal más común utilizada en aplicaciones industriales es un circuito de corriente de 2 hilos y 4-20 mA.

En la Figura 21, se muestra una clasificación de tipos de sensores según las características comunes de uso. En la Figura 22 se presenta en ejemplo de un sensor encoder empleado para medir las revoluciones obtenidas de un motor



**Figura 21.** Clasificación completa de los sensores.



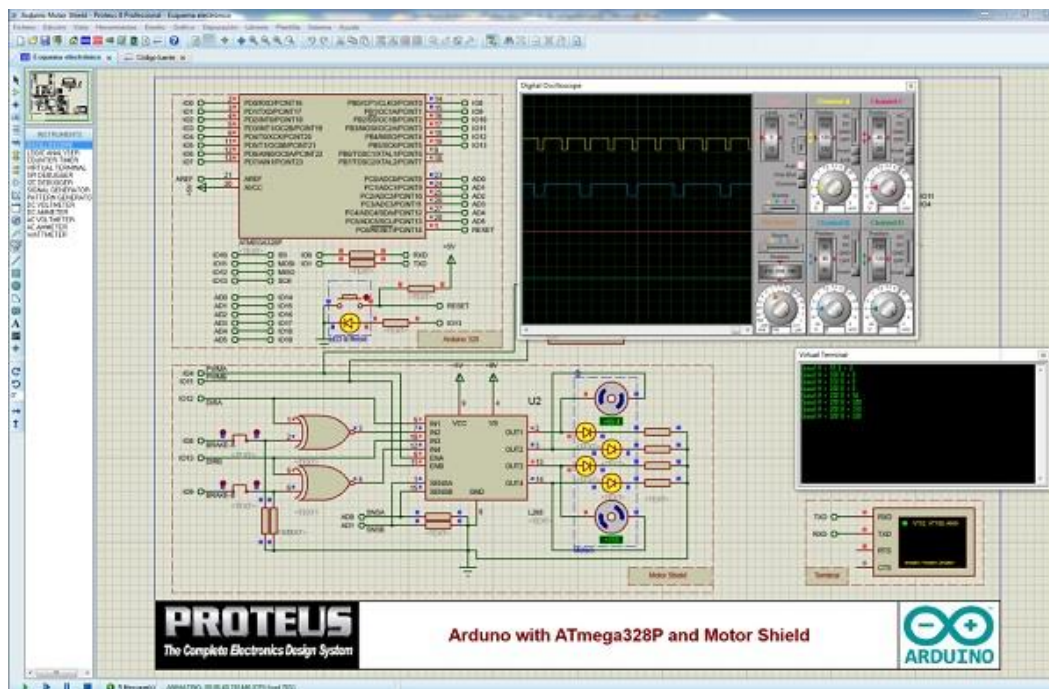
**Figura 22.** Sensor Keyes KY-040 Arduino Rotary Encoder.

## 2.10 SOFTWARE PROTEUS

Proteus es un software uso libre para el desarrollo de proyectos y el diseño de esquemas electrónicos, construcción de la placa de circuito impreso, simulación de todo el conjunto, depuración de errores, documentación y construcción.<sup>29</sup>

Además, durante la realización de los diseños y esquemas electrónicos también el software nos permite hacer simulaciones avanzadas que nos ayudan a comprobar el correcto funcionamiento de nuestro proyecto, mediante el uso de las herramientas ProSPICE (motor de simulación de circuitos electrónicos) desde la propia pestaña esquema electrónico.<sup>30</sup>

En la Figura 23 se muestra un esquema eléctrico y una simulación para observar el comportamiento del circuito y como reaccionan las señales digitales por medio de un osciloscopio.

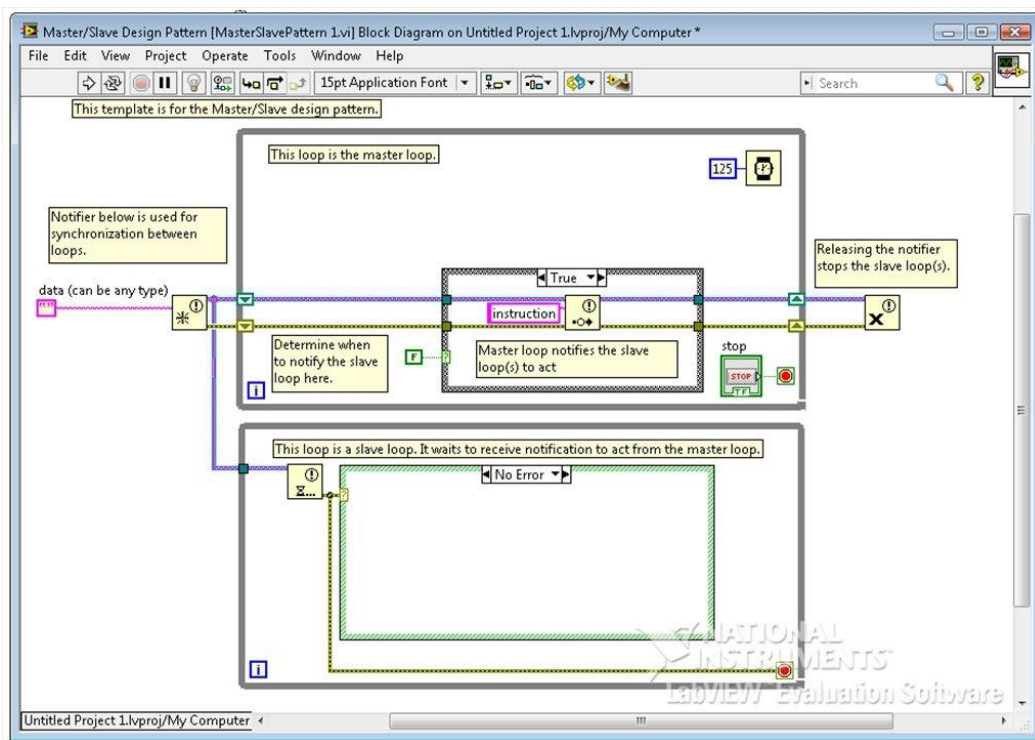


**Figura 23.** motor de simulación de circuitos electrónicos.

## 2.11 SOFTWARE LabVIEW

Un lenguaje de programación visual gráfico pensado para sistemas hardware y software de pruebas. Esta es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas de control digital o electrónico como lo es la interfaz con Arduino y hacer pruebas experimentales este software es el preferido entre los investigadores y diseñadores de equipos mecatrónicos, así como especialistas en materias de físico-química.<sup>32</sup>

La Figura 24 muestra un entorno de programación gráfica (G) que utiliza íconos, terminales y cables en lugar de texto para ayudarle a programar de la misma manera en que usted piensa.<sup>32</sup>

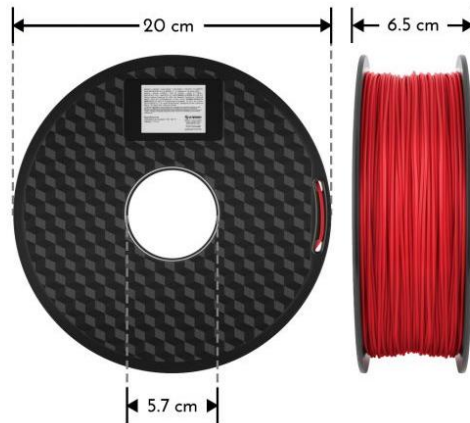


**Figura 24.** Entorno de programación LabVIEW (Block Diagram).

## 2.12 Filamento PLA para impresión 3D

El filamento PLA (poliácido láctico) es un polímero constituido por elementos similares al ácido láctico con propiedades semejantes a las del tereftalato de polietileno además puede ser biodegradable bajo ciertas condiciones a temperaturas de 60 °C.<sup>31</sup>

En la Figura 25 se muestra lo que es un carrilete de con 1 kg de filamento PL comercial.<sup>31</sup>



**Figura 25.** imagen de PLA para venta en tienda STEREN.

### III. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

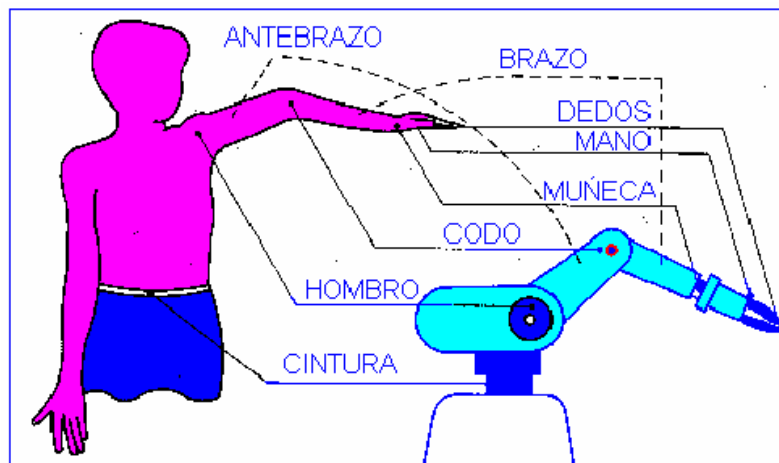
#### 3.1 Diseño del robot cartesiano y brazo robótico

Mediante software de diseño Solid Works se elaboró el diseño del robot cartesiano y brazo robótico previo a su construcción para validar dimensiones, materiales y funcionamiento.

Los diseños incluyen:

- Brazo robótico de sujeción.
- Estructura de soporte de montaje y ensamble para el desplazamiento de brazo.

En la Figura 26 se presenta un esquema comparativo del brazo del ser humano y su emulación mediante un brazo robótico. El movimiento articular natural del brazo humano se logra en el brazo robótico a través de sensores, actuadores y piezas de soporte a la medida.



**Figura 26.** Brazo robótico vs brazo humano: articulaciones y movimientos.

#### 3.2 Construcción del robot cartesiano y brazo robótico

Se construyó el robot cartesiano y el brazo robótico empleando materiales de fácil adquisición, pero de resistencia comprobada. La estructura de soporte permitió

integrar el sistema de control y automatización. Se emplearon equipos electrónicos especializados para su construcción.

Entre otros materiales y dispositivos de control se emplearon:

- Materiales de acero al carbón comerciales como ángulo de 1/8 x 1/2 pulgada, perfil tubular de 1/2 pulgada, entre otros.
- Actuador servo motor MG996R con un torque de 11kg/cm, ver Figura 27.
- Varilla roscada 8mm x 500mm para convertir movimientos de rotación en rotación lineal, ver Figura 28.
- Motor a pasos NEMA 17 3.6v-12v 1.5A con un torque 3.6 kg/cm, ver Figura 29.
- Tuerca husillo trapezoidal 8mm para soporte de los rieles de conducción, ver Figura 29.
- Interruptor Micro switch con palanca mouse touch, ver Figura 31.
- Cople rigido 5mm-8mm para acoplarse a motores con flecha, ver Figura 32.
- Chumacera de pared 8mm, ver Figura 33.



**Figura 27.** Servo motor MG996R.



**Figura 28.** Varilla roscada 8mm x 500mm.



**Figura 29.** Motor a pasos NEMA 17.



**Figura 30.** Tuerca husillo trapezoidal 8mm.



**Figura 31.** *Micro switch con palanca mouse touch.*



**Figura 32.** *Cople rigido 5mm-8mm.*



**Figura 33.** *Chumacera de pared 8mm.*

Para manufacturar piezas específicas para el sistema del brazo robótico se utilizó el replicador z18 es una impresora con gran volumen de impresión. Este equipo se pueden fabricar prototipos industriales, modelos conceptuales y productos extragrandes o de gran altura, además puedes imprimir varios objetos a la vez para ahorrar tiempo y reducir costos. Es posible producir prototipos y partes con un costo mucho menor al de los equipos tradicionales de manufactura o de las impresoras 3d industriales. Además, posee una cámara interna de monitoreo.

**Datos técnicos:**

- **Tamaño del equipo:**  
49.3 x 56.5 x 86.1 cms.
- **Dimensiones de empaque:**  
65.0 x 71.9 x 106.0 cm.
- **Peso del equipo:**  
41 kg.
- **Peso del equipo empacado  
(incluye kit de accesorios):**  
52 kg.
- **Requerimiento energético:**  
100–240V, 50–60 HZ.  
350W; 5.4--2.2 A.
- **Conectividad:**  
USB, ETHERNET, WI-FI.

En la Figura 34 se muestra el equipo replicador Makerbot z18 empleado.



**Figura 34.** Impresora Makerbot z18.

### **3.3 Sistema de control**

El diagrama eléctrico se diseñó y construyó en el software PROTEUS y junto la librería de Arduino se realizó una simulación de como funcionaria el circuito y la reacción que tendrían los componentes de esta manera se analiza el funcionamiento y darle mejor eficacia.

El sistema embebido de *open source* en Arduino y su código de programación aplicable mediante la integración de elementos de hardware y electrónica modular y software de acceso libre en la web para desarrollar el sistema de control del robot cartesiano y brazo robótico.

A continuación, y a manera de ejemplo, se presenta un código Arduino de control de motor a pasos empleando un motor NEMA 17 de 2.4 kg/cm de 200 pasos tomado de

<https://www.mecatronicalatam.com/es/tarjeta/arduino/control-del-motor-a-pasos-bipolar-con-l293d>.<sup>28</sup>

```
#define BobinaUA 2
#define BobinaUB 3
#define BobinaDC 4
#define BobinaDD 5

void setup() {
  //Inicializamos los pines
  pinMode(BobinaUA, OUTPUT);
  pinMode(BobinaUB, OUTPUT);
  pinMode(BobinaDC, OUTPUT);
  pinMode(BobinaDD, OUTPUT);
}

void loop() {
  for(int i = 0; i < 51; i++){
    giroHorario(5);
  }

  delay(1000);

  for(int i = 0; i < 51; i++){
    giroAntiHorario(5);
  }
}

//Metodos para que gire el motor

void giroHorario(int tiempo){
```

```
digitalWrite(BobinaUA, HIGH);
digitalWrite(BobinaUB, LOW);
digitalWrite(BobinaDC, HIGH);
digitalWrite(BobinaDD, LOW);
delay(tiempo);
digitalWrite(BobinaUA, LOW);
digitalWrite(BobinaUB, HIGH);
digitalWrite(BobinaDC, HIGH);
digitalWrite(BobinaDD, LOW);
delay(tiempo);
digitalWrite(BobinaUA, LOW);
digitalWrite(BobinaUB, HIGH);
digitalWrite(BobinaDC, LOW);
digitalWrite(BobinaDD, HIGH);
delay(tiempo);
digitalWrite(BobinaUA, HIGH);
digitalWrite(BobinaUB, LOW);
digitalWrite(BobinaDC, LOW);
digitalWrite(BobinaDD, HIGH);
delay(tiempo);
}
```

```
void giroAntiHorario(int tiempo){
    digitalWrite(BobinaUA, HIGH);
    digitalWrite(BobinaUB, LOW);
    digitalWrite(BobinaDC, LOW);
    digitalWrite(BobinaDD, HIGH);
    delay(tiempo);
    digitalWrite(BobinaUA, LOW);
    digitalWrite(BobinaUB, HIGH);
    digitalWrite(BobinaDC, LOW);
```

```

digitalWrite(BobinaDD, HIGH);
delay(tiempo);
digitalWrite(BobinaUA, LOW);
digitalWrite(BobinaUB, HIGH);
digitalWrite(BobinaDC, HIGH);
digitalWrite(BobinaDD, LOW);
delay(tiempo);
digitalWrite(BobinaUA, HIGH);
digitalWrite(BobinaUB, LOW);
digitalWrite(BobinaDC, HIGH);
digitalWrite(BobinaDD, LOW);
delay(tiempo);
}

```

### 3.4 Cronograma de actividades

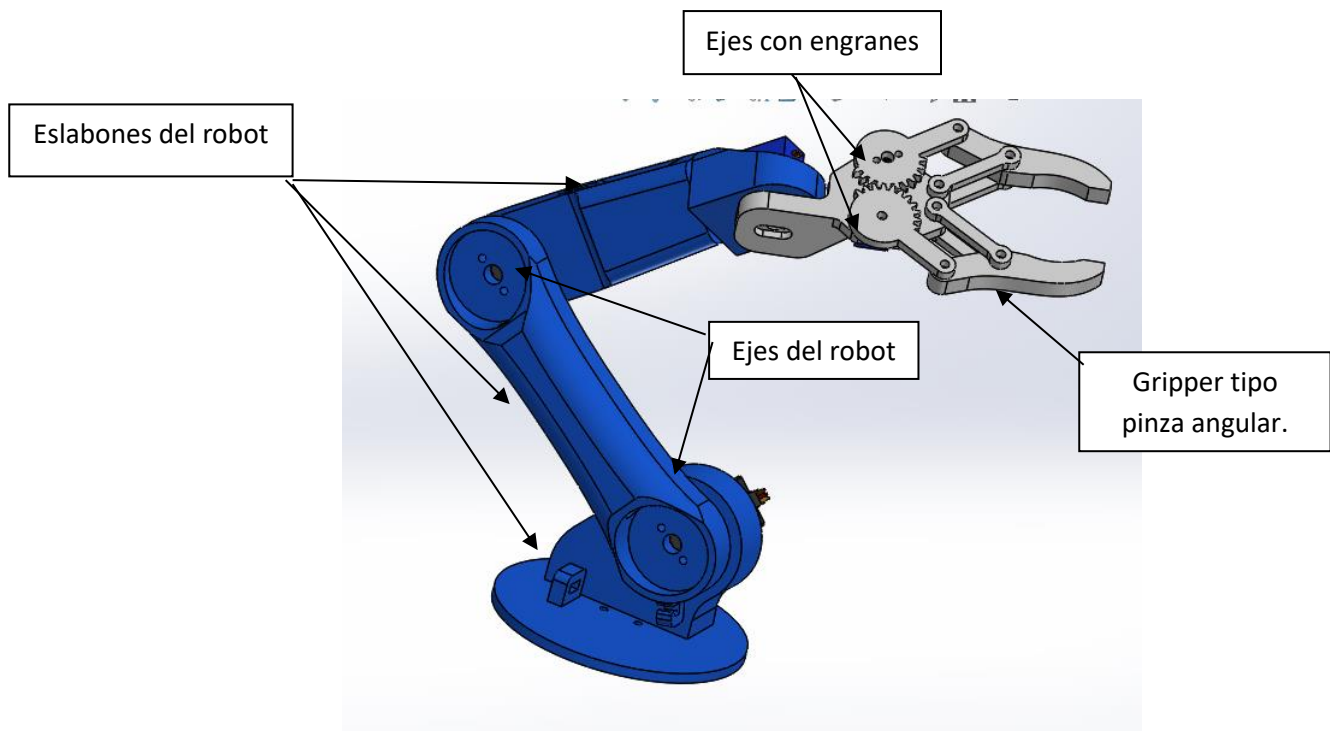
| Actividades                                         | Agosto |       | Septiembre |       | Octubre |       | Noviembre |       | Diciembre |       |
|-----------------------------------------------------|--------|-------|------------|-------|---------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
|                                                     | 1-15   | 16-31 | 1-15       | 16-30 | 1-15    | 16-31 | 1-15      | 16-30 | 1-15      | 16-31 |
| Diseño del robot cartesiano y brazo robótico        |        |       |            |       |         |       |           |       |           |       |
| Construcción del robot cartesiano y brazo robótico  |        |       |            |       |         |       |           |       |           |       |
| Diseño y construcción del sistema de control        |        |       |            |       |         |       |           |       |           |       |
| Asesorías                                           |        |       |            |       |         |       |           |       |           |       |
| Evaluación y seguimiento de asesorías               |        |       |            |       |         |       |           |       |           |       |
| Evaluación de reporte                               |        |       |            |       |         |       |           |       |           |       |
| Informe semestral                                   |        |       |            |       |         |       |           |       |           |       |
| Elaboración reporte técnico (productos entregables) |        |       |            |       |         |       |           |       |           |       |

## IV. RESULTADOS

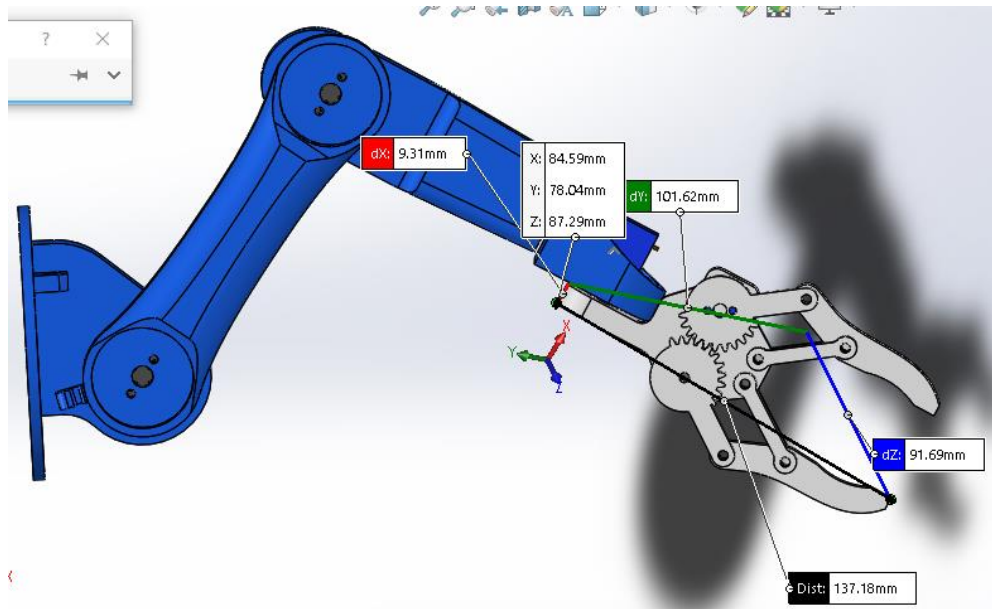
### 4.1 Diseño del robot cartesiano y brazo robótico

Se presentan diferentes vistas del diseño del brazo robótico. El brazo robótico se propone y anexa a la parte del eje vertical del robot cartesiano un robot angular (brazo robot) diseñado en SolidWorks que sea independiente para que este ejecute la tarea de sujetar y posicionar el filamento hasta su punto de destino en este caso los rodillos giratorios donde el hilo pasara a su tercera etapa.

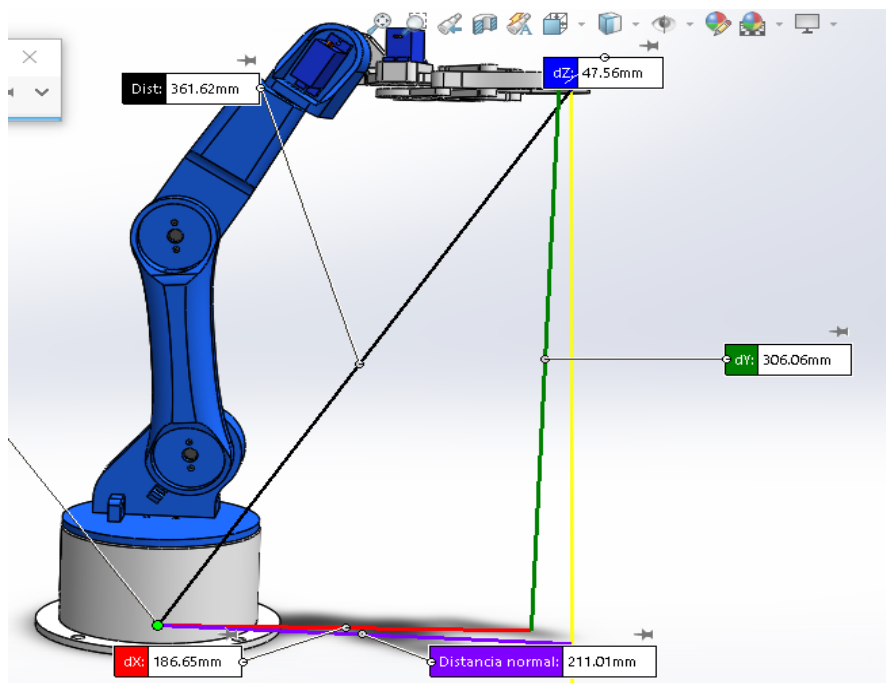
Enseguida se presentan diversas vistas del diseño del brazo robótico construido en impresora 3D y con elementos actuadores integrados a su estructura.



**Figura 35.** Brazo robot propuesto para la sujeción diseñado en SolidWorks.



**Figura 36.** Vista lateral del brazo con medidas de gripper.



**Figura 37.** Medidas de alcance del robot desde su base hasta la punta del gripper.

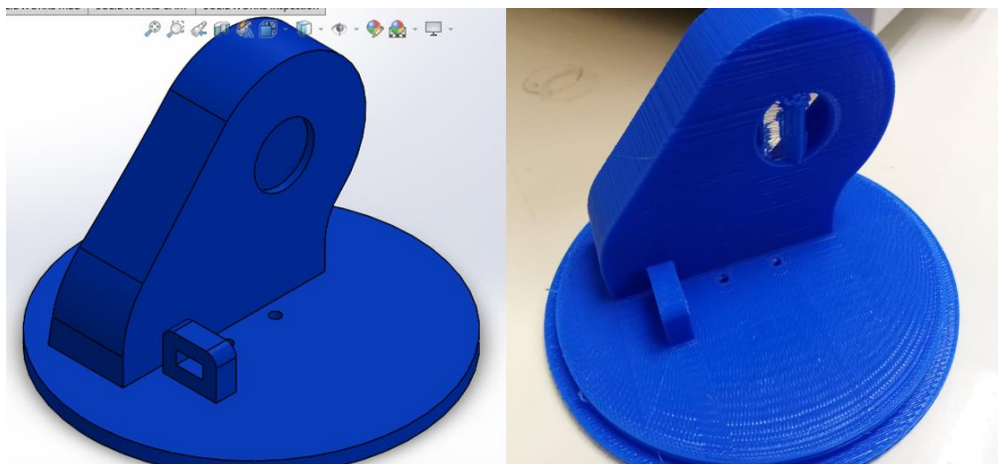
#### 4.1.1 Impresión 3D de las piezas para brazo robot en Makerbot print

Al diseñar cada pieza de los eslabones del brazo robot surgió la necesidad de manufacturarlas con gran precisión esta clase de piezas y aquí es donde entra el uso de la impresión 3D Y mediante este obtener piezas con este tipo de características, además.

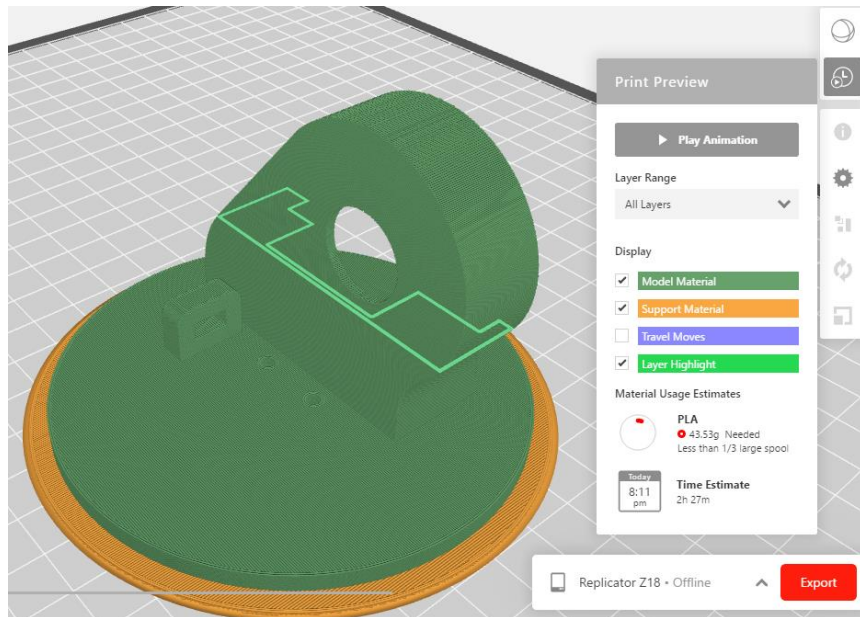
El material que se utilizó para la impresión 3D es PLA (Poliácido Láctico). Este es de gran resistencia y además uno de los mas ligeros en el mercado este material hace que nuestro brazo robot sea ligero y esto no afecte de ninguna forma su movilidad, además de soportar una temperatura max. de 190 grados otra ventaja es que proporciona una estructura rígida en un tiempo poco prolongado por pieza.

Enseguida se mostrarán las vistas de las piezas en diseño CAD y su comparación la fotografía de la pieza recién impresa en 3D se podrá notar la similitud exacta gracias a la precisión de la punta extrusora.

También se mostrarán las simulaciones de estas piezas en el software de la impresora Makerbot que es de mucha ayuda ya que nos permite ver el tiempo que toma la impresión, la cantidad de material a utilizar y además puedes modificar la posición de la pieza lo que ayuda a que la pieza se imprima más rápido otro detalle es que se puede colocar soportes para que la pieza no tenga ningún problema durante la impresión y mantenga una calidad máxima.



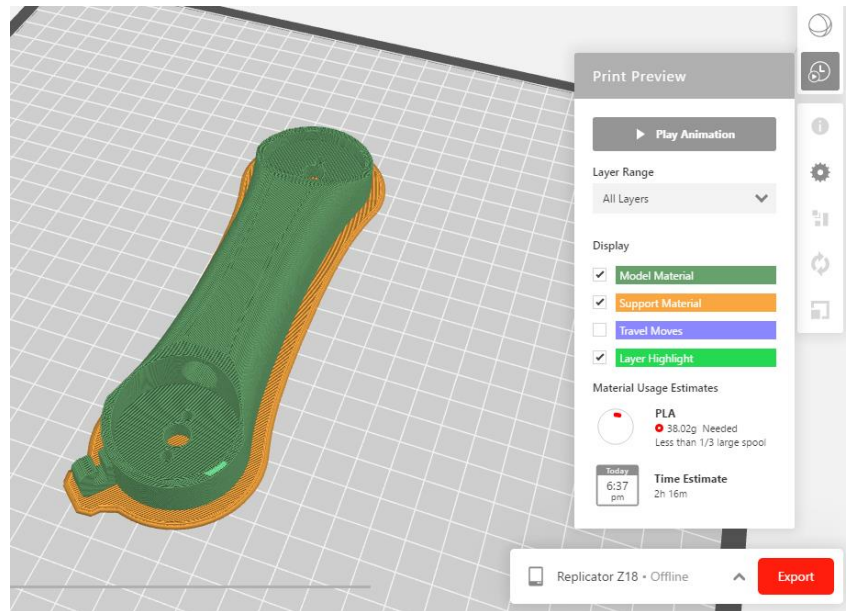
**Figura 38.** Comparación entre el diseño CAD y la impresión terminada del Primer eslabón del brazo robot.



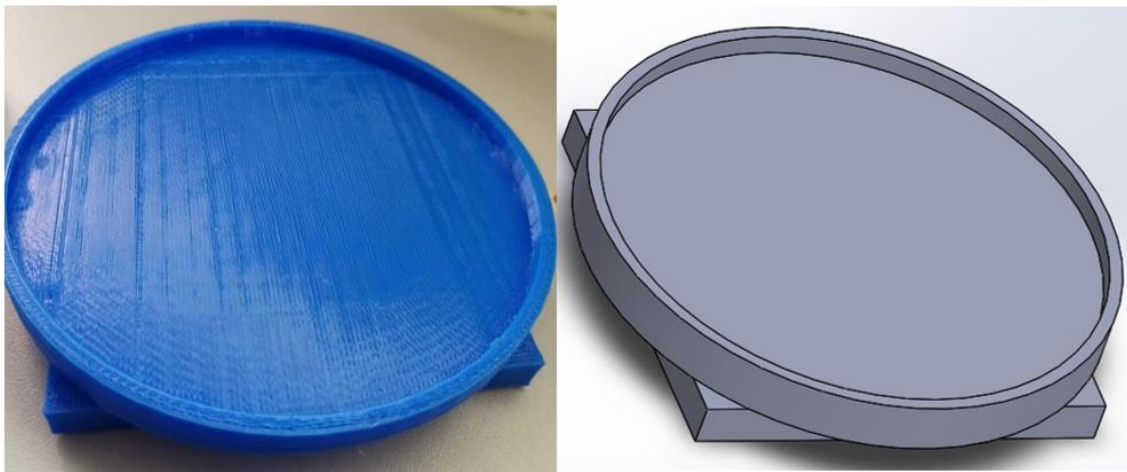
**Figura 39:** simulación de la impresión 3D de la pieza base.



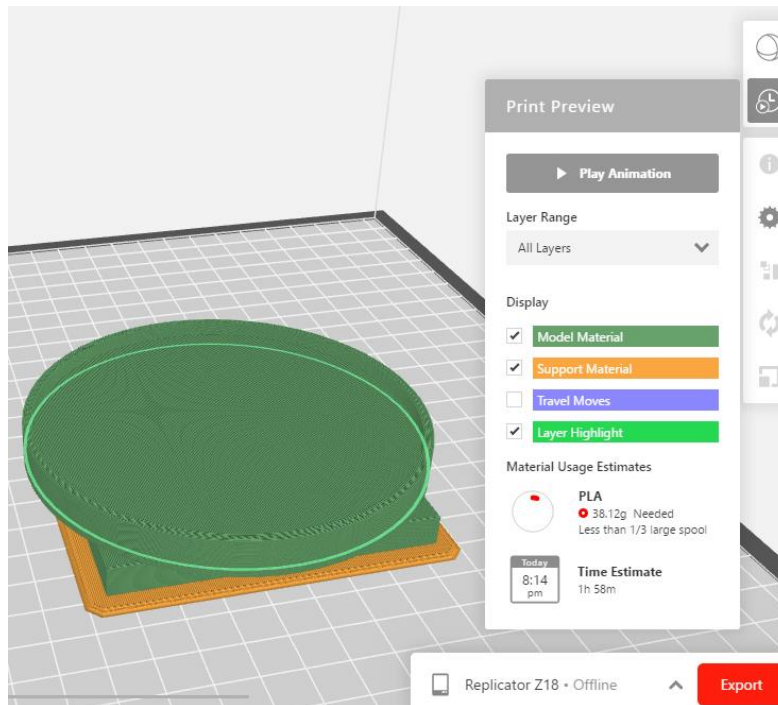
**Figura 40.** Comparación entre el del diseño CAD y la impresión terminada del segundo eslabón del brazo.



**Figura 41.** Simulación de la impresión 3D del segundo eslabón.



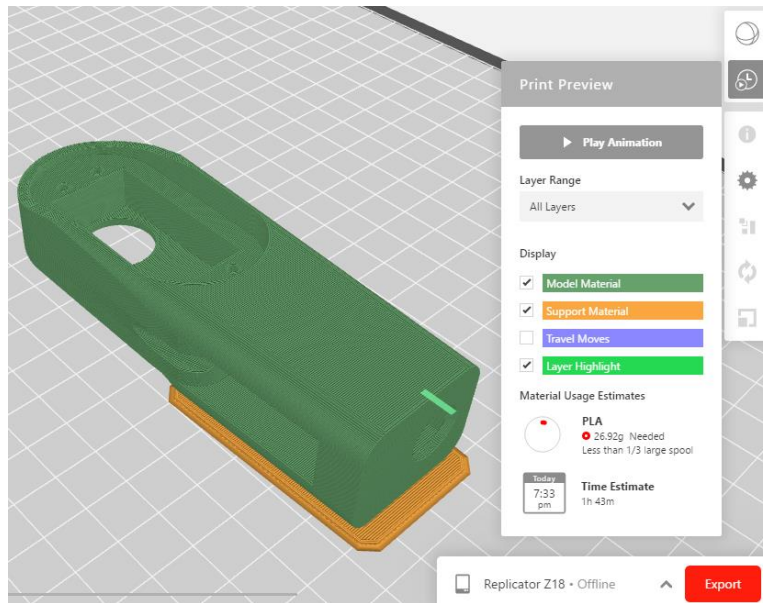
**Figura 42.** Comparación entre el diseño CAD y la impresión terminada de la Base donde se fijará el primer eslabón del brazo robot a el carro del eje Y del robot cartesiano.



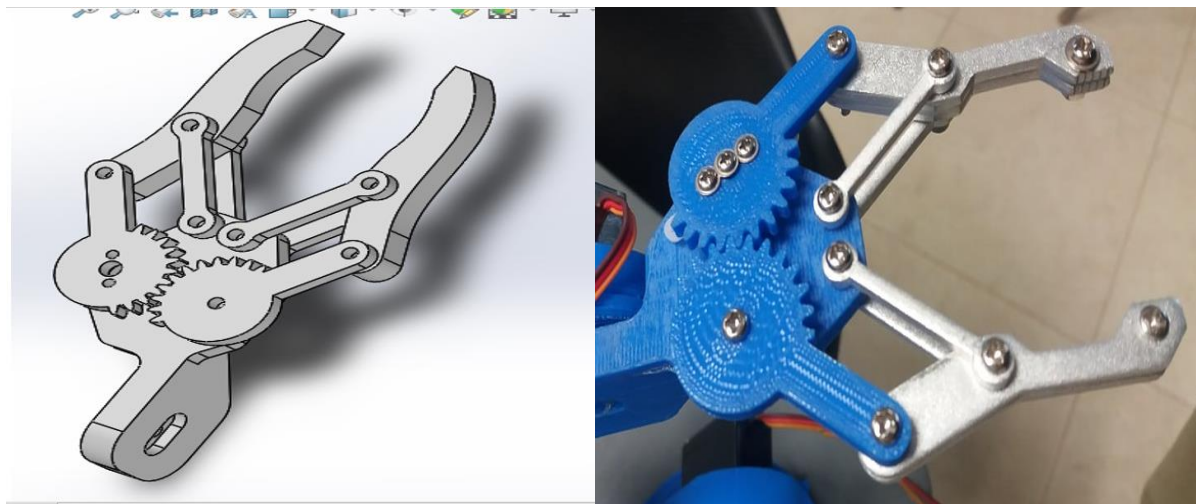
**Figura 43.** Simulación de la impresión 3D para la base de primer eslabón.



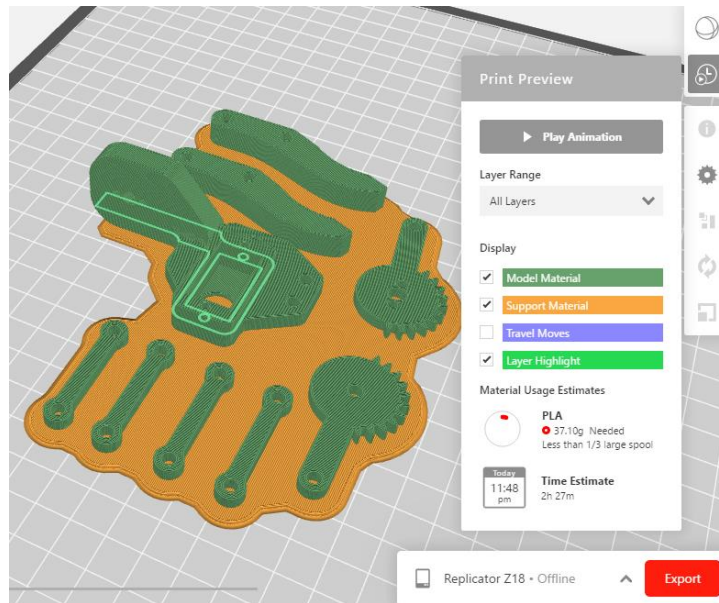
**Figura 44.** Comparación entre el diseño CAD y la impresión terminada del Tercer eslabón del brazo robot.



**Figura 45.** Simulación de la impresión 3D del tercer eslabón.



**Figura 46.** Comparación entre el diseño CAD y la impresión terminada de la Pinza angular para el gripper.



**Figura 47.** Simulación de la impresión 3D de las piezas que conforman la pinza angular para el gripper con un tiempo de 2 hrs 27 min.

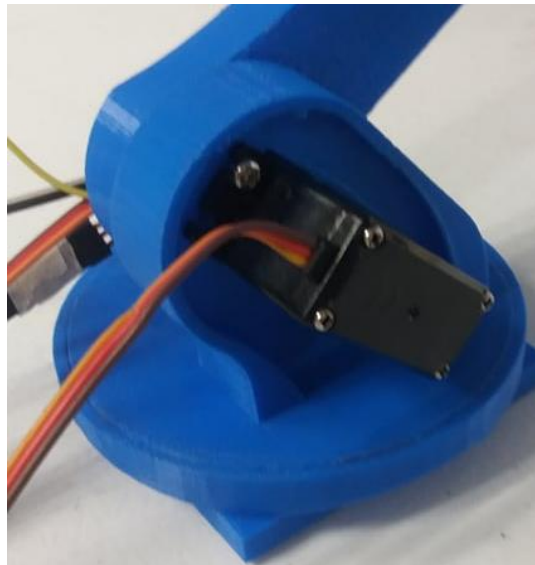
#### 4.1.2 Colocación de servomotores en sistema de robot angular

Básicamente el sistema que controla un brazo obotico de tres eslabones y 4 grados de libertad con un elemento final que gira en su propio eje en este caso un gripper tipo pinza angular para la sujeción del filamento.

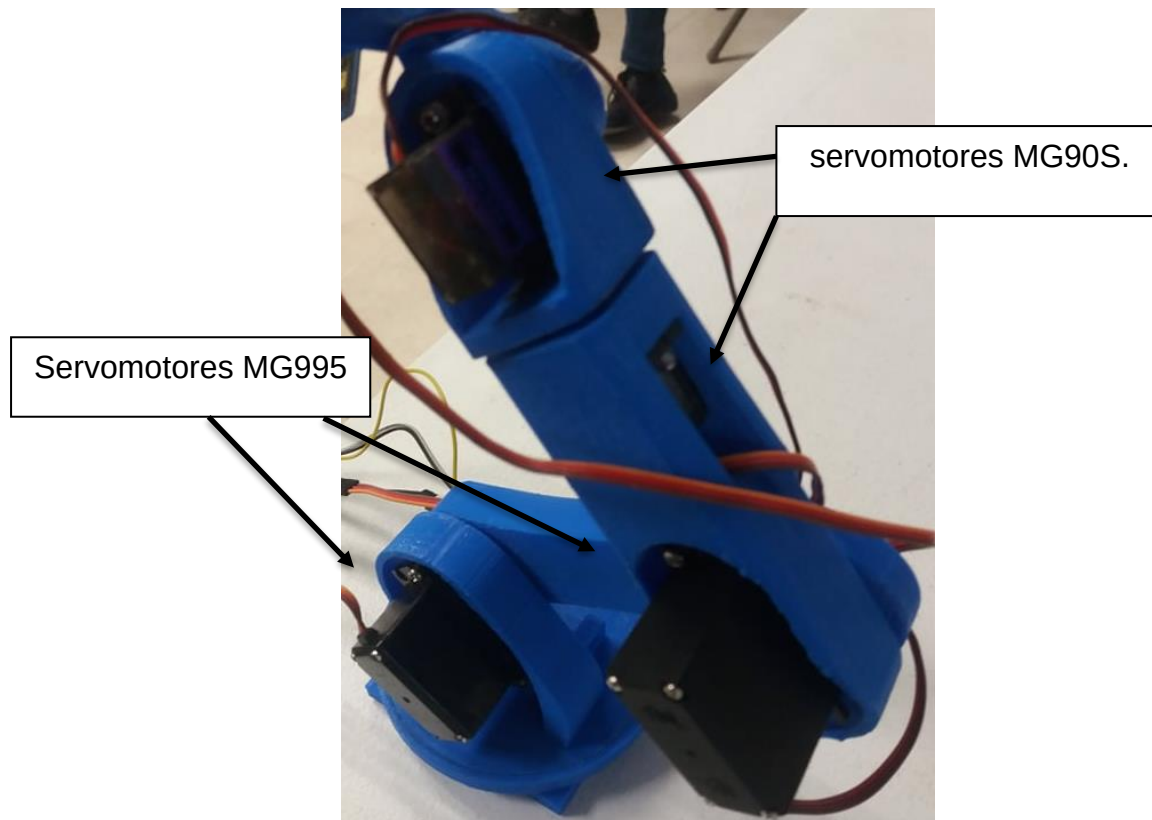
Por lo tanto, se necesita de dispositivos con la fuerza y precisión para generar los movimientos de los eslabones y el gripper aquies donde entran los dispositivos servomotores TowerPro MG995 con alto Torque, hasta 15 Kg-cm. Robustos de alto rendimiento, compactos con engranes de Metal, tamaño estándar, incluye accesorios y tornillos para montaje, es el apropiado para controlar cada uno de los ejes del brazo robótico angular.



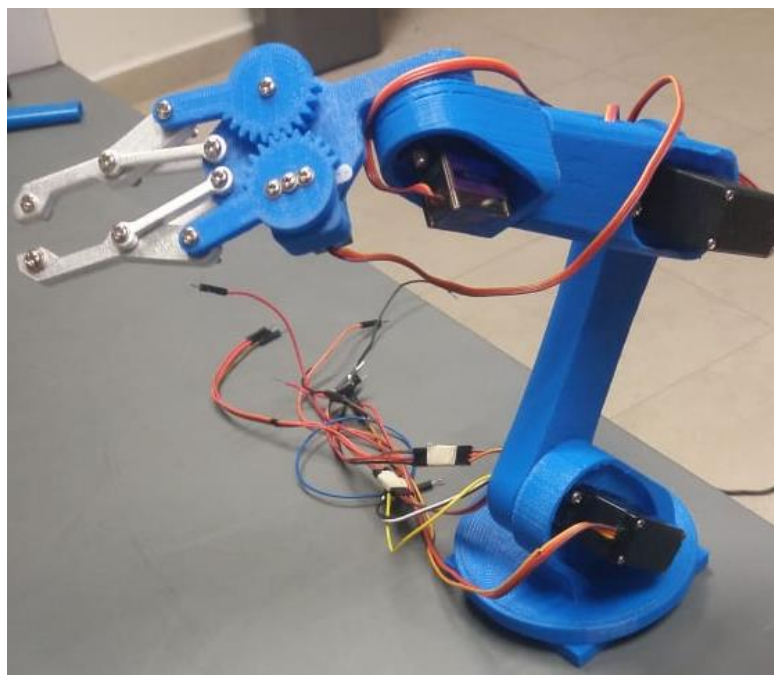
**Figura 48.** servomotor MG995 y servomotor MG90S.



**Figura 49.** Primer eslabón con servomotor MG995.



**Figura 50.** Sistema de eslabones con servomotores integrados.

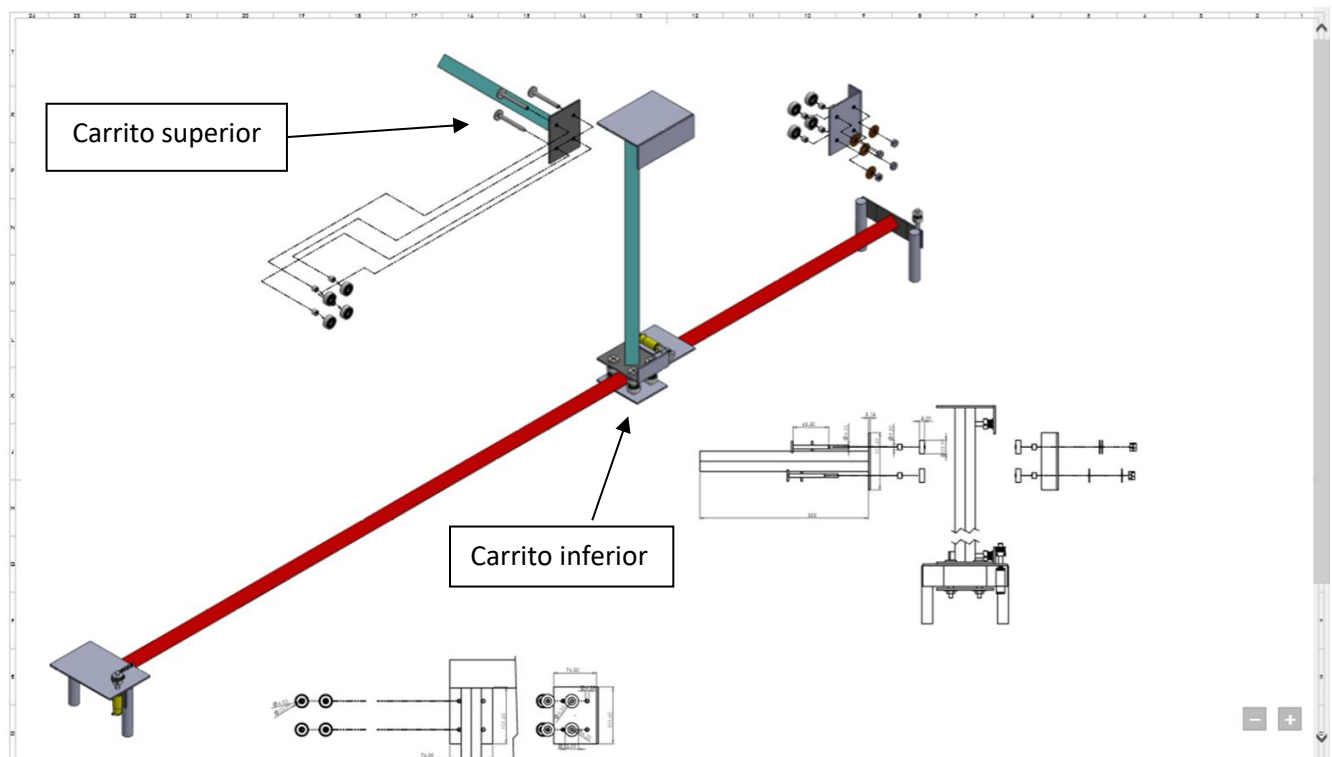


**Figura 51.** Brazo robot completo.

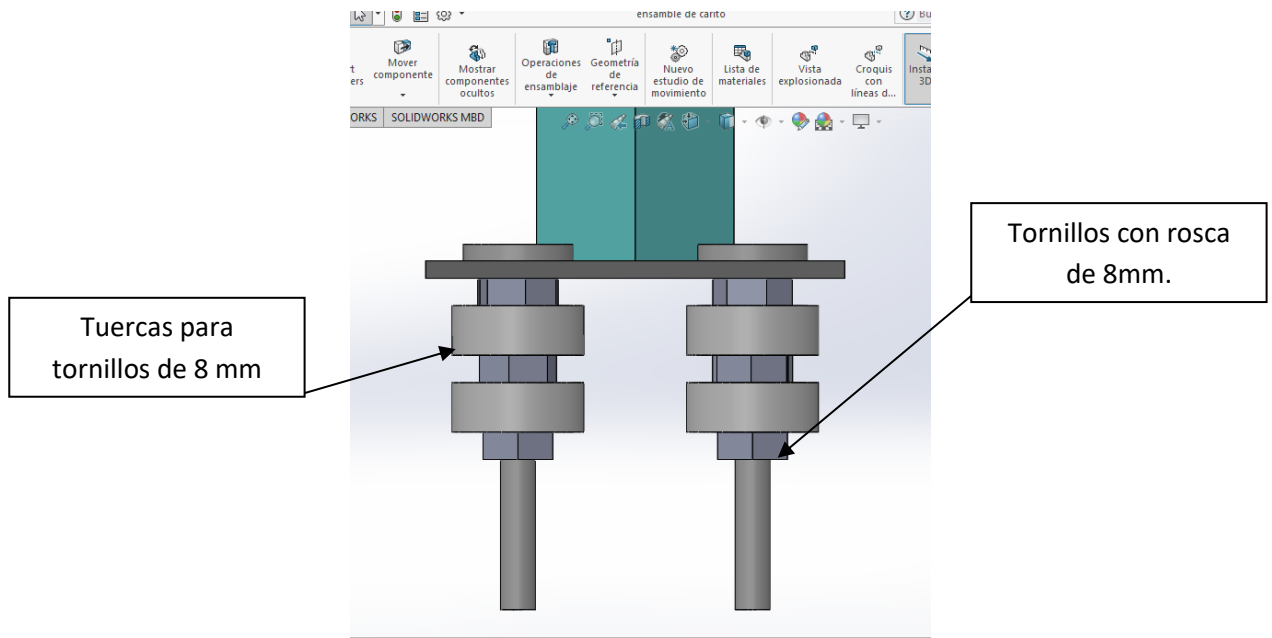
#### 4.1.3 Diseño de sistema de traslación lineal para eje superior (y) y eje inferior (x)

Se optó por un sistema de carros con baleros que permiten el movimiento libre de forma lineal en cualquiera de los dos ejes superior (y) e inferior (x). este sistema se basa en un motorized slider para cámara fotográfica y en base a su principio de funcionamiento se fue Desarrollando un diseño propio en SolidWorks herramienta de excelencia. El sistema de la slider consiste en una placa de 79 mm de ancho y 101 mm de largo, con 4 perforaciones en cada esquina donde se introducen tornillos de una cuerda de 8 mm y 68 mm de largo donde irán colocados 2 baleros en cada uno de los tornillos y sujetos a estos con rondanas y tuercas.

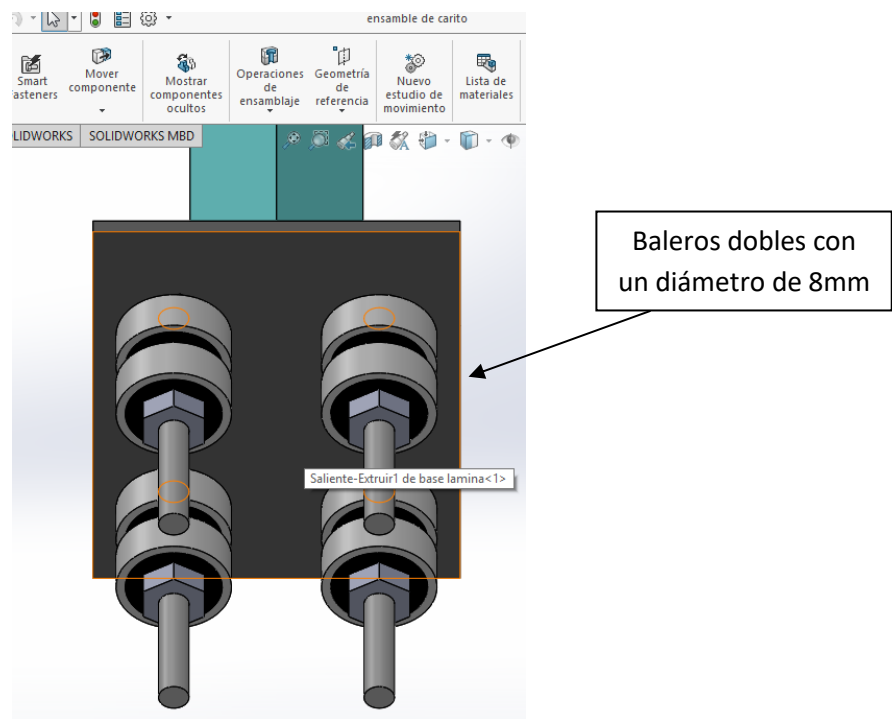
A continuación, se muestran imágenes del diseño CAD de los carritos slider y la estructura completa del robot cartesiano y la integración del brazo robótico al sistema completo.



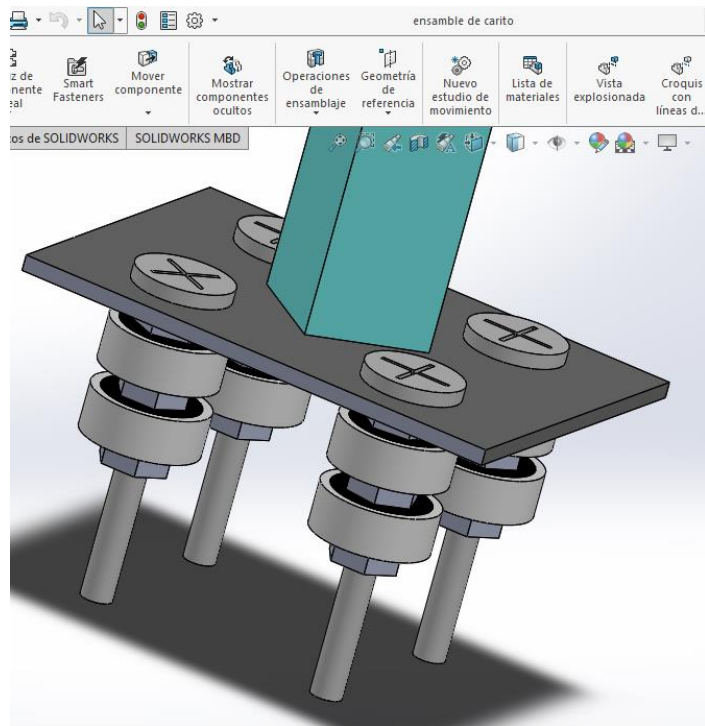
**Figura 52.** vista isométrica del sistema de traslación con explosión del eje superior y eje inferior del robot cartesiano.



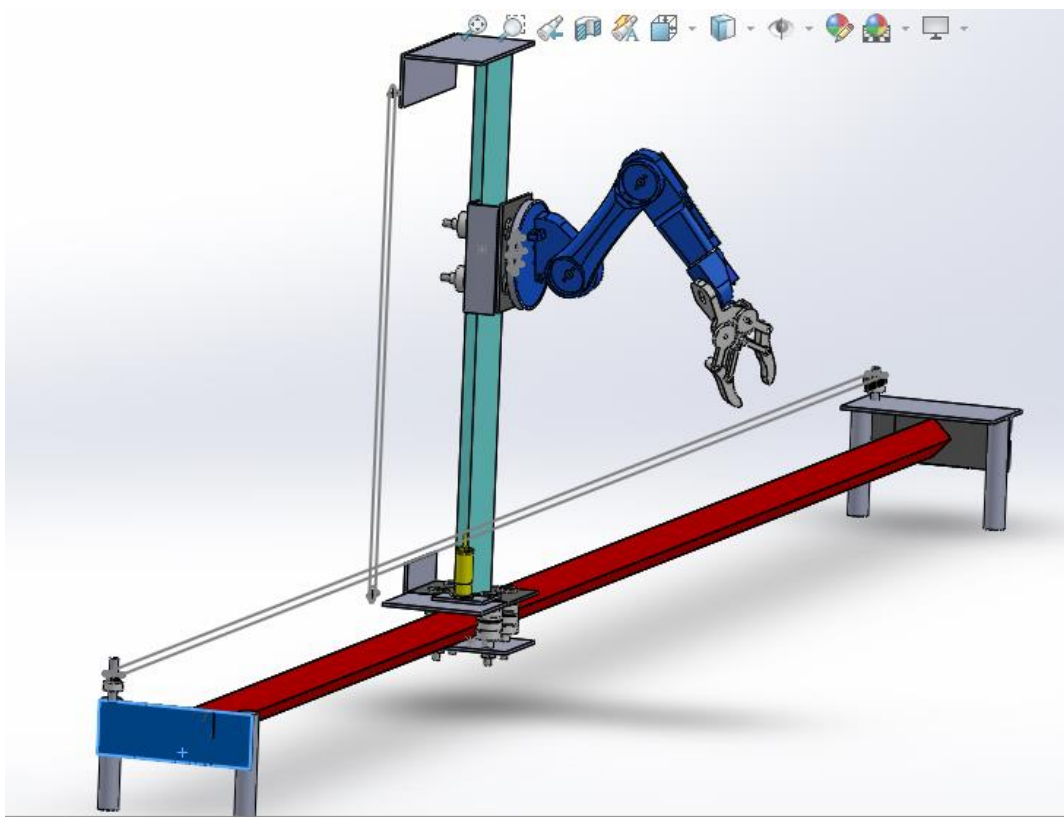
**Figura 53.** vista frontal del carrito slider.



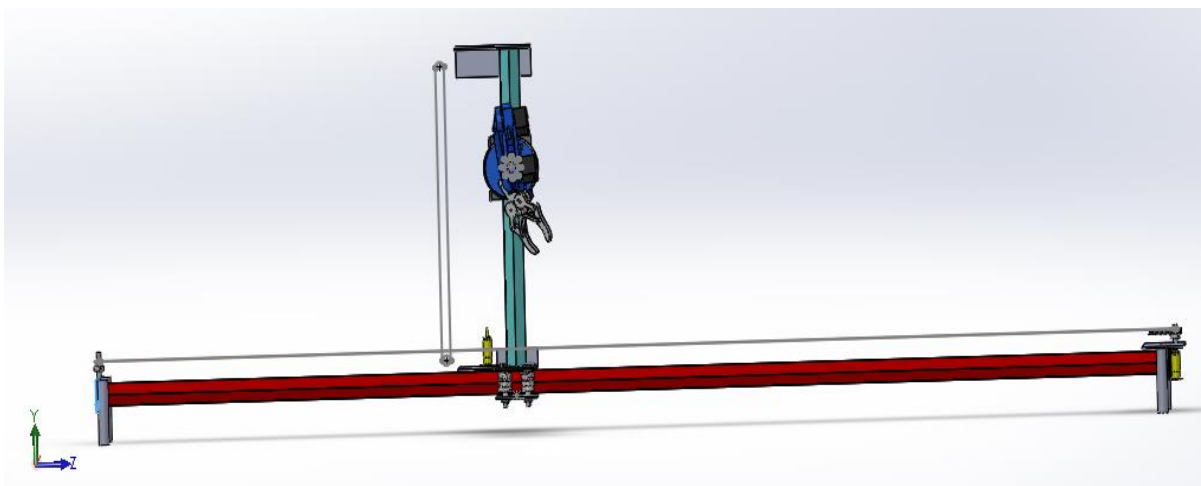
**Figura 54.** vista inferior del carrito slider.



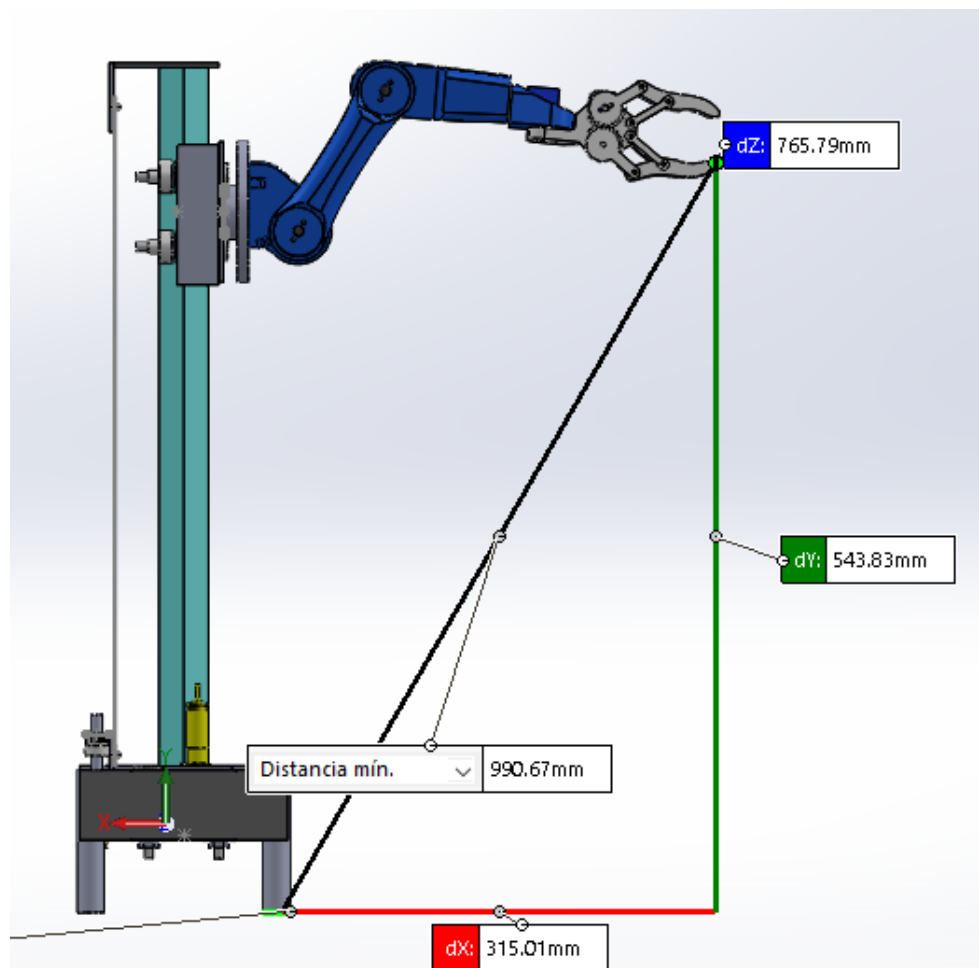
**Figura 55.** Vista isométrica del slider.



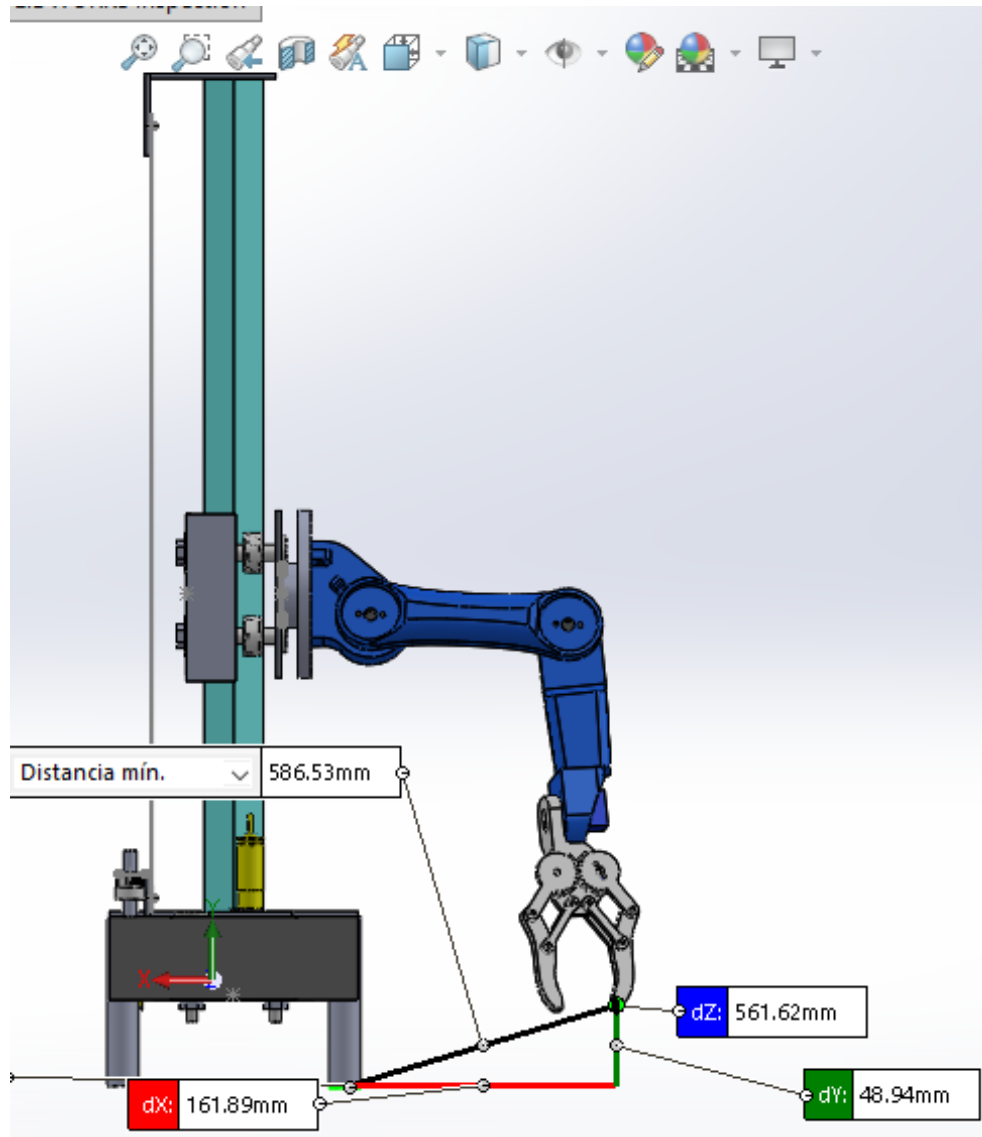
**Figura 56.** Integración del brazo robótico al robot cartesiano.



**Figura 57.** Vista frontal del sistema robótico completo.



**Figura 58.** Vista lateral con medidas de alcance desde la base hasta la punta del gripper.



**Figura 59.** Vista lateral con medidas de alcance desde la base hasta el gripper en posición de sujeción,

## 4.2 Construcción del robot cartesiano y brazo robótico

### 4.2.1 La construcción del sistema de traslación

La construcción de la slider consistió en el ensamble de piezas metálicas (solera, tubular, entre otra...) previamente cortadas a medida para ser unidas por soldadura con electrodo de 60-13 estándar para acero normal. También se utilizaron máquinas

herramientas para el barrenado y machueleado de las piezas donde se necesitaba atornillar como lo son los carritos que llevaban tornillos y turcas para sujetar los baleros.

En la Figura 60 se muestran las piezas de solera cortada para ser usadas como base de sujeción de los baleros en los carritos slider se utilizaron 9 soleras para uso total de la construcción.



**Figura 60.** Soleras de sujecion.

A continuación, se muestran imágenes del desarrollo y resultados de la construcción de los carritos slider y los ejes del robot cartesiano.



**Figura 61.** *Manufactura del robot cartesiano: soldadura.*



**Figura 62.** *Manufactura del robot cartesiano: barrenado de piezas con taladro de banco y una broca de 6.8 mm.*



**Figura 63.** *Manufactura del robot cartesiano: perforación de orificios para sujetar los baleros con tornillos y tuercas.*



**Figura 64.** *Manufactura del robot cartesiano: pulido de piezas.*



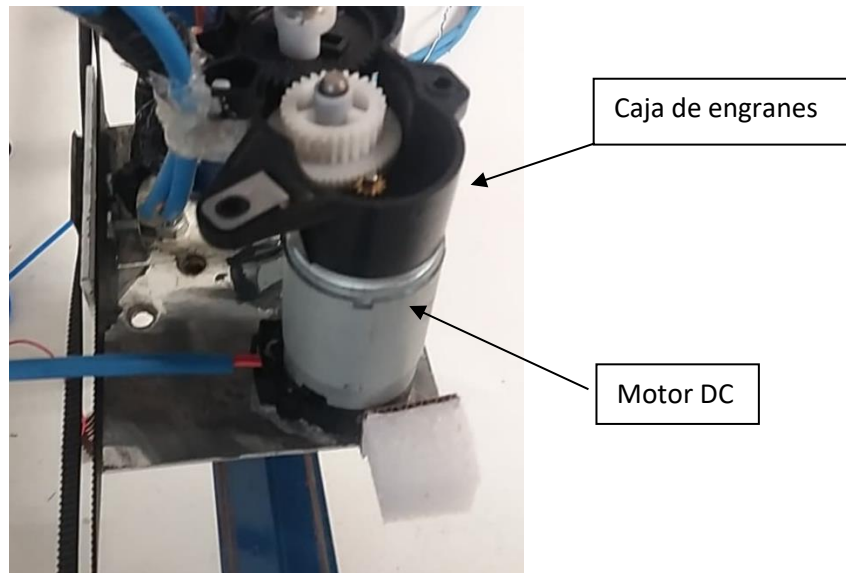
**Figura 65.** *Manufactura del robot cartesiano: ensamble del slider junto con el eje base.*

#### **4.2.2 Colocación de Motores DC de 5-12 volts**

Los motores son los actuadores que darán movimiento a los ejes que utilizamos para trasladar el carro del eje horizontal y vertical y posicionarlos en las coordenadas deseadas a grandes rasgos estos son sistemas mecánicos que se mueven a partir de pulsos eléctricos de corriente directa y por medio de la programación los controlamos.

El principio de funcionamiento de los motores eléctricos de corriente directa o continua se basa en la repulsión que ejercen los polos magnéticos de un imán permanente cuando. Además, a este sistema se le agrega una caja de engranes que ayuda a disminuir la velocidad angular del eje.

A continuación, se muestran imágenes de la colocación de los motores DC junto con sus reductores de velocidad para traslación.

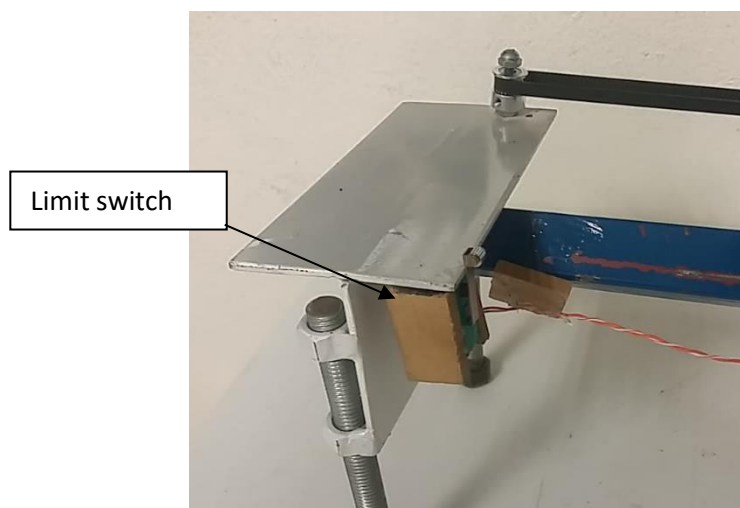


**Figura 66.** motor DC de 5 a 12 volts.

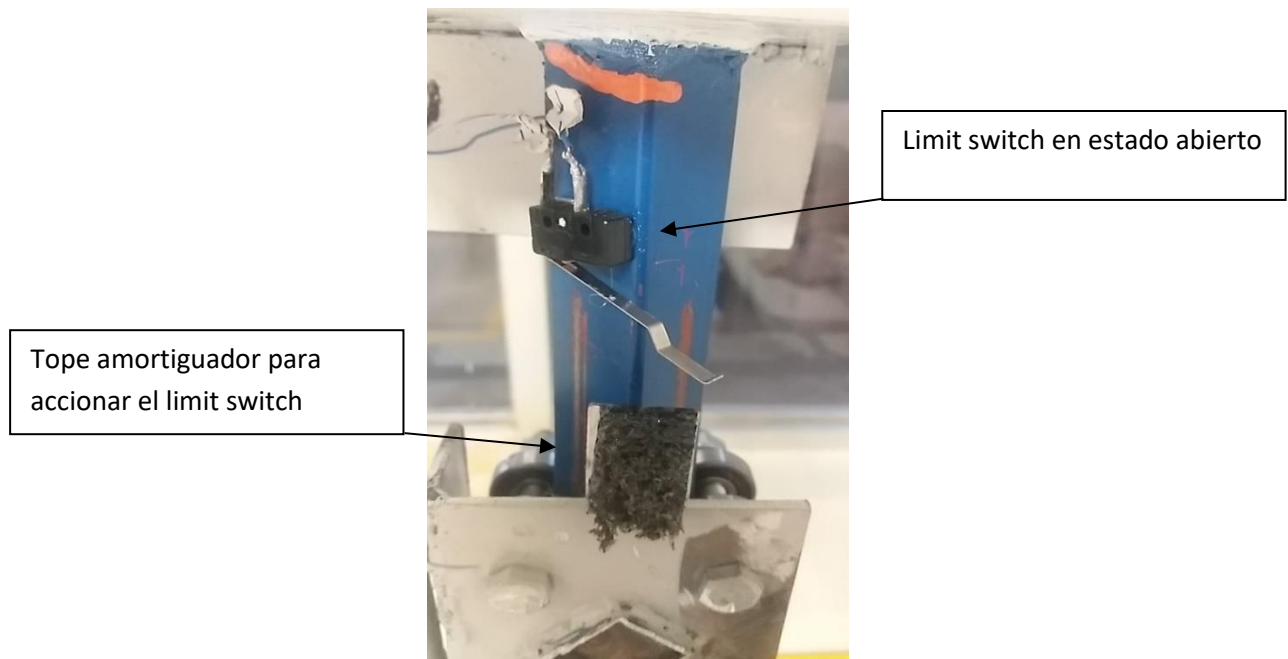
#### 4.2.3 Sensores de fin de carrera

Al final de carrera hay un interruptor de posición, se colocó un sensor que detecta la posición de nuestro sistema de traslación mediante accionamiento mecánico. De manera en que serán normalmente abiertos cuando el sistema no esté en cierta posición ya sea inicio o final de carrera.

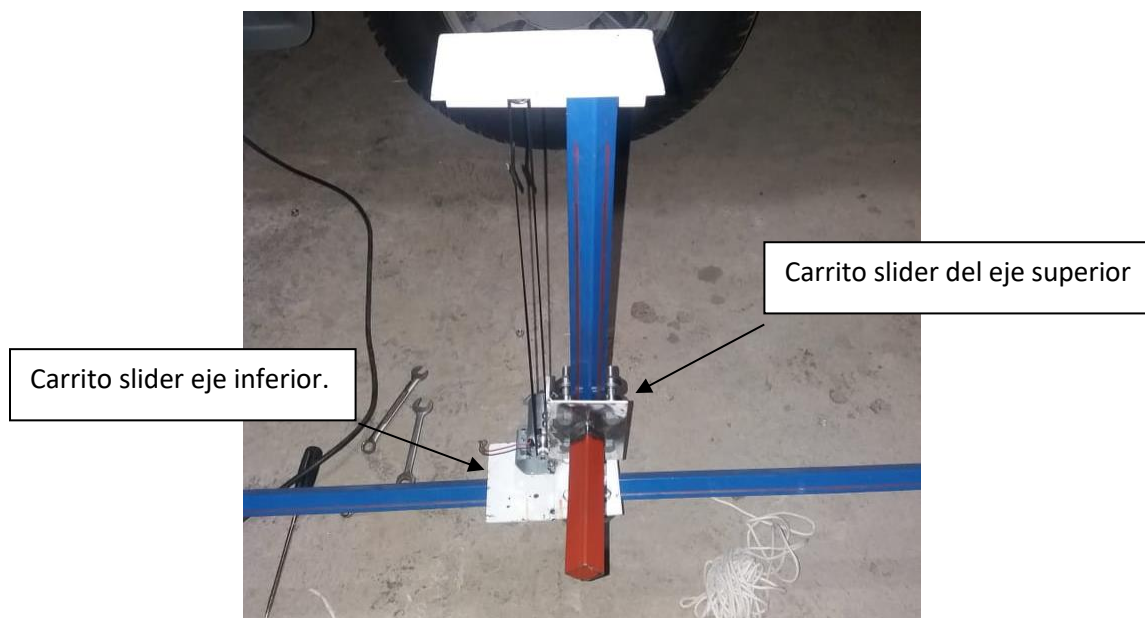
A continuación, se muestran con cómo se colocaron al extremo de cada uno de las posiciones de los dos ejes de robot y se puedan activar generando una señal.



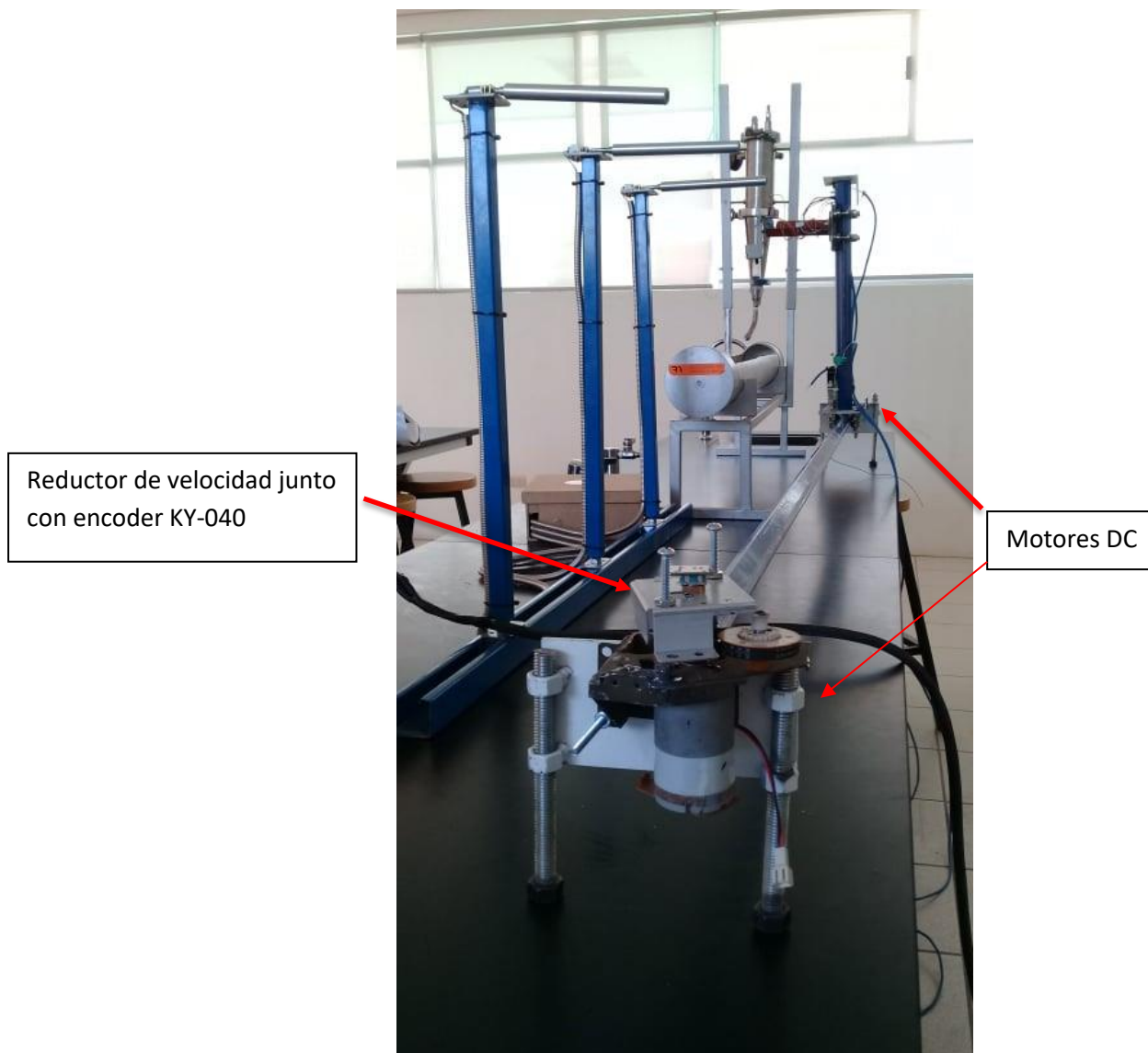
**Figura 67.** Limit switch al inicio de carrera en la base inferior (x).



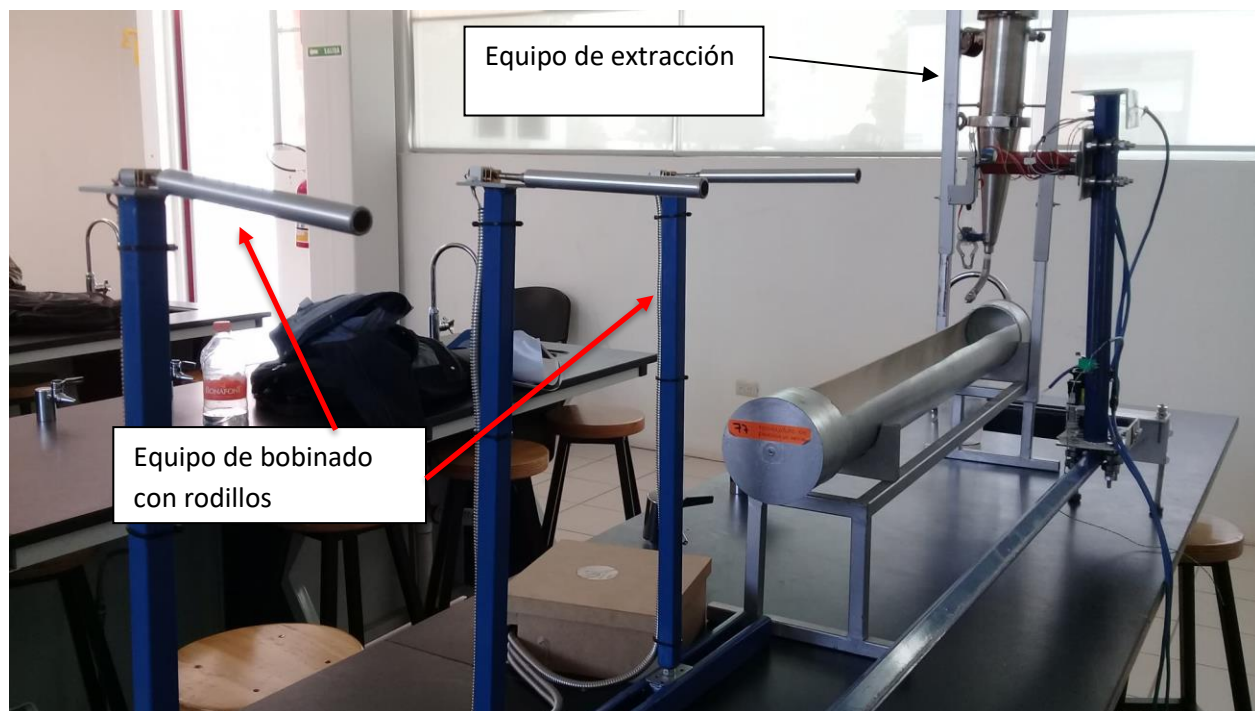
**Figura 68.** Limit switch en posición inicial del eje superior en sistema.



**Figura 69.** Eje superior (Y) con slider ya integrado al eje inferior (X).



**Figura 70.** Vista lateral del robot cartesiano terminado.



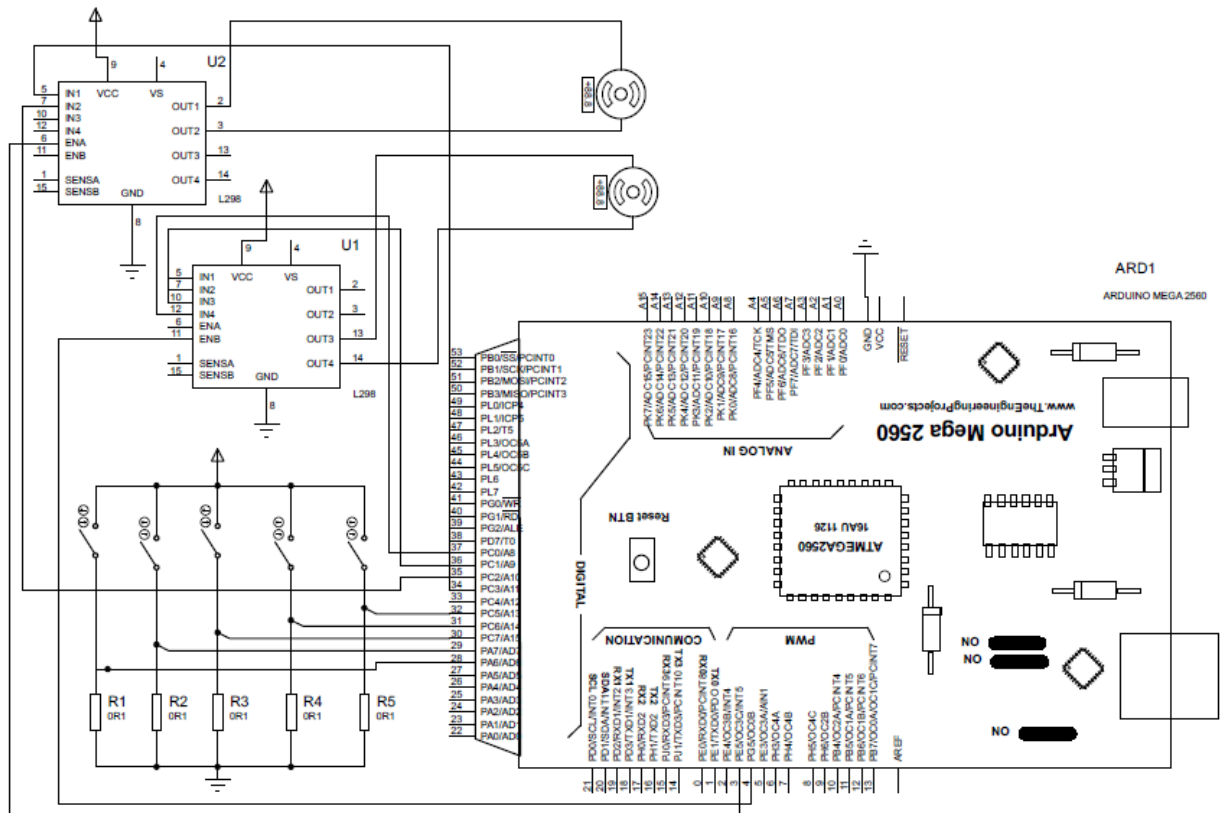
**Figura 71.** Vista de todos los equipos del sistema de hilatura juntos.

## **4.3 Sistema de control**

### **4.3.1 Explicación del circuito electrónico en función al sistema**

El circuito electrónico funciona como una interfaz entre la computadora con la que se carga el programa previamente elaborado en la placa Arduino. Esto a su vez nos permitirá controlar los diferentes actuadores o recibir la señal digital de sensores o dispositivos de medición mecánica-eléctrica como lo pueden ser el encoder ya mencionado anteriormente o los limit switch que generan un pulso al ser presionados. En rasgos generales la placa Arduino funciona como nuestro cerebro ya cargado con instrucciones que pueden ser reprogramadas las veces que sean necesarias y también la que mediante señales digitales o analógicas la placa puede leer estas señales y proporcionarnos los datos necesarios para modificar y mejorar esta programación.

Nota: se pretende como mejora del sistema sustituir el motor DC del eje superior (Y) por un motor a pasos y también el eje de barilla roscada convencional por uno de 4 hilos especial para sistemas CNC que junto con un husillo de mismo número de hilos nos proporcionará mayor velocidad en cuestión de traslación vertical.



**Figura 72.** Diseño del circuito en software Proteus.

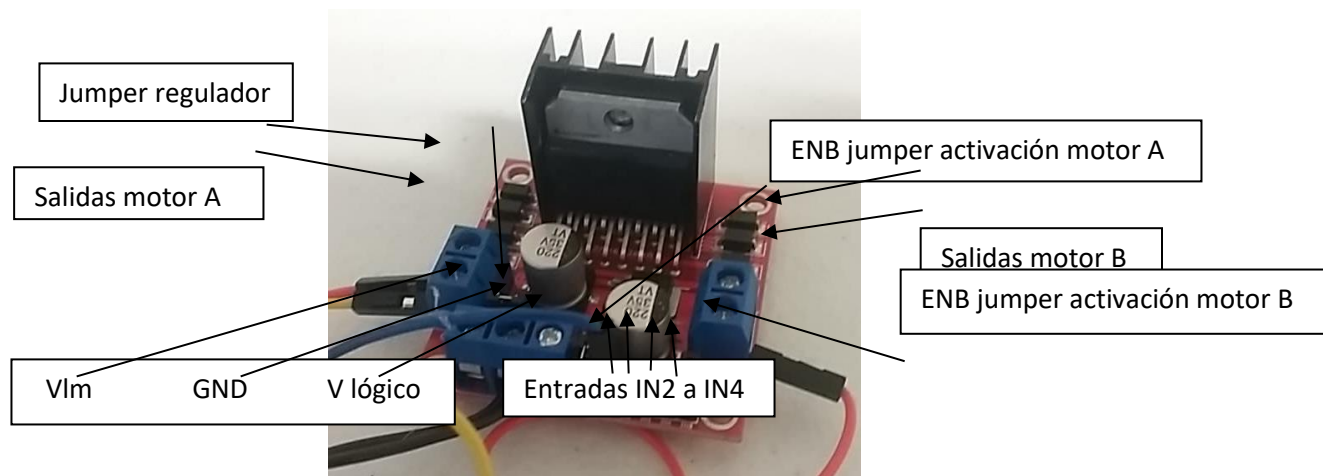
### Características a tomar en cuenta

Debe tenerse en cuenta que los dispositivos ya seleccionados e instalados tienen características específicas de funcionamiento así como varias limitantes que deben considerarse importantes ya que estas son las que nos dicen que rango pueden alcanzar nuestros dispositivos como lo son la carga máxima de caída de potencia que soportan en la alimentación eléctrica o la temperaturas máximas que soportan ya que no queremos que nuestro circuito genere un corto circuito no deseado o se sobrecalienten más de lo que soportan y se quemen. Bueno estas características también tienden a variar de dispositivo en dispositivo también en la marca de quien lo fabrica influye en esto y se debe consultar a el proveedor y prevenir todo lo anteriormente mencionado.

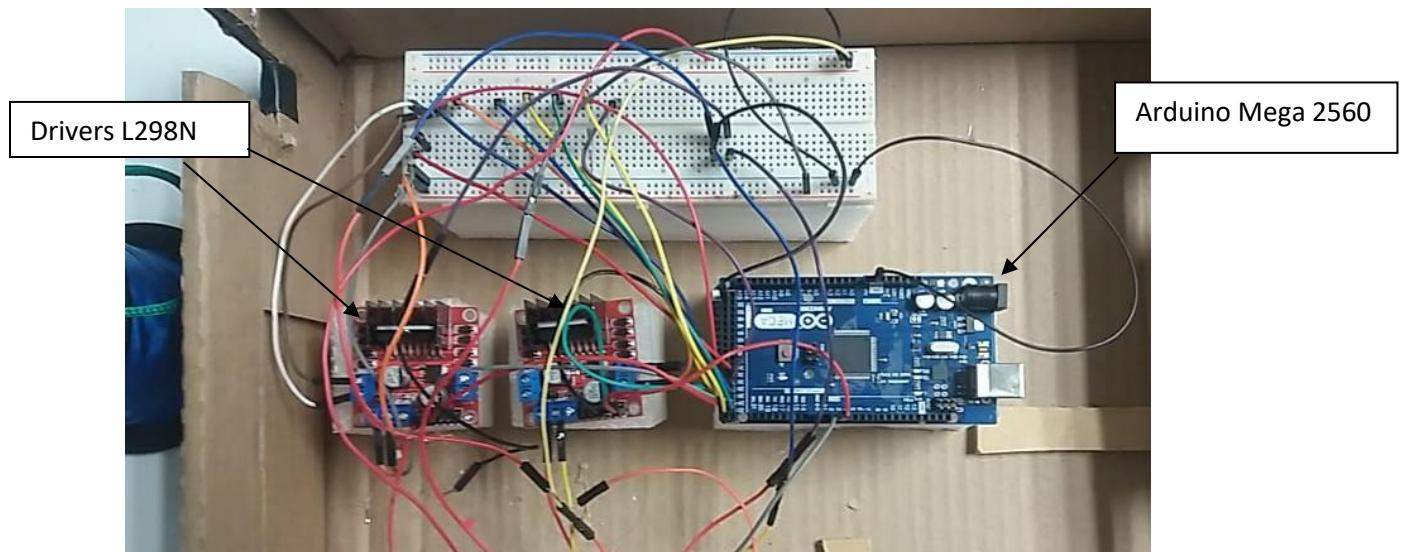
#### 4.3.2 Sistema de control de motores DC con L298N

El módulo controlador de motores L298N H-bridge nos permite controlar la velocidad y la dirección de dos motores de corriente continua o un motor paso a paso de una forma muy sencilla, gracias a los 2 los dos H-bridge que monta. es un componente formado por 4 transistores que nos permite invertir el sentido de la corriente, y de esta forma podemos invertir el sentido de giro del motor.

El rango de tensiones en el que trabaja este módulo va desde 3V hasta 35V, y una intensidad de hasta 2A. A la hora de alimentarlo hay que tener en cuenta que la electrónica del módulo consume unos 3V, así que los motores reciben 3V menos que la tensión con la que alimentemos el módulo.



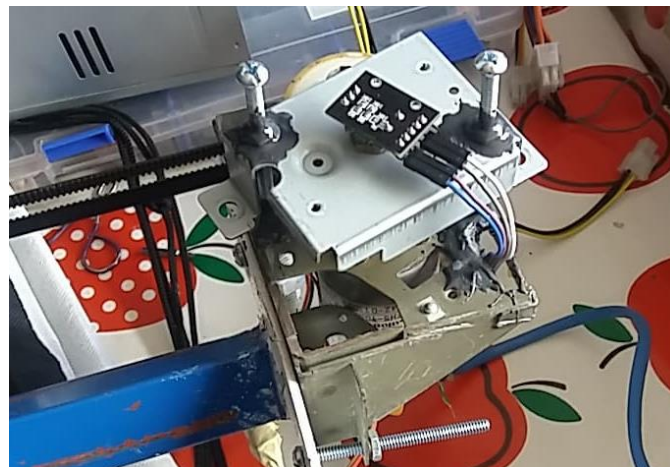
**Figura 73.** Driver L298N.



**Figura 74.** Drives para control de motores DC dentro de la caja de control.

#### *Sistema de encoder para control de giro de motor*

Este dispositivo se implementa en el eje principal el cual nos permitirá saber la posición de este eje y a su vez controlarla. Para el control de posición de los motores DC. En la figura 74 se muestra el KY-040 y como se colocó en la parte superior dirigida al eje del motor DC del eje inferior (X).



**Figura 75.** Encoder rotatorio Keyes KY-040.

### 4.3.3 Sistema de control-computacional: control digital

#### *Explicación de la programación y diagrama del programa LabVIEW*

El sistema de control-computacional es la última fase y también la más esencial en un sistema mecatrónico que nos proporciona un control digital que es la programación textual con la cual podremos monitorear nuestra señales proporcionadas por los dispositivos electromecánicos (sensores) y le dice a los actuadores del mismo sistema cuando moverse y bajo qué condiciones esto junto con el sistema electrónico que es la interfaz entre el sistema electromecánico y el de control para manipular las señales todo esto junto hace un mejor funcionamiento ya que entre más transformaciones de señales se hace se necesita un sistema más complejo que tenga un control con mejor rendimiento. La programación que decidimos aplicar para control de nuestro sistema de un robot cartesiano en esta primera fase de desarrollo fue una Programación textual. El programa queda constituido por un texto de instrucciones o sentencias, en este caso se decidió programar una placa Arduino por medio de software LabVIEW, cuya confección no requiere de la intervención del robot; es decir, se efectúan "off-line". El lenguaje de programación visual por bloques hace un poco más cómodo y visualizar el funcionamiento por eso se eligió.

Nota: en esta etapa del proyecto la programación del robot angular aún no se a definido totalmente así que solo se anexo una ejecución de sus servomotores a la programación ya establecida del robot cartesiano para ejecutar la acción de la primera etapa que es la sujeción y transportación del filamento. Se tiene planeado que en la siguiente etapa se aplique una programación de guiado extendido la cual será más eficiente aun para el control y asignación de trayectorias.

#### *El programa funciona con los siguientes pasos:*

1. Se acciona un botón en un tablero virtual en software de LabVIEW el cual genera la señal que acciona el motor del eje vertical moviendo el carrito hacia abajo
2. Cuando el carrito se llega a su posición final acciona un limit switch que detiene el motor vertical y a su vez acciona la pinza angular y la cierra.

3. Estando la pinza cerrada se acciona el motor del eje horizontal moviendo el carrito del eje inferior.
4. El carrito se mueve hacia la derecha y deja de presionar el limit switch que nos indicaba la posición original.
5. Durante la traslación del carrito en el eje horizontal este acciona un segundo limit switch que nos indica que este a llegado a la posición media del eje.
6. Al accionarse el segundo limit switch el motor del eje horizontal se detiene totalmente y enciende nuevamente el motor vertical.
7. El carro del eje vertical se mueve nuevamente hacia arriba y deja de presionar el limit switch de la posición final.
8. Al mismo tiempo un temporizador de 10 segundos activa nuevamente el motor horizontal moviendo el carrito hacia la derecha nuevamente.
9. El carro del eje vertical debe llegar al a su posición inicial al mismo tiempo que el carro del eje horizontal llega a su posición final, los dos accionan unos limit switch que nos indican la posiciones.
10. Al detectarse las posiciones se abre la pinza angular y el ciclo se termina
11. Anexo: para posicionar el robot en posición original se debe accionar otro botón en el tablero virtual.

**HS:** Horizontal Start

**HF:** Horizontal Final

**HM:** horizontal Middle

**VS:** Vertical Start

**VF:** Vertical Final

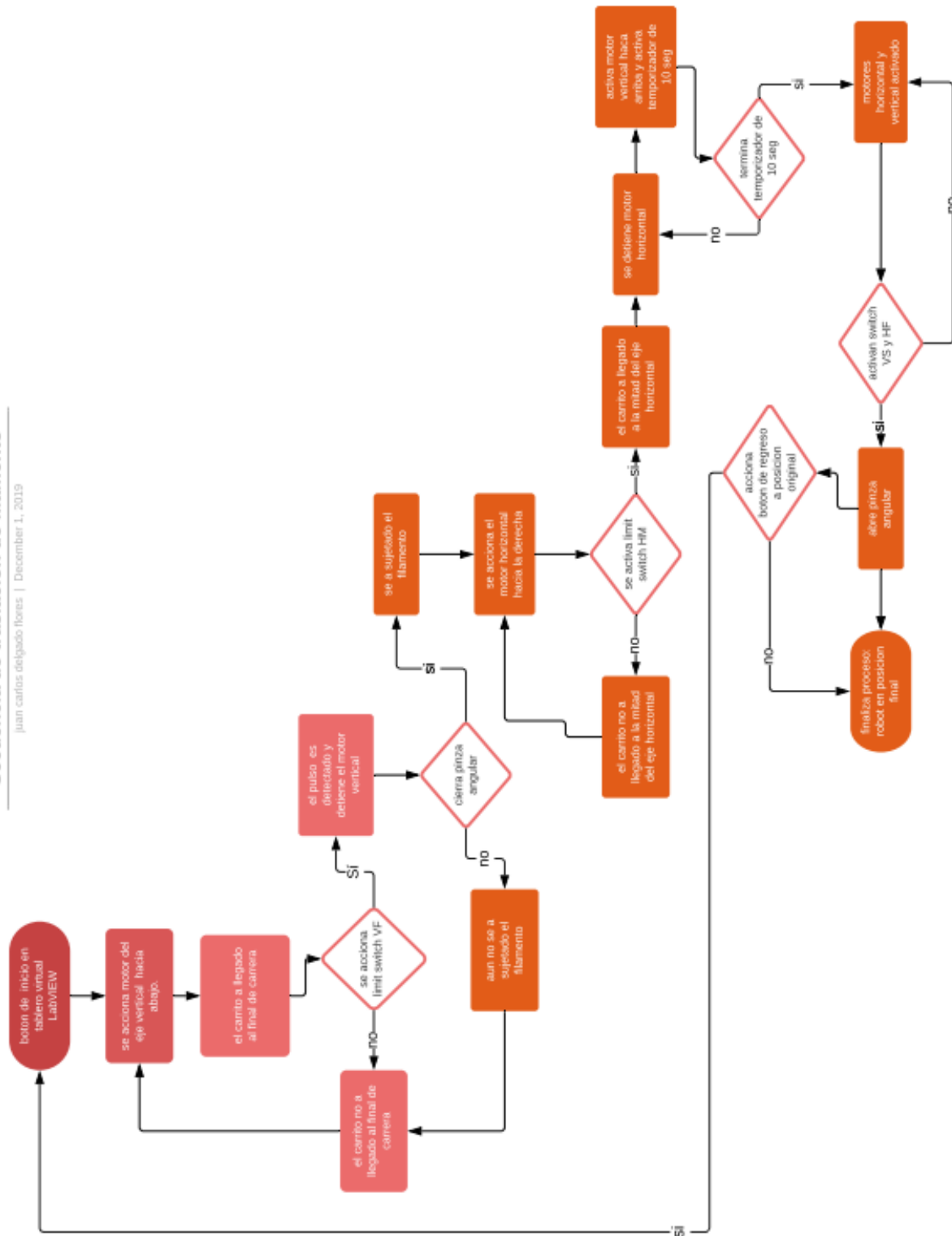
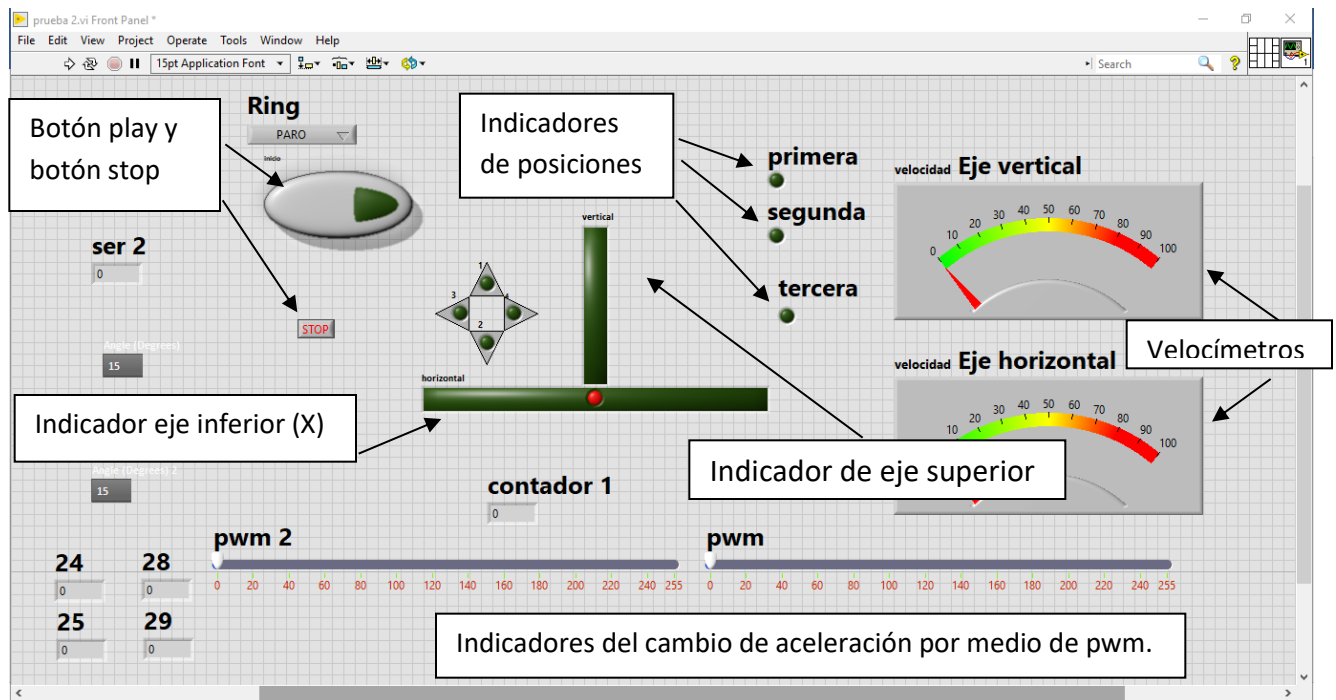
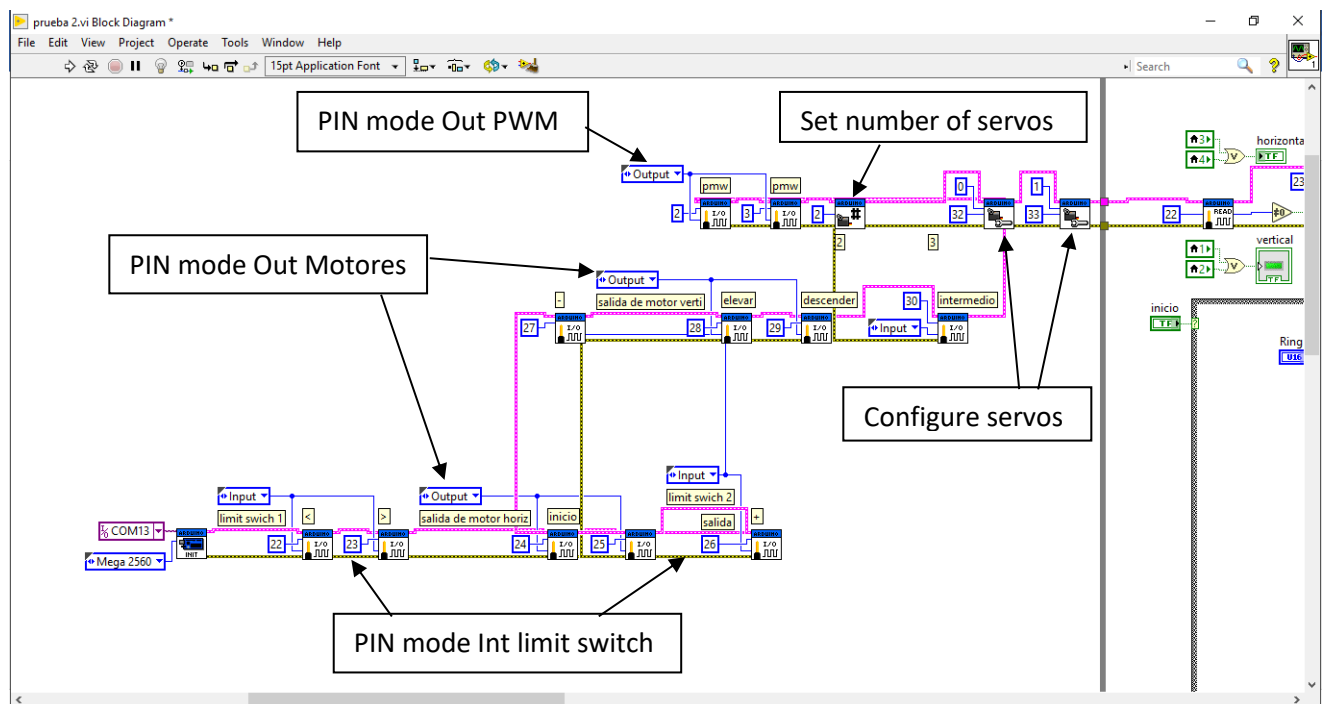


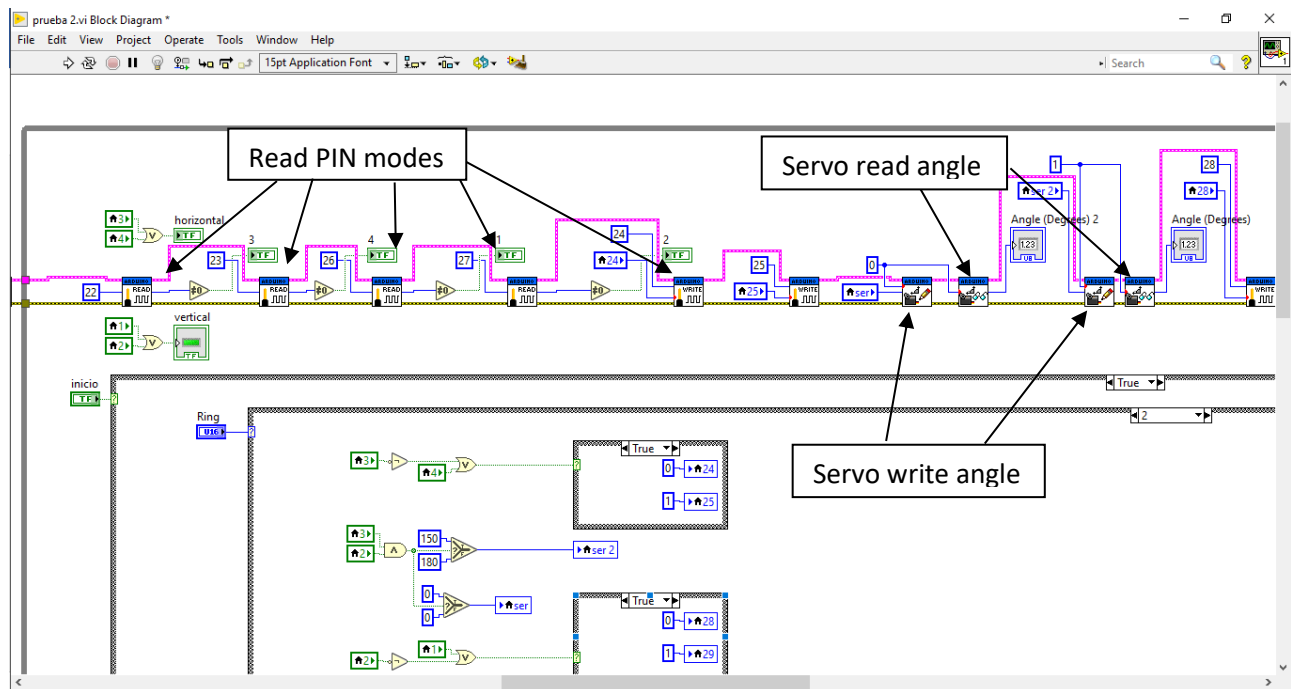
Figura 76. diagrama de flujo de la secuencia del programa.



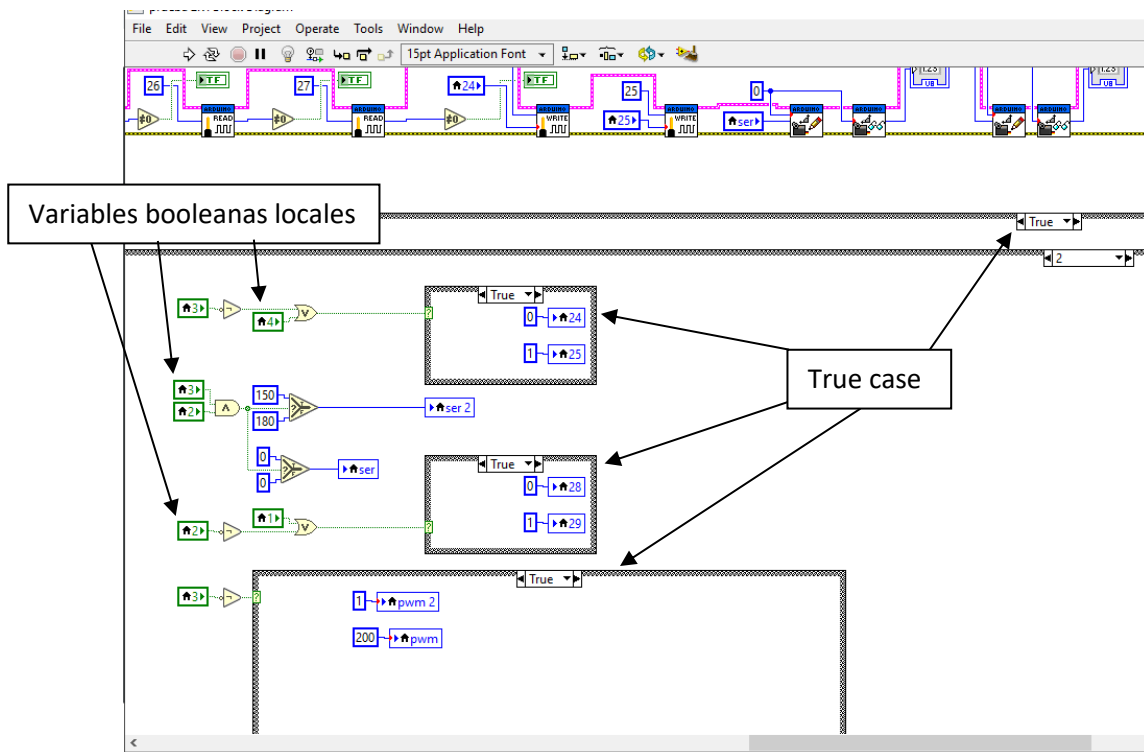
**Figura 77.** Front Panel del programa para robot cartesiano.



**Figura 78.** Conexión entrada Arduino en Diagrama de Bloques LabVIEW.



**Figura 79.** Block Diagram sección de PIN modes y digital O/I PIN para señales.



**Figura 80.** Sección del case que generan los casos para una correcta secuencia de los movimientos.

## **V. CONCLUSIONES**

La aplicación de las estrategias académicas seleccionadas en conjunto con las actividades relacionadas con el presente proyecto permitió alcanzar los objetivos planteados. Se logró construir el sistema de traslación para la slider para el robot cartesiano mediante diseño CAD para manufacturar las piezas del robot cartesiano y brazo angular. Se empleó impresión 3D para la creación de las piezas del brazo. Se logró programar una rutina tipo ciclo con un microcontrolador Arduino y una interfaz en LabVIEW en la que el robot cartesiano toma el filamento de un punto origen y lo traslada hasta un punto final con una distancia de 2 metros.

El proyecto de residencia me permitió validar los conceptos teóricos y prácticos aprendidos durante mi estadía como estudiante de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica dentro de la Industria en situaciones reales.

Para llevar a cabo este proyecto se pusieron en práctica los conocimientos y habilidades a lo largo de la carrera, programación, control, resistencia de los materiales, química, análisis de fluidos, entre otras materias importantes. También se aplicó la investigación y redacción, ya que, al ser un proyecto de esta índole, se necesitan las herramientas básicas para tener un proyecto de calidad, eficiente y eficaz a su vez.

En particular aprendí a adaptarme a trabajos por objetivos. Además de siempre buscar la solución más factible mediante la aplicación de un método analítico y científico para eliminar los problemas desde raíz.

Mi tiempo de residencia profesional interactuando con temas de ciencia aplicada, investigación e innovación tecnológica fue una de las mejores experiencias profesionales que he vivido y donde aprendí lo importante que es llegar a establecer soluciones viables y resolver el problema raíz de la manera más factible.

## **VI. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS**

1. Diseñé e innové sistemas mecatrónicos, con base en las necesidades del proyecto de investigación de la institución para incrementar sus indicadores diversos de operación.
2. Aplique métodos cuantitativos y cualitativos en el análisis e interpretación de datos e información para diseñar y construir el sistema mecatrónico requerido.
3. Implementé métodos innovadores de solución de problemas de ciencia, los cuales pueden ser replicados a escala industrial.
4. Gestioné la generación del conocimiento específico para evidenciar la capacidad de acción de la Mecatrónica, ejerciendo un liderazgo estratégico y un compromiso ético.
5. Coadyuve a cumplir los retos de la institución en torno al fomento de proyectos de investigación.
7. Utilice las nuevas tecnologías de información y comunicación de la institución, para el estado del arte del proyecto y contar con información actualizada para la mejora de los diseños y la construcción del equipo del proyecto.
8. Promoví el desarrollo de la ciencia e investigación, con el fortalecimiento de las líneas de investigación del Posgrado de la institución.
9. Aplique métodos de investigación para desarrollar e innovar sistemas mecatrónicos.
10. Actúe como agente de cambio para facilitar la mejora continua en los procesos de aprendizaje de la carrera de Ingeniería Mecatrónica de la institución.
11. Aplique métodos, técnicas y herramientas para la solución de problemas presentados durante la fase de construcción del proyecto.

## VII. FUENTES DE INFORMACIÓN

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (1)  | Hermida, É. (2011). Guía Didáctica. En É. Hermida, <i>Guía Didáctica</i> (pág. 70). Argentina: Ministerio de Educación, Instituto Nacional de Educación Tecnológica.                                                                                                                                                                                                                                |
| (2)  | J., C., V., L., & J., R. (2011). <i>Química general</i> . (D. Sakiyama, Editor, D. Sakiyama, Productor, & Dirección de Informática Académica (DIA).) Recuperado el 13 de 11 de 2019, de Química general: <a href="http://corinto.pucp.edu.pe/quimicageneral/contenido/quienes-somos.html">http://corinto.pucp.edu.pe/quimicageneral/contenido/quienes-somos.html</a>                                |
| (3)  | Rahul Ranjan Yadav, Y. D. (5 de julio de 2018). A study on metal extrusion process. <i>Revista Internacional de LNCT, Vol. 2 (6)</i> , 7. Recuperado el 13 de noviembre de 2019, de <a href="https://www.researchgate.net/publication/326210297_A_study_on_metal_extrusion_process">https://www.researchgate.net/publication/326210297_A_study_on_metal_extrusion_process</a> .                     |
| (4)  | Kopeliovich, D. D. (22 de noviembre de 2014). <i>SubsTech (Substances &amp; Technologies)</i> . (D. D. Kopeliovich, Editor, & D. D. Kopeliovich, Productor) Recuperado el 13 de noviembre de 2019, de SubsTech (Substances & Technologies): <a href="https://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=extrusion_of_polymers">https://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=extrusion_of_polymers</a> . |
| (5)  | Chung, C. I. (2019). Sample Chapter 2: Physical Description of Single-Screw Extrusion. En C. I. Chung, <i>Extrusion of Polymers</i> (pág. 47). Carl Hanser Verlag GmbH Co KG                                                                                                                                                                                                                        |
| (6)  | Sobuj, M. S. (26 de febrero de 2015). <i>Centro de estudio textil Biblioteca en línea para ingenieros textiles</i> . Obtenido de Centro de estudio textil Biblioteca en línea para ingenieros textiles: <a href="https://textilestudycenter.com/melt-spinning-dry-spinning-and-wet-spinning-method/">https://textilestudycenter.com/melt-spinning-dry-spinning-and-wet-spinning-method/</a>         |
| (7)  | Kroschwitz, J. I. (1986). Encyclopedia of Polymer Science and Engineering. En J. I. Kroschwitz, <i>Encyclopedia of Polymer Science and Engineering</i> (págs. 812-815.). New York: John Wiley & Sons                                                                                                                                                                                                |
| (8)  | Köhnke, T. (2018). <i>RI.SE</i> . Obtenido de RI.SE: <a href="https://www.swerea.se/en/areas-of-expertise/materials-production/textiles-production/wet-spinning">https://www.swerea.se/en/areas-of-expertise/materials-production/textiles-production/wet-spinning</a> .                                                                                                                            |
| (9)  | F., G. (27 de enero de 2015). <i>Springer link</i> . Obtenido de Springer link: <a href="https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-3-642-40872-4_1868-2#howtocite">https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-3-642-40872-4_1868-2#howtocite</a>                                                                                                                   |
| (10) | Takashi Tsurumi, T. (1994). Solution Spinning. En T. Takashi Tsurumi, <i>Advanced Fiber Spinning Technology</i> (págs. 65-104). Fuji, Japan : Asahi Chemical Industries Ltd.                                                                                                                                                                                                                        |
| (11) | Keim, R. (25 de marzo de 2019). <i>All About Circuits</i> . Obtenido de All About Circuits.: <a href="https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/what-is-a-microcontroller-introduction-component-characteristics-component/">https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/what-is-a-microcontroller-introduction-component-characteristics-component/</a>                          |
| (12) | Agarwal, T. (2014). <i>Elprocus</i> . Obtenido de Elprocus.: <a href="https://www.elprocus.com/microcontrollers-types-and-applications/">https://www.elprocus.com/microcontrollers-types-and-applications/</a>                                                                                                                                                                                      |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (13) | Margaret Rouse, S. S. (noviembre de 2019). <i>TechTarget</i> . Obtenido de TechTarget.: <a href="https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/microcontroller">https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/microcontroller</a>                                                                                                                                     |
| (14) | arduino.cc. (s.f.). <i>arduino.cc</i> . Recuperado el 24 de noviembre de 2019, de arduino.cc: <a href="https://www.arduino.cc/en/guide/introduction">https://www.arduino.cc/en/guide/introduction</a>                                                                                                                                                                                       |
| (15) | Seidle, N. (9 de noviembre de 2011). <i>SparkFun</i> . Recuperado el 23 de noviembre de 2019, de SparkFun: <a href="https://learn.sparkfun.com/tutorials/what-is-an-arduino/all">https://learn.sparkfun.com/tutorials/what-is-an-arduino/all</a>                                                                                                                                            |
| (16) | COLLINS, D. (5 de octubre de 2018). <i>linearmotiontips</i> . Recuperado el 26 de noviembre de 2019, de linearmotiontips: <a href="https://www.linearmotiontips.com/what-is-a-cartesian-robot/">https://www.linearmotiontips.com/what-is-a-cartesian-robot/</a>                                                                                                                             |
| (17) | Thangavel, P. (8 de noviembre de 2017). <i>quora</i> . Recuperado el 26 de noviembre de 2019, de quora: <a href="https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-a-machine-and-a-robot">https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-a-machine-and-a-robot</a>                                                                                                                 |
| (18) | Tello, F. C. (2018). <i>Lenguajes de programación derobots industriales</i> (Versión 1.0 ed.). valencia. Recuperado el 26 de noviembre de 2019.                                                                                                                                                                                                                                             |
| (19) | APIEL s.r.l.- Via Campanini, 1. (s.f.). <i>APIEL</i> . Recuperado el 26 de noviembre de 2019, de APIEL: <a href="http://www.apiel.com/Espagnol/01-1_robot+cartesiano+robotica+industrial+scara+robot.htm">http://www.apiel.com/Espagnol/01-1_robot+cartesiano+robotica+industrial+scara+robot.htm</a>                                                                                       |
| (20) | Robinson, C. (30 de octubre de 2018). <i>quora</i> . Recuperado el 26 de noviembre de 2019, de quora: <a href="https://www.quora.com/What-is-a-Cartesian-robot-What-are-its-uses">https://www.quora.com/What-is-a-Cartesian-robot-What-are-its-uses</a>                                                                                                                                     |
| (21) | medi, n. (4 de febrero de 2018). <i>Meee Services</i> . Recuperado el 26 de noviembre de 2019, de Meee Services: <a href="https://www.meee-services.com/robotic-arm-and-their-application/">https://www.meee-services.com/robotic-arm-and-their-application/</a>                                                                                                                            |
| (22) | SHIELDS, B. (s.f.). <i>itstillworks</i> . Recuperado el 26 de noviembre de 2019, de itstillworks: <a href="https://itstillworks.com/parts-robotic-arm-5913826.html">https://itstillworks.com/parts-robotic-arm-5913826.html</a>                                                                                                                                                             |
| (23) | PEARCE, J. (15 de agosto de 2011). George C. Devol, inventor de Robot Arm, muere a los 99 años. <i>The New York Times Company</i> . Recuperado el 26 de noviembre de 2019, de <a href="https://www.nytimes.com/2011/08/16/business/george-devol-developer-of-robot-arm-dies-at-99.html">https://www.nytimes.com/2011/08/16/business/george-devol-developer-of-robot-arm-dies-at-99.html</a> |
| (24) | Ingrid Johana Henao, J. A. (julio de 2017). El Brazo Robótico como herramienta. <i>Technology, Education and Nature, Vol. 1</i> , 88. Recuperado el 26 de noviembre de 2019                                                                                                                                                                                                                 |
| (25) | <i>solid-bi.es</i> . (s.f.). Recuperado el 26 de noviembre de 2019, de solid-bi.es: <a href="https://solid-bi.es/solidworks">https://solid-bi.es/solidworks</a>                                                                                                                                                                                                                             |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (26) | Olivia, J. E. (10 de diciembre de 2010). <i>blogger SENSORES</i> . Obtenido de blogger SENSORES: <a href="http://thelastlabproject.blogspot.com/2010/12/clasificacion-de-los-sensores.html">http://thelastlabproject.blogspot.com/2010/12/clasificacion-de-los-sensores.html</a>                                                                                    |
| (27) | <i>henrysbench.capnfatz</i> . (s.f.). Recuperado el 27 de noviembre de 2019, de henrysbench.capnfatz: <a href="http://henrysbench.capnfatz.com/henrys-bench/arduino-sensors-and-input/keyes-ky-040-arduino-rotary-encoder-user-manual/">http://henrysbench.capnfatz.com/henrys-bench/arduino-sensors-and-input/keyes-ky-040-arduino-rotary-encoder-user-manual/</a> |
| (28) | <i>mecatronicalatam</i> . (s.f.). <i>mecatronicalatam.com</i> . Recuperado el 8 de diciembre de 2019, de mecatronicalatam.com: <a href="https://www.mecatronicalatam.com/es/tarjeta/arduino/control-del-motor-a-pasos-bipolar-con-l293d">https://www.mecatronicalatam.com/es/tarjeta/arduino/control-del-motor-a-pasos-bipolar-con-l293d</a>                        |
| (29) | <i>HUBOR 2015</i> . (s.f.). Recuperado el 26 de noviembre de 2019, de HUBOR 2015.: <a href="http://www.hubor-proteus.com/proteus-pcb/proteus-pcb/230-como_trabajar_con_proteus.html">http://www.hubor-proteus.com/proteus-pcb/proteus-pcb/230-como_trabajar_con_proteus.html</a>                                                                                    |
| (30) | <i>ideaz3d.com</i> . (2019). <i>ideaz3d.com</i> . Recuperado el 09 de diciembre de 2019, de ideaz3d.com: <a href="http://www.ideaz3d.com/replicatorz18impresora3dindustrial/">http://www.ideaz3d.com/replicatorz18impresora3dindustrial/</a>                                                                                                                        |
| (31) | <i>steren</i> . (2019). <i>steren.com.mx</i> . Recuperado el 09 de diciembre de 2019, de steren.com.mx: <a href="https://www.steren.com.mx/filamento-pla-para-impresora-3d-rojo.html">https://www.steren.com.mx/filamento-pla-para-impresora-3d-rojo.html</a>                                                                                                       |
| (32) | <i>Instruments, N</i> . (2019). <i>ni.com</i> . Recuperado el 09 de diciembre de 2019, de ni.com: <a href="https://www.ni.com/academic/students/learnlabview/esa/environment.htm">https://www.ni.com/academic/students/learnlabview/esa/environment.htm</a>                                                                                                         |

## ANEXO 1

### Carta de aceptación por parte de la empresa para la residencia profesional

**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**

Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga  
Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica

"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

Pabellón de Arteaga, Ags.,  
No. de Oficio:  
Asunto:

19/agosto/2019  
D 041-b/2019  
Carta aceptación  
residencias  
profesionales

**MA. MAGDALENA CUEVAS MARTÍNEZ**  
**JEFA DEL DEPARTAMENTO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN**  
**PRESENTE**

Por medio del presente se notifica que el C. JUAN CARLOS DELGADO FLORES, estudiante de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica, con número de control 151050127, ha sido aceptado para realizar en esta Institución su proyecto de Residencia Profesional denominado "Diseño y construcción de un robot cartesiano automatizado para un sistema de hilatura: transporte de un filamento polimérico" durante el periodo de agosto-diciembre 2019, cubriendo un total de 500 horas en un horario de 10:00 a 17:00 hrs. de lunes viernes, bajo la supervisión de los docentes Víctor Manuel Velasco Gallardo (asesor externo) y José Alonso Dena Aguilar (asesor interno). El proyecto será realizado en el Laboratorio de Conversión de la Energía del área de Posgrado de nuestro plantel.

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo y quedo de Usted.

**ATENTAMENTE**  
*Excelencia en Educación Tecnológica®*  
*Tierra Siempre fértil®*

  
**HUMBERTO AMBRIZ DELGADILLO**  
**DIRECTOR**



C.p. Edgar Zacarías Moreno. - Subdirector Académico. I. T. Pabellón de Arteaga.  
Archivo.  
HAD/jada

**INSTITUTO TECNOLÓGICO de Pabellón de Arteaga**  
**TEC**

Carretera a la Estación de Rincón Km 1, C.P. 20670 Pabellón de Arteaga, Aguascalientes  
Tel. 01 (465) 9582730 y 9582482 ext. 100 e-mail: acad\_parteaga@tecnm.mx  
www.tecnm.mx |https://pabellon.tecnm.mx



## ANEXO 2

### Carta de terminación por parte de la empresa para la residencia profesional



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga  
Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica

"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

Pabellón de Arteaga, Ags.,  
No. de Oficio:  
Asunto:

6/diciembre/2019  
D 066/2019  
Carta conclusión  
residencias  
profesionales

**MA. MAGDALENA CUEVAS MARTÍNEZ**  
**JEFA DEL DEPARTAMENTO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN**

#### PRESENTE

Por medio del presente se notifica que el C. JUAN CARLOS DELGADO FLORES, estudiante de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica, con número de control 151050127, concluyo satisfactoriamente en esta Institución su proyecto de Residencia Profesional denominado "Diseño y construcción de un robot cartesiano automatizado para un sistema de hilatura: transporte de un filamento polimérico" durante el periodo de agosto-diciembre 2019, cubriendo un total de 500 horas en un horario de 10:00 a 17:00 hrs. de lunes viernes, bajo la supervisión de los docentes Víctor Manuel Velasco Gallardo (asesor externo) y José Alonso Dena Aguilar (asesor interno). El proyecto fue realizado en el Laboratorio de Conversión de la Energía del área de Posgrado de nuestro plantel.

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo y quedo de Usted.

**ATENTAMENTE**  
*Excelencia en Educación Tecnológica*  
*Tierra Siempre fértil*

**HUMBERTO AMBRIZ DELGADILLO**  
**DIRECTOR**

C.p. Edgar Zacarías Moreno. - Subdirector Académico. I. T. Pabellón de Arteaga.  
Archivo.  
HAD/jada



Carretera a la Estación de Rincón Km 1, C.P. 20670 Pabellón de Arteaga, Aguascalientes

Tel. 01 (465) 9582730 y 9582482 ext. 100 e-mail: acad\_parteaga@tecnm.mx

www.tecnm.mx | https://pabellon.tecnm.mx

