

# Brazo robótico con cinco grados de libertad de bajo costo para su uso en entornos industriales pequeños y medianos

Hernández Barrón, Ariel (décimo semestre en Ingeniería Mecatrónica)<sup>1</sup>, Lara Montesinos, Ivonne Angélica (décimo semestre en Ingeniería Mecatrónica)<sup>1</sup>, Ramírez Cruz, Salma Tzay (décimo semestre en Ingeniería Mecatrónica)<sup>1</sup>, Samayoa Aguilar, Ramiro Fernando Ixbalcan (décimo semestre en Ingeniería Mecatrónica)<sup>1</sup>, Colín Ortega, Juan Carlos (profesor asesor)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Universidad Iberoamericana Puebla, San Andrés Cholula, Puebla, México

## Resumen (237/250 palabras)

Las Pequeñas y Medianas Empresas (PyMEs) representan el mayor porcentaje del ingreso nacional, sin embargo, debido a su restringido poder adquisitivo se ven en la dificultad de crecer y acceder a tecnologías de automatización que representarían mejoras en distintos sectores de su proceso. El objetivo de este proyecto es documentar la elaboración de un brazo robótico de cinco ejes que sea apto para su uso en espacios industriales pequeños y medianos. Se hizo uso del software SolidWorks para realizar el diseño y modelado de los distintos componentes que de manera conjunta conforman el cuerpo del brazo robótico. Haciendo uso de las herramientas Matlab: AppDesigner, Simulink, Simscape, Robotics System Toolbox y Arduino support package se diseñó un software de control para el brazo robótico capaz de manipularlo en tiempo real, mostrando la posición de cada uno de sus ángulos. A pesar de la complejidad del proyecto el resultado deseado, el diseño y ensamble de un brazo robótico enteramente funcional, se alineó con los objetivos planteados. Haciendo uso de prototipos realizados con tecnología de impresión 3D se puede asegurar que el diseño electromecánico del robot es completamente funcional, y compatible con el software de control diseñado. Como recomendaciones a futuro se sugiere incrementar la relación de los reductores, agregar reductores en los ejes 4 y 5, la instalación de frenos Normalmente Cerrados, implementar la capacidad de programar el robot por medio del software de control para hacer rutinas complejas.

**Palabras clave:** Brazo robótico, mecatrónica, automatización, robótica.

**\*Autor Corresponsal:** salma.ramirez@iberopuebla.mx

## Introducción (630/1200 palabras)

El Producto Interno Bruto (PIB) es el indicador más confiable para estudiar el estado de la economía de un país, pues refleja el valor de todos los bienes producidos dentro del mismo; al año 2021, México indicó un PIB per cápita de 17.8 billones de pesos. [1]

Las PyMEs representan el 42% del PIB mexicano y generan 78% del empleo nacional; siendo 3.6% correspondiente a Pequeñas empresas y 0.8% a Medianas empresas. [2]

Sabiendo lo anterior es fácil ver la importancia de este sector comercial en la economía nacional.

Gerardo Bautista Bautista, Investigador Profesor de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, define **empresa** como “un grupo social, que, a través del capital, el trabajo y la administración, se producen bienes o distribución de bienes y servicios con fines lucrativos o no y tendientes a la satisfacción de las necesidades de la comunidad”. [3]

La Secretaría de Economía clasifica las empresas en función del número de empleados y la cantidad de ventas anuales en pesos mexicanos que generan; estas son: Microempresas, Pequeñas empresas, Medianas empresas y Grandes empresas. [4] A partir de este punto se usará el acrónimo PyME para referirse de manera específica a las Pequeñas y Medianas empresas.

Las Pequeñas empresas se caracterizan por tener una plantilla laboral de entre 11 y 30 empleados o generar entre 4 y 10 millones de pesos en ventas anuales. [5]

Las Medianas empresas, por su parte, cuentan con un número de trabajadores que fluctúa entre 31 y 100; sus ventas anuales van de 100 a 250 millones de pesos. [6]

A pesar de su importancia en el panorama económico nacional, no todas las empresas de este tipo tienen las posibilidades para adquirir tecnologías de automatización. El poco acceso a estas tecnologías, como lo son los brazos robóticos, representa un gran problema para el desarrollo integral de una empresa.

El concepto de “robot” ha ido evolucionando con el paso de los años: en los 50s llegó el control numérico por computadora y las máquinas eran completamente hidráulicas, en 1959 Unimation construyó el primer robot y desde 1969 General Motors se hizo con la primera estación de soldadura. Surgieron muchas empresas que innovaron en este campo, aunque no fue hasta 1973 que Nachi construyó el primer robot controlado por motores. [7] [8]

Los brazos robóticos son una de las herramientas de automatización más populares, puesto que cuentan con una precisión igual o superior a la que el humano puede lograr, resistencia a la fatiga y la posibilidad de ser reprogramado las veces que el usuario requiera dentro de su vida útil, sin embargo, son bastante onerosos. [9] Precisamente son los precios elevados lo que los hace ser un gasto injustificable para una gran cantidad de PyMEs, derivando en ambientes laborales inseguros para los empleados al momento de manipular sustancias o intervenir en procesos y afectando la eficiencia de la producción como un todo. [10]

Algunos conceptos importantes que destacan en este documento son: **robot manipulador**, que se refiere a un robot multipropósito, reprogramable y controlado automáticamente. **Cinemática directa e inversa**, que se definen como las ramas de la matemática que se encargan del control de la posición de robot en tiempo real, dependiendo si se utiliza el grado de rotación de cada eje o la posición en

el plano que tienen. **Mecanizado por arranque de viruta**, por su parte, es un proceso de mecanizado que consiste en separar material de una pieza por medio de herramientas con filos definidos. [11] [12]

El objetivo principal de este proyecto es documentar los pasos seguidos en la elaboración de un brazo robótico, siempre teniendo en cuenta la necesidad de mantener costos lo más reducidos posibles. Dentro del texto también se mencionan objetivos, cronograma, metodología y resultados, e incluso algunas recomendaciones para futuros diseños de brazos robóticos.

## Metodología (1169/1200 palabras)

### Elección de características

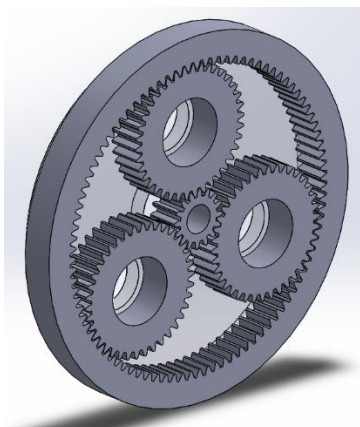
Primeramente, se deben especificar las características mecánicas del brazo robótico: material de mecanizado, longitud máxima del brazo ensamblado y motores elegidos con su denotación NEMA.

La lista de características electrónicas comprende: drivers utilizados para cada tipo de motor, tarjeta de desarrollo, fuentes de voltaje, protección termomagnética y los softwares en los que se desarrollará el control.

Teniendo en cuenta el objetivo de mantener los costos del proyecto lo más bajos posibles, se debe establecer un presupuesto realista basado en los componentes que se han definido en los puntos anteriores, además del material de apoyo, como cables, clemas, material para soporte del brazo, entre otros.

### Diseño del prototipo

La base del diseño mecánico parte de los diseños populares de 6 ejes, aunque se ha reducido a cinco para facilitar el diseño y reducir los costos de producción. Para los actuadores se considerará el uso de reductores planetarios, los cuales se diseñaron con ayuda de las ecuaciones presentadas en [13]. (Imagen 1)

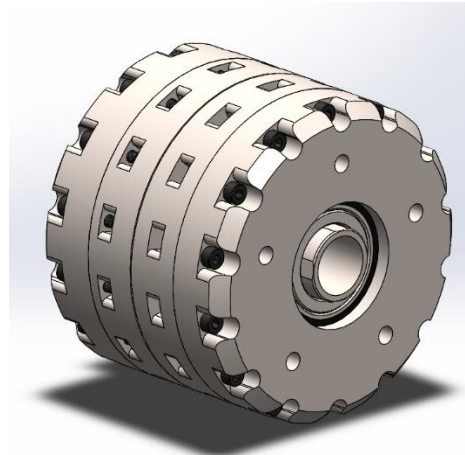


**Imagen 1:** Primer modelo de un reductor planetario hecho en el software 3D Solid Works. Con una relación de 1:5 (Elaboración propia)

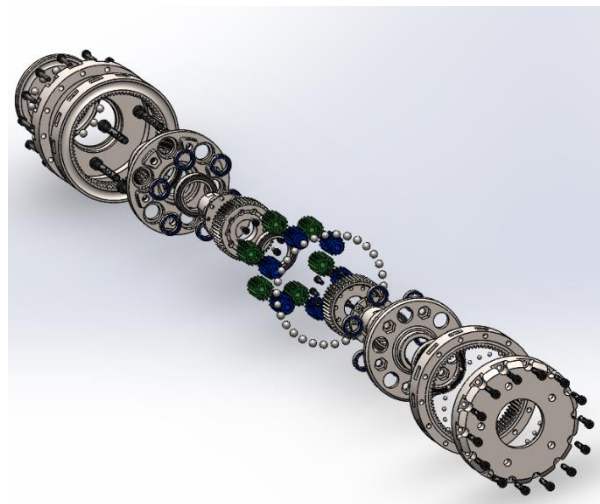
Se observó la insuficiencia de la relación 1:5 en los reductores en relación a los motores usados para el proyecto, así como la necesidad de usar dimensiones inaceptables para este proyecto si se pretendía alcanzar las altas relaciones requeridas de los motores. Una solución se presenta con el

reductor planetario epicíclico compuesto de anillo dividido, de esta pieza se realizaron seis iteraciones antes de llegar al modelo final, el cual se compone de 1 entrada y 3 salidas con diferentes relaciones 1:300, 1:50 y 1:300, está última en reversa; la primera iteración de este reductor se muestra en la imagen 1.

Las imágenes 2 y 3 muestra la composición externa e interna respectivamente del reductor previamente discutido.



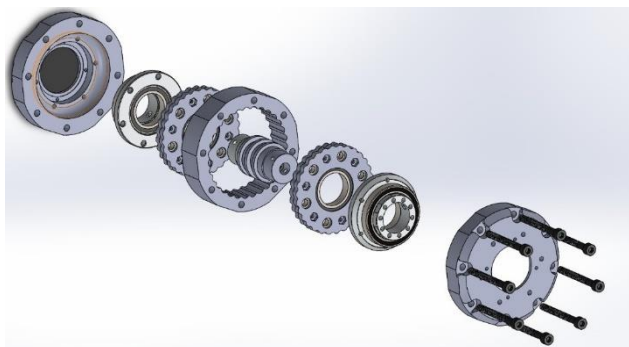
**Imagen 2:** Reductor planetario epicíclico compuesto de anillo dividido hecho en el software 3D SolidWorks (Elaboración propia)



**Imagen 3:** Vista explosionada del reductor planetario epicíclico compuesto de anillo dividido hecho en el software 3D Solidworks (Elaboración propia)

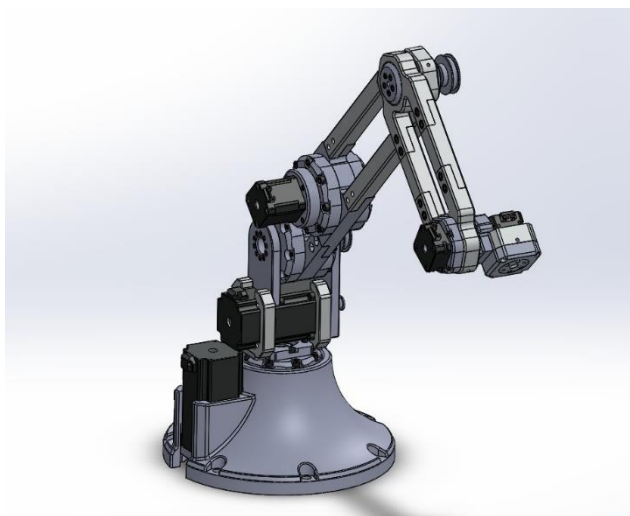
Del reductor de velocidad mencionado, se realizó un prototipo en impresión 3D con tecnología SLA.

Para reducir la complejidad mecánica del reductor, se consideró el uso de un reductor cicloidal, mostrado en la imagen 4, esta configuración presenta un diseño más sencillo, sin embargo, no cuenta con la capacidad de alcanzar las relaciones que un reductor epicíclico compuesto de anillo dividido puede alcanzar teniendo en cuenta dimensiones parecidas, logrando relaciones de 1:30. Para el reductor se realizaron dos iteraciones y un prototipo en impresión 3D.



**Imagen 4:** Vista explosionada de la segunda y última iteración del reductor cicloidal hecho en el software 3D Solidworks. (Elaboración propia)

Una vez definido el reductor a usar, en este caso la configuración cicloidal, se puede empezar a modelar el resto del brazo robótico alrededor del mismo. Teniendo el reductor es posible trabajar con este en mente y modificar las dimensiones del diseño general (imagen 5).



**Imagen 5:** Modelo final diseñado y ensamblado en solidworks para producción del prototipo. (Elaboración propia)

### Impresión 3D y maquinado CNC

Al haber determinado las dimensiones finales de los reductores, estos fueron impresos haciendo uso de la impresora 3D ELEGOO MARS 1, la imagen 6 muestran los prototipos.



**Imagen 6:** Piezas impresas en 3D. (Elaboración propia)

Teniendo en cuenta los objetivos planteados, mantener los costos lo más reducidos posible fue un punto importante al considerar los materiales a utilizar. A pesar de que la primera opción para el maquinado de piezas fue aluminio, se cambió a Nylamid. [14] Fue necesario realizar pruebas de factibilidad para el uso correcto de este material (imágenes 7 y 8).



**Imagen 7:** Tochos para pruebas en nylamid. (Elaboración propia)



**Imagen 8:** Piezas rectificadas y preparadas para el maquinado. (Elaboración propia)

La imagen 9, muestra las instrucciones de funcionamiento de la fresadora CNC en formato de código G.

```
%
O1000
( *****
( *   Pieza_1D_Top
( *   Ix
( *   VERSION : 1
( *****
N10 G21 G90 G40 G17 G94 G00 G49 G80 G98 G64 G54
N20 G21
( TOOL: FRESA M8 )
N30 T1 M6
( OPERATION: FACING.1 )
N40 G0 X59.43 S700 M3
N50 G43 Z9.5 H1
N60 G1 Z-.5 F300.
```

**Imagen 9:** Especificaciones de funcionamiento de fresadora CNC (Elaboración propia)

Todas las piezas, tanto maquinadas como impresas, fueron sometidas a un proceso de machueleado con el fin de poder hacer los ensambles haciendo uso de tornillos (imágenes 10).



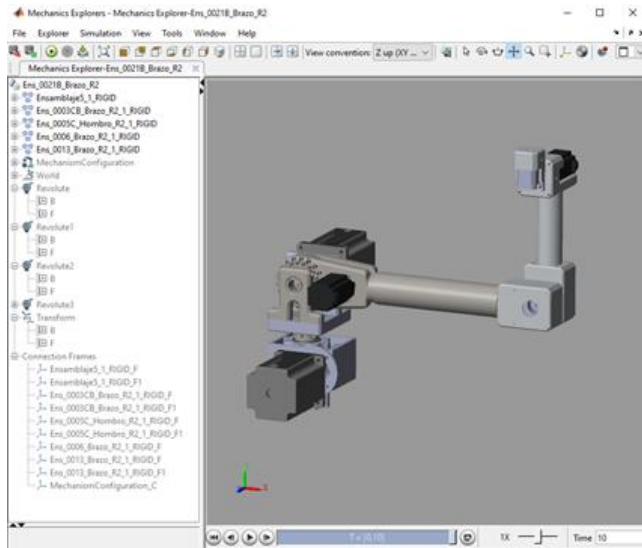


**Imagen 10:** Modificación de piezas mediante machueleado (Elaboración propia)

### Software de control

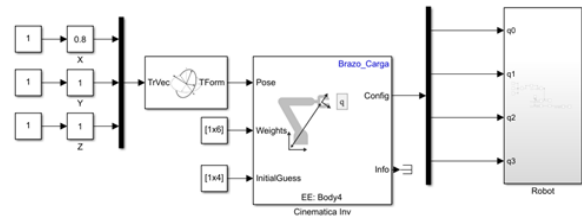
Por medio de las herramientas de Matlab: AppDesigner, Simulink, Simscape, Robotics System Toolbox y Arduino support package se realizó software comprensivo que permite al usuario posicionar al robot en un sistema de coordenadas X, Y y Z en tiempo real.

En primer lugar, se generó un modelo 3D del brazo robótico controlable de forma dinámica por Simscape y Robotics System Toolbox utilizando el modelo de SolidWorks de este (imagen 11). Al haberse generado se compiló un programa Simulink que puede ser llamado por medio de un script que se encarga de generar las variables necesarias para poder ser utilizado dentro de un bloque de control cinemático.



**Imagen 11:** Modelo 3D en el visualizador de mecanismos. (Elaboración propia)

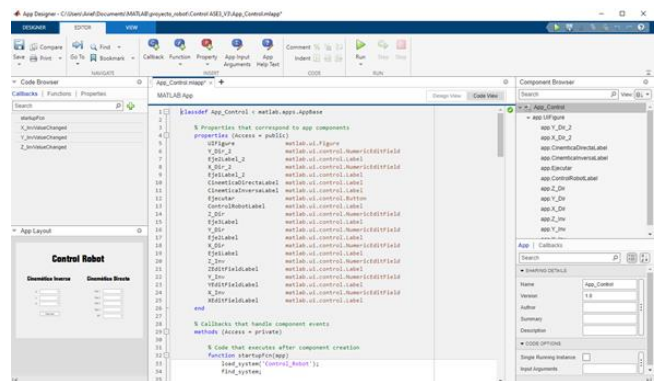
Utilizando esta información y las librerías de control de Robotics System Toolbox se realizó un programa Simulink que permite simular los movimientos en tiempo real del robot por medio de un visualizador de mecanismos, con el objetivo de comprobar que los movimientos fueran adecuados y coincidieran con el que sería el robot físico (imagen 12).



**Imagen 12:** Pruebas de cinemática inversa. (Elaboración propia)

Una vez determinado que el funcionamiento es el correcto, se incorporaron los scripts de control de los motores a pasos, la información que estos procesan puede ser enviada entonces por medio de Arduino support package a puertos I/O de la placa de control por medio de una conexión USB. Se utiliza este tipo de conexión debido a que la placa de control únicamente funge como servidor de comunicación, mientras que el procesamiento lo realiza la computadora que tiene instalado Matlab.

Finalmente, AppDesigner permite realizar aplicaciones que funcionan en paralelo con scripts y programas, tanto de Matlab como de Simulink, y con esta herramienta se realizó una aplicación que permite al usuario conectarse de forma directa con el robot, enviando al software de control las coordenadas en las que éste se debe posicionar (imagen 13).



**Imagen 13:** Diseño de software con AppDesigner. (Elaboración propia)

### Actuadores

Todos los drivers de los motores a pasos se tienen que configurar antes de usarse de acuerdo a la corriente que debe suministrarse al motor y el número de pasos por revolución que se requieran. Ver ejemplo en la imagen 14.

Después se conectan a cada driver las bobinas del motor, alimentación de 24V y las señales DIR y PUL en modo cátodo común a los pines digitales de un arduino Leonardo. Conforme se vayan generando las señales en Simulink, estos pines recibirán 5V y los motores se moverán en cantidad de pasos en la dirección que les corresponda.



Imagen 14: Driver TB6600 (Elaboración propia)

En el modelo de Simulink deberán incorporarse funciones que permitan: calcular el paso de los motores en caso de que se modifique la configuración del driver, convertir los grados de cada articulación en el número de pasos que se moverán y, por último, generar las señales digitales al Arduino.

## Resultados y Discusión (1241/1500 palabras)

### Modelado 3D

Debido a la complejidad del proyecto, fue necesario hacer distintas iteraciones en el modelado 3D del robot. El cambio más importante fue dejar de lado los motores NEMA 43, debido a las restricciones económicas que representaba maquinar piezas que lograran sostener el peso de estos motores. Se optó por usar dos motores NEMA 23, los cuales se ubican en la parte inferior del robot y son usados para crear el movimiento esférico de la base dando movimiento al primer y segundo eje.

Este cambio representó una pausa significativa en el avance del proyecto, fueron necesarias modificaciones importantes a las dimensiones y fuerzas originalmente planeadas para el diseño mecánico del brazo robótico con el fin de integrar de manera exitosa los nuevos motores. La imagen 15 muestra el diseño final del brazo robótico.



Imagen 15: Diseño final del brazo robótico. (Elaboración propia)

### Impresión 3D y maquinado CNC

Como se mencionó en el apartado de metodología, piezas seleccionadas del prototipo fueron impresas usando resina y posteriormente ensambladas como lo muestran las imágenes 16 y 17.

La impresión 3D fue una de las herramientas más utilizadas en el desarrollo del proyecto, ya que ofrece una amplia gama de beneficios; por ejemplo, precisión, así como la facilidad con la que pueden ser producidas impresiones sin importar qué tan complejas sean.

La impresión de tipo SLA (estereolitografía) es relativamente sencilla. Se vacía la resina que será usada para construir la pieza seleccionada y esta se construye capa por capa en una slider, el problema con este método es que las impresiones no son piezas utilizables al ser construidas, deben ser sometidas a un proceso de preparación que incluye limpiar la pieza con alcohol isopropílico y posteriormente ser expuesta a luz ultravioleta para curar la resina haciendo uso de dispositivos especiales. De no contar con estos dispositivos también se puede optar por exponerlas al sol directo, sin embargo, esto requiere vigilancia constante ya que la resina puede deformarse dejando inutilizable la impresión debido al calor. En resumen, es un proceso que toma cantidades importantes de tiempo.

Otro problema al usar impresión 3D son los gases potencialmente peligrosos que desprende la resina al ser utilizada; es de suma importancia la utilización de guates y mascarillas con filtros intercambiables como equipo de protección.

Contemplando lo anterior, vale la pena mencionar que existen distintos tipos de resina; existe, por ejemplo, la resina soluble en agua. Las resinas solubles en agua volatilizan menos partículas, haciendo su uso más seguro, y no requieren el uso de alcohol isopropílico. No obstante, las piezas construidas con este tipo de material siguen requiriendo procesos de preparación antes de poder darles el uso que se les tiene planeado.



Imagen 16: Ensamble del eje número 4 y 5 y un disco cicloidal al lado izquierdo. (Elaboración propia)



**Imagen 17:** Prototipo operativo de un reductor cicloidal con relación 1:10 ensamblado con piezas impresas en una impresora de resina. (Elaboración propia)

Como se mencionó antes, se tomó la decisión de cambiar el aluminio originalmente considerado para el maquinado en fresadora CNC por el plástico Nylamid; esta decisión representó una pausa importante en el avance del proyecto. Esto debido a que el diseño del brazo robótico en un principio había sido planeado con el aluminio y sus características físicas en mente. El Nylamid, al ser un tipo de plástico, a diferencia de la mayoría de los metales comunemente usados a nivel industrial, presenta numerosos retos para ser maquinado de manera eficiente; fue necesario realizar distintas pruebas de factibilidad, esto para asegurar que el plástico fuera un sustituto adecuado para el aluminio.

Por sus mismas propiedades físicas, al igual que muchos plásticos, el Nylamid no es capaz de realizar una dispersión de calor eficiente, corriendo el riesgo de sobrecalentarse y posterior derretimiento al momento de ser maquinado, efectivamente dejando la pieza inutilizable.

Otra característica a considerar, fue la profundidad de los cortes que factiblemente pueden hacerse al Nylamid. De ser muy profundos el material sufre una deformación importante y eliminando la precisión de las medidas que se desea obtener. Mantenerlo sujetado para su maquinado también resulta un reto, si se utiliza una fuerza excesiva el material puede comprimirse, de nuevo interfiriendo con la precisión de las dimensiones finales.

Maquinar en Nylamid representa múltiples retos, y aunque no es imposible, vale la pena mencionar la importancia de mantener RPM (Revoluciones Por Minuto) bajas, avances relativamente lentos y siempre hacer uso del refrigerante. Todo eso con tal de asegurar la integridad estructural del material.

La imagen 18 muestra tres de las piezas maquinadas haciendo uso del Nylamid.

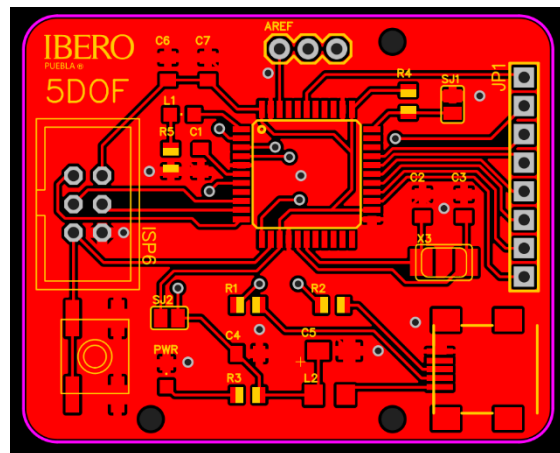


**Imagen 18:** Piezas maquinadas en Nylamid haciendo uso de la fresadora CNC (Elaboración propia)

### Actuadores

Los motores fueron configurados para moverse 0.225 grados por paso, dando un total de 1600 pasos por revolución. Para aumentar o disminuir ese número, sería necesario cambiar la configuración en el driver manualmente, y sustituir el denominador en la función Configuración\_Motor de Simulink.

Adicionalmente, se diseñó una tarjeta personalizada para el control de los motores en el software easyEDA, la cual se muestra en la imagen 21, que opera con un microcontrolador ATmega32U4 correspondiente al arduino Leonardo usado para las pruebas (imagen 19).



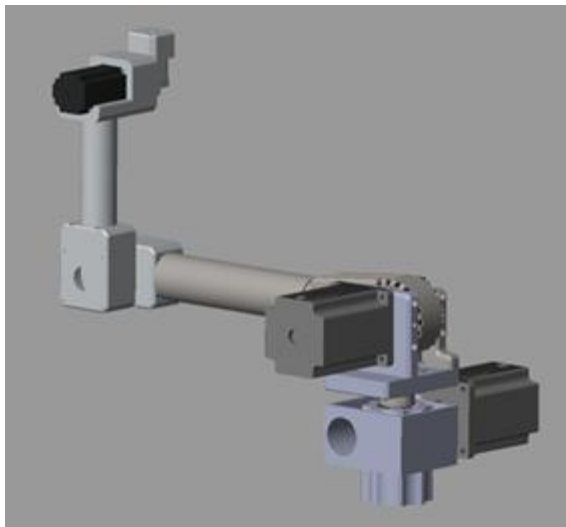
**Imagen 19:** Tarjeta electrónica personalizada para el envío de señales digitales de Simulink. (Elaboración propia)

### Software de control

Se compone de tres elementos: Un modelo 3D representativo del robot para su uso en el cálculo de las cinemáticas directa e inversa, un programa ejecutable para el control del robot con los parámetros recibidos del usuario y una aplicación en la que el usuario puede controlar el robot por medio de cinemática inversa.

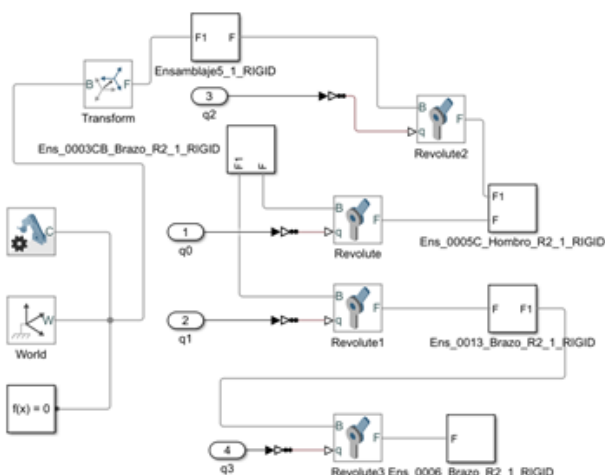
El modelo 3D del robot se importó por medio de SolidWorks a la librería Simscape de Matlab, generando un programa Simulink, que fue modificado de acuerdo con las necesidades del proyecto para poder ser manipulado. La imagen 20 muestra el modelo 3D.





**Imagen 20:** Modelo del robot 3D generado por Simulink. (Elaboración propia)

Al ejecutarse este programa con un script de carga se generan una serie de variables y elementos que se utilizan en el software de control, como lo muestra la imagen 21.



**Imagen 21:** Programa Simulink para el modelado del robot. (Elaboración propia)

La aplicación de usuario se compone de dos secciones, la primera de ellas se encarga de permitir al usuario ingresar los valores en metros en los ejes X, Y y Z objetivo del robot, así como los grados de rotación del elemento final o actuador, el robot ejecuta en tiempo real los movimientos adecuados para llegar a ese estado. La segunda sección se encarga de mostrar al usuario los grados en los que se encuentra cada eje del robot en todo momento. La imagen 21 muestra la interfaz de interacción para el usuario.

## Control Robot

### Cinemática Inversa

X

Y

Z

### Cinemática Directa

Eje 1

Eje 2

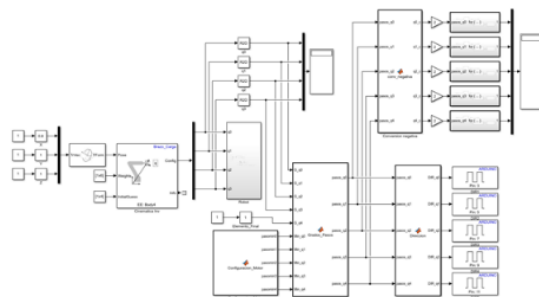
Eje 3

Eje 4

EF

**Imagen 22:** Aplicación de usuario para control del robot. (Elaboración propia)

Por su parte, el software de control se encarga de procesar la información recibida desde la aplicación de usuario, tomando las coordenadas ingresadas, procesándolas por medio de cinemática inversa, pasando entonces por las diferentes funciones de control de motores a paso programadas en scripts de Matlab y enviándolas a la tarjeta controladora. (imagen 23) Al mismo tiempo, esta información es enviada al modelo 3D generado previamente para su visualización de forma virtual y a un bloque de cinemática directa, que muestra al usuario el ángulo de posición del robot con respecto a su cero.



**Imagen 23:** Programa Simulink para el control del robot. (Elaboración propia)

### Conclusiones, perspectivas y recomendaciones (195/300 palabras)

A nivel mecánico fue necesario modificar los planes iniciales y optar por recursos alternos con tal de satisfacer los objetivos proyectados, sin embargo, a pesar de las dificultades y los contratiempos se logró diseñar, maquinar y ensamblar el modelo que fue considerado óptimo.

Recomendaciones incluyen incrementar la relación de los reductores, agregar dos reductores más en los ejes 4 y 5, e implementar un sistema de frenos NO (Normalmente Cerrados) en todos los ejes del brazo robótico, esto último permitiría que en caso de un corte energético las posiciones de los ejes se mantengan.

El software de control implementado en Simulink presenta un buen desempeño dado que la posición del robot armado corresponde en gran medida al de la simulación cada vez que se introduce un cambio mediante la interfaz de usuario, sin embargo, es importante notar que la precisión

puede mejorar utilizando más pasos por revolución en los motores y tomando en cuenta los puntos decimales que sobran cuando se mandan las señales digitales a la tarjeta electrónica.

Adicionalmente, se recomienda que el software tenga la posibilidad de crear y guardar rutinas complejas para enriquecer las funciones del robot mediante la interfaz de usuario.

## Referencias

- [1] Morales, Yolanda, «PIB de México del 2021, en el mismo nivel del III Trim. del 2016: Jonathan Heath,» *El Economista*, p. 1, 28 Febrero 2022.
- [2] C. Lizarazo, «Las PyMEs en México: Retos e importancia,» conekta, 26 Octubre 2021. [En línea]. Available: <https://conekta.com/blog/las-pymes-en-mexico-retos-e-importancia>. [Último acceso: 2022].
- [3] G. Bautista Bautista, «Clasificación de las empresas en México,» Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo, 2020.
- [4] Secretaría de Economía, «Empresas,» [En línea]. Available: <http://www.2006-2012.economia.gob.mx/mexico-emprende/empresas>. [Último acceso: 2022].
- [5] Secretaría de Economía, «Pequeñas empresas,» Secretaría de Economía, [En línea]. Available: <http://www.2006-2012.economia.gob.mx/mexico-emprende/empresas/pequena-empresa?lang=es>. [Último acceso: 2022].
- [6] Secretaría de Economía, «Medianas empresas,» Secretaría de Economía, [En línea]. Available: <http://www.2006-2012.economia.gob.mx/mexico-emprende/empresas/mediana-empresa>. [Último acceso: 2022].
- [7] J. Wällén, «The History of the Industrial Robot,» 2 Octubre 2014. [En línea]. Available: <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A316930&dsid=-9672>. [Último acceso: 2022].
- [8] IFR: International Federation of Robots, «Robot History,» [En línea]. Available: <https://ifr.org/robot-history>.
- [9] K. Matthews, «How Robot Precision Has Evolved, Enabling More Uses,» *Robotics Business Review*, 24 Septiembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.roboticsbusinessreview.com/manufacturing/robot-precision-evolves/>. [Último acceso: 2022].
- [10] D. Zhang y Z. Guo, «Design of the service robot applied to undergraduate laboratory of pharmacy major,» 2022. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.1049/tje2.12126>. [Último acceso: 2022].
- [11] IFR: International Federation of Robotics, «Industrial Robots,» IFR: International Federation of Robotics, 2022. [En línea]. Available: <https://ifr.org/industrial-robots>. [Último acceso: 2022].
- [12] A. Barrientos, L. Peñín, C. Balaguer y R. Aracil, «Morfología del robot,» de *Fundamentos de Robótica*, Madrid, McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U., 2007, p. 34.
- [13] J. Smajic, I. Saric, A. Munimovic, M. Delic y A. J. Munimovic, «Planetary Gearbox Prototype Development and Manufacturing,» *Technical Journal from the Faculty of Mechanical Engineering of Sarajevo*, Sarajevo, 2021.
- [14] Aceros Levinson, «Nylamid,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.aceroslevinson.com/plasticos/nylamid/propiedadesprincipales/>. [Último acceso: 2022].