REVISTA INCAING
ISSN 2448 9131

Diseño de brazo robótico de 6 articulaciones para su impresión 3D

Yolanda Eugenia Márquez Gardea, Rafael Sandoval Rodríguez,
David Loya Gutiérrez,
Tecnológico Nacional de México, campus Chihuahua,
yolanda.mg@chihuahua.tecnm.mx, rafael.sr@chihuahua.tecnm.mx

Resumen. En este trabajo se describe el procedimiento seguido para diseñar las partes mecánicas de un Brazo Robótico de 6 articulaciones usando Solidworks®, para ensamblar las piezas virtualmente, y finalmente para imprimir en 3D las piezas y realizar el ensamble físico del brazo robótico. El propósito principal de este trabajo es validar la hipótesis si este software para modelado, simulación y análisis permite completar todo el proceso de diseño y conceptualización del prototipo, simulación y análisis de los ensambles, la visualización y renderización, y finalmente el proceso de impresión 3D.
Entre los objetivos logrados es el contar con un prototipo funcional de un brazo de seis ejes, para su uso en la realización de prácticas de laboratorio de la materia de Robótica y similares en las carreras de ingeniería de este instituto.
Entre los resultados mas importantes es la experiencia ganada en el proceso completo de diseño, análisis y construcción de un prototipo, experiencia que se transmitirá a los estudiantes en el aula. En el cuerpo del articulo se describen a detalle los métodos y procedimientos seguidos en la realización del proyecto.

Índice de Términos - Brazo robótico, modelado e impresión 3D.

I. INTRODUCCIÓN

Los equipos didácticos para la enseñanza o práctica de sistemas mecatrónicos ofrecidos en el mercado resultan poco accesibles al presupuesto disponible para su adquisición en algunas instituciones educativas, lo que resulta en laboratorios carentes de equipamiento apropiado y pertinente para la realización de ejercicios prácticos; o peor aún, en la ausencia de laboratorios o talleres para prácticas. Esto reduce significativamente las habilidades de los estudiantes y por tanto su competitividad para ser contratados para puestos técnicos o de ingeniería [1,2].

La realización de este trabajo tiene dos objetivos principales, el primero de ellos es validar la hipótesis de si un software como SolidWorks® permite completar todo un proceso de diseño, conceptualización, análisis, visualización y preparación para fabricación mediante impresión 3D de un brazo robótico. El segundo objetivo es finalmente contar con un prototipo de brazo robótico de propósito didáctico, para su uso en prácticas de laboratorio. Se decidió construir un brazo robótico tipo articulado de seis grados de libertad dado que esta arquitectura de robot es una de las más populares en la industria de manufactura por su buena dextricidad y versatilidad. Además de que ya existía experiencia previa por parte de los autores en la construcción de un primer prototipo [6], y se deseaba mejorar la funcionalidad y alcance en el segundo prototipo. A manera de ilustración, la figura 1 muestra una imagen con brazos robóticos de tipo articulado realizando tareas de empaque. El robot que se desea diseñar debe contar con un movimiento de base o rotación principal, movimientos de hombro y codo con ejes de articulación horizontales, un giro o torsión del antebrazo que permita a la muñeca los movimientos de orientación de “yaw” y “pitch”, y finalmente un movimiento de “roll” en la herramienta de trabajo. Cabe destacar que en esta primera etapa no se considera el diseño de la herramienta, dejando esta actividad para futuros trabajos.

Fig. 1. Ejemplo de brazo robótico moderno.

En las siguientes secciones se describe el proceso de diseño de las partes mecánicas del brazo robótico, que puede ser usado como prototipo didáctico en instituciones educativas. El modelado de las piezas se realiza en SolidWorks®, así como su ensamble virtual, para finalmente imprimir en 3D las piezas y realizar el ensamble físico del brazo robótico.

II. DESARROLLO

A. Diseño de brazo robótico basado en modelos actuales

Las características físicas de los brazos robóticos usados actualmente han cambiado en los últimos años, hoy en día los brazos de robot tienden a ser tubulares y pequeños, sin embargo, son capaces de aplicar un gran torque gracias a la Transmisión Armónica que rompe con el modelo de las transmisiones de engranajes tradicionales.

La Transmisión Armónica o Transmisión de Ondas, fue inventada por C.W Musser en los Estados Unidos de Norteamérica en el año 1955. Su creación y desarrollo ha cambiado la forma de pensar y de actuar en los aspectos relacionados con los métodos y tecnologías de la reducción de velocidades a través de engranajes [3,5].

Gracias a su fácil uso y ensamblaje, además de su tamaño pequeño comparado con la transmisión de engranajes tradicionales, y su elevada relación de transmisión, este tipo de transmisión es un equipo indispensable cuando se desea una alta relación de transmisión en un pequeño espacio. Su aplicación principal es en la robótica, la tecnología espacial y en otras aplicaciones donde se requiere una elevada relación de transmisión y una gran precisión de giro. Este accionamiento armónico aprovecha las características elásticas de los metales para lograr una alta relación de transmisión en un espacio muy reducido [4].

B. Transmisión Armónica.

La Transmisión Armónica, utiliza un principio operativo único que se basa en la mecánica elástica de los metales. Sus mayores beneficios son las características de cero “backlash” o holgura, distancia entre la parte posterior de un diente y la parte frontal del siguiente diente en contacto, y el ahorro de peso y espacio en comparación con otros engranajes, ya que esta transmisión consta de solo tres partes básicas, un generador de ondas, una rueda elástica con dientes exteriores y un anillo circular con dientes interiores, como se ilustra en la figura 2. Además, entre sus beneficios se encuentran también un alto par, excelente precisión posicional y repetibilidad [3,4,5].

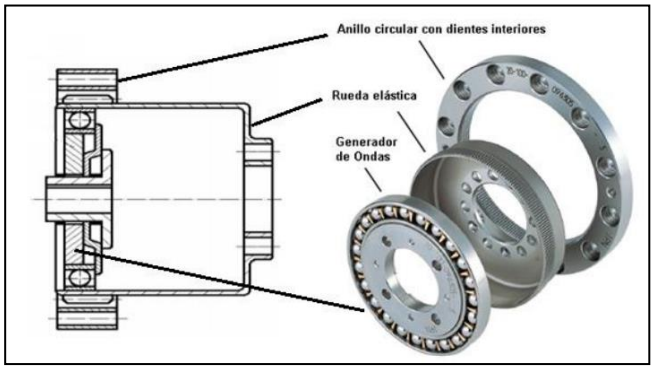

Fig. 2. Componentes de una Transmisión Armónica.

C. Diseño para imprimir en 3D de una Transmisión Armónica.

En referencia al trabajo presentado en [7] se imprimieron en 3D los diseños de 3 Transmisiones Armónicas diferentes. Para la base se usó una relación de transmisión de 1:35, para el hombro, codo, y torsión del antebrazo, se usaron relaciones de trasmisión de 1:49, y para las dos articulaciones de la muñeca, “yaw-pitch” y “roll”, se usaron de 1:25. Las seis transmisiones armónicas impresas en 3D tienen una eficiencia aproximadamente del 50%, esto debido a que el material usado en la impresión 3D es flexible, sin embargo se utiliza una buena parte del torque del actuador en lograr la deformación del engrane flexible de la trasmisión, con la consecuente reducción en la eficiencia. No obstante, el 50% de eficiencia es aceptable para las articulaciones de un brazo robótico impreso en 3D y significa que podremos

aumentar 24.5 veces el torque del motor que se utilice en la articulación del hombro, por ejemplo, siendo esta la articulación crítica del brazo robótico porque además de la carga que se quiera levantar, el hombro tiene que soportar también el peso de lo que resta del brazo robótico.

Fig. 3. Piezas impresas en 3D de la Transmisión Armónica 1:35.

La figura 3 muestra los componentes de la trasmisión armónica de la articulación de la base. Para completar el ensamble de la transmisión armónica se emplearon tornillos y tuercas metálicos, dado que estos elementos impresos en 3D no tienen la resistencia y precisión necesaria, también se utilizaron rodamientos de bolas.

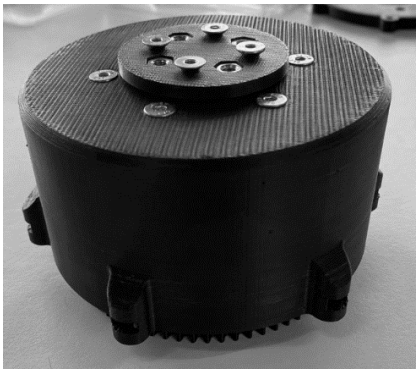

Fig. 4. Transmisión Armónica ensamblada para la base del brazo robótico.

La figura 4 muestra una imagen de la trasmisión armónica de la base del robot, ya ensamblada.

D. Diseño de la base del brazo robótico.

Para la articulación de la base se diseñó una carcasa , figuras 6 y 7, que pudiera alojar a la transmisión armónica 1:35, la cual tiene un diámetro exterior de 11cms aproximadamente, mostrada en la figura 5.

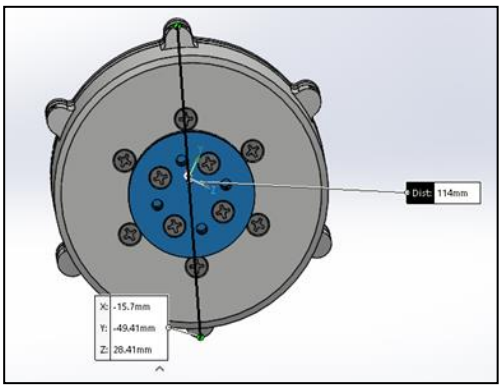

Fig. 5. Diámetro de Transmisión 1:35.

La base tiene un diámetro exterior de 15cms y 13cms de altura, y en su interior cuenta con 6 salientes que van a sujetar a la transmisión 1-35 conectada con un motor NEMA 17 por medio de tornillos y tuercas. La perforación central en la parte superior de la base es para conectar la flecha de salida de la transmisión con la pieza que aloja a la articulación del hombro. También en la parte superior de la base se colocaron 6 perforaciones para tuercas de inserción que se introducen mediante calor al material de impresión 3D, en este caso ABS.

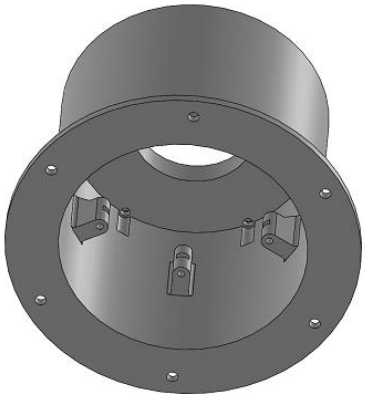

Fig. 6. Base de brazo robótico, vista inferior.

En la parte superior de la base se diseñó un riel para colocar balines de 8mm de diámetro, figura 7, similar al diseño de una base o soporte llamado “Lazy Susan”, con la finalidad de proporcionar un mayor soporte ante los momentos generados cuando el robot se extiende hacia el frente.

Fig. 7. Base de brazo robótico, vista superior.

Para contener los balines y conectar el hombro con la transmisión armónica de la base, se diseñó un plato de embone, figuras 8 y 9.

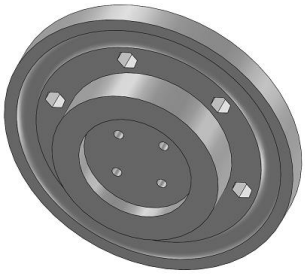

Fig. 8. Plato de embone, vista inferior.

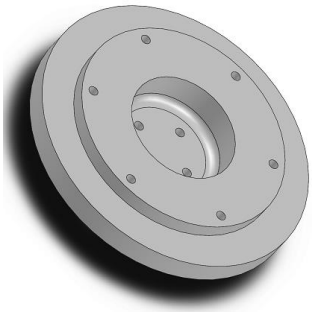

Fig. 9. Plato de embone, vista superior.

Con la intención de detener el plato de embone en su lugar se diseñó una tapa, figuras 10 y 11. Esta tapa debe de ser lo suficientemente fuerte, porque servirá de soporte para que el plato de embone no se levante cuando el brazo de robot haga movimientos alejados de su base y sobre todo cuando tenga carga.

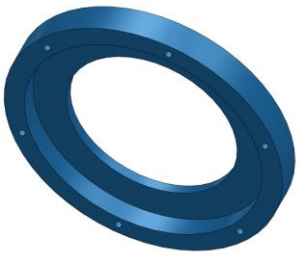

Fig. 10. Tapa de la base, vista inferior.

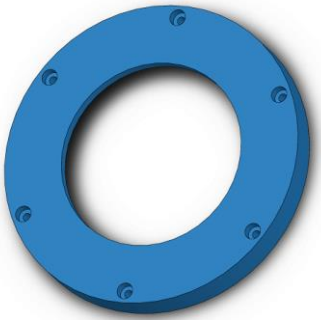

Fig. 11. Tapa de la base, vista superior.

E. Diseño del hombro del brazo robótico.

Terminado el diseño de la base, se continuó con el diseño de la pieza que alojaría a la transmisión del hombro, figura 12. Esta articulación usa una transmisión armónica con una relación de 1:49 y un motor NEMA 23 con transmisión de 12kg/cm, para lograr un torque teórico de 588 kg/cm, que con el 50% de eficiencia en realidad tendremos 294 kg/cm.

Al igual que la base, el hombro tiene seis cavidades en su parte interna para atornillar la Transmisión Armónica. Además, cuenta con un acople para atornillarse al plato de embone de la base, y un riel para balines de 8mm de diámetro que serán cubiertos con un plato de embone igual al de la base y una tapa también igual a la de la base, es decir de las mismas dimensiones.

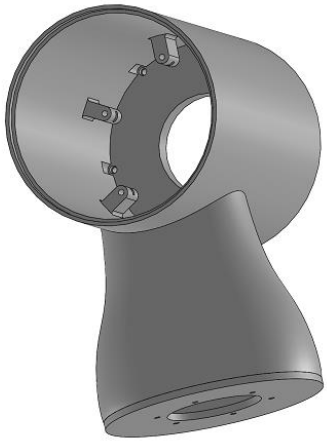

Fig. 12. Hombro.

El sistema de balines se usará únicamente en la base y en el hombro, ya que son las articulaciones que necesitan ese soporte extra para poder sostener al resto del brazo y el peso extra que se quiera mover con el mismo.

Con la intención de cubrir al motor del hombro se diseñó una tapa en la que se grabó el logo de la institución, figura 13.

Fig. 13. Tapa del hombro.

Para conectar la articulación del hombro con las del codo, se diseñó una pieza de unión curva de 30cms de longitud de centro a centro figura 14, con dos círculos en los extremos, los diámetros de estos corresponden a los de las respectivas articulaciones, 150mm para el hombro y 110mm para el codo. La curva que se utilizó para trazar la parte que une los círculos se asemeja al aumento de 20cms que se agregó en el hombro para hacerlo más estético.

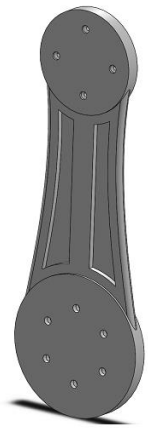

Fig. 14. Eslabón para conectar hombro con codo.

F. Diseño de las articulaciones del codo del brazo robótico.

En el diseño del codo del brazo se buscó principalmente reducir su tamaño comparado con el del hombro. Para las articulaciones del codo se usará una relación de transmisión 1-49, igual que la del hombro del brazo. No es conveniente hacer más pequeña la transmisión armónica, por lo cual se modificó el chasis de la misma transmisión, de manera que este pueda conectarse con el hombro y con la muñeca directamente, es decir las transmisiones armónicas del codo no necesitarán otro chasis que las sostenga como fue el caso de la base y el hombro.

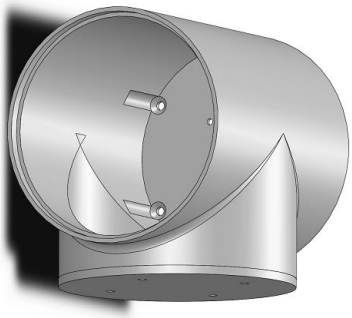

Fig. 15. Codo.

La figura 16 muestra el ensamble de las dos articulaciones, flexión del codo y torsión del antebrazo, con sus flechas de salida en azul, las Transmisiones Armónicas unidas a las flechas de salida y una segunda tapa para cubrir al segundo motor.

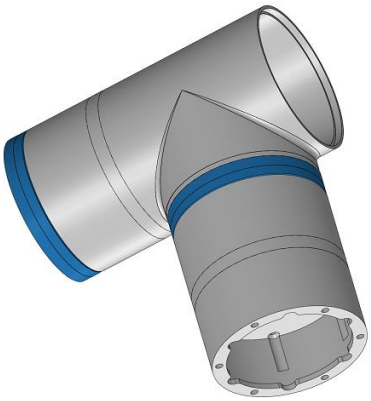

Fig. 16. Ensamble del codo.

G. Diseño de las articulaciones de la muñeca del brazo robótico.

Las dos articulaciones de la muñeca pueden usar una relación de transmisión menor a las del codo, es decir, no necesitan la misma fuerza que el codo ya que no tienen que cargar más piezas del mismo brazo, sino solamente cargarán el objeto a manipular por el mismo. Lo anterior permite reducir el diámetro de los engranes circular y flexible de la transmisión armónica porque pueden tener menos dientes. Las articulaciones de la muñeca se diseñaron con una relación de transmisión de 1:25 en un diámetro de 97mm.

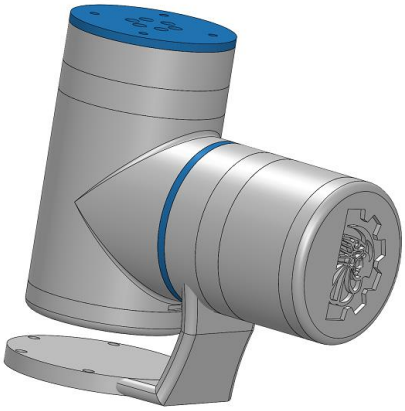

Fig. 17. Ensamble de la muñeca.

Para conectar las articulaciones del codo con las de la muñeca, se diseñó una pieza de unión en “L” sobre la carcasa de la trasmisión armónica, figura 18, los diámetros corresponden a los de las respectivas articulaciones, 110mm para el codo y 97mm para la muñeca.

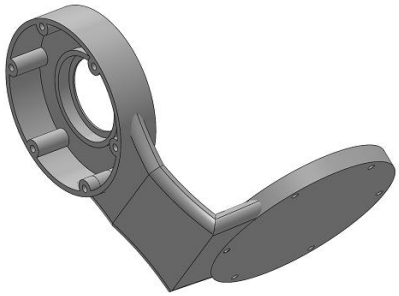

Fig. 18. Eslabón para conectar codo con muñeca.

H. Ensamblaje del brazo robótico de 6 articulaciones

La figura 19 muestra una renderización del ensamble completo del robot, donde las placas de salida o flechas de salida de las articulaciones se muestran en color azul.

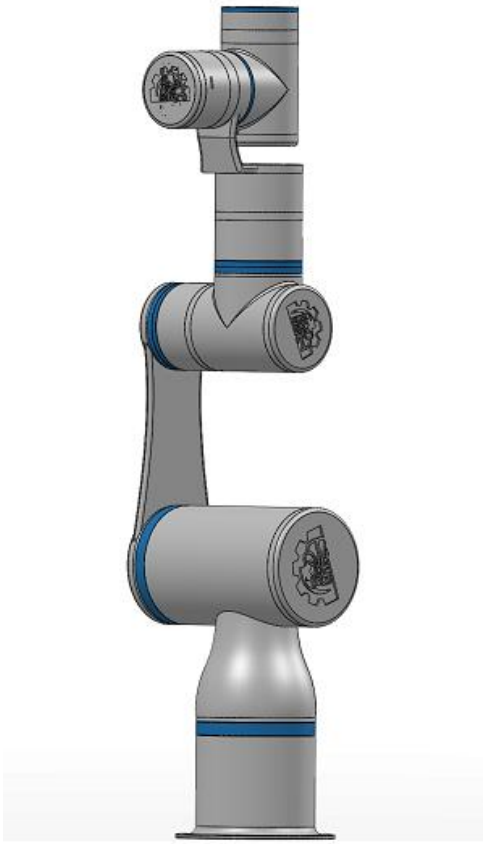

Fig. 19. Ensamblaje del brazo robótico de 6 articulaciones.

La figura 20 muestra algunas de las piezas impresas en 3D del robot, mientras que la figura 21 muestra al robot ensamblado por completo.

Fig. 20. Piezas impresas en 3D.

Fig. 21. Brazo robótico de 6 articulaciones.

III. RESULTADOS

Se logró validar satisfactoriamente la hipótesis planteada, es decir, SolidWorks® resultó un software muy efectivo para llevar a cabo el proyecto de construcción del prototipo. Sus utilerías para visualizar los ensambles y sus movimientos relativos resultaron de mucha ayuda para analizar el diseño y hacer los ajustes necesarios en cada una de las piezas.

Se logró diseñar y fabricar cada una de las piezas que conforman el robot con la precisión requerida para su correcto ensamble.

Se logró integrar la parte de los actuadores en las trasmisiones armónicas y validar su funcionamiento con la electrónica de control del robot, la cual también es un diseño original y se presentará en un siguiente artículo.

Finalmente se cuenta con un prototipo funcional de un robot articulado con seis grados de libertad, el cual se utiliza como ejemplo mecánico, que, aunque no cuenta con la precisión y rigidez de un robot de tipo industrial, si ilustra las características y la arquitectura de un robot comercial.

IV. CONCLUSIONES

Gracias a la tecnología de la impresión 3D se pueden crear herramientas complejas a muy bajo costo, empleando diferentes materiales según sean las necesidades en cada prototipo. Lo anterior aunado a las ventajas del modelado en 3D, como lo son la posibilidad de analizar con precisión las dimensiones de las piezas creadas para verificar todos sus detalles y la posibilidad de ensamblar virtualmente las mismas para corroborar la intención del diseño, nos permite personalizar piezas sin necesidad de moldes y reducir el tiempo de desarrollo de cualquier prototipo.

Para este proyecto en particular, SolidWorks® permitió completar el proceso de diseño, análisis y fabricación de un prototipo de brazo robótico de manera más que satisfactoria, por lo que se puede concluir que es una herramienta idónea para este tipo de proyectos.

El prototipo terminado con sus partes impresas en 3D resultó relativamente muy económico, sin embargo, dada la naturaleza flexible del plástico no presenta la rigidez y precisión de un robot con partes metálicas, sin embargo, ejemplifica de muy buena manera la mecánica de un robot comercial y ha resultado muy útil como herramienta didáctica de soporte.

REFERENCIAS

[1] Index Chihuahua, “Encuesta de Vinculación Educativa 2021”, Asociación de Maquiladoras y Exportadoras de Chihuahua A.C., Chihuahua´s Aerospace Cluster, AutoCluster del Estado de Chihuahua.

[2] Index Chihuahua, “Encuesta de Pertinencia 2023”, Asociación de Maquiladoras y Exportadoras de Chihuahua A.C., Chihuahua´s Aerospace Cluster, AutoCluster del Estado de Chihuahua.

[3] C. Cardona, “Part Consolidation for Additive Manufacturing Demonstrated in the Design of a 3D-Printed Harmonic Drive”, Indiana University Journal of Undergraduate Research, Vol.1, 2015, pp. 45-49.

[4] Harmonic Drive SE, www.harmonicdrive.de

[5] J. L. Moya, et al., “Geometría y Cinemática de las Transmisiones de Onda o Harmonic Drives”, VIII Conferencia Científica Internacional de Ingeniería Mecánica, 2014.

[6] O. D. Vasquez, Y. E. Márquez, R. Sandoval, “Impresión-3D y control de brazo robótico como proyecto integrador en la Educación Superior”, Revista Científica SIMIYÁ, 2018, pp. 14-32.

[7] Y.E. Márquez G., R. Sandoval R., N. Chávez P., “Diseño de Transmisión Armónica para brazo robótico impreso en 3D”, Revista Investigación y Ciencia Aplicada a la Ingeniería, en revisión.