

Gripper con un grado de libertad para prototipo de brazo robótico educativo

Gripper with One Degree of Freedom for Prototyping of an Educational Robotic Arm

Msc. Luz María Tobar Subía Contenido
Universidad Técnica del Norte - Ecuador
lmtobarsubia@utn.edu.ec

Ing. Edison Andrés Proaño Lapuerta
Universidad Técnica del Norte - Ecuador
eaproaño@utn.edu.ec

Msc. Iván Iglesias Navarro
Universidad Técnica del Norte - Ecuador
iiglesias@utn.edu.ec

Fecha Recepción: 13/11/17 - Fecha Aprobación: 05/12/17

Resumen: El presente artículo describe el diseño de un "gripper" robótico con el cual se pretende motivar e incentivar el interés por el estudio de la ciencia y la tecnología. El diseño del gripper debe ser desmontable e intercambiable por otros modelos en un mismo brazo robótico. En la primera etapa del proyecto "Diseño e Implementación de un Brazo Robot Educativo" se destacan los resultados parciales en la enseñanza dinámica y didáctica de la robótica como objetivo principal. El prototipo desarrollado tipo pinza tiene la capacidad de levantar 1kg de masa. Mediante algoritmos de programación y el uso de un sensor de fuerza el gripper se configura para transportar objetos de una posición a otra. Los resultados que se describen a continuación corresponden a mediciones del primer prototipo que servirá como base para el avance y puesta en marcha de las siguientes etapas del proyecto.

Palabras clave: Análisis de elementos finitos, gripper, sensor de fuerza, mecanismos de 4 barras

Abstract: This article describes the design of a robotic "gripper" which intends to motivate and encourage students in studying science and technology. The design of the gripper must be removable and interchangeable by other models in the same robotic arm. In the first stage of the project "Design and Implementation of an Educational Robot Arm" the partial results in dynamic and didactic teaching of robotics are highlighted as the main objective. The developed clamp-type prototype has the ability to lift 1kg of weight. Through programming algorithms and the usage of a force sensor, the gripper is configured to transport objects from one position to another. The results described below correspond to measurements of the first prototype that will serve as the basis for the progress and implementation of the following stages of the project.

Keywords: Finite element analysis, force sensor, gripper, 4 bar mechanisms

1. Introducción

El uso de sistemas robóticos en la industria para cumplir funciones que requieren extrema precisión ha ido en ascenso en las últimas décadas. El desarrollo de estos sistemas se ha enfocado en mejorar ciertos aspectos como resistencia para trabajar en diferentes condiciones, precisión con la que se realizan movimientos, multifuncionalidad (manipulación, corte, perforación, etc.), adaptabilidad en diferentes entornos de trabajo e independencia en su funcionamiento, (Alonzo, 2014). Enfocándose al desarrollo de aplicaciones con robots manipuladores (Rodríguez, Botero, & Quintero, 2007).

Para entender a un robot es necesario conocer sus partes, por ejemplo, un brazo robot industrial incluye partes principales como: controlador, brazo, efector final, unidad, sensor. El controlador es el "cerebro" y permite que las partes del robot funcionen y se conecten a otros sistemas (Baturone, 2005). El efector final sirve para interactuar con el medio ambiente, (Molina & Urrego, 2013); existen diferentes tipos de acuerdo a la aplicación, a las condiciones de trabajo y a la forma y peso del objeto (Santiago-Valentín, Solano-Palma, Bautista-Camino, Rueda-Meléndez, & Portilla-Flores, 2015). Al efector final se le denominará *gripper* en el resto del documento.

En el mercado internacional existen empresas como Festo (Festo Grippers, 2017) y PHD (AUTOMATION SOLUTIONS FROM PHD, INC., 2015) que elaboran *grippers* neumáticos y eléctricos de varias dimensiones capaces de aplicar más de 725 kgf en el agarre, con diferentes números de dedos y una gran variedad de accesorios. No obstante, el desarrollo de estos dispositivos está enfocado al ambiente industrial siendo una problemática para la enseñanza en el área de robótica móvil. Al igual que en centros académicos, donde se han enfocado a la construcción de mano mecatrónica para aplicaciones en robótica industrial (Moreno-Betancur & Velásquez-Toro, 2014). Al estudio sobre la importancia del gripper universal en la industria (Patakota Venkata Prasad Reddy & Satya Suresh, 2013). Así como, en desarrollo de un controlador abierto para un robot industrial tipo scara (González, y otros, 2004); dando mayor énfasis al estudio de la secuencia de movimientos para una cadena de ensamblaje (Bernal, Gómez, & Tornel, 2002).

Por otra parte, (Prada, 2014) describe el diseño de un efector final de tres dedos para un agarre óptimo. De igual manera, (Gallegos & Simbaña, 2006) manifiestan el control de un gripper comercial con 2 grados de libertad. Por último, (Guillen, Monterrosas, Rodríguez, & Salazar, 2007) presentan el desarrollo de un gripper de 8 grados de libertad que sujeta una masa de hasta 5kg.

En referencia a (Montiel Jiménez, Córdova Morales, & Paredes Xochihua, 2016), la robótica educativa es propicia para apoyar habilidades productivas, creativas, digitales y comunicativas. De ahí que existen modelos comerciales de laboratorios virtuales y remotos que han mejorado el aprendizaje y entrenamiento de una manera intuitiva y rentable (Eguchi, 2014); ayudando a los estudiantes en los métodos y habilidades (Bravo, Candelas-Herías, & Torres, 2008); lo que pone de manifiesto el desarrollo y la implementación de un entorno de aprendizaje electrónico en el campo de la robótica (Pinto Salamanca & Barrera Lomban, 2010).

Siendo esta investigación soporte al proyecto Brazo Robótico Educativo, donde (Endara & Mejía, 2017) explican el diseño de la muñeca. En (Bastidas & Ortiz, 2017) se describe la construcción del eslabón y articulación de hombro. Y en (Amanta & Villarreal, 2017) se hace referencia sobre la construcción de la base. El objetivo será la construcción de un gripper

para un prototipo de brazo robótico, capaz de sujetar objetos de máximo un kilogramo.

2. Metodología

En el diseño del gripper se utiliza como base la investigación de (Causey, 2003). Para seleccionar el material se tienen en cuenta algunos aspectos como condiciones mecánicas, proceso de fabricación y montaje. Encaminados a la manufactura de cada uno de los elementos, (Kevin Tai, 2016). La fuerza de agarre tiene que ser la adecuada para transportar con seguridad al objeto sin causar daño (Grupo Kopar, 2014). La elección del sensor de presión y el actuador toma en cuenta el torque, velocidad y precisión.

Diseño mecánico

Las consideraciones en el diseño mecánico del gripper se visualizan en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de diseño del gripper

PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN
Forma del objeto	Objetos con 2 caras planas o cilíndricos no lisos.
Peso del objeto	1000 g
Dimensiones	Abertura máxima de las mordazas: 6 cm (7.5 cm sin cauchos antideslizantes) Longitud de las mordazas: 6 cm
Velocidad	Dictada por el actuador
Longitud del mecanizado	Mecanizado de 36 mm de radio para sujetar botellas y otros objetos cilíndricos.
Retención del objeto	Tiempo suficiente para trasladar el objeto de un lugar al otro, no tiene auto bloqueo para retener al objeto por intervalos largos de tiempo en el aire.
Medio ambiente	Trabaja a temperatura ambiental.
Funcionamiento síncrono	Si, las 2 mordazas se accionan al mismo tiempo
Desmontable	Si

La morfología que mejor se adapta a los parámetros de la Tabla 1 es el modelo de (Acosta Laverde, Armando Riveros, & Ochoa, 2013), un mecanismo de 4 barras que mantiene verticalmente a 2 mordazas paralelas con un grado de libertad. Dicho mecanismo se observa en la Figura 1. La dimensión del eslabón b_1 es igual al eslabón b_2 (40 mm) y del eslabón b_3 es igual al eslabón b_6 (23 mm), por la condición de Grashof. La mordaza se representa con los puntos BCE.

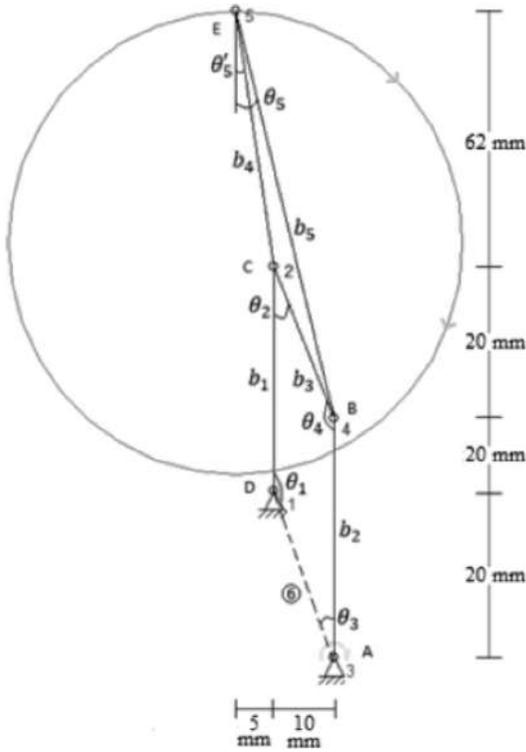


Figura 1. Mecanismo de 4 barras

A continuación, se presentan los datos del mecanismo con el valor numérico de la barra, los ángulos y los datos del objeto a levantar.

Barras	Ángulos	Objeto a levantar
$b_1=40\text{mm}$	$\theta_1=153.69^\circ$	$m=1\text{kg}$
$b_2=40\text{mm}$	$\theta_2=26.31^\circ$	$g=9.81\text{ m/s}^2$
$b_3=23\text{mm}$	$\theta_3=26.31^\circ$	$\mu=0.61$
$b_4=63\text{mm}$	$\theta_4=153.69^\circ$	
$b_5=84\text{mm}$	$\theta_5=10.44^\circ$	
$b_6=23\text{mm}$	$\theta'_5=4.76^\circ$	

Las fuerzas que actúan se representan en el diagrama del cuerpo libre, la Fuerza Normal (F_N), que ejerce la

superficie de la pinza sobre el objeto a sostener, peso del objeto (P) y de la fuerza de rozamiento (F_r), se utiliza el valor de 0.61 para el coeficiente de rozamiento (μ), ver Figura 2.

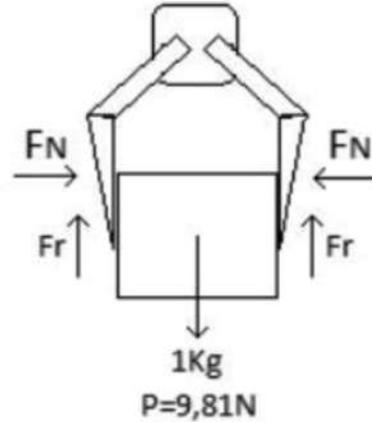


Figura 2. DCL de las mordazas al sostener un objeto

Basados en la sumatoria de fuerzas en el eje Y, ecuación 1, se presenta el cálculo de la fuerza normal resultando $F_N = 8.038\text{N}$.

$$\sum F_Y = 0 \tag{1}$$

$$F_N = \frac{F_r}{\mu} = 8.038\text{N}$$

donde:

- μ = coeficiente de rozamiento.
- F_r = fuerza de rozamiento.

El análisis del eslabón que entra en contacto con la superficie del objeto se realiza como viga para conocer las reacciones debido a la Fuerza Normal, ver Figura 3. Donde: F_{CEX} y F_{BCX} son las fuerzas que actúan a través de la mordaza, (eslabón CE). El Punto E representa el punto más alejado de la mordaza.

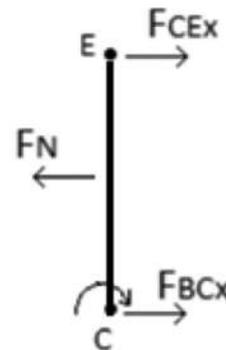


Figura 3. Eslabón CE tratado como viga

Las fuerzas antes mencionadas se obtienen mediante sumatorias de momentos en el punto C, ecuación (2) y sumatoria de fuerzas en el eje X, ecuación (3).

$$\sum M_C = 0 \quad (2)$$

$$-F_N * \frac{b_4}{2} + F_{CEX} * b_4 = 0$$

$$F_{CEX} = 4.02N$$

donde las variables F_N y b_4 , están definidas anteriormente, F_{CEX} es la componente de X de la F_{CE} .

$$\sum F_X = 0 \quad (3)$$

$$F_{BCX} + F_{CEX} - F_N = 0$$

$$F_{BCX} = 4.02N$$

donde las variables F_N y F_{CEX} ya se definieron anteriormente, F_{BCX} es la fuerza del eslabón en la parte inferior de la mordaza.

Se analiza el mecanismo de una sola mordaza, la cual está formada entre los puntos BCE. En la Figura 4 se presenta el cálculo de las fuerzas que actúan en el punto E.

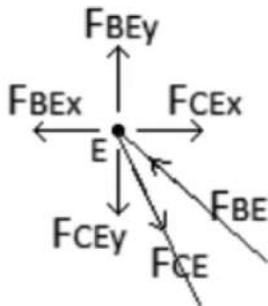


Figura 4. Fuerzas que actúan en el punto E

Las fuerzas resultantes que atraviesan los diferentes puntos del mecanismo son F_{BE} y F_{CE} , se deducen en las siguientes ecuaciones 4 y 5, el cálculo de éstas.

$$\sum F_X = 0 \quad (4)$$

$$F_{CEX} - F_{BEEx} = 0$$

$$F_{CEX} - F_{BEEx} * \sin \theta_5 = 0$$

$$F_{BEEx} = 22.18N$$

$$\sum F_Y = 0 \quad (5)$$

$$F_{BEy} - F_{CEY} = 0$$

$$F_{CEY} + F_{BE} * \cos \theta_5 = 0$$

$$F_{CEY} = 21.813N$$

Se obtienen las siguientes fuerzas resultantes:

$$F_{CE} = F_{BE} = F_{AD} = 22.18N$$

$$F_{CD} = F_{AB} = 5.54N$$

$$F_{BC} = 9.068N$$

donde:

$F_{AB} = F_{CD}$ = Fuerzas a través de los eslabones verticales

$F_{AD} = F_{CE} = F_{BE}$ = Fuerzas en el cuerpo del gripper (Eslabón AD referencia Figura 1).

Por lo tanto, se calcula el torque requerido, basado en el diagrama de cuerpo libre que se observa en la Figura 5, donde actúa la fuerza normal (F_N), producida por la masa de 1 Kg en el extremo de la mordaza y la distancia del punto en el que actúa el torque a la fuerza normal es de 122 mm (Budynas & Nisbett, 2008).

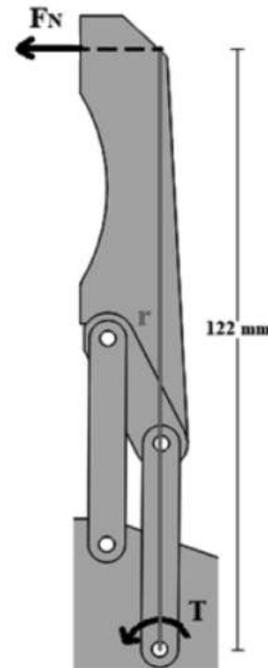


Figura 5. DCL para el cálculo del torque del mecanismo

En consecuencia, el torque requerido es de 0.98Nm.

$$T = r \times F_N = 0.122 \text{ m} \times 8.038 \text{ N} = 0.98 \text{ Nm} \quad (6)$$

donde:

T= torque o momento resultante [Nm].

r= posición de la fuerza normal con respecto al torque [m].

El diseño tiene dos mordazas, por ende, el torque necesario es: $1.96Nm$. Para brindarle mayor fiabilidad al diseño ante los rozamientos entre sus partes constitutivas, se multiplica por un factor de seguridad de 2. Siendo el valor final $T=3.92Nm$.

Para el cálculo del esfuerzo por aplastamiento en la mordaza, producido por los pasadores, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\sigma_c = \frac{F_{CE}}{A_a} = 1.232MPa \quad (7)$$

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

donde:

$A_a = d * \text{espesor}$ Área de aplastamiento (sección transversal circular).

$\text{espesor} =$ Espesor mínimo de la pinza del *gripper* $6mm$

$d =$ Diámetro del pasador $3mm$

En la Figura 6 se observa el mecanismo final del *gripper* con los componentes. A) Mordazas, B) Servomotor y C) Mecanismo de 4 barras.

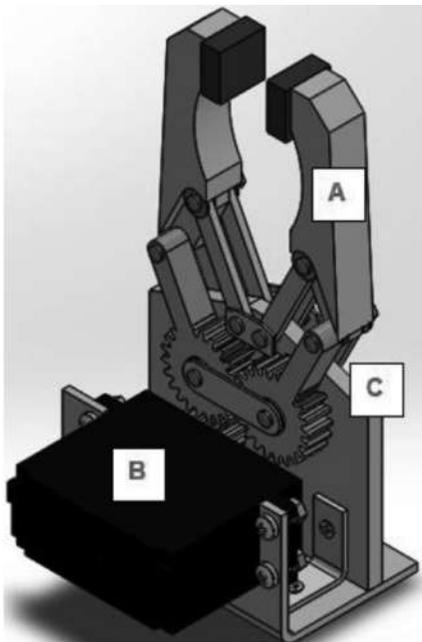


Figura 6. Mecanismo del Gripper

Materiales

Los pasadores y pernos que unen la estructura son de Hierro por su alta resistencia; la transmisión es fabricada en Grilón y de mayor espesor por protección

ante choques. Los pasadores son de 3 mm de diámetro proporcionales al tamaño de la estructura. Para los otros elementos que conforman el *gripper* se elige el Aluminio ASTM A1200 Temple H14.

El cuerpo y las mordazas del mecanismo son de mayor espesor (6 mm y 15 mm respectivamente). Los soportes en los ejes son de 1 mm de espesor. Las 6 barras y la base del mecanismo son de 3 mm de espesor.

Para el sistema de transmisión se selecciona engranes rectos como se aprecia en la Figura 7.

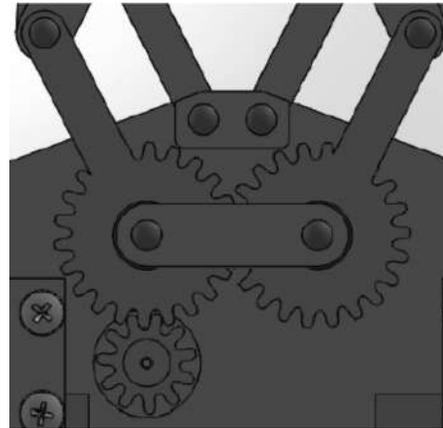


Figura 7. Sistema de transmisión por engranes rectos

Actuador, sistema de transmisión y control

Se selecciona el servomotor modelo HS-805BB, ya que entrega 20 kg-cm. Justificada mediante la relación de transmisión de 2:1, así se obtiene un torque de 40 kg-cm, que satisface el torque necesario para sujetar una masa de 1 kg. Las características del motor: rango angular, peso, material y dimensiones se muestra en la Tabla 2.

Para el control del *gripper* se utiliza el sensor de fuerza FlexiForce A201 de 111 N (0 a 11.3 Kg) por su respuesta aproximadamente lineal, el cual cuenta con un circuito impreso flexible de fácil acoplamiento y un tiempo de respuesta de 5 us. Para comprobar la linealidad y repetibilidad del sensor de fuerza se realizaron pruebas de funcionamiento.

En la Tabla 3 se muestra los diferentes valores de masa a los que fue sometido. Por lo tanto, con los datos adquiridos se obtiene una respuesta aproximadamente lineal.

Tabla 2: Características del motor, (Servo City, 2017).

Modelo	Torque kg-cm	Velocidad sec/60°	Peso g	Dimensiones (LxExA) mm	Material Engrane
HS-805BB	4.8V: 19.8 6.0V: 24.7	4.8V: 0.19 6.0V: 0.14	152	66*30*58	Nylon

Tabla 3. Repetibilidad del sensor de fuerza.

No.	Masa [Kg]	Voltaje de salida de la placa[V]				
		1	2	3	4	5
1	0,02	0,1	0,07	0,013	0,012	0,015
2	0,064	0,2	0,25	0,2	0,14	0,12
3	0,120	0,49	0,52	0,4	0,46	0,5
4	0,333	1,17	1,26	1,2	1,16	1,14
5	0,483	1,6	1,52	1,64	1,72	1,68
6	0,650	2,3	2,24	2,19	2,29	2,36
7	0,826	2,75	2,81	2,76	2,68	2,7
8	1	3,5	3,43	3,26	3,67	3,53

Se utilizó un circuito de acondicionamiento de señal para el sensor FlexiForce, éste utiliza 2 amplificadores de instrumentación AD820 alimentados a +5V y -5V.

El primer dispositivo se configura en modo inversor, recomendado en la hoja de datos técnicos del sensor (Tekscan, 2017), y otro en modo seguidor de tensión o ganancia unitaria para solucionar problema de impedancias, un filtro activo paso bajo para eliminar el ruido producido por la fuente de poder con un capacitor de 33 nF como se observa en la Figura 8.

Diseño del Sistema de Control

En la Figura 9 se presenta la interfaz de programación del control ON/OFF del servomotor de acuerdo con la señal del sensor de fuerza y al peso del objeto. El estudio del modelo cinemático se basa en la investigación de (Giraldo, Delgado, & Castellanos, 2006), que describe la cinemática inversa de un brazo robot utilizando algoritmos genéticos.



Figura 9. Interfaz principal del control del Gripper

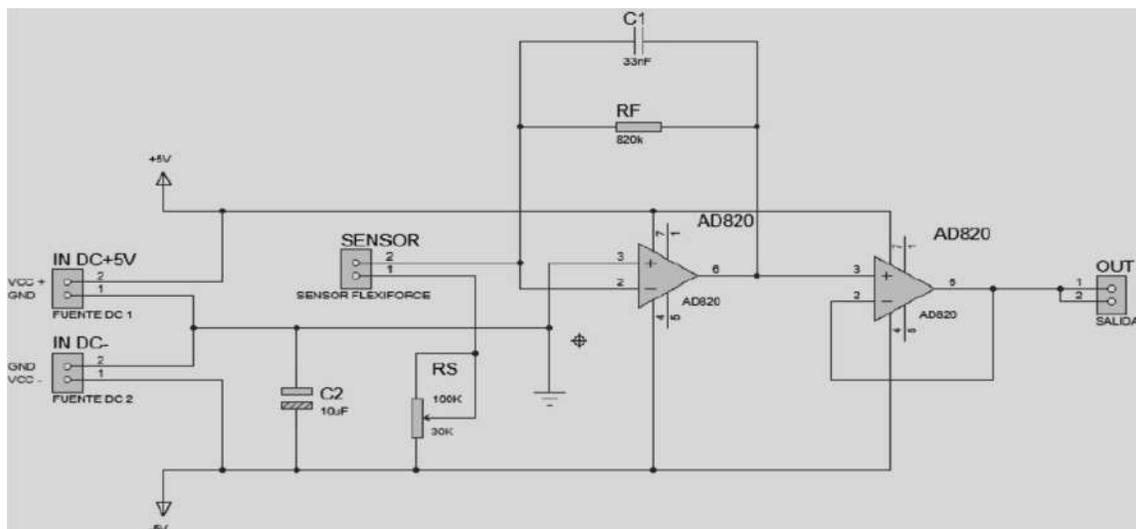


Figura 8. Circuito de acondicionamiento del sensor FlexiForce

La estructura de la programación se compone por diferentes etapas: Configuraciones iniciales, selección del objeto, lectura del sensor de fuerza y ubicación del objeto. El control del *Gripper* cuenta con cuatro controles numéricos y un botón. 1. Para el control del rango de abertura de las mordazas. 2. Velocidad para ingresar el número de grados de avance o retroceso del actuador. Para obtener dicho valor se realiza una comparación de acuerdo con el valor de la masa. 3. Peso, el valor numérico para ingresar la masa del objeto a levantar. 4. Para Abrir/Cerrar las mordazas.

3. Resultados

Los protocolos utilizados en el modelado y simulación se fundamentaron en los parámetros de (Ortigoza, Ramos-Silvestre, Guzmán, Rivera-Díaz, & Toro, 2011). El primer prototipo impreso en plástico PLA arrojó resultados preliminares; donde se observó que era necesario realizar correcciones al mismo, ya que las mordazas al ser lisas provocan el deslizamiento. Además, se dificultaba la ubicación del sensor y los cauchos antideslizantes. En la construcción final, ver Figura 10, se aplicaron las correcciones antes expuestas, empleando varias técnicas de manufactura como cortes, doblados, taladrados, soldaduras y pulidos.



Figura 10. Construcción final del Gripper

Análisis de elementos finitos

Sobre la base de las consideraciones anteriores, en el análisis se define el material, las sujeciones y las fuerzas a las que está sometido el diseño. En la Figura 11 se evidencia las condiciones de borde, de color violeta se visualizan las fuerzas que actúan, de color verde se aprecian las sujeciones o geometría fija del sistema, de

color azul se muestra las conexiones por pasadores y por pernos. Y, por último, de color rojo se representa la gravedad.

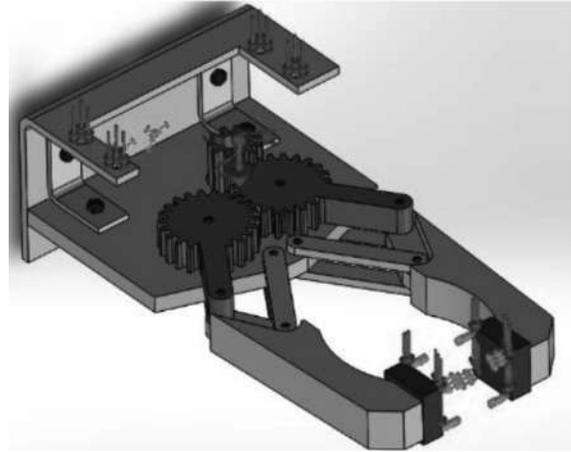


Figura 11. Condiciones de Borde del Gripper

Con los datos obtenidos se realiza el Análisis de Convergencia de Tensión Von Mises para encontrar el valor adecuado; mediante diferentes iteraciones variando el número de elementos hasta encontrar el valor de esfuerzo con menor error.

El error se calcula mediante los valores de Esfuerzo, con ayuda de la siguiente ecuación:

$$Error = \frac{Valor2 - Valor1}{Valor1} * 100 \quad (8)$$

A continuación, en la Tabla 4, se presentan los resultados del análisis del error.

Tabla 4. Análisis del error entre esfuerzos

Iteración	Núm. de Elementos	Esfuerzo [MPa]	Error [%]
1	31900	24,165	
2	33246	23,383	3,24
3	34290	23,67	1,23
4	36037	23,893	0,48
5	37184	23,418	0,59
6	38429	23,66	1,03
7	40330	23,452	0,88
8	41491	23,299	0,65
9	43439	23,678	1,63
10	44568	23,825	0,62

En base a los datos de la Tabla 4 se indica que la iteración número 4 posee el menor error porcentual de 0,48 con 36037 elementos y un esfuerzo de 23,893 MPa.

Por ende, los resultados del máximo esfuerzo se ilustran en la Figura 12. Se observa claramente el desplazamiento mínimo en los extremos de las mordazas según la escala, de esta manera, se asegura la fiabilidad del diseño, cabe recalcar que los desplazamientos varían de acuerdo con el peso del objeto a levantar.

El factor de seguridad mínimo es de 2.87, como se aprecia en la Figura 13, ubicado en la base del mecanismo porque soporta el peso de la estructura del *gripper* y el peso del objeto.

Con ayuda de la escala ubicada a la derecha de la imagen se aprecia el valor del factor de seguridad correspondiente al color en cada elemento del mecanismo del *gripper*.

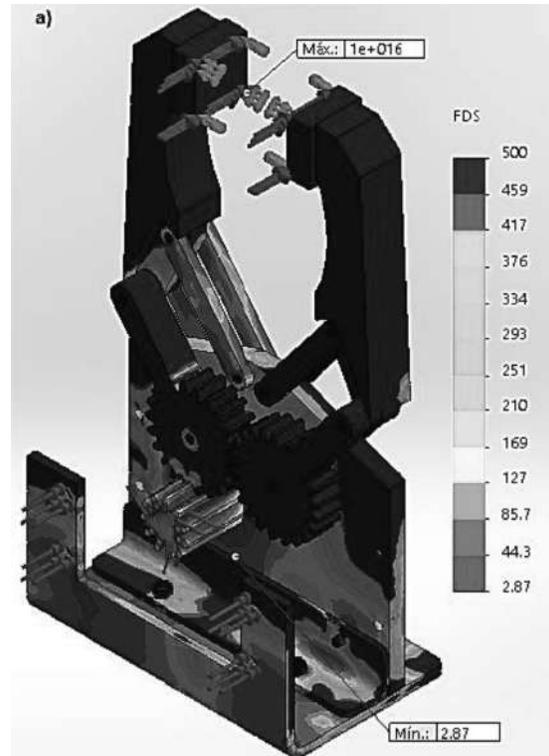


Figura 13. Factor de seguridad

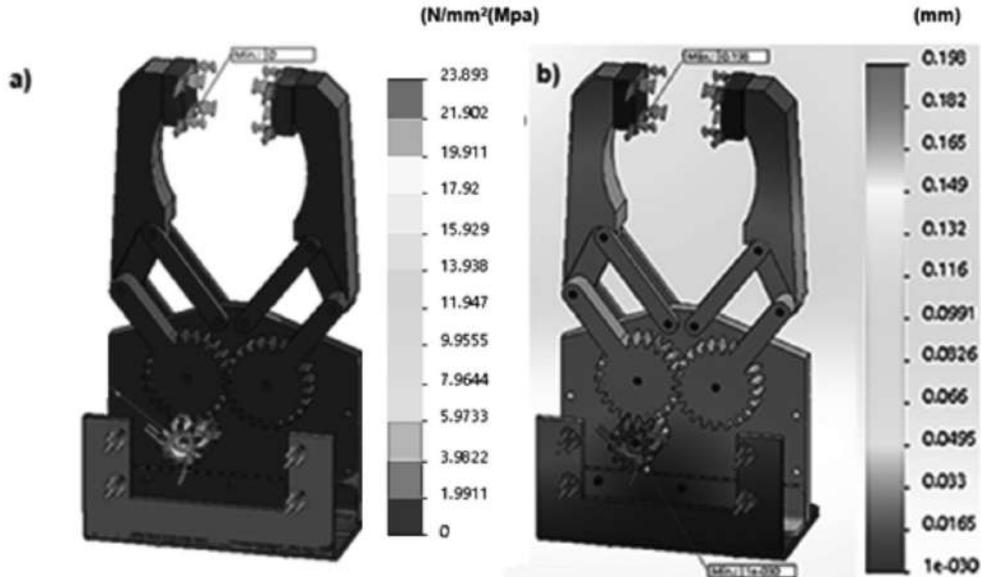


Figura 12. Resultados: (a) Esfuerzos Von Mises, y (b) Desplazamiento.

4. Conclusiones

El análisis de elementos finitos comprueba que el sistema de transmisión con mayor espesor, junto a 6 barras paralelas opuestas entre sí, evita deformaciones en el mecanismo.

La construcción de un prototipo en una impresora 3D y plástico PLA permitió la detección temprana de errores en el mecanismo del *gripper*.

La construcción de los elementos del *gripper* en materiales livianos y resistentes (Al ASTM A1200 para la estructura y GRILÓN para la transmisión), ensamblados por pernos de rosca fina de 3mm de diámetro, posibilitó la obtención de un mecanismo de menor masa que el objeto de 1kg a levantar.

Referencias Bibliográficas

1. Acosta Laverde, D., Armando Riveros, J., & Ochoa, O. (2013). Gripper diseño y planteamiento. Obtenido de <http://www.zacobria.com/universal-robots-zacobria-sphinx-gripper-inside-outside-function.html>
2. Amanta, L., & Villarreal, C. (2017). Diseño y construcción de la base para el brazo robótico "UTN". *RepositorioDigital UTN*, 1-9.
3. Bastidas, A., & Ortiz, D. (2017). Diseño y construcción del eslabón y articulación de hombro para el brazo robótico "UTN". *UTN Repositorio*, 1-8.
4. Bernal, R. J., Gómez, J. M., & Tornel, M. B. (2002). *Optimización de la secuencia de movimientos de un brazo robot en una cadena de ensamblaje: el problema económico de Weber con normas poliédricas*. Recuperado el 8 de 10 de 2017, de <http://repositorio.upct.es/bitstream/10317/1506/1/osm.pdf>
5. Bravo, C. A., Candelas-Herías, F. A., & Torres, F. (2008). *RobUaLab.ejs: a new tool for robotics e-learning*. Recuperado el 8 de 10 de 2017, de [http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/10157/1/paper\[1\].pdf](http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/10157/1/paper[1].pdf)
6. Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica*. México, D.F.: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
7. Causey, G. (2003). Guidelines for the design of robotic gripping systems. *design of robotic gripping systems. Assem. Autom.* 23(1), 18-28. *Assembly Automation.* , 18-28.
8. Eguchi, A. (18 de Julio de 2014). Robotics as a Learning Tool for Educational Transformation. *Proceedings of 4th International Workshop Teaching Robotics, Teaching with Robotics & 5th International Conference Robotics in Education*, 27-34.
9. Endara, C., & Mejía, C. (2017). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CODO Y MUÑECA PARA EL BRAZO ROBOT "UTN". *UTN Repositorio*, 1-7.
10. Festo Grippers. (2017). Obtenido de https://www.festo.com/cat/en_us/products_69071
11. Gallegos, M., & Simbaña, J. (2006). Control del movimiento de una pinza robótica por medio de la actividad neuronal del antebrazo. Quito.
12. Giraldo, L. F., Delgado, E., & Castellanos, G. (2006). *Cinématica Inversa de un Brazo Robot Utilizando Algoritmos Genéticos*. Recuperado el 8 de 10 de 2017, de <http://redalyc.org/pdf/1331/133114991005.pdf>
13. González, J. L., Baeyens, E., Gayubo, F., Pérez, J., Fraile, J., & García, F. J. (2004). DESARROLLO DE UN CONTROLADOR ABIERTO PARA UN ROBOT INDUSTRIAL TIPO SCARA. *Revista Iberoamericana De Automatica E Informatica Industrial*, 1(1), 44-49. Recuperado el 8 de 10 de 2017, de <http://recyt.fecyt.es/index.php/riaii/article/view/10623/7430>
14. Grupo Kopar. (12 de Noviembre de 2014). 15 *Consideraciones al seleccionar un gripper*. Obtenido de <http://kopar.com.mx/noticias/?p=284>
15. Guillen, D., Monterrosas, J., Rodríguez, A., & Salazar, H. (22 de Noviembre de 2007). Diseño de un efector final tipo pinza de 8 grados de libertad.
16. Kevin Tai, A.-R. E.-S. (Mayo de 2016). State of the Art Robotic Grippers and Applications. *Robotics*, 1-20. Obtenido de <https://pdfs.semanticscholar.org/261e/aec4a8db089d5d437ec0c4cf773dcecd0519.pdf>
17. Molina, P. A., & Urrego, K. (2013). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE BRAZO ROBÓTICO EN 3D PARA LA MANIPULACIÓN DE CAJAS EN UNA MATRIZ DE ALMACENAMIENTO*. Recuperado el 8 de 10 de 2017, de <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/redes/article/view/6380/7899>
18. Montiel Jiménez, E., Córdova Morales, G., & Paredes Xochihua, F. (mayo de 2016). Diseño y Construcción de un Prototipo de Robot Educativo para Apoyo de la Enseñanza de los Números a Nivel Preescolar. *La*

mecatrónica en México, 5(2), 47 - 55. Obtenido de <http://www.mecamex.net/revistas/LMEM/>

19. Moreno-Betancur, B., & Velásquez-Toro, E. (2014). *Prototipo de mano mecatrónica para aplicaciones en robótica industrial*. Recuperado el 8 de 10 de 2017, de <http://repository.eia.edu.co/bitstream/11190/328/1/meca0110.pdf>
20. Ortigoza, R. S., Ramos-Silvestre, E. R., Guzmán, V. M., Rivera-Díaz, J. C., & Toro, H. M.-D. (2011). *Modelado y simulación de un robot rígido de dos grados de libertad*. Recuperado el 3 de 1 de 2018, de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3699889.pdf>
21. Patakota Venkata Prasad Reddy, & Satya Suresh. (Abril de 2013). A REVIEW ON IMPORTANCE OF UNIVERSAL GRIPPER IN INDUSTRIAL ROBOT APPLICATIONS. *International Journal of Mechanical Engeeniering and Robotics Research*, 255-265. Obtenido de http://www.ijmerr.com/v2n2/ijmerr_v2n2_28.pdf
22. *PHD solutions for industrial automation*. (2015). Obtenido de <https://www.phdinc.com/products/category/?product=grippers>
23. Pinto Salamanca, M. L., & Barrera Lomban, N. (Julio de 2010). USO DE LA ROBÓTICA EDUCATIVA COMO HERRAMIENTA EN LOS PROCESOS DE ENSEÑANZA. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 10(1). doi:<http://dx.doi.org/10.19053/issn.1900-771X>
24. Prada, V. &. (15 de Julio de 2014). Design of a three-finger end effector for optimal grip. *international journal published by the Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín Campus*, 81(184), 93-101. Obtenido de <http://www.redalyc.org/html/496/49630405013/>
25. Rodriguez, C., Botero, J. C., & Quintero, H. (2007). APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE ROBOTS MANIPULADORES A LA BIOMECÁNICA DEL BRAZO HUMANO. *Revista Iberoamericana De Automatica E Informatica Industrial*, 4(4), 51-57. Recuperado el 3 de 1 de 2018, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2375066>
26. Santiago-Valentín, E., Solano-Palma, A., Bautista-Camino, P., Rueda-Meléndez, J. M., & Portilla-Flores, E. A. (2015). *Diseño óptimo para transmisión de fuerza en un efector final*. Recuperado el 3 de 1 de 2018, de <http://dblp.uni-trier.de/db/journals/rcs/rcs91.html>
27. Servo City. (2017). *HS-805BB Servo*. Obtenido de <https://www.servocity.com/hs-805bb-serv>