DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL GRIPPER PARA EL BRAZO ROBÓTICO "UTN"

E. Proaño, L. Tobar
Ingeniería en Mecatrónica
Universidad Técnica del Norte
Ibarra, Ecuador
eaproanio@utn.edu.ec
lmtobarsubia@utn.edu.ec

Abstract— The objective of the project is the design and construction of a Gripper as a final effector for the UTN robotic arm that raises a mass of one kilogram.
It begins with the bibliographical research and state of the art of the different types of robot manipulators and Grippers, in order to select a morphological configuration adapted to the requirements of the project that are: low weight, low cost and capacity to lift 1 kg.
The design of the Gripper was performed by means of calculations and a CAD software to check the reliability and the resistance of the design through simulations.
The elaboration of the parts of the Gripper are done under the INEN standard of mechanical drawing, these parts are manufactured and assembled, then the control of the Gripper is made using a resistive sensor (FlexiForce) as feedback in a jaw.
As a final part of the research topic, each part of the robotic arm are assembled and the operation that meets the requirements of the project is verified.

I. INTRODUCCIÓN

El Gripper o elemento final de un brazo robótico es un dispositivo que sirve para interactuar con el medio ambiente, existen diferentes tipos de acuerdo a la aplicación, a la forma y peso del objeto a levantar y a las condiciones de trabajo; los Grippers son fabricados en distintos materiales y varían en número de dedos, pero todos cumplen la función de sujetar y trasladar objetos de una posición a otra.

El tipo de Gripper ya sea mecánico, eléctrico, neumático, etc., es determinado por el actuador que posee su mecanismo.

Para el control, existen Grippers que utilizan sensores de fuerza tales como: sensores de calibrado de tensión, sensores piezoeléctricos de fuerza, sensores ópticos y sensores piezorresistivos. Otros Grippers no utilizan sensores por lo tanto la fuerza se calcula en base a relaciones entre la posición, la velocidad y la fuerza aplicada.

Las marcas Festo [1] y PHD [2] elaboran grippers neumáticos y eléctricos de varias dimensiones capaces de aplicar más de 725 kgf en el agarre, presentan diferentes números de dedos en la pinza y una gran variedad de accesorios.

Existe un gripper de 8 grados de libertad que sujeta una masa de hasta 5kg y de dimensiones no menores a 25mm de diámetro, los autores señalan: "Nuestra necesidad es obtener un efector final más funcional, con una estructura muy similar a la de la mano humana, ya que dicha estructura nos permite una mayor flexibilidad en cuanto a la variedad de formas y consistencias a manipular." [3]

Estudiantes de otra universidad realizaron el control de una pinza robótica por medio de la actividad neuronal del antebrazo, para abrir y cerrar un gripper de 2 grados de libertad, utilizaron 5 electrodos ubicados estratégicamente en el antebrazo. [4]

La revolución industrial vino dada por la explotación de obreros a los cuales se les obligaba a trabajar en procesos en serie durante largas horas y con salarios muy bajos. Todos estos procesos dieron un giro de 360 grados cuando nació la Robótica y con ella la utilización de los Brazos Robóticos que controlen procesos en cadena durante horas y a velocidades mayores sin la necesidad de salarios o vacaciones.

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 y la independencia en su funcionamiento, es decir que tenga la capacidad de tomar decisiones respecto a su actuación (Alonzo, 2014).

La problemática que se pretende satisfacer, es la necesidad de generar diseños de sistemas de Brazo Robótico, que sean empleados en la enseñanza y en la investigación para la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte. Se realiza un estudio del diseño para entregar un prototipo funcional y de calidad.

El diseño y construcción de un gripper versátil, de fácil uso y adaptación para un Brazo Robótico con fines didácticos, sirve de apoyo para futuros proyectos de los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica en donde ellos aprenden a desempeñar tareas como cálculos cinemáticos, programación y sistemas de control, así como las relacionadas con las cadenas de producción y la logística empleada en dicho proceso.

II. METODOLOGÍA

El desarrollo del proyecto empieza con la búsqueda y recopilación de información en revistas especializadas, artículos científicos, libros, avances tecnológicos, tesis, entre otros documentos relacionados con el tema.

Se investiga acerca de las características y el tipo de morfología de los robots manipuladores y Grippers existentes en el mercado para realizar el diseño del Brazo Robótico UTN.

Se realiza una comparación de los tipos de robots manipuladores y se elige el de mejores prestaciones para el proyecto.

Se elige el diseño de Gripper que mejor se adapte a las necesidades del proyecto.

Se selecciona los materiales a utilizarse en la estructura y en los elementos que componen el sistema de transmisión del Gripper, para seleccionar el material hay que tener en cuenta algunos aspectos como las condiciones a las que va a estar expuesto el Gripper (ambiente químico y térmico), las condiciones mecánicas de operación, la disponibilidad en el mercado, el proceso de fabricación y montaje. La selección de materiales permite obtener mejores resultados en el diseño del modelo ya que este se optimiza de acuerdo al peso y al tamaño de cada pieza y material.

En un software CAD se diseñan los elementos que conforman el Gripper encaminados a la manufactura de cada uno.

Posteriormente se realiza el ensamble de las partes del Gripper y el análisis de elementos finitos para comprobar la resistencia a las cargas a las que se encuentra sometido, asegurando la fiabilidad del diseño.

Para validar el funcionamiento y las características del Gripper como distancias de los elementos y rozamientos entre sí, se realiza un prototipo en plástico mediante una impresora 3D. Los errores se corrigen en el diseño CAD y se manufactura el diseño final con los materiales elegidos.

A continuación, cada elemento del Gripper se ensambla y se une a las demás partes del brazo robótico “UTN” (base, hombro, antebrazo), cerciorándose que éstas se acoplen correctamente.

Se elige el sensor de presión y el actuador a utilizar de acuerdo a los parámetros de diseño como: torque, velocidad, precisión, etc., se realiza el acondicionamiento del sensor y se elabora el circuito electrónico para controlar el movimiento del actuador.

Mediante programación se establecen los rangos de movimiento de las mordazas del Gripper.

Se realizan las placas de circuito impreso (PCB) y la conexión de las partes electrónicas.

III. PARÁMETROS A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DEL GRIPPER

El diseño del gripper requiere tomar en cuenta algunas consideraciones que se visualizan en la *Tabla I.*

Tabla I
Parámetros de diseño del Gripper.

PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN
Forma del objeto	Objetos con 2 caras planas o cilíndricos no lisos
Peso del objeto	1000 g
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 de las mordazas	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
Cambio de herramienta	El Gripper es desmontable para poder cambiar de elemento final al brazo robótico “UTN”

La morfología que mejor se adapta a los parámetros de la *Tabla I* para la elaboración del proyecto se extrajo del artículo “Gripper diseño y planteamiento” (Acosta Laverde, Armando Riveros, & Ochoa, 2013) es un mecanismo de 4 barras que mantienen verticalmente a 2 mordazas paralelas semejante al de la *Figura 1*, cuenta con un engrane conductor y 2 conducidos para elevar el torque de salida. El Gripper tiene un grado de libertad.

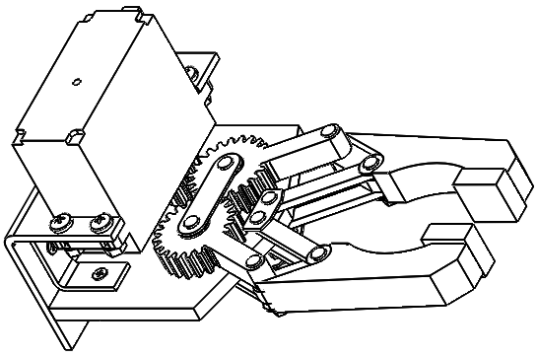

Fig. 1 Mordazas paralelas usando vínculos de 4 barras

En la *Figura 2* se muestra la síntesis de una mordaza del mecanismo de 4 barras del gripper, en donde el eslabón b1 es

igual al eslabón b2 y el eslabón b3 es igual al eslabón b6, la mordaza se representa con los puntos BCE.

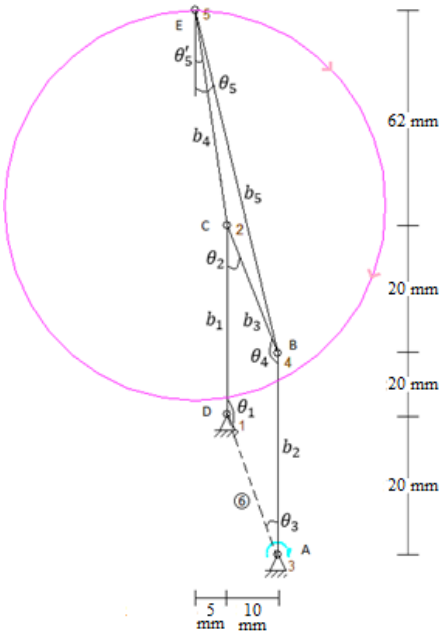

Fig. 2 Síntesis del mecanismo de 4 barras

En la *Figura 3* se muestran las fuerzas que actúan en el gripper, se calcula la Fuerza Normal, que es la fuerza que ejerce la superficie de la pinza sobre el objeto a sostener, con ayuda de peso del objeto y de la fuerza de rozamiento, se utilizó el valor del coeficiente de rozamiento de 0.61 entre el aluminio (mordaza) y el acero (masa de 1 kg).

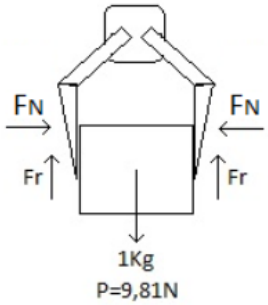

Fig. 3 DCL de las mordazas al sostener un objeto

El cálculo de la fuerza normal se realiza mediante sumatoria de fuerzas en el eje Y de la *Figura 3*:

$$\sum F_Y = 0$$
$$2F_r - P = 0$$
$$F_r = \frac{P}{2} = 4.903\text{N}$$
$$F_N = \frac{F_r}{\mu} = 8.038\text{N}$$

IV. MATERIALES

Se elige el **Aluminio ASTM A1200 Temple H14** para los elementos que conforman el Gripper por su bajo peso, precio y alta resistencia; los pasadores y pernos que unen la estructura son de **Hierro** por su buena resistencia y bajo precio; la transmisión por engranes rectos es fabricada en **Grilón** es un plástico suave y liviano, además, cuando recibe un acabado superficial bastante lizo se consiguen superficies con un rozamiento mínimo lo que ayuda a la hora de construir piezas en las que deben girar o deslizarse sobre otros elementos. (Barahona Quelal, 2011).

La detección temprana de errores en el mecanismo del Gripper se facilitó gracias a la construcción de un prototipo en una impresora 3D y **plástico PLA**.

Cabe recalcar que los materiales utilizados están disponibles en el mercado local y son fáciles de mecanizar.

Las 6 barras y la base del mecanismo son de 3 mm de espesor. El cuerpo y las mordazas del mecanismo son de mayor espesor (6 mm, 15 mm respectivamente) para sujetar y levantar objetos de semejante o mayor contextura que el mismo Gripper. Lo soportes en los ejes son de 1 mm de espesor.

Los pasadores son de 3 mm de diámetro proporcionales al tamaño de la estructura, no se realizaron en menor diámetro por la dificultad de mecanizar y de conseguir en el mercado local.

El sistema de transmisión tiene mayor espesor por protección ante choques del gripper contra obstáculos o contra la mesa de trabajo.

Los cauchos antideslizantes ubicados en los extremos de las mordazas pueden ser de neopreno, eva goma, silicona, etc.

En la *Figura 4* se observa el mecanismo del gripper con los materiales antes mencionados.

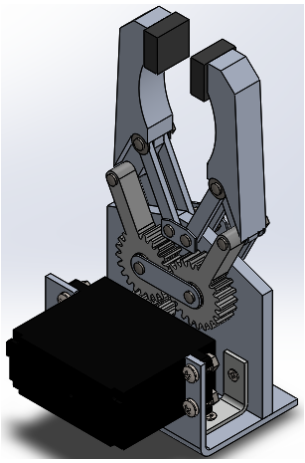

Fig. 4 Mecanismo del Gripper

V. ACTUADOR Y SISTEMA DE TRANSMISIÓN

Se selecciona el Servomotor Analógico HS-805BB porque cuenta con torque, rango angular, peso y dimensiones necesarias para el mecanismo del Gripper (Servo City, 2017).

El servomotor elegido entrega 20 kg-cm a 5 V, mediante la relación de transmisión de 2:1 producida por los engranes rectos se obtiene un torque de 40 kg-cm, que satisface al torque necesario para sujetar una masa de 1 kg.

El gripper es desmontable e intercambiable por otro elemento final, consecuentemente se requiere un circuito (*Figura 5*) capaz de suministrar mayor corriente a la salida para futuras aplicaciones por ejemplo el taladrado. Se utiliza el regulador de voltaje LM338K que entrega de 1.2 a 35 voltios con corrientes de hasta 5 amperios, un bypass de corriente formado por el Transistor PNP Darlington TIP146 de hasta 80 voltios y 10 amperios, de esta manera se alimentan actuadores que consuman hasta 10 amperios.

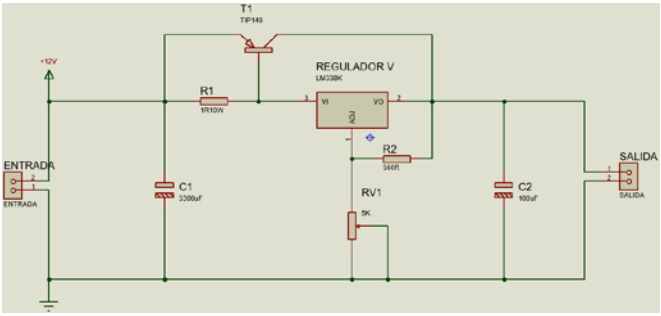

Fig. 5 Circuito de control de salida 1.2 a 12 V a 10 A

El sistema de transmisión es de engranes rectos como se aprecia en la *Figura 6* porque son menos costosos y más fáciles de manufacturar en relación a los helicoidales y al tornillo sin fin. Es importante conocer que el Gripper no retiene al objeto por largos periodos de tiempo, no ejecuta sus movimientos a altas velocidades y tiene buena precisión.

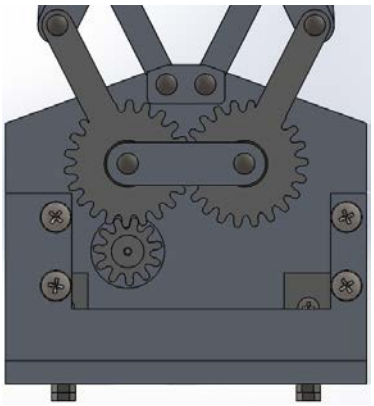

Fig. 6 Sistema de transmisión por engranes rectos

VI. SENSOR DE FUERZA

Para el control del gripper se utiliza el sensor de fuerza FlexiForce A201 de 111 N (0 a 11.3 Kg) que se muestra en la *Figura 7* porque presenta una respuesta aproximadamente lineal, cuenta con un circuito impreso flexible de fácil acoplamiento y un tiempo de respuesta muy bajo (5 us); dicho sensor se emplea para detectar el contacto entre las mordazas y el objeto a levantar, también, mide un cambio relativo en la fuerza o carga aplicada.

Existe otra presentación del sensor, de 4 N (0 A 0.4 Kg) misma que no abastece para el proyecto. Se utiliza el sensor de 111 N y se realiza el circuito de acondicionamiento de la señal que se observa en la *Figura 8.*

Fig. 7 Sensor de fuerza FlexiForce A201
Fuente: (Tekscan, 2017)

En la *Figura 8* se aprecia el circuito de acondicionamiento de la señal del sensor FlexiForce para obtener rangos de voltajes de 0 a 5 V a la salida; se utilizan 2 amplificadores operacionales AD820 alimentados a +5 V y -5 V, uno en modo inversor recomendado en la hoja de datos técnicos del sensor y otro en modo seguidor de tensión o ganancia unitaria para acoplar las impedancias, una resistencia de retroalimentación de 820 KΩ, un Filtro Activo Paso Bajo para eliminar el ruido producido por la fuente de poder con un capacitor de 33 nF.

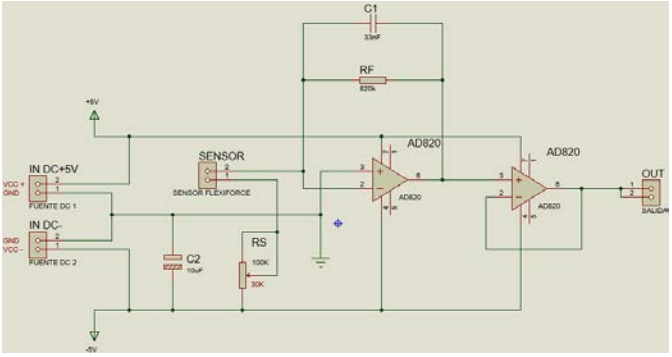

Fig. 8 Circuito de acondicionamiento del sensor FlexiForce

Tabla II
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

En la *Tabla II* se aprecia que el sensor de fuerza no cuenta con buena repetibilidad pero es aceptable para el desarrollo de este proyecto porque se ejecuta un control ON/OFF en el que se promedian los datos obtenidos de la masa de un 1 Kg, a fin de obtener el valor de retroalimentación, siendo 3.5 V el escogido con una desviación típica de 0,15.

En la *Figura 9* se obtiene una respuesta aproximadamente lineal del sensor de fuerza con los datos de la *Tabla II.*

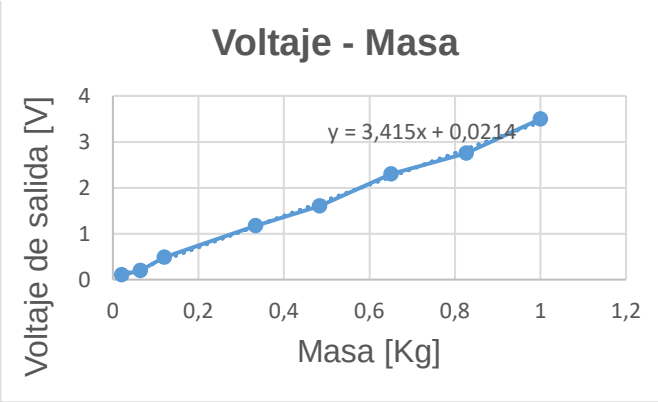

Fig. 9 Voltaje de salida vs masa, sensor de fuerza

VII. ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS

El software SolidWorks ejecuta un análisis minucioso en cada pieza del diseño tomando en cuenta las fuerzas que actúan en él, y entrega algunos resultados tales como: los esfuerzos de Von Mises, los desplazamientos del diseño, el factor de seguridad de cada pieza, entre otros.

Para realizar las condiciones de borde hay que aplicar el material elegido a cada pieza, establecer las sujeciones y las fuerzas a las que está sometido el diseño.

En la *Figura 10* de color violeta se visualizan las fuerzas que actúan en el Gripper, de color verde se aprecian las sujeciones o geometría fija del sistema, de color azul se visualizan las conexiones por pasadores y por pernos, de color rojo se representa la gravedad.

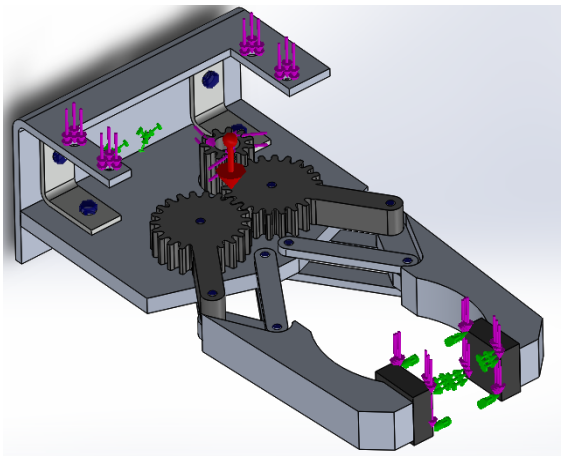

Fig. 10 Condiciones de Borde del Gripper

El máximo esfuerzo se aprecia en la *Figura 11* en el engrane conductor del mecanismo, debido a que está sometido al torque del actuador y debe soportar el peso del objeto a levantar.

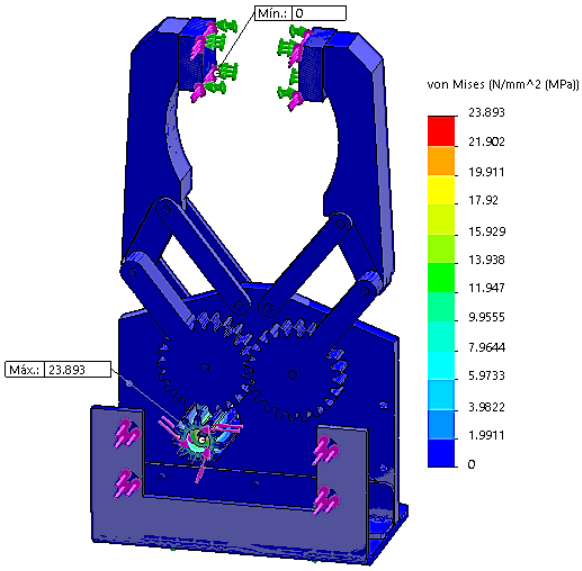

Fig. 11 Esfuerzos de Von Mises

Los espesores de las mordazas y en general de las diferentes piezas que forman el Gripper, ayudan a contrarrestar los desplazamientos que surgen al aplicar las cargas. En la *Figura 12* se observa que el desplazamiento es mínimo en los extremos de las mordazas según la escala ubicada a la derecha de la imagen, de esta manera se asegura la fiabilidad del diseño, cabe recalcar que los desplazamientos varían de acuerdo al peso del objeto a levantar.

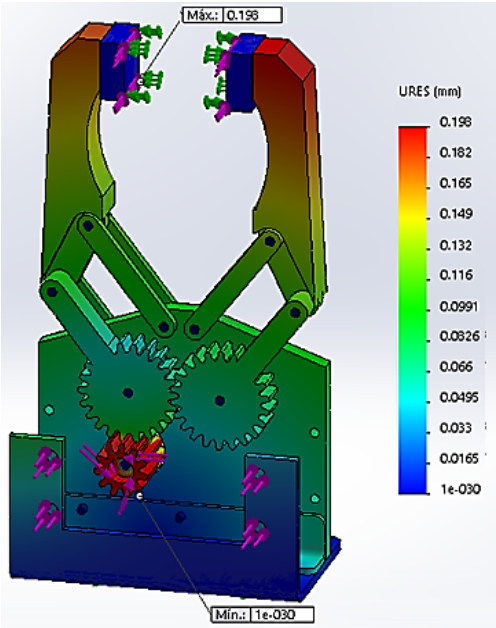

Fig. 12 Desplazamientos

El mínimo factor de seguridad es de 2.87 como se aprecia en la *Figura 13 a) y b)*, se encuentra en la base del mecanismo porque soporta el peso de la estructura del gripper y el peso del objeto a levantar. Con ayuda de las escalas ubicadas a la derecha de las imágenes, se aprecia el valor de factor de seguridad correspodiente al color en cada elemento del mecanismo del gripper.

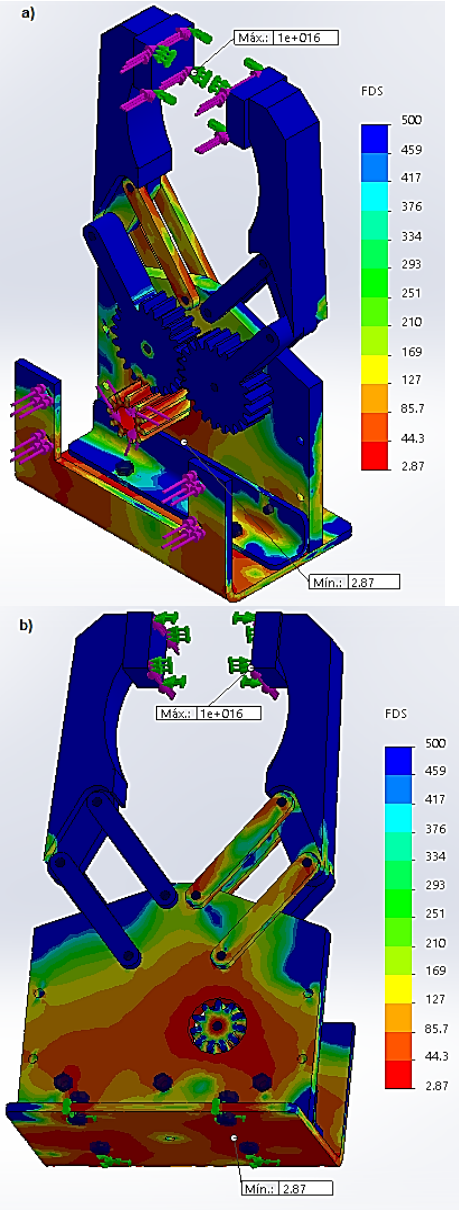

Fig. 13 a) Factor de Seguridad vista superior b) Factor de Seguridad vista posterior

VIII. ENSAMBLAJE Y PROGRAMACIÓN

En la *Figura 14 y 15* se encuentran el Gripper y el Brazo Robótico "UTN" respectivamente, se recubren con vinil azul y blanco todos los elementos para mejorar el acabado estético.

Fig. 14 Gripper

Fig. 15 Brazo Robótico "UTN"

En la *Figuras 16 y 17* se observa el programa de control del Gripper para encender y apagar el servomotor de acuerdo a la señal del sensor de fuerza y al peso del objeto.

Fig. 16 Panel frontal del programa de control del Gripper

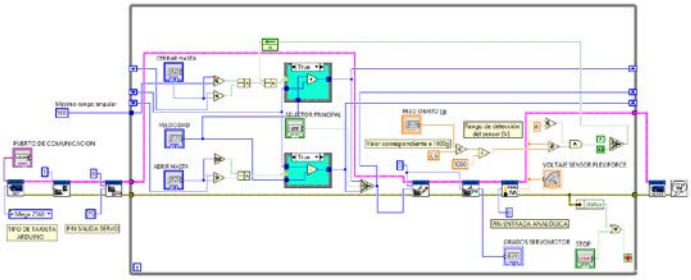

Fig. 17 Diagrama de bloques del programa de control del Gripper

IX. CONCLUSIONES

El análisis bibliográfico determina los parámetros del gripper, la investigación de configuraciones morfológicas permite seleccionar un mecanismo liviano y de proporciones acordes a la geometría del brazo robótico UTN.

El Gripper tiene una abertura máxima de 6 cm (7.5 cm sin cauchos antideslizantes) y libertad de desmontaje del brazo robótico UTN, su mecanismo de 4 barras es el adecuado para cumplir el requerimiento de sujetar y levantar 1 kg de masa, es liviano, de bajo costo y fácil de ensamblar.

Los elementos de la estructura del Gripper son diseñados en un software CAD, donde se valida la resistencia por medio del análisis de elementos finitos, y se comprueba que un sistema de transmisión con mayor espesor junto a 6 barras paralelas opuestas entre sí, evitan deformaciones en el mecanismo.

La construcción de los elementos del gripper se realizó 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, de esta manera se obtiene un mecanismo de menor masa que el objeto de 1kg a levantar.

Se logra sujetar automáticamente objetos que varían hasta 6 cm de diámetro (artículos de 20 g a 1 kg), mediante el uso de un sensor resistivo ubicado en la mordaza y un programa de control realizado en un software.

X. RECOMENDACIONES

En futuros elementos finales realizar filtros físicos y por software para obtener una mejor señal del sensor y del actuador, debido a que la fuente de poder, el arduino y los demás actuadores del brazo robótico UTN generan ruido.

Se recomienda aumentar el número de sensores de fuerza o utilizar otro tipo de sensores que abarquen mayor área de contacto entre las mordazas y el objeto a levantar.

Agregar un mecanismo de auto bloqueo para que el gripper mantenga sujeto al objeto mientras se apaga al actuador.

Se recomienda aumentar la velocidad de funcionamiento del Gripper, ya sea por otro tipo de sistema de transmisión o por otro actuador considerando el peso del mecanismo.

Diseñar otro tipo de elemento final a acoplarse en el brazo robótico UTN para desempeñar otra actividad como: soldadura, taladrado, pintado, pulido de materiales, etc., que no sobrepase un kilogramo de peso.

Implementar sensores de proximidad en el Gripper como medida de precaución.

XI. REFERENCIAS

[1] «B. J. Barahona Quelal,» Febrero de 2011. Construcción de una maquina etiquetadora automática para envases cilíndricos con etiquetas autoadhesivas. Quito. [En línea]. Available: http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3758/1/CD-3539.pdf

[2] «Festo Grippers.» 2017. [En línea]. Available: https://www.festo.com/cat/en_us/products__69071

[3] « D. Acosta Laverde, J. Armando Riveros y O. Ochoa,» 2013. Gripper diseño y planteamiento. [En línea]. Available: http://www.zacobria.com/universal-robots-zacobria-sphinx-gripper-inside-outside-function.html

[4] D. Guillen, J. Monterrosas, A. Rodríguez y H. Salazar, Diseño de un efector final tipo pinza de 8 grados de libertad, 2007.

[5] M. Gallegos y J. Simbaña, Control del movimiento de una pinza robótica por medio de la actividad neuronal del antebrazo, Quito, 2006.

[6] «PHD solutions for industrial automation.» 2015. [En línea].Available: https://www.phdinc.com/products/category/?product=grippers

[7] «Servo City.» 2017. HS-805BB Servo. [En línea]. Available: https://www.servocity.com/hs-805bb-servo

[8] «Tekscan.» Junio de 2017. FlexiForce A201 Sensor. [En línea]. Available: https://www.tekscan.com/products-solutions/force-sensors/a201