

# Desarrollo y análisis de la respuesta de una pinza de manipulación para cargas peligrosas construida por impresión 3D

Carlos Adrián Mainetti,<sup>i</sup> Andrés Romero,<sup>ii</sup> Marcelo Piovan<sup>iii</sup>  
& Guillermo Blanch<sup>iv</sup>

## Resumen

En este artículo se presenta el desarrollo constructivo general y los estudios de la respuesta mecánica de una pinza de manipulación de dos mordazas para ser montada en un brazo robótico. El objetivo de este trabajo es tener una pinza, muy barata y de fácil construcción, para manipulación de cargas peligrosas ante el muy posible evento de su destrucción total. La pinza ha sido construida casi en su totalidad con poli-ácido láctico (PLA) mediante una impresora 3D. La pinza como sistema mecánico consta de dos mordazas de presión que son actuadas por un mecanismo de movimiento paralelo accionado por un conjunto tornillo sinfín-doble corona, con la entrada de potencia motora conectada al sin-fin. En los extremos de las mordazas se han montado sensores de presión vinculados a adquisidores de señales y a microcontroladores de tecnología Arduino. Se muestran comparaciones de la capacidad de carga, capacidad de apriete y grado de sensibilidad en la punta de la pinza. A su vez se efectúa un estudio de la capacidad resistente y rigidez del PLA para estimar las máximas tensiones y deformaciones en la pinza, empleando el método de elementos finitos.

**Palabras Claves:** manipulador robótico, impresión 3D, sensibilidad de parámetros.

---

<sup>i</sup> Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Bahía Blanca, Argentina. Grupo de Eléctrica y Mecánica de Automatización. mainetti@frbb.utn.edu.ar

<sup>ii</sup> Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Bahía Blanca, Argentina. Centro de Investigaciones en Mecánica Teórica y Aplicada. andresrom147@hotmail.com

<sup>iii</sup> Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Bahía Blanca, Argentina. Centro de Investigaciones en Mecánica Teórica y Aplicada. mpiovan@frbb.utn.edu.ar

<sup>iv</sup> Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Bahía Blanca, Argentina. Centro de Investigaciones en Mecánica Teórica y Aplicada. guillermogab38@hotmail.com

## Abstract

This article presents the general development and the studies of the mechanical response of a manipulation clamp with two jaws to be mounted on a robotic arm. The objective of this work is to have a cheap, easy to construct and easy to replace clamp for manipulation of hazardous packages in the quite possible event of a complete destruction of the clamp. The clamp has been built almost entirely with polylactic acid (PLA) using a 3D printer. The clamp as a mechanical system consists of two pressure jaws that are actuated by a parallel movement mechanism driven by a worm gear set; being the power motor connected to the worm gear. Pressure sensors linked to signal acquirers and Arduino technology microcontrollers have been installed at the ends of the jaws. It shows comparisons of the load capacity and tightening capacity and also degree of sensitivity at the tip of the clamp. Besides, a study of the stiffness and load capacity of the PLA is performed to estimate the maxima stresses and strains in the clamp by means of the finite element method.

**Key words:** robotic actuator, 3D printing, parameter sensitivity.

## 1. Introducción

El diseño y construcción de componentes mecánicos para manipuladores robóticos trae siempre aparejado la toma de decisiones sobre un conjunto de aspectos que intervienen fuertemente en el resultado final y costo de cada componente o bien de todo el manipulador. En la literatura abierta internacional existen muchos tipos distintos de pinzas, garras o manos para robots especialmente para manipulación de cargas en variadas aplicaciones (Singh et al., 2013; Telegenov et al; 2015), cada una de ellas con sus características ventajas y limitaciones. El concepto de “gripper” o pinza manipuladora se ha extendido en la literatura técnica como el elemento que ampara diversas tipologías de pinzas o garras, las que pueden ser de dos, tres, “n” mordazas, impulsadas con sistemas de transmisión por engranes sin-fin/corona entre otros (Rateni et al., 2015).

El esquema más típico, que a pesar de ser histórico no por ello perimido u obsoleto, es el modelo de dos dedos cuyas mordazas son actuadas por un sistema de barras articuladas paralelas, dos de ellas conectadas a un par de ruedas dentadas motorizadas por un tornillo sin-fin (Telegenov et al., 2015;Rateni et al., 2015). En este esquema el efector final tiene una ventaja en la capacidad de autobloqueo que ofrece la transmisión sin-fin corona, evitando que se abra por exceso de carga actuante en las mordazas. En este tipo de manipuladores existen varios aspectos a tener en cuenta para su diseño y construcción, resaltando los costos de maquinado y

el peso (Franchi et al., 2015). Actualmente, las tecnologías de construcción aditiva, también llamadas de impresión 3D, están ofreciendo una alternativa muy interesante para la fabricación de piezas volumétricamente complejas a costos sustancialmente bajos en comparación con su contraparte metálica.

La pinza formará parte de un subsistema a ser montado en una plataforma robótica prototipo ya construida para traslado y disposición de cargas peligrosas (Mainetti et al., 2014, Blanch et al., 2016). Se analizan los aspectos de funcionalidad en relación a la sensibilidad que ofrecen los sensores de la pinza. Además se estima a partir de información experimental evaluada, la capacidad de carga de la pinza y sobre el material plástico estructural la expectativa de resistencia de las partes más delicadas de la pinza. Este último estudio hecho mediante el método de elementos finitos.

## 2. Metodología para el desarrollo de la pinza

En este estudio se ha planteado una metodología de trabajo que involucra tres aspectos secuenciales y necesarios de suyo. Los mismos contemplan en primera instancia la estipulación de condiciones del diseño, desde las generales de performance a las constructivas, el siguiente aspecto involucra el comando y control específico de la pinza como mecanismo, luego la caracterización mecánica/resistencia de los componentes de la pinza, en particular los más afectados. Finalmente la necesaria evaluación de performance asociada a cada uno de los aspectos antes mencionados.

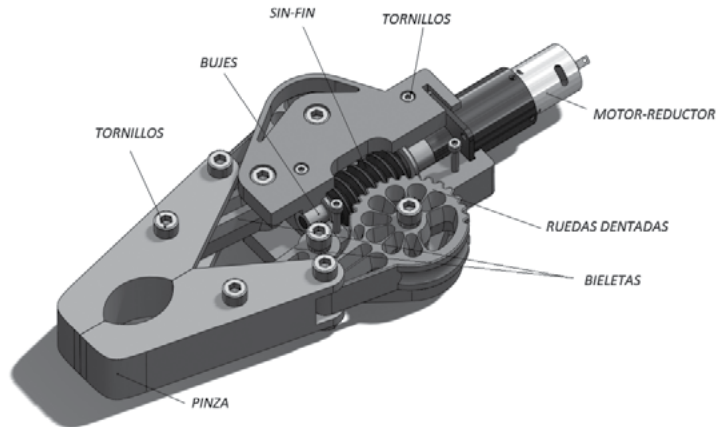
### 2.1 Condiciones del problema y descripción de la pinza

Planteada la necesidad de contar con una pinza para ser incorporada a un brazo articulado montado en una plataforma de robot ya desarrollada y construida (Mainetti et al., 2014), cuya finalidad es la manipulación de cargas peligrosas, es necesario establecer una serie de condiciones a cumplimentar para el desarrollo y construcción de aquella. Para coadyuvar el proceso de diseño de la pinza se han establecido las siguientes condiciones y objetivos, de manera que el manipulador:

- a) Sea simple de fabricar y reponer.
- b) Sea liviano y del más bajo costo posible.
- c) Admita o soporte pesos de hasta 5 kg.
- d) Incorpore sensores de presión para controlar el apriete.
- e) Garantice el agarre sin riesgo de deslizamiento por diseño mecánico.

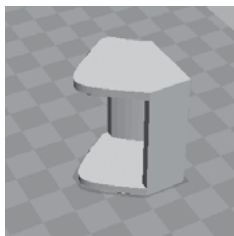
A partir de estas primeras exigencias se ha optado por un diseño que contemple

el uso de dos dedos rígidos con un acercamiento en movimiento paralelo accionado por un sistema de barras en paralelogramo, traccionado por un sin-fin doble corona; cumpliendo aquí con la condición e). Luego de varias concepciones se ha optado por un prototipo de pinza, cuyo diseño se muestra en la figura 1 donde, claramente, se puede apreciar el tipo de transmisión de movimiento en cada etapa.

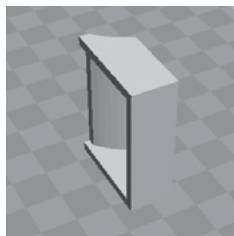


**Figura 1.** Prototipo de la pinza.

A su vez para fijar el sensor de presión se han diseñado dos dedos a ser montados en el extremo táctil de cada pinza. En la Figura 2 se muestran dos alternativas de diseño de los dedos junto con el sensor fuerza.



(a)



(b)



(c)

**Figura 2.** (a), (b) Dedales para el montaje del sensor de presión (c).

Para motorizar la pinza se ha montado un motor-reductor de la marca Ignis MR85, que tiene una potencia máxima de hasta 20W en corriente continua. El anclaje del mismo se halla en los extremos de las tapas/bases superior e inferior. El dispositivo completo será montado en el alojamiento disponible del brazo robótico (Mainetti et al., 2014).

Siendo que este dispositivo cuenta con riesgo de pérdida total bajo condiciones operativas, es de fundamental importancia reemplazarlo rápido y a bajo costo. Razón por la cual, y en virtud de las exigencias a) y b) del apartado anterior se

ha recurrido a la tecnología de impresión 3D por filamento polimérico para la construcción de la pinza. Sin embargo, es necesario establecer una cota de calidad y valía con relación a otras potenciales formas de construcción como la tradicional metodología por maquinado de metales.

## 2.2 Aspectos constructivos de la pinza

La construcción del manipulador se ha hecho casi en su totalidad en PLA. Se ha empleado una impresora de bajo costo de fabricación nacional FAR-TECNOART. El protocolo de impresión se ha programado tal que las temperaturas de pico extrusor y plataforma han sido de 190°C y 50°C respectivamente. Se ha empleado el método de adherencia por cinta de enmascarar azul rugosa en la plataforma con pegamento en barra (tipo PVA) sobre ella. El esquema de impresión de las piezas involucró un contorno externo de 1.40 mm de espesor (implicando 4 perímetros) y un relleno interno con un tramado en cuadriláteros orientados a 45° respecto de los perímetros laterales (como se ve en la Figura 3) de entre el 20% y 33% según la pieza y su potencial riesgo de falla. A su vez el espesor de capa ha sido fijado en una precisión de 0.20 mm., otorgando un grado de terminación bueno para la funcionalidad del conjunto en virtud de ahorro de tiempo de impresión.

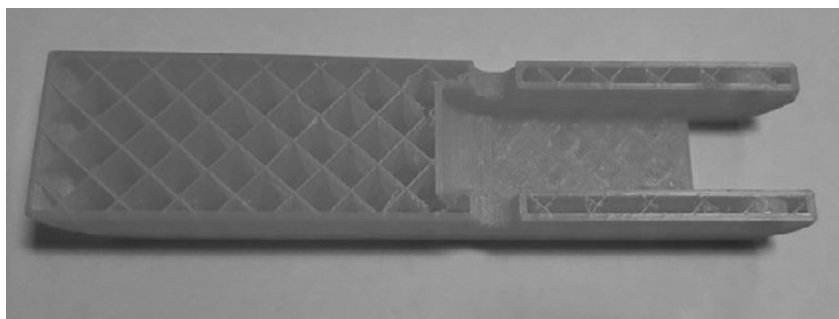
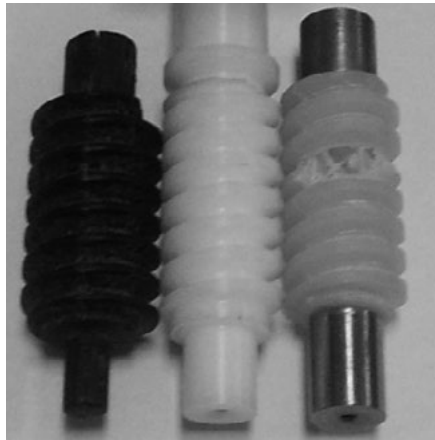


Figura 3. Ejemplo de tramado interno.

En la Tabla 1 se indican las características de peso, refuerzo interno (infill) y tiempo de fabricación de las piezas construidas por impresión 3D y la única pieza construida por torneado hecha en Delrin. La razón de usar un tornillo sin-fin construido con Delrin por torneado convencional obedeció a una serie de inconvenientes vinculados a los tornillos sin-fin construidos con impresión 3D. Se trató del ensamblado de los casquillos para los cojinetes y montaje del motor-reductor y en particular con los huelgos reales entre las coronas y el sin-fin lo que condujo a la rotura y/o atascamiento de varios casos como se muestra en la Figura 4. En la Figura 5 se muestra el ensamble completo.



**Figura 4.** Casos de sinfines construidos con impresión 3D y su rotura.

**Tabla 1.** Características de las impresiones.

Pieza	Peso [grs]	Infill [%]	Tiempo [hs]
2 Mordazas/pinza	96.20	25	14.40
2 Ruedas dentadas	74.00	25	12.84
2 Bieletas/palancas	31.00	25	5.06
Tornillo Sin-fin (en mitades)	19.00	33	1.35
Tapa superior	24.86	20	11.83
Tapa Inferior	25.13	20	11.25
2 Dedales. Fig 2(a)	15.50	25	1.25
2 Dedales. Fig 2(b)	13.08	25	0.75
Tornillo Sin-fin (hecho en Delrin)	32.50	--	0.80



**Figura 5.** Ensamble completo.

### 2.3 Sistema de control de fuerza y sensibilidad

Uno de los aspectos cruciales para la pinza es contar con un sistema que la dote de sensibilidad mensurable para la manipulación de objetos delicados y frenar automáticamente el accionamiento de agarre, a partir de valores prefijados en la presión sobre el objeto. Para ello se planteó el uso de un sistema de control simple y rápida implementación en consonancia con las condiciones a) y b) sobre el diseño de la pinza. En consecuencia se ha optado por un control de lazo cerrado de acción de control tipo todo o nada (si-no).

El sistema implementado se basa en una plataforma Arduino UNO, el cual controla el manipulador a partir de un motor de corriente continua comandado por un circuito adaptador de potencia (driver). Sobre una de las mordazas se ha acoplado mecánicamente, un sensor de fuerza (modelo SFR402) de la firma Interlink Electronics. El acoplamiento posee agujero ranura con suficiente holgura para permitir el contacto y luego el sensado por presión.

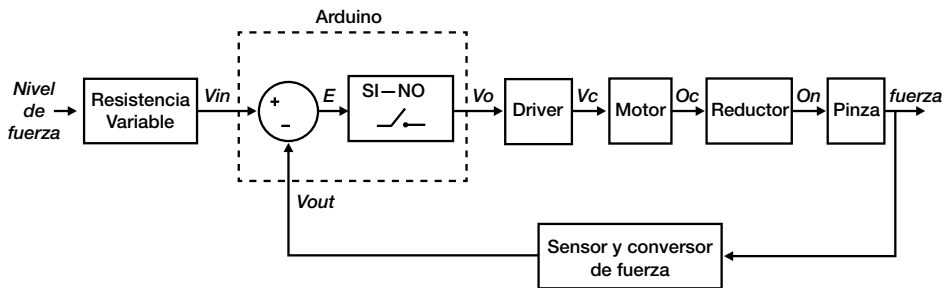


Figura 6. Diagrama en bloques del sistema implementado.

En la Figura 6 se describe el diagrama en bloques del sistema de control implementado. A partir de una resistencia variable se establece la fuerza deseada, la cual es comparada con la fuerza medida por el SFR, y cuya salida acciona un control todo-nada, el cual energiza el motor de la garra. Una vez alcanzada la fuerza requerida, el sistema corta la salida al motor. Cabe aclarar que, dado el sistema de reductor utilizado (sin fin corona), una vez que el motor queda sin energía, la fuerza aplicada al objeto (sujeto de agarre), se mantiene en el valor prefijado.

Las resistencias sensibles a la fuerza, o FSR, son dispositivos robustos de película gruesa de polímero (PTF) que exhiben una disminución de la resistencia con un aumento en la fuerza aplicada a la superficie del sensor. Esta sensibilidad de fuerza está optimizada para su uso en el control táctil humano de dispositivos electrónicos tales como electrónica automotriz, sistemas médicos, aplicaciones industriales y robóticas. A continuación se muestra un gráfico de fuerza vs resistencia Figura 7 que ilustra una respuesta típica característica del FSR. Téngase en cuenta que los valores del gráfico son solo de referencia y los valores reales dependen de la mecánica del sistema de actuación y la geometría del sensor.

Para este diseño se ha utilizado un tipo de conversión simple de fuerza a voltaje, mediante un divisor de voltaje resistivo, con la incorporación de un amplificador adaptador de impedancia ver figura 8 y cuya salida está descrita por la siguiente ecuación:

$$V_{OUT} = \frac{R_M \cdot V^+}{(R_M + R_{FSR})} \quad (1)$$



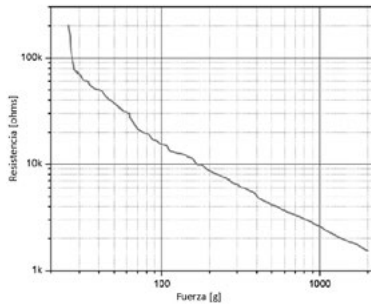


Figura 7. Curva de respuesta implementado.

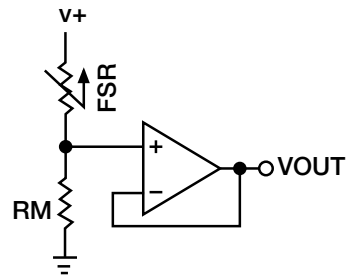
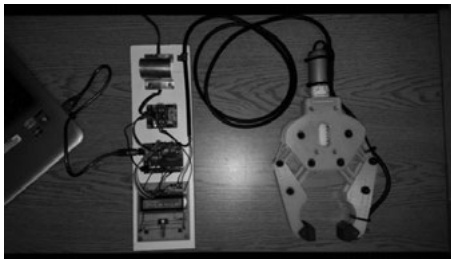
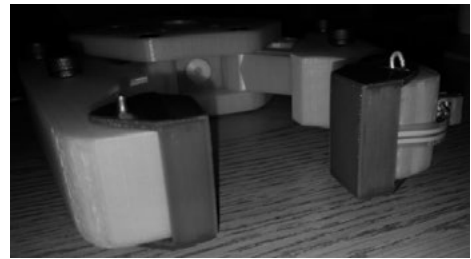


Figura 8. Circuito convertidor de fuerza a tensión de fuerza vs resistencia.

En la figura 9(a) se muestra el prototipo de montaje de la placa y drivers junto con su conexión al sensor de presión ubicado en la yema de una de las mordazas según se aprecia en la figura 9(b).



(a)



(b)

Figura 9. (a) Prototipo del sistema completo (b) Detalle de la ubicación del sensor.

### 3. Evaluación de la respuesta eléctrica y mecánica

En esta sección se muestra la caracterización de la respuesta eléctrica y mecánica de la pinza. Se correlacionan aspectos de sensado, capacidad de carga y apriete de la pinza como también resistencia estructural.

#### 3.1 Respuesta del sensado de fuerza

En primera instancia es necesario establecer la correspondencia entre la fuerza registrada por el sensor y la fuerza real actuante entre las yemas de la pinza. Para ello se utilizó un resorte de compresión calibrado (con constante de rigidez conocida) acorde a la capacidad de fuerza del sensor. En consecuencia, la fuerza de compresión sobre el resorte calibrado se puede obtener según la ecuación:

$$F = K \cdot (L_i - L) \quad (2)$$

donde es la longitud del resorte sin carga y la longitud del resorte cargado (distancia de apertura de la pinza). Dado que es posible medir con precisión la distancia, la constante de rigidez del resorte y también el valor de la fuerza sobre el sensor, lo cual permite contrastar la fuerza en relación al voltaje suministrado.

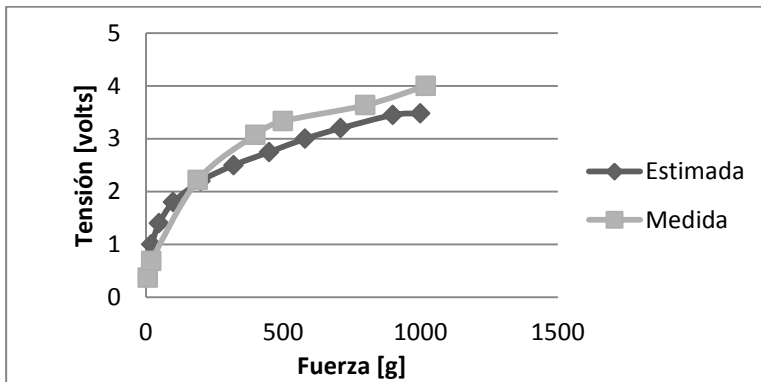
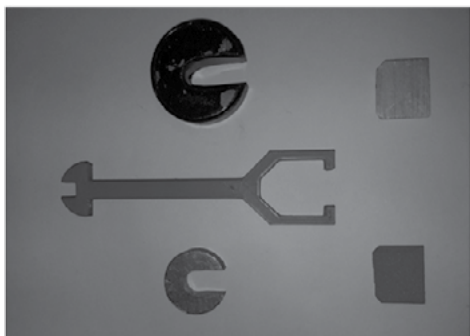


Figura 10. Correlación de fuerza mecánica/tensión eléctrica sobre el sensor.

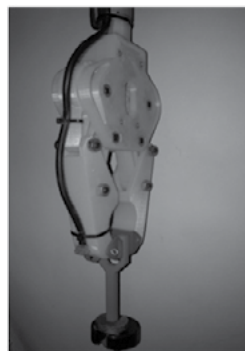
En la Figura 10 se muestra la comparación de la relación fuerza/tensión eléctrica sobre el sensor establecida por la Ecuación (1), correspondiente al circuito conversor implementado, y la curva fuerza (del resorte a compresión)/tensión eléctrica (medida sobre el sensor). La diferencia entre ambas respuestas oscila entre un 5% y un 10%.

### 3.2 Respuesta del grip y capacidad de carga de la pinza

Con el fin de caracterizar la capacidad de carga de la pinza aplicada sobre superficies de distintos materiales, se realizó un ensayo bajo *máxima* capacidad de apriete y/o presión de sensado. Para ello, se implementó un accesorio construido en plástico impreso el cual permite en uno de sus extremos alojar pesas calibradas Figura 11 y en el otro intercambiar las cubos o placas de los materiales a ensayar. En la figura 12 puede observarse la disposición del accesorio utilizado con uno de los materiales analizados (probetas de plástico) para la prueba de carga vertical a plomo. En la Tabla 2 se consignan los valores de la carga que puede soportar la superficie de los diversos materiales ensayados antes de producirse el deslizamiento o pérdida del grip.



**Figura 11.** Accesorio para ensayo de grip.



**Figura 12.** Prueba de carga.

**Tabla 2.** Capacidad de carga de la pinza bajo máximo apriete.

Material	Peso máximo (grs.)
Plástico	2637
Madera blanda	5400
Aluminio	4637
Hierro	1275
Madera Dura	2337

Más allá de la capacidad de presión que la pinza puede tener para distintos materiales, el control de presión ostenta una delicadeza de agarre que permite operar con firmeza y delicadeza según la circunstancia. Así pues en la Figura 13 se muestran dos niveles distintos de presión en la captura de un vaso plástico de fino espesor.

A modo de corroboración el lector interesado puede acceder a la filmación de un video para la presión firme y otra para presión suave (Piovan et al., 2016), de manera que se puede observar la capacidad de apriete en pleno funcionamiento.



(a)

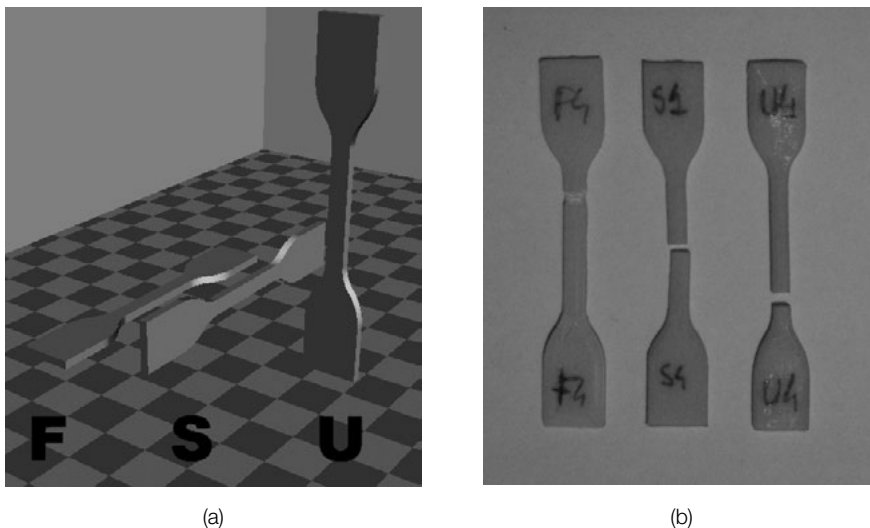


(b)

**Figura 13.** Niveles de agarre. (a) presión firme. (b) presión suave.

### 3.3 Respuesta mecánica del material plástico

Para tener una estimación concreta de las capacidades resistentes más extremas del manipulador se ha efectuado una evaluación por elementos finitos de algunas piezas impresas a partir de tener información experimental de la resistencia de probetas del PLA usado, construidas en diferentes posiciones tal como se muestra en la Figura 14 (a). En la mencionada figura se indican las tres formas típicas de imprimir un determinado objeto. Las letras F, S, U indican la modalidad de impresión extractadas de su jerga inglesa (Flat-, Side-, Up-ward). Se han construido 6 probetas para cada modalidad de impresión con la misma configuración de parámetros operativos de impresión estipulada para las piezas de la pinza (esto significa, espesor de capa, temperaturas y velocidades de impresión). Se ha empleado un tipo probeta normalizada según la norma ISO 527-2A. Estas probetas siguen criterios de ensayo de piezas impresas a semejanza de otros trabajos anteriores (Tymrak et al., 2015; Piovan et al., 2014). Las probetas fueron ensayadas a tracción para determinar módulo de elasticidad longitudinal y resistencia máxima. En la Figura 14 (b) se muestra la forma de rotura/falla a tracción típica de probetas para cada modalidad de impresión. En la Tabla 3 se muestran los resultados centrales (promedios y desvíos) obtenidos en los ensayos para cada una de las modalidades de impresión. Se puede observar que la resistencia en el sentido de impresión U es la menor, mientras que el sentido de impresión S es el que ofrece el menor módulo de elasticidad.



**Figura 14.** Probetas ISO 527-2A. (a) Posición de impresión de las probetas de ensayo. (b) Ejemplos de patrones de rotura en probetas.

**Tabla 3.** Capacidad de carga de la garra ante máximo apriete.

Dirección de Impresión	Propiedad estadística	Tensión máxima $\sigma_{\max}$	Módulo de elasticidad $E_{ij}$
U	Promedio [MPa]	36.34	1397.81
	Desvío Estándar [MPa]	5.30	56.21
	Coef. Variación	0.15	0.04
S	Promedio [MPa]	54.59	1190.69
	Desvío Estándar [MPa]	0.77	103.85
	Coef. Variación	0.01	0.09
F	Promedio [MPa]	55.37	1428.77
	Desvío Estándar [MPa]	2.26	112.63
	Coef. Variación	0.04	0.08

En la Figura 15 se muestra las condiciones de borde, solicitaciones y ubicación de los sistemas de referencia locales y global para uno de los dedos de la pinza (en esencia uno de los componentes más solicitados), que fue implementado en un solver genérico del método de elementos finitos. Obsérvese que los sistemas de referencia locales  $\{L:FSU\}$  y global  $\{G:FSU\}$  identifican las direcciones F, S y U asociadas a la construcción aditiva de la pieza como también las direcciones de construcción de las probetas, cuyos módulos de elasticidad fueron incorporados en el solver como material anisotropo. En el desarrollo del modelo computacional, se ha construido un modelo que contemple un sólido de 1.4 mm de espesor con los módulos de elasticidad que aparecen en la Tabla 3, mientras que para infill se ha recurrido al empleo de un sólido equivalente cuya elasticidad se ha obtenido a partir de los experimentos mencionados más arriba y el criterio de estimación de propiedades efectivas presentado en otros estudios (Kucewicz et al., 2018). El valor de la solicitación puesta en la punta del dedo corresponde a una carga de presión distribuida con un valor efectivo de 50 N (o bien 5 kg, en consonancia con las exigencias iniciales de funcionamiento).

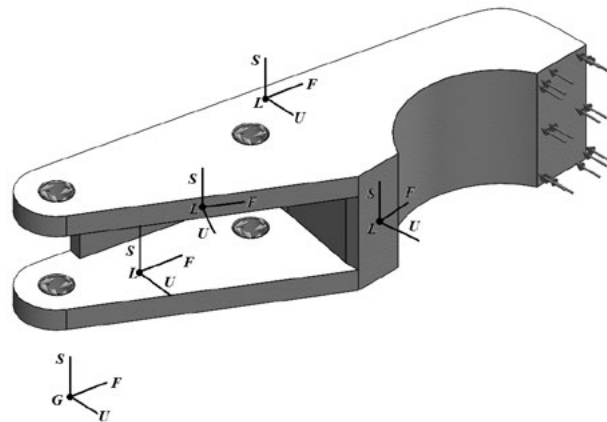


Figura 15. Modelo de cálculo MEF: Condiciones externas y sistemas de referencia.

En las Figura 16 se muestra los valores del factor de seguridad (FDS) de la pieza analizada como la más crítica de la pinza.



Figura 16. Factor de seguridad global al límite elástico.

De los estudios de deformación y tensión efectuados con el método de elementos finitos, se puede colegir que para los requerimientos impuestos en el diseño de la pinza, la seguridad vinculada a la resistencia mecánica y elástica estaría virtualmente garantizada, en tanto que el factor de seguridad global en términos del límite de fluencia del material sería superior a 2,5 en la zona más comprometida (contacto en el alojamiento de bulones). A su vez, observando la Figura 16 casi toda la pieza se halla con factores de seguridad mayores a 9. Con lo cual, la pieza, para la condición operativa impuesta se hallaría fuera del riesgo de deformación irreversible.

#### 4. Evaluación costos y alternativas

De acuerdo con la Tabla 1, se han empleado alrededor de 60hs en el proceso de impresión (incluyendo algunos resultados defectuosos). A su vez, se deben añadir no menos de 15hs. para limpieza, ajuste de rebabas, eliminación de soportes y restos de proceso de impresión sobre el total de las piezas. El peso de todos los componentes impresos empleados en la pinza, tomando en cuenta la Tabla 1, es de 285.69 grs. Sin embargo a esto se deben agregar otros 50 grs de peso de filamento PLA que corresponde a piezas de suplemento y pérdidas de material vinculadas con la impresión (soportes y tramados de adherencia a la plataforma de impresión). Todo ello alcanzó los 350 grs de PLA. El costo del consumo eléctrico obtenido de facturas de consumo residenciales (abril 2018) se halla en 2.55AR\$/KW, mientras que el consumo medio de una impresora 3D oscila los 0.250 KW-h, casi como una PC de prestaciones estándar. El costo de mano de obra corresponde al nomenclador “Operario Calificado” en la Tabla de Escalas Salariales ofrecidas en las *páginas* web de la UOM y de SMATA (abril 2018).

**Tabla 4.** Costo de construcción del manipulador plástico PLA.

Item	Insumo	Costo Unitario	Costo Total [AR\$]
Plástico PLA	350.00 grs.	420.00 AR\$/Kg	147.00
Tornillo maquinado DELRIN			350.00
Mano obra limpieza/montaje piezas	15.00 hs.	110.75 AR\$/h	1661.25
Tornillos			75.00
Electricidad	80.00 hs.	2.55 AR\$/KW-h	51.00
Total			2284.25

Como puede apreciarse en la Tabla 4, el costo total estimativo ascendería a 2284.25 pesos o su equivalente a poco más de US\$ 110.00 (a valores abril 2018). Nótese que el mayor costo comparativo corresponde al servicio de mano de obra de limpieza (el cual es estimativo pues, en razón de verdad, esto ha sido hecho por los autores). En suma, el costo de construcción es casi comparable, o incluso bastante menor, a algunos diseños de pinzas reportados en la literatura abierta internacional (Franchi, et. al, 2015).

Ahora bien implementar el mismo diseño que se indica en las Figuras 1 y 3 para ser construido en chapa de acero y otros componentes metálicos (sin-fin y coronas) conduciría a una erogación muy grande tal como la que puede observarse en la Tabla 5 con estimados de los costos en materiales y mano de obra en maquinado y montaje vinculados a precios vigentes en Bahía Blanca y los pactados a nivel nacional por UOM y SMATA mencionados en el párrafo anterior (abril, 2018).

**Tabla 5.** Costo estimado de construcción del manipulador en metal.

Item	Costo unitario	Costo [AR\$]
Planchuela acero 3 mm x 50.4 mm (4 m)	135 (AR\$/m)	540
Chapa acero 6 mm (0.4x0.2 m <sup>2</sup> )	2850 (AR\$/m <sup>2</sup> )	228
Insumos de soldadura		250
Barra AISI 1045 24.5 mm(0.2 m)	950 (AR\$/m)	190
Tornillos	Ídem caso plástico	75
Maquinado en tornos sin-fin (3 horas)	300AR\$/h	900
Maquinado engranajes (30 horas)	400 AR\$/h	12000
Mano de obra general/soldadura/montaje (80 h)	110.75 AR\$/h	8860
Total		23043

En suma la construcción de una pinza en metal homóloga a la de plástico propuesta en este trabajo implicaría un costo estimado de reposición muy alto; más de 10 veces el costo real de la pinza de plástico. A su vez, el tiempo estimado de construcción de la pinza en metal sería casi el doble del empleado efectivamente en la pinza plástica presentada en el artículo.

## 5. Conclusiones

En este trabajo se ha presentado la performance de una pinza de manipulación para ser montada en una plataforma de robot para operación de cargas peligrosas, como una propuesta económicamente viable y segura. La construcción se ha efectuado por impresión 3D en *poli-ácido láctico y el control* de fuerza se ha realizado mediante un sensor de tipo resistivo (SFR) conjuntamente con un microcontrolador de la familia Arduino. De todo el conjunto de actividades llevadas a cabo se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Es factible emplear impresión 3D en plásticos para la realización de pinzas de manipulación, para uso en robot de operación de cargas peligrosas, a una baja fracción del costo del caso homólogo construido en materiales metálicos, garantizando resistencia y operatividad en condiciones normales.
- El costo de construcción de la pinza plástica se hallaría en el entorno de los 100 a 150 USD, pudiéndose llevar a cabo en menos de seis *días* laborales. Esto es sustancialmente más barato y más rápido que construir una pinza homóloga en metal por mecanizado tradicional.
- La utilización de un elemento sencillo y económico para el sentido de fuerza es plenamente factible con buen grado de previsibilidad.



- d) Si bien el circuito implementado del convertor de fuerza a tensión tiene baja complejidad se lograron resultados satisfactorios en cuanto a la capacidad de agarre, cumpliendo con las condiciones prescritas de diseño.
- e) Se pudo regular la presión ejercida con una precisión de 100 grs. hasta un máximo de 1.5 kg., esto último dado por el límite del SFR utilizado.
- f) La resistencia mecánica estructural es más que suficiente para los límites de carga y transportes propuestos en el diseño. La pieza más solicitada se halla dentro del rango elástico

Se desea mencionar que dadas algunas de las características del control de fuerza de apriete y el bajo peso estructural, la pinza puede emplearse en manipulación automatizada de objetos frágiles y muy frágiles. Aunque ello forma parte de estudios e investigaciones en marcha.

## 6. Referencias

- Blanch, G., Mainetti C, Romero A., Breno, A., Piovan M.T. (2016). Desarrollo y análisis de una pinza de manipulación para brazos robóticos, construida por impresión 3D. Actas del V Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica, Santiago del Estero, Santiago, Argentina.
- Franchi G., Ten Pas A., Platt R., Panzieri S. (2015) *The Baxter Easyhand: A Robot Hand that costs \$150 US in parts*. 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), ISBN 978-1-4799-9994-1, Hamburgo, Alemania.
- Kucewicz, M., Barnowski, P., Malachowski, J., Poplawski, A., Platek, P. (2018) Modelling and characterization of 3D printed cellular structures, *Materials and Design* 142, 177-189.
- Mainetti C, Romero A., Piovan M.T. (2014) *Plataforma multipropósito para aplicación en robots manipuladores de cargas peligrosas*, Actas del IV Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica, Resistencia, Chaco, Argentina.
- Mc.Roberts, M.R. (2009) *Earthshine Design Arduino Starters Kit Manual - A Complete Beginners Guide to the Arduino 2<sup>nd</sup> Edition*. EarthshineDesign, UnitedKingdom,
- Piovan M.T., Romero A. (2014) *Caracterización de plásticos para impresoras 3D*. Actas del IV Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica, Resistencia, Chaco, Argentina.

- Piovan M.T., Mainetti C. y Romero A., (2016) FRBB-UTN- Medios Audiovisuales, Prueba de Mordaza 1 [Archivo de video], url: [https://youtu.be/5\\_qXg6lTb2g](https://youtu.be/5_qXg6lTb2g).
- Piovan M.T., Mainetti C. y Romero A., (2016) FRBB-UTN- Medios Audiovisuales, Prueba de Mordaza 2 [Archivo de video], url: [https://youtu.be/7CM7ud\\_Rjjc](https://youtu.be/7CM7ud_Rjjc)
- Rateni G., Cianchetti M., Ciuti G., Menciassi A., Laschi, C. (2015) *Design and development of a soft robotic gripper for manipulation in minimally invasive surgery: a proof of concept*. *Meccanica*, 50, 2855-2863.
- Singh P., Kumar A., (2013) Vashitth M. *Design of a Robotic Arm with Gripper and End Effector for Spot Welding*. *Universal Journal of Mechanical Engineering*, 1,3,92-97.
- Telegenov K., Telegenov Y., Shintemirov A. (2015) *A Low-Cost Open-Source 3-D-Printed Three-Finger Gripper Platform for Research and Educational Purposes*. *IEEE Access*, 3, 638-647.
- Tymrak B.M., Kreiger M., Pearce J.M. (2014) *Mechanical properties of components fabricated with open-source 3-D printers under realistic environmental conditions*. *Materials and Design*, 58, 242-246.