

# DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN HERRAMENTAL DE SUJECIÓN PARA EL ROBOT NACHI MZ04

Muñoz Vega Armando (1), Balvantín García Antonio de Jesús (2)

<sup>1</sup>[Licenciatura en Ingeniería Mecánica, Universidad de Guanajuato] | [a.munozvega@ugto.mx]

<sup>2</sup>[Departamento de Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías, Campus Irapuato Salamanca, Universidad de Guanajuato] | [antonio.balvantin@ugto.mx]

## Resumen

En el presente trabajo se desarrolla el diseño y la fabricación de un herramental para el acoplamiento de un transductor de ultrasonido por inmersión V317-SM a un manipulador industrial NACHI MZ04. El modelado de los componentes se llevó a cabo usando el software Solidworks®. Adicionalmente, se presenta el Análisis por Elemento Finito (FEA) por medio del complemento Solidworks Simulation con la finalidad de observar el comportamiento del herramental bajo distintas condiciones de cargas. A través de los resultados obtenidos, se seleccionó la opción óptima en cuanto a material, dimensionamiento y proceso de fabricación. Para este trabajo, el proceso de manufactura seleccionado para los distintos componentes del herramental fue la manufactura aditiva (impresión 3D). Lo anterior debido a que para la geometría propuesta, el material utilizado para la impresión PLA (ácido poli-láctico) soporta las cargas aplicadas. Finalmente, la impresión 3D fue el método de manufactura disponible más eficiente en cuanto a ahorro de material y costos en comparación con los procesos de maquinado, tanto convencional como CNC.

## Abstract

In this paper, the design and manufacture of a coupling tooling to attach an ultrasonic immersion transducer Olympus V317-SM to an industrial manipulator NACHI MZ04 is developed. The modeling of the coupling component was developed using Solidworks® software. In addition, Finite Element Analysis (FEA) was performed by implementing the SolidWorks Simulation complement in order to observe the behavior of the tool under different load conditions. Based on the obtained results, the optimal material, geometry, configuration and manufacturing process were selected. For this work, the selected manufacturing process for the different components of the coupling tooling was additive manufacturing (3D printing). This is due to the fact that, for the proposed geometry, the material used for the manufacturing process (PLA-polylactic acid) supports the applied loads. Finally, 3D printing was the most efficient method of manufacturing available in terms of material and costs savings, compared to both conventional and CNC machining processes.

## Palabras Clave

Diseño asistido por computadora (CAD); Análisis por Elemento Finito (FEA); Manufactura Aditiva (AM).

## INTRODUCCIÓN

El proceso de diseño consiste en formular un plan para satisfacer una necesidad específica o resolver un problema. Dicho proceso puede ser iterativo y consta de varias fases, ver Figura 1 [1].

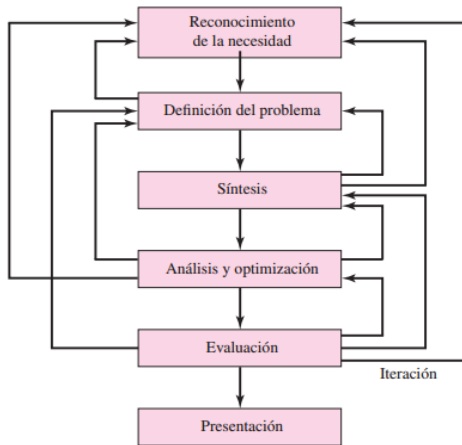


Figura 1. Fases del proceso de diseño.

El Diseño Asistido por Computadora (CAD) se ha convertido en una de las herramientas más utilizadas para el desarrollo de elementos mecánicos. El objetivo principal del CAD es comunicar el diseño del producto de una forma confiable y sin ambigüedades [2]. Entre otras cosas, el software para CAD permite el desarrollo de diseños tridimensionales. Actualmente, existe una gran cantidad de software de CAD disponible tales como AutoCAD, SolidWorks, entre otros [1]. Posterior al modelado, una de las herramientas de análisis más estudiado y aplicado para el diseño en ingeniería es el Análisis por Elementos Finitos. Dicho análisis permite predecir con gran precisión y simplicidad los esfuerzos y deformaciones que soportará internamente una pieza o conjunto de piezas al ser sometidas a un sistema de cargas [3]. Dichas herramientas corresponden a la Ingeniería Asistida por Computadora (CAE), cuyas implementaciones en la industria y la investigación han sido muy variadas [4].

Por otro lado, el uso de manipuladores industriales para múltiples tareas tanto de investigación como desarrollo ha ido en aumento en los últimos años [5]. Sin embargo, los múltiples fenómenos a estudiar requieren, en su mayoría, el diseño de mecanismos (efectores finales) para la correcta

implementación de los manipuladores industriales en diferentes tareas [6].

Finalmente, aunado a los sistemas CAD/CAE, la manufactura aditiva (AM) ha revolucionado el sector de manufactura. De manera general, la ASTM ha definido a la manufactura aditiva como el proceso de unir materiales para desarrollar objetos a partir de modelos tridimensionales [7].

En el presente trabajo se propone el diseño, modelado, análisis y manufactura de un efector final de acoplamiento entre un robot NACHI MZ04 y un transductor para llevar a cabo pruebas ultrasónicas de inmersión.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo consistió en el diseño, modelado y fabricación de un mecanismo de sujeción para un transductor de ultrasonido por inmersión V317-SM. Dicho mecanismo se diseñó para ser acoplado al robot NACHI MZ04 (Figura 2), el cual se encuentra en el Laboratorio de Manufactura de la DICIS.

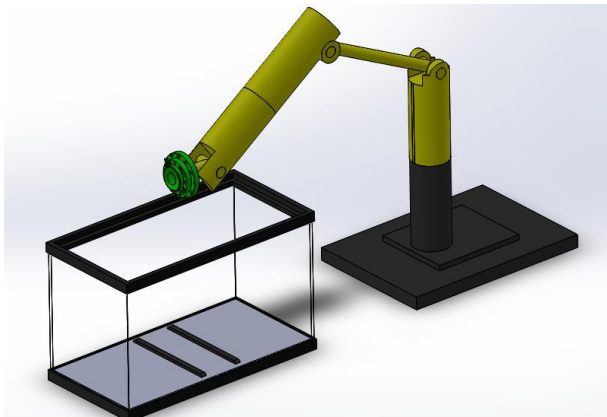


Figura 2. Robot NACHI MZ04

El transductor de inmersión debe seguir una trayectoria de puntos (la cual se programa en el robot) para analizar una pieza, dicha pieza se encuentra sumergida en una pecera que contiene agua y el transductor deberá estar parcialmente sumergido. Por tanto, las necesidades que debe

satisfacer el herramental son: ser ajustable en dirección vertical, ser rígido, no debe sobrepasar un peso de 4kg (carga máxima soportada por el robot), dimensionalmente debe poder entrar en la pecera y ser capaz de colocarse en las posiciones requeridas sin que ocurra interferencia entre el robot, la pecera y el herramental.

Una vez que se identificaron las necesidades que debe satisfacer el herramental de sujeción se procedió a tomar medidas del robot NACHI MZ04, la pecera y el lugar de trabajo. Se desarrolló un modelo usando CAD por medio del software Solidworks, donde se incluyó el esqueleto del robot y se simula el movimiento del mismo (Figura 3).

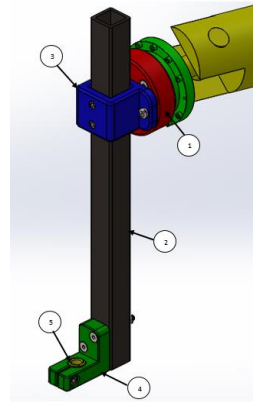


**Figura 3. Esqueleto del robot NACHI y pecera modelados en Solidworks.**

Una vez que se realizó lo anterior se procedió a diseñar el herramental bajo las condiciones antes mencionadas. Modelando cada componente en Solidworks y agregándolo al ensamble que ya se tenía del esqueleto del robot NACHI y pecera, con la finalidad de identificar si cumplía con los requerimientos dimensionales.

Se determinó que el herramental constaría de 5 elementos (ver Figura 4):

- 1.-Acoplador al robot.
- 2.-Barra de ajuste vertical.
- 3.-Sujetador de la barra.
- 4.- Sujetador del transductor.
- 5.-Anillo de ajuste de sujeción.



**Figura 4. Diseño de herramental.**

Una vez determinada la geometría y el número de partes, se propuso realizar la manufactura de las partes 1, 3, 4 y 5 aplicando la manufactura aditiva (impresión 3D), donde el material utilizado sería PLA. Para la barra de ajuste vertical se usó un Perfil Tubular Rectangular hueco (PTR) de acero de 1" por lado.

Llegado a este punto se requería estudiar la capacidad del herramental para soportar cargas estáticas. Por tanto, se llevó a cabo un Análisis por Elemento Finito.

El análisis por elemento finito se realizó por medio del complemento Solidworks Simulation del software Solidworks. Un primer estudio estático, consistió en considerar solo los dos primeros elementos del herramental y considerar una carga de 4 kg (carga máxima del robot) en dirección vertical (Figura 5a). En el segundo estudio estático, se analizan los tres primeros elementos del herramental, considerando que el herramental está posicionado horizontalmente y la carga (4 kg) se produce en un extremo de la barra como se puede ver en la Figura 5b.

Para este estudio los materiales se consideraron como dúctiles, donde el valor del límite elástico para el PLA fue de 60 MPa y el material de la barra por ser un acero se tomó un valor de 250 MPa.

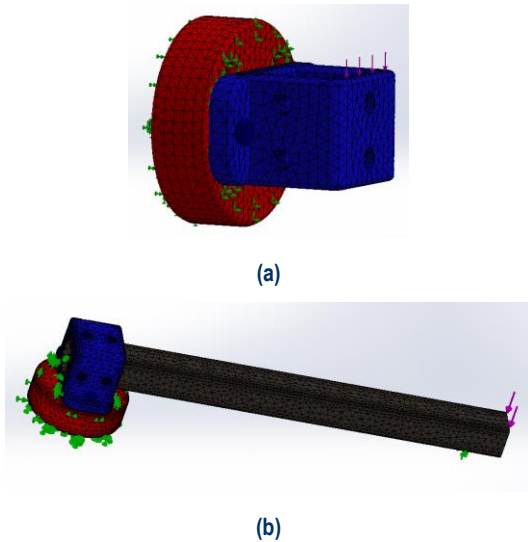


Figura 5. Análisis por elemento finito (a) primer estudio estático considerando el acoplamiento al robot y el sujetador de la barra y (b) segundo análisis estático con carga aplicada en un extremo de la barra.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 6 y Figura 7 se pueden observar los resultados del análisis de esfuerzos. Para que el diseño de un mecanismo de soporte sea satisfactorio es necesario que el factor de seguridad mínimo sea de 2. Como se puede observar en las imágenes, los factores de seguridad son mayores a 2, lo que es una garantía de que las partes modeladas soportarán la carga de 4 kg.

Los resultados del análisis de esfuerzos nos dice que el diseño propuesto es factible de ser manufacturado. Por lo anterior, se procedió a manufacturar las partes del herramental.

La impresión se realizó en una Impresora 3D Prusa I3 XL producida por MakerMex S.A. de C.V. Para este caso, se usó una densidad de impresión alta. Los resultados de la impresión se muestran en la Tabla 1.

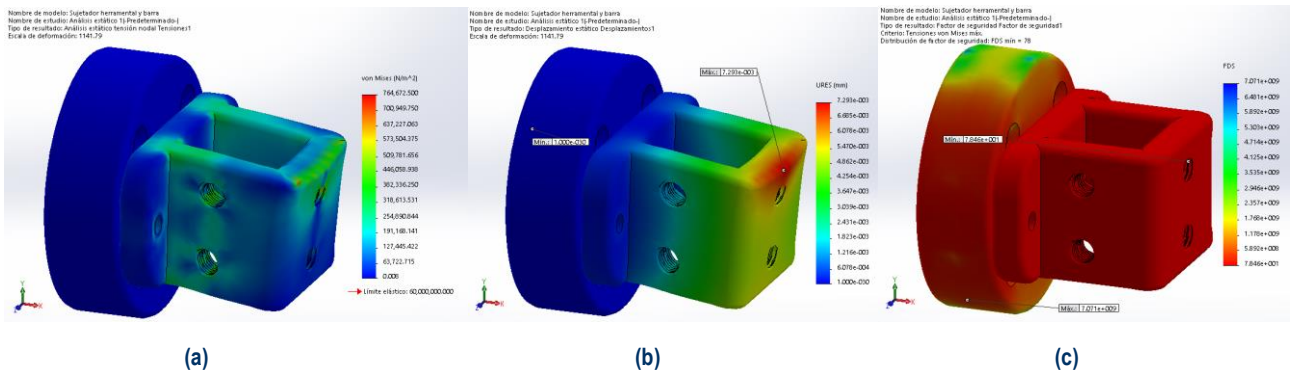


Figura 6. Resultados del primer análisis por elemento finito (a) esfuerzo de Von Mises, (b) Desplazamientos y (c) factor de seguridad.

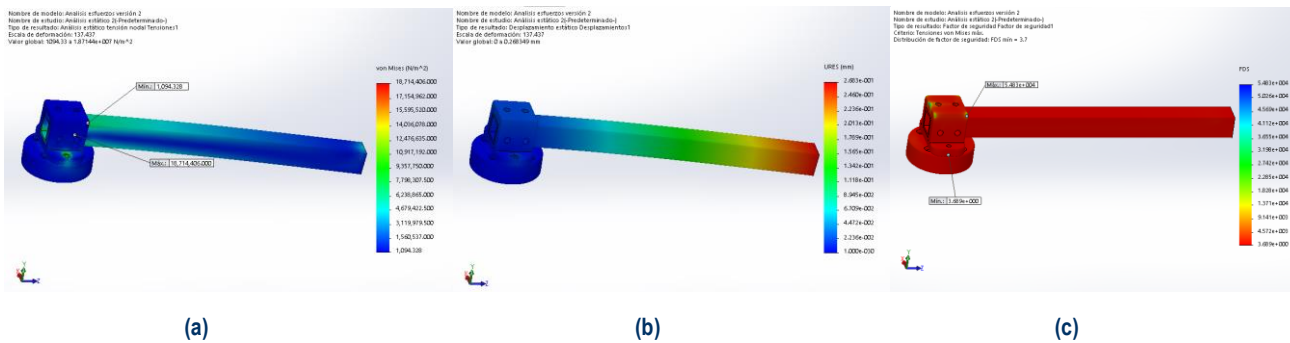
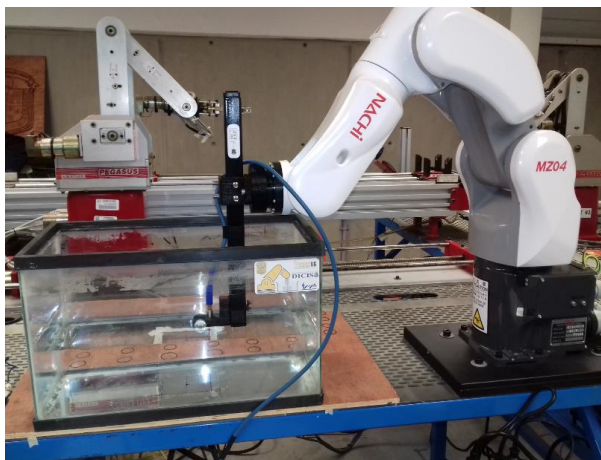


Figura 7. Segundo análisis estático con carga aplicada en un extremo de la barra (a) esfuerzo de Von Mises, (b) Desplazamientos y (c) factor de seguridad

**Tabla 1: Resultados y tiempos de fabricación de piezas de herramental.**

Pieza	Tiempo de impresión	
	Imagen de la pieza	Tiempo
1.-Acoplador al robot.		4 horas 9 minutos
2.-Sujetador de la barra.		4 horas 24 minutos
3.Sujetador del transductor y anillo de ajuste de sujeción		2 horas 6 minutos

Finalmente, una vez que se fabricaron todas las piezas se ensambló todas las partes en el manipulador NACHI, se realizaron pruebas y se comprobó la funcionalidad del mismo. En la Figura 8 se puede ver que el herramental cumple con su tarea.



**Figura 8. Herramental en funcionamiento.**

## CONCLUSIONES

El objetivo principal de este proyecto se alcanzó satisfactoriamente. El herramental cumplió con su función, además, puede ser usado para distintos

transductores, solo es necesario cambiar el sujetador del transductor por uno que se ajuste a las medidas del que se desea usar.

El diseño puede ser modificado para herramientas posteriores, que requieran ser usadas como efector final del robot NACHI MZ04, con fines diferentes al que se necesitaba cumplir en este trabajo.

Finalmente, durante el desarrollo del presente trabajo se reforzaron los conocimientos y el dominio del diseño asistido por computadora (CAD), el Análisis por Elemento Finito (FEA) para la Ingeniería Asistida por Computadora (CAE), así como la Manufactura Aditiva (AM).

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al Dr. Antonio de Jesús Balvantín García por brindarme la oportunidad de participar en este proyecto, por su paciencia y disposición para ayudar. De igual forma agradezco al Dr. José Ángel Diosdado de la Peña y al compañero Víctor Omar Bravo Marmolejo por su asesoría técnica en cuanto al uso del equipo de impresión 3D.

## REFERENCIAS

- [1] Budynas, Richard G & Nisbett, J. Keith, (2008). Shigley's Mechanical Engineering Design, (Eighth Edition) McGraw-Hill. (pp. 4-23, 208-231).
- [2] Griffiths, B. (2003). Engineering Drawing for Manufacture. Elsevier Science & Technology Books.
- [3] Rojas, O., Rojas, L. 2006. Diseño asistido por computador. Industrial Data, Volumen 9, pp. 7-15.
- [4] Kakria, S., & Singh, D. (2015). CAE analysis, optimization and fabrication of formula SAE vehicle structure (No. 2015-01-0072). SAE Technical Paper.
- [5] Ajwad, S. A., & Iqbal, J. (2015). Emerging trends in robotics—A review from applications perspective. In International Conference on Engineering and Emerging Technologies (ICEET).
- [6] Nof, S. Y. (Ed.). (1999). Handbook of industrial robotics (Vol. 1). John Wiley & Sons.
- [7] ASTM, I. (2013). ASTM52921-13. Standard terminology for additive manufacturing-coordinate systems and test methodologies