

# Diseño y Análisis del Elemento Finito de Robot Tipo SCARA

Estevez Carreón Jaime✉, Ríos Pérez Rafael, García Ramírez Rubén Senén, Pérez Pérez Jairo y Fuentes Goiz Sotero I.

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Puebla.

✉[estevezc@gmail.com](mailto:estevezc@gmail.com)

## Resumen

*En este artículo se expone, el diseño y construcción de un robot tipo SCARA por medio del método de diseño descriptivo empleado en la ingeniería, utilizando un programa de CAD (Computer-Aided-Design) como herramienta de diseño, donde para el desarrollo de los eslabones del robot, se toma en cuenta la colocación de los actuadores, la ubicación de la transmisión y el extremo del mismo, en conjunto con las características del material, los elementos de sujeción, que lleva a definir la colocación final de los eslabones; con ayuda del análisis de elemento finito se realiza un análisis estructural y de movimiento al sistema robótico con el fin de conocer su comportamiento para el diseño final con la intención de identificar errores en el diseño y su corrección, la optimización de ensamble y movimientos de forma simulada, suscitando un ambiente de aprendizaje cercano a los del tipo industrial. El método de diseño descriptivo empleado en la ingeniería aplicado en el diseño de este tipo de sistema robótico representa una gran oportunidad en la adquisición de conocimientos, destrezas y habilidades profesionales para los estudiantes interesados en robótica, diseño mecánico, mecatrónica y manufactura, en relación con la modelación y análisis de sistemas por medio de un software de CAD.*

**Palabras clave:** Análisis del elemento finito, Diseño CAD, Robot tipo SCARA.

## Abstract

*This article exposes the design and construction of a SCARA type robot by means of the descriptive design method used in engineering, using a CAD program (computer aided design) as a design tool, where for the development of the links of the robot, it is taken into account the placement of the actuators, the location of the transmission and the end thereof, together with the characteristics of the material, the fastening elements, which leads to the final placement of the links; with the help of finite element analysis, a structural and movement analysis is made to the robotic system in order to know its behavior for the final design with the intention of identifying errors in the design and its correction, the optimization of the set and the movements of the simulated form, provoking a learning environment next of the industrial type. The method of descriptive design used in the engineering applied in the design of this type robotic system, represents a great opportunity in the acquisition of knowledge, skills and professional abilities for students interested in robotics, mechanical design, mechatronics and manufacturing, in relation to the modeling and systems analysis through CAD software.*

**Keywords:** Finite element analysis, CAD design, SCARA type robot.

## 1. Introducción

Día a día, la robótica se hace cada vez más imprescindible, aumentando la producción en menor tiempo y haciendo tareas repetitivas con mayor precisión, liberando a los trabajadores de situaciones peligrosas [1]. En la industria se pueden observar diferentes tipos de brazos robóticos, realizando diversas tareas de soldado, ensamble, transporte y manipulación de material, haciendo imprescindible contar con alta tecnología en las instituciones de educación superior [5] [7] [14], con la intención de que los estudiantes apliquen y refuercen sus conocimientos en problemas reales relacionados con la mecánica, control, instrumentación, programación, mantenimiento y reparación de robots, que los haga capaces de desenvolverse en ambientes cercanos a los industriales [8].

Para el diseño del sistema robótico se hace uso del método de diseño descriptivo empleado en la ingeniería [15], (figura 1), como procedimiento de aprendizaje para los estudiantes involucrados en investigación, innovación o desarrollo de prácticas de laboratorio, al proporcionar cuatro pasos claros y sencillos en secuencia para el diseño de sistemas; donde el estudiante puede ubicarse claramente en la etapa que se encuentra, al final de cada uno de estos, se verifica y reflexiona los requisitos de la fase siguiente. El primer paso, el diseño conceptual en que se describe los objetivos, conceptos y tareas, en este punto se puede observar que en el robot tipo SCARA se conserva la complejidad matemática, por su morfología, es más apto para el traslado o manipulación de material [1] [11] [13], se propone un volumen de trabajo aproximado de  $1 \text{ m}^3$ , al dotarlo de un entorno abierto [2] [3] [7] y con el debido sistema de seguridad lo convierte en un sistema robótico tipo industrial apto para desarrollar aprendizajes en un ambiente cercano al industrial; una vez definido los conceptos se continua los pasos dos y tres (partes centrales de este artículo) el diseño a detalle y el análisis, en el que el diseño mecánico para nuestro caso juega un papel preponderante en el modelado CAD, en la selección del tipo de material, actuadores el análisis de esfuerzos, de deformaciones y de movimiento proporcionando información esencial para el desarrollo del prototipo físico.

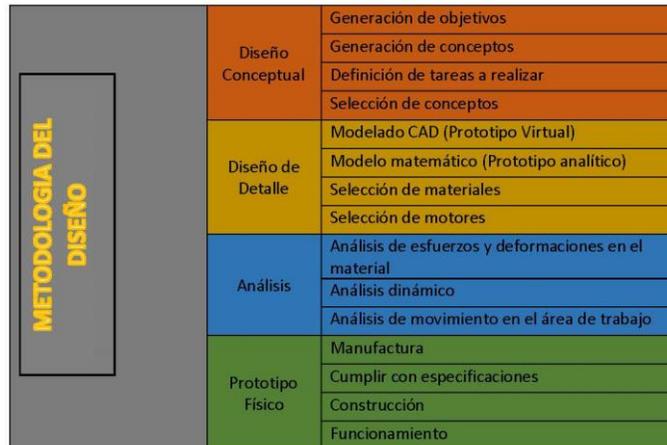


Figura 1. Método de diseño descriptivo empleado en la ingeniería.

## 2. Diseño a detalle y análisis por elemento finito.

### 2.1 Diseño Estructural.

Se procede a desarrollar el diseño estructural del robot tipo SCARA (modelado CAD), en esta etapa es importante que el estudiante verifique el correcto funcionamiento mecánico, relacionado con las propiedades del tipo de material, área de trabajo, ubicación de cargas, actuadores y posible tarea a realizar, es desarrollada por medio de las herramientas de diseño CAD, de análisis del elemento finito [2] [4] [6] [12] [15].

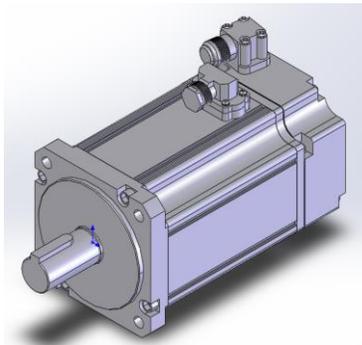
En nuestro caso, como paso dos, se elige el aluminio 6063T6 (tabla 1) como material para de diseño; por ser un robot tipo SCARA, con movimientos horizontales, se seleccionan los actuadores, un servomotor PM-DDB [9] para la primera articulación, dos servomotores Parker PM-FCL08AMK [10] para las articulaciones 2 y 3 (figuras 2 y 3).

**Tabla 1. Propiedades mecánicas del aluminio 6061 T6**

Propiedades	Valor	Unidades
Modulo elástico	6.9e+010	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.33	N/D
Modulo cortante	2.58e+010	N/m <sup>2</sup>
Densidad de masa	2700	Kg/m <sup>3</sup>
Límite de Tracción	240000000	N/m <sup>2</sup>
Limite elástico	215000000	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica	2.34e-005	/K
Conductividad térmica	209	W/(m*K)
Calor específico	900	J/(kg*K)

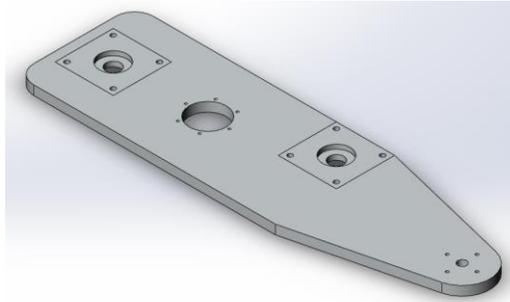


**Figura 2. Motor PM-DDB  
Parker Hannifin Corporation©**

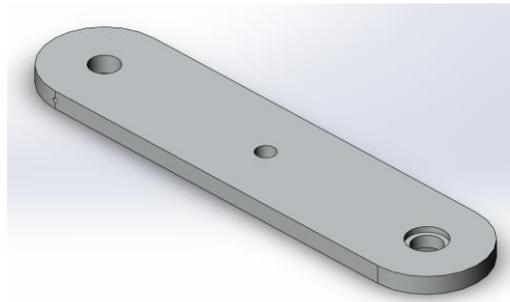


**Figura 3. Motor PM-FCL08AMK  
Parker Hannifin Corporation©**

Para el diseño de los eslabones se toma en cuenta la ubicación de los motores, en particular el eslabón uno se diseña tomando en cuenta el equilibrio con respecto al centro de masa (figuras 4 y 5), teniendo una longitud de junta a junta de 350 mm y 250 mm para cada eslabón respectivamente.

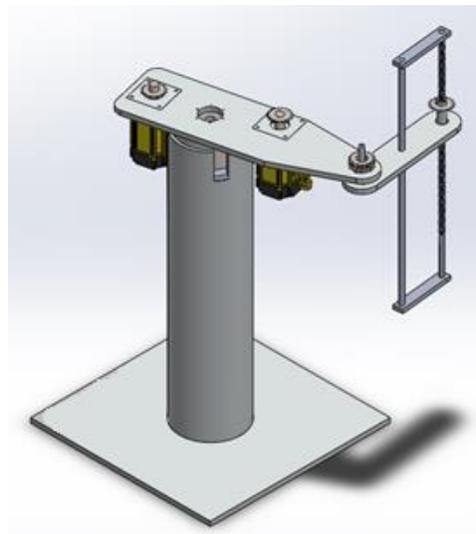


**Figura 4. Eslabón 1 en software de CAD.**



**Figura 5. Eslabón 2 en software CAD.**

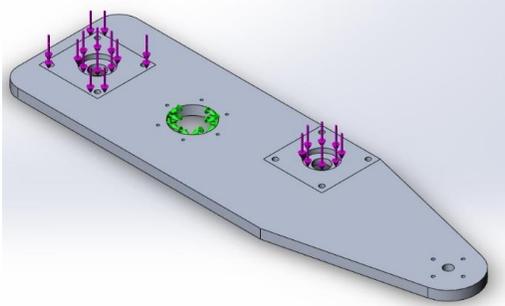
Una vez diseñados los eslabones en CAD se genera un ensamble final que conforma al robot, así como elementos de sujeción, base fija, cuerpo, la ubicación final de los motores y su sistema de transmisión de potencia para corroborar el diseño estructural en CAD con respecto al modelado analítico (modelo matemático), cabe mencionar que para la articulación tres se considera un esparrago tipo ACME de 12.7 mm de diámetro con paso de 2.44 mm (figura 6).



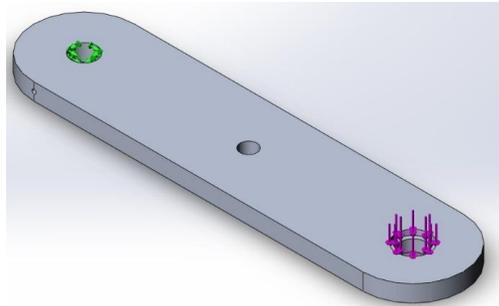
**Figura 6. Ensamble final en software CAD.**

## 2.2 Análisis del Elemento Finito (paso tres).

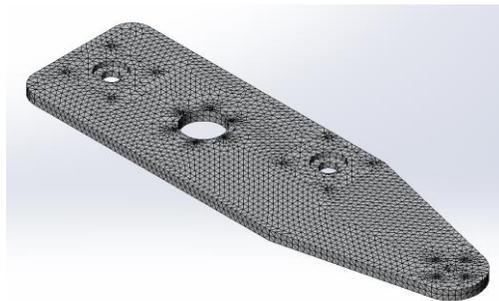
El análisis estructural, se realiza por separado para los eslabones 1 y 2 (figuras 4 y 5), donde se considera las sujeciones y ubicación de cargas en puntos de interés (figuras 7 y 8) en mallado fino para mayor exactitud (figuras 9 y 10).



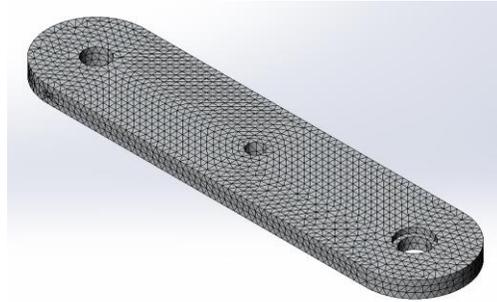
**Figura 7. Análisis estructural del eslabón 1**  
Cargas de color morado, sujeciones de color verde.



**Figura 8. Análisis estructural del Eslabón 2**  
Cargas de color morado, sujeciones de color verde.

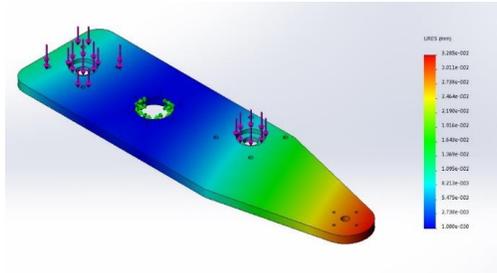


**Figura 9. Análisis estructural Mallado de eslabón 1.**

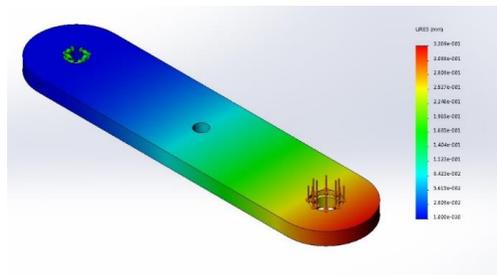


**Figura 10. Análisis estructural Mallado de eslabón 2.**

Se aplica una prueba de desempeño de carga dividida de 5 Kgf en el eslabón 1, equivalente al peso de los 2 servomotores PM-FCL08AMK, para el eslabón 2 se considera una carga total de 5 Kgf, (figuras 11 y 12), donde el color azul muestra pocos o nulos desplazamientos, el color rojo las zonas con mayores desplazamientos en mm con respecto al punto de equilibrio.



**Figura 11. Análisis de esfuerzo en elemento finito en el eslabón 1.**



**Figura 12. Análisis de esfuerzos en elemento finito en el eslabón 2.**

### 3. Resultados

Los resultados del análisis se muestran en la tabla 2, donde se puede observar un desplazamiento máximo de 0.9238 en el análisis de los eslabones 1 y 2 unidos y por cada Kg agregado al extremo final, los eslabones se desplazan 0.339 mm, es decir que si el robot manipulador tipo SCARA levanta un peso de 3 Kg, el efector final se desplazará 0.99 mm verticalmente hacia abajo, con lo que el estudiante debe considerar la deformación y el desplazamiento del efector final a considerar cuando el robot tipo SCARA realice la tarea de traslado o manipulación de material.

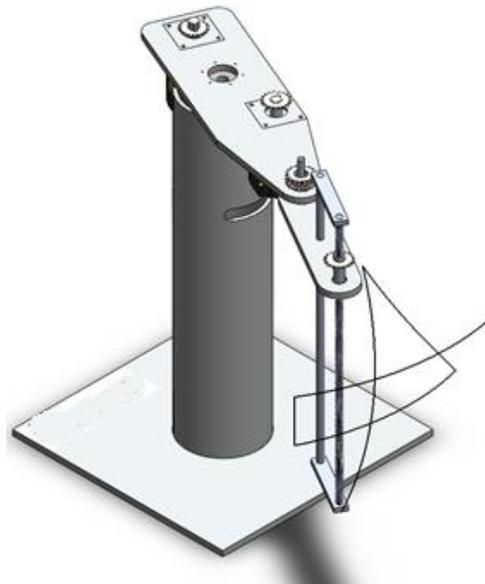
Al desarrollar una simulación de movimiento [2] [12] [14] como evaluación de la fase de análisis por medio de una trayectoria de traslado de material, con una ruta de trazo ubicada en el punto del extremo final (figura 13), se observa un movimiento continuo y suave, sin saltos o atascamientos, validando el diseño estructural del robot tipo SCARA para este tipo de movimientos y en consecuencia

el espacio de trabajo que el sistema robótico alcanza para esta tarea que debe considerar el estudiante como área límite de seguridad en la periferia del robot tipo SCARA para evitar accidentes cuando se esté realizando los movimientos y para evitar obstáculos o choques al interior del volumen de trabajo.

**Tabla 2. Resultados de simulaciones.**

<b>Pieza</b>	<b>Máximo desplazamiento (mm)</b>
Eslabón 1	0.003285
Eslabón 2	0.3369
Eslabones 1 y 2	0.9238

Resultando exitosa la aplicación del método descriptivo empleado en la ingeniería, en los pasos dos y tres para los estudiantes el desarrollo de conocimientos, habilidades y destrezas profesionales en relación con la modelación por medio de un análisis estructural y de elemento finito, en relación a la definición del tamaño de los eslabones, actuadores, movimientos, elementos secundarios, cargas y esfuerzos, optimización del comportamiento de los elementos, en el análisis estructural y de movimiento del sistema robótico en ambientes cercanos a los industriales.



**Figura 13. Resultados de ruta de trazo en robot manipulador tipo SCARA.**

## **4. Conclusiones**

En el presente artículo se desarrolló el diseño y análisis de elemento finito de un robot manipulador tipo SCARA, por medio del método de diseño descriptivo empleando en la ingeniería, como procedimiento para desarrollar conocimientos, habilidades y destrezas profesionales en relación a la modelación y análisis de sistemas por medio de un software de CAD, en ambientes cercanos a los industriales, cuyas aportaciones más destacadas del método son la fácil ubicación en el paso en el

que el estudiante se encuentra y la evaluación - reflexión en relación a los requisitos del siguiente paso, específicamente los pasos dos y tres el de diseño a detalle y análisis, donde se involucró la definición del tamaño de los eslabones, movimientos, elementos secundarios, cargas y esfuerzos, la optimización del comportamiento de los elementos, en el paso tres el robot tipo SCARA se ajustó a un peso de prueba en su extremo de 3 Kg con una deformación de 0.9238 mm, empleando aluminio 6061 para su análisis, dando como resultado en la prueba de movimiento uno continuo y suave, esto permite al estudiante evaluar los resultados y reflexionar los requisitos para continuar al siguiente paso: la construcción física del prototipo robótico el cual por su diseño, morfología, accionadores, sensores, entorno abierto, cuenta con características cercanas a los ambientes industriales.

Esto abre nuevas oportunidades de adoptar el método de diseño descriptivo empleado en la ingeniería a diferentes áreas del diseño como lo es el electrónico, eléctrico, mecatrónico, de procesos, entre otros, apoyados de un software tipo CAD adecuado para el tipo de diseño a desarrollar.

## Referencias

- [1] Barrientos, A., Peñin, L., Balaguer C., Aracil R. "Fundamentos de Robótica". McGraw Hill, México, primera edición, 1997.
- [2] Avella E., Plazas R. "Laboratorio Virtual Para Simular el Robot de dos Articulaciones ELBOW". Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Ingeniería Electrónica, 2010.
- [3] Gómez A., Lafuente R., Rebollar C., Hernández M., Olguín E., Jiménez H., Rivas E., Rodríguez J. "Design and Construction of a Didactic 3-DOF Parallel Links Robot Station with a 1-DOF Gripper", J. Appl Res Technol, vol. 12, no. 1, Feb. 2014, pp.
- [4] Gómez, S. "SolidWorks Simulation". Ra-Ma, Paracuellos de Jarama, Madrid. 1 Ed. (2010).
- [5] Gwen S. "Project-based learning: a primer" Technology and Learning". The Resource for Education Technologies. USA. vol. 23, no 6, pp 20-30, 2003.
- [6] Malik, S., Verma, G. "Autodesk Fusion 360 Black Book". CAD/CAM/CAE Works. USA. 2017.
- [7] Rubenstein M., Cimino B., Nagpal R., Werfel J. "AERobot: An affordable one-robot-per-student system for early robotics education". 2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pp. 6107-6113. Seattle, WA, 2015.
- [8] Ollero B." Robótica: Manipuladores y robots móviles". Alfaomega Marcombo, Primera edición, 2001.
- [9] "Parker P series Direct Drive Rotary Motors".  
<http://www.parker.com/parkerimages/Parker.com/Literature/Electromechanical%20North%20America/CATALOGS-BROCHURES/P%20Series%20Direct%20Drive%20Motor/DirectDriveMotors.pdf>. 2016.
- [10] "Parker P Series Servo Motors".  
[https://www.parker.com/literature/Electromechanical%20North%20America/CATALOGSBROCHURES/PSeries/PMotorSpecs\\_FCL80.pdf](https://www.parker.com/literature/Electromechanical%20North%20America/CATALOGSBROCHURES/PSeries/PMotorSpecs_FCL80.pdf). 2016.
- [11] "Robótica". Retrieved from: <http://www.etitudela.com/profesores/rpm/rpm/downloads/robotica.pdf>
- [12] Said M." Principles of robot modelling and simulation". John Willey and Sons, 1 Ed. 1993.
- [13] Spong M. "Proyect based control education". Proc. 7th IFAC Symp. Advances in Control Education, Madrid, Spain, pp. 40-47, 2006.
- [14] Spong M., Vidyasagar M. "Robot dynamics and control", John Wiley & Sons, 1 Ed. 1989.
- [15] Ulrich K., Eppinger Steven, Product design and development, Ed. Mc. Graw Hill Companies, Inc., 2004.
- [16] Vasquez J. "Análisis y diseño de piezas con CATIA V5". Marcombo. (2 ED.), 2012.