



# ESTUDIO DINÁMICO DEL REDISEÑO DE UN ROBOT MANIPULADOR RECONFIGURABLE DE DOS GRADOS DE LIBERTAD POR MEDIO DE ANÁLISIS DE ELEMENTO FINITO



Conference Proceedings ICONIS – VI 2022.  
Barcelona-España, Octubre 27-28, 2022. Pag. XX-XX

ISSN (Online): 2711-3310

**David, Fuentes Diaz\***

**Adriana, Salinas Avila**

**Israel Ulises, Ponce  
Monarrez**

*Instituto de Ingeniería y  
Tecnología, Universidad  
Autónoma de Ciudad Juárez,  
al206570@alumnos.uacj.mx*

*Instituto de Ingeniería y  
Tecnología, Universidad  
Autónoma de Ciudad Juárez,  
adriana.salinas@uacj.mx*

*Instituto de Ingeniería y  
Tecnología, Universidad  
Autónoma de Ciudad Juárez,  
israel.ulises@uacj.mx*

**Resumen:** *Este escrito presenta el análisis del rediseño de un robot manipulador reconfigurable de dos grados de libertad. El sistema original puede ser reconfigurado en cuatro espacios de trabajo. El rediseño propuesto es evaluado mediante simulación de movimiento para estimación de los pares requeridos por los actuadores del robot y análisis de elemento finito para verificación de esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad de piezas que conforman el mecanismo. Los resultados obtenidos son comparados respecto a los del mecanismo original.*

**Palabras clave:** *análisis de elemento finito, robot manipulador reconfigurable, simulación de movimiento.*

## 1 INTRODUCCIÓN

Con el desarrollo de la tecnología de aplicaciones informáticas, la simulación por ordenador se ha convertido en un medio para el desarrollo de investigación científica, desempeñando un importante proceso para la demostración de viabilidad, búsqueda de mejores

soluciones y el diseño de proyectos de acuerdo con la aplicación (Lu et al., 2014).

Actualmente, en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez se cuenta con un sistema robótico experimental de dos grados de libertad manualmente reconfigurable (Figura 1), de articulaciones rotacionales. Debido a que los actuadores están directamente conectados a las articulaciones, la conexión del segundo actuador merma la libre rotación. Además, las configuraciones nombradas en Fuentes et al. (2019) como Manipulador con carga gravitacional (A) y (B) presentan el desplazamiento el centro de masa del eje central del eslabón 1, otorgando asimetría. Para solventar estas desventajas se ha realizado un nuevo diseño (Figura

---

\* Citation: Fuentes-Diaz, D., Salinas, A. and Ponce, I.U. (2022). Estudio dinámico del rediseño de un robot manipulador reconfigurable de dos grados de libertad por medio de análisis de elemento finito. *Conference Proceedings of the International Congress on Innovation and Sustainable*, Barcelona-España, October 27-28, 2022, p.p. XX-XX.

## Estudio dinámico del rediseño de un robot manipulador reconfigurable de dos grados de libertad por medio de análisis de elemento finito

2), que cuenta con dos configuraciones adicionales a las del primer diseño.

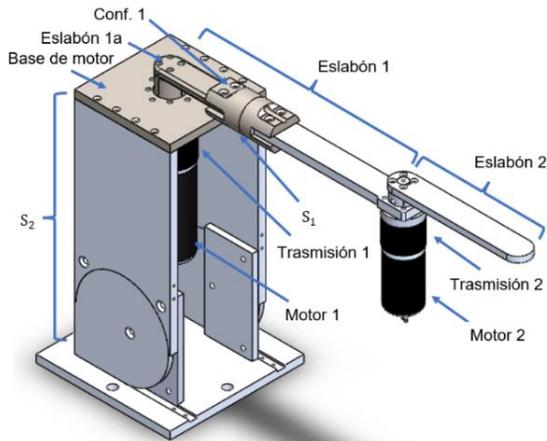


Figura 1. Diseño previo del mecanismo.

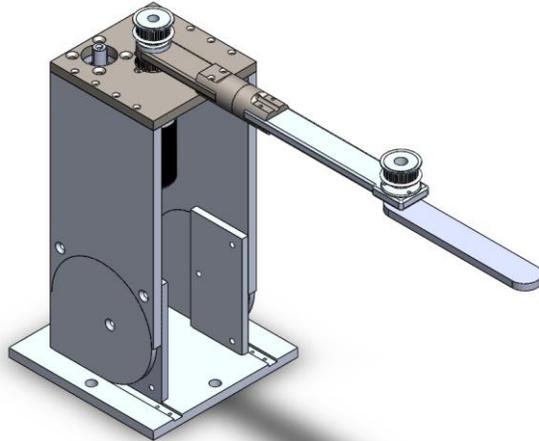


Figura 2. Propuesta del rediseño del mecanismo.

Como aportación de este documento se presenta el análisis dinámico del nuevo diseño implementado mediante simulación de movimiento. Es replicada la trayectoria programada en diseño original con la finalidad de obtener del estudio la aproximación de los pares y los valores otorgados por el análisis de elemento finito, para comparación y validación del desempeño de la propuesta de rediseño, desde SolidWorks.

## 2 MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

Para el análisis de mecanismos, el método de Análisis de Elemento Finito (FEA) es una herramienta que permite realizar diferentes tipos de ensayos para la medición de las características de la pieza ante el material propuesto. Esta herramienta es de utilidad en la reducción de costos de fabricación, optimización de diseño, determinación de fatiga y cantidad de ciclos sin falla (King, 2018). Los resultados obtenidos de la simulación permiten al diseñador elegir los materiales adecuados en relación con las cargas a las que la estructura será sometida. El uso de esta herramienta ha sido documentado en diferentes trabajos de investigación en el área de robótica; para modelado cinemático de robots de material blando (Runge et al., 2017), en la dinámica de un robot flexible con diferentes tipos de articulaciones (My et al., 2019), en la detección basada en la visión de fuerzas externas (Zhang et al., 2018), análisis de la cinemática y mejoramiento geométrico de un brazo robótico industrial (Raza et al., 2018).

Adicionalmente, como parte del estudio del diseño mecánico, software como SolidWorks cuenta con paquetes de análisis, como lo es SolidWorks Motion que puede ser utilizado para la estimación de las fuerzas (pares) requeridas en las articulaciones, esto mediante simulaciones de movimiento del diseño (Chang, 2021). Lo cual es de utilidad durante el proceso de instrumentación en

la selección de los actuadores del robot manipulador.

El proceso de diseño mediante el análisis de elementos finitos (FEA) es una metodología base para la industria y su uso se ha incrementado a través de los años debido a sus aplicaciones en soluciones numéricas a problemas de tensiones. Para una aplicación práctica, el análisis de elementos finitos suele consistir en los siguientes tres pasos principales: preprocesamiento, análisis y postprocesamiento (Roylance, 2001).

### 3 METODOLOGÍA

Son utilizados los complementos Motion y Simulation de SolidWorks para la obtención de los valores de tensión, deformación y factor de seguridad, así como para la estimación de los pares de los actuadores del nuevo diseño mostrado en la Figura 2. Esta combinación permite realizar análisis dinámicos de piezas en movimiento y piezas estáticas que reciben esfuerzos por el movimiento de otras piezas. Para este análisis se toman las características y parámetros de simulación utilizados en el diseño inicial descrito en (Fuentes et al., 2019) bajo ciertos cambios en la asignación de posición de los motores, véase la Tabla 1.

Se establecen los siguientes parámetros de simulación y análisis avanzado: Tipo de integrador: SI2 GSTIFF (método Index-2 estabilizado); número máximo de iteraciones: 25; tamaño del paso inicial del integrador: 0.0001; tamaño del paso mínimo del integrador: 0.0000001;

tamaño del paso máximo del integrador: 0.01; reevaluación Jacobiana: Cada iteración.

Tabla 1. Características de simulación

Datos	Valor o característica
Motores (Posicionamiento)	Motores: Los motores están conectados directamente al eje de las transmisiones, ambos actuadores se encuentran fijados en la base. La transmisión de fuerza de los actuadores a los eslabones es aplicada por medio de bandas.
Acción (Movimiento)	Motor 1: Realiza un movimiento de 360° oscilante (onda sinusoidal). Motor 2: Mantiene una velocidad constante de 100 RPM.
Material	Eslabón 1: Acero laminado en frío y aluminio extruido. Eslabón 2: Aluminio extruido.
Frecuencia	Motor 1: 1 $hz$ o $2 \pi rad/s$ Motor 2: 1.66 $hz$ o $10.47 rad/s$
Gravedad	9.81 $m/s^2$

Fuente: elaboración propia.

El siguiente paso sería la asignación de relaciones de movimiento y dirección de la gravedad en el sistema mecánico. Esto con el propósito de asemejar lo más posible el análisis dinámico al movimiento real. En las Figura 3 se muestra la asignación de relación de correa al rediseño propuesto, para la realización de las simulaciones.

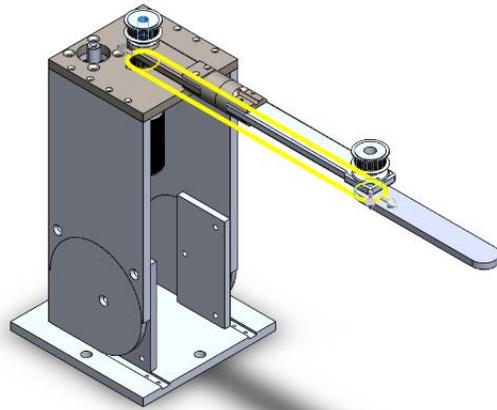


Figura 3. Asignación de movimiento por correa.

#### 4 RESULTADOS

Primeramente, son mostrados los pares requeridos por los actuadores dado un movimiento establecido del diseño previo y el nuevo diseño, después los valores obtenidos de deformación URES en milímetros (mm), tensión de Von Mises en newton sobre metro al cuadrado ( $\frac{N}{m^2}$ ) y Factor de seguridad (FDS) de las piezas analizadas.

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos de par requerido del análisis de movimiento en las cuatro configuraciones. La Tabla 2, presenta la estimación de los pares para la selección de actuadores del primer diseño (Figura 1), y en la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos para el diseño propuesto (Figura 2).

Tabla 2. Pares necesarios, versión anterior.

Configuración	Motor 1	Motor 2
Planar en horizontal	12.542 Nm	1.239 Nm
Planar en la vertical	12.564 Nm	1.136 Nm
Manipulador con carga gravitacional (a)	13.982 Nm	1.213 Nm
Manipulador con carga gravitacional (b)	13.624 Nm	1.313 Nm

Tabla 3. Pares necesarios, nueva versión.

Configuración	Motor 1	Motor 2
Planar en horizontal	3.50216 Nm	0.305060 Nm
Planar en la vertical	3.57200 Nm	0.279569 Nm
Manipulador con carga gravitacional (a)	4.06505 Nm	0.883672 Nm
Manipulador con carga gravitacional (b)	3.75686 Nm	0.956319 Nm

Para esta presentación únicamente son mostrados los resultados obtenidos para tres de las piezas en la configuración planar en la horizontal. Esto para evaluar su desempeño respecto al movimiento

trazado. Las piezas seleccionadas para esta presentación son: Base del motor (donde son montados los actuadores), Eslabón 1a (colocado en la articulación 1) y Conf. 1 (pieza uno de dos que compone al sistema de ajuste  $S_1$ ). En la Tabla 4 se muestran las tensiones y deformaciones máximas encontradas, así como el Factor de seguridad de las piezas evaluadas dado el movimiento descrito.

Tabla 4. Resultados de tensión, deformación y FDS.

Pieza	Tensión (von Mises) $N/m^2$	Deformación mm	FDS
Base de Motor	5.160e+07	0.02460	6.8
Eslabón 1a.	9.854e+06	0.001928	36
Conf. 1.	9.417e+06	0.89600	37

#### 5 CONCLUSIONES

Los resultados de simulación efectuados para la estimación de pares requeridos, permite visualizar que para el primer actuador se redujo dos terceras partes el par necesario a aplicar, siendo esto de beneficio para una futura implementación de herramienta y traslado de carga. Además, el análisis dinámico realizado para tres piezas rediseñadas arrojó factores de seguridad mínimos mayores a 6.8 unidades, estando estos por arriba de valores de diseño deseados que se encuentra entre 1 y 3. Tales resultados permiten dictaminar que el diseño propuesto cuenta con la seguridad necesaria para la aplicación del rediseño y su implementación.

## 6 REFERENCIAS

- Chang, K. H. (2021). Motion Simulation and Mechanism Design with SOLIDWORKS Motion 2021. SDC publications.
- Fuentes-Díaz, D., Salinas, A., De la Torre, D., & Ponce, I. U. (2019). Application of simulation and analysis tools for design of a two degrees of freedom robot manipulator with manual configuration of the workspace. *Pistas Educativas*, 41(134).
- King, R. H. (2018). Finite element analysis with SOLIDWORKS Simulation. Cengage Learning.
- Lu, P., Cheng, D. L., Shi, G., Zhou, Z. H., & Li, N. K. (2014). Motion Simulation and Finite Element Analysis of the Manipulator Based on SolidWorks. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 596, pp. 640-645). Trans Tech Publications Ltd.
- My, C. A., Bien, D. X., Le, C. H., & Packianather, M. (2019). An efficient finite element formulation of dynamics for a flexible robot with different type of joints. *Mechanism and Machine Theory*, 134, 267-288.
- Raza, K., Khan, T. A., & Abbas, N. (2018). Kinematic analysis and geometrical improvement of an industrial robotic arm. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 30(3), 218-223.
- Roylance, D. (2001). Finite element analysis. Department of Materials Science and Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Runge, G., Wiese, M., Günther, L., & Ratz, A. (2017, April). A framework for the kinematic modeling of soft material robots combining finite element analysis and piecewise constant curvature kinematics. In *2017 3rd International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR)* (pp. 7-14). IEEE.
- Zhang, Z., Dequidt, J., & Duriez, C. (2018). Vision-based sensing of external forces acting on soft robots using finite element method. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 3(3), 1529-1536.