

# Proyecto: Mecanismo Servo-Gripper

Dinámica Computacional de Sistemas Multicuerpo

Camilo Andres Vera Ruiz

[caverar@unal.edu.co](mailto:caverar@unal.edu.co)

## 1. Resumen

En este informe se presenta el planteamiento de un mecanismo de Gripper, incluyendo su respectivo modelado así como su simulación dinámica mediante Autodesk Inventor. Inicialmente se selecciona un mecanismo preexistente a partir del cual, se aproximan las magnitudes por medio de una simulación dinámica preliminar en el plano mediante Inventor. A partir de allí se define un alcance para la simulación dinámica completa, donde se llega a la conclusión que lo mas conveniente es trabajar el mecanismo únicamente con los elementos que se mueven en el plano, despreciando la fricción, de tal forma que sea posible realizar una comparación satisfactoria con futuros resultados de una implementación computacional. A continuación se desarrolla el diagrama cinemático así como el cálculo de movilidad, luego se desarrolla el CAD del mecanismo en 3D, con el fin de obtener las magnitudes de las masas y los momentos de Inercia de cada eslabón. Finalmente se plantea una ecuación de gobierno cinemático y se realiza la simulación del mecanismo mediante un ensamble en 3D, incluyendo al final del documento los resultados obtenidos, para las cargas resultantes en las juntas rotacionales, la fuerza necesaria para la imposición del gobierno cinemático, y la cinemática de un punto de interés en concreto de las mordazas del Gripper.

## 2. Planteamiento y Funcionamiento del Mecanismo

Se plantea desarrollar el análisis y simulación del mecanismo de un efector final pensado para un manipulador serial, el cual es utilizado para la sujeción y transporte de piezas. El diseño original tiene su origen en una animación de un canal en YouTube especializado en la simulación de mecanismos [1]. En la Figura 1 se presenta una captura de la animación.



Figura 1: Mecanismo Original [1]

Cabe añadir que el tornillo de avance es bastante compacto, probablemente debido a que el mecanismo está pensado para ser utilizado con servomotores de bajo costo, que usualmente tienen un rango de movimiento restringido, por lo tanto el mecanismo debe estar dispuesto para que el eslabón verde pueda avanzar y retroceder completamente, sin que el motor alcance el rango máximo de posición del motor, que suele estar en un rango típico de unos 180° aproximadamente, para los servomotores más económicos del mercado.

The drawing shows a mechanical part with the following dimensions and features:

- Overall Dimensions:**
  - Top width: 29 (left) + 29 (right) = 58.
  - Bottom width: 20 (left) + 20 (right) = 40.
  - Left height: 10 (top) + 15 (middle) + 10 (bottom) = 35.
  - Right height: 10 (top) + 15 (middle) + 10 (bottom) = 35.
- Internal Features:**
  - A central vertical slot with a width of 10.
  - A central horizontal slot with a height of 10.
  - Four diagonal slots, each with a width of 10 and a height of 15.
  - Four small rectangular slots, each with a width of 8 and a height of 10.
- Green Square Highlight:** A green square highlights a central area with a width of 20 and a height of 20.

Figura 2: Simulación Dinámica y dimensiones del mecanismo en 2D.

### 3. Alcance de Proyecto

Dado que el mecanismo cuenta con varios eslabones, y se pretende realizar una comparación con una implementación computacional, se plantean algunas simplificaciones que faciliten la implementación a nivel de programación, por este motivo se decide ignorar la fricción en las juntas rotacionales, y se toman únicamente los eslabones cuyo movimiento se da en el plano, de tal forma que la entrada de movimiento al mecanismo, se encuentra directamente en el eslabón central de color verde, que se muestra en la figura 1. Se puede decir que esta simplificación es bastante razonable, ya que a partir de las fuerzas en el eslabón central, es posible calcular el torque requerido para el motor, conociendo las características del tornillo de avance, por otro lado se espera que la fricción en las juntas rotacionales, no sea significativa en los valores resultantes de las cargas en las juntas y en la fuerza impuesta en el eslabón central.

Teniendo en cuenta que se trata de un Gripper pensado para pick and place, se plantea una condición de carga simplificada, en la que un peso constante de 1N (aproximadamente 100 gramos) es aplicado en las mordazas del mecanismo (0.5N en cada mordaza) con el objetivo de simular el peor caso de carga para el mecanismo, un objeto flexible que únicamente será depositado una vez que las mordazas se abran completamente. De esta manera en la simulación solo se tendrán las fuerzas de gravedad y los dos pesos de 0.5N impuestos sobre cada mordaza.

De la simulación, se plantean como relevantes, las magnitudes absolutas de las fuerzas en cada junta, la fuerza requerida para mover el eslabón central, y la posición, velocidad y aceleración de una de las mordazas, ya que el mecanismo es simétrico, solo es necesario analizar una de ellas.

### 4. Diagrama cinemático y cálculo de movilidad

A partir de las simplificaciones planteadas se infiere que un diagrama cinemático en el plano, es suficiente para describir el mecanismo. En la Figura 3 se muestra el diagrama cinemático desarrollado en el software draw.io, donde se muestran 10 eslabones, 12 juntas rotacionales enumeradas de R1 a R12, y una junta prismática P1 que gobierna al mecanismo por medio del eslabón 5, el cual corresponde al eslabón central color verde de la Figura 1, es decir aquel cuyo movimiento es producido por el tornillo de avance y por lo tanto por el servomotor. También hay dos puntos de interés A y B que representan el punto medio de las mordazas color negro en la figura 1, las cuales nunca llegan a tocarse puesto que el mecanismo no está pensado para la sujeción de elementos muy delgados.

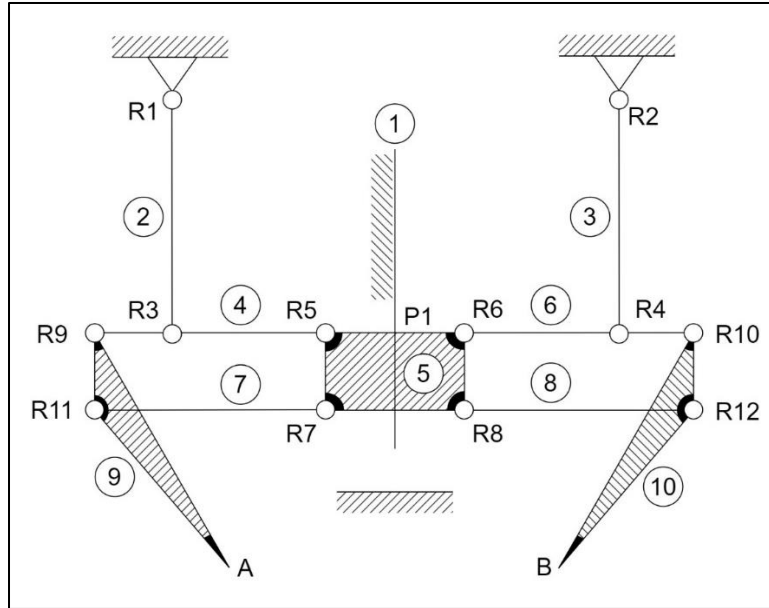


Figura 3: Diagrama Cinemático del mecanismo plano.

Con el diagrama se plantea el cálculo de la movilidad mediante la ecuación de Grübler:

- # Eslabones (n): 10
- # Juntas 1 GDL (J1): 12 Rotacionales + 1 Prismática
- # Juntas 2 GDL (J2): 0

$$m = 3(n - 1) - 2J_1 - J_2 = 3(10 - 1) - 2(13) - (0)$$

$$m = 27 - 26 = 1$$

Como se puede evidenciar en la expresión matemática anterior, la movilidad es la esperada teniendo en cuenta que solo hay un elemento de gobierno en el mecanismo, por lo cual es razonable pensar que el diagrama cinemático está planteado apropiadamente.

## 5. Diseño CAD y Dimensiones

A partir del boceto simplificado del mecanismo, se procede a desarrollar un modelo completo en 3D, con el fin de asignar un material, calcular masas, inercias, y ajustar adecuadamente la sujeción de los eslabones para que el modelo represente un prototipo realista del mecanismo. No se incluyen ni el eje roscado ni el motor, dado que no son relevantes para la simulación, sin embargo no descarta añadirlo en el futuro para claridad del ensamble.

En la Figura 4 se muestra un ensamble del mecanismo, en color amarillo se muestra la bancada, en color blanco el eslabón 5 que gobierna el mecanismo, en color rojo los acopladores que transmiten el movimiento, en color gris las mordazas, y en color negro los pines que actúan como las uniones de las juntas rotacionales.

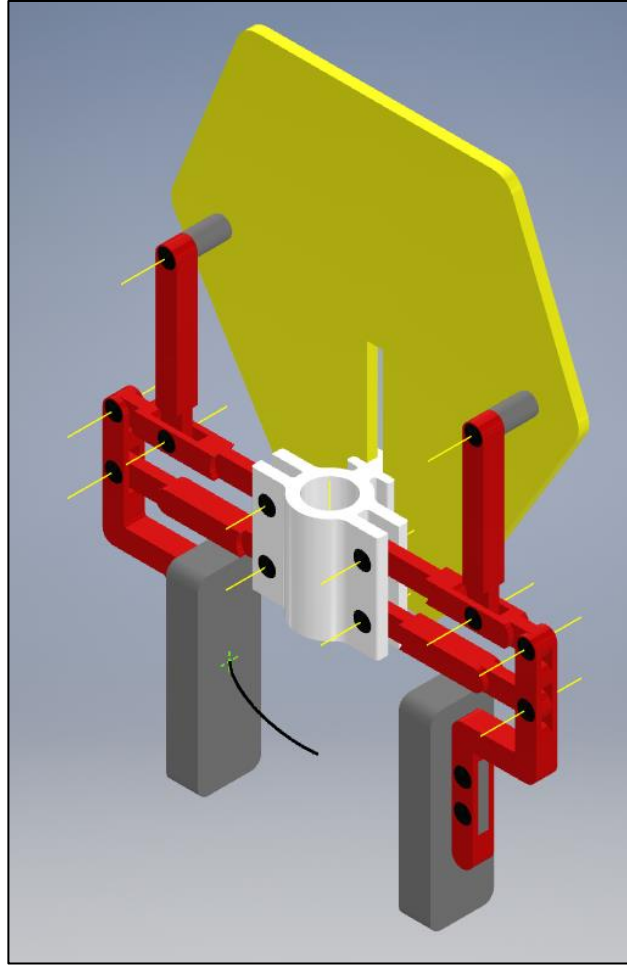


Figura 4: Ensamble del mecanismo en 3D.

El material seleccionado fue aluminio 6061, dado que se trata de un Gripper, el cual debe ser lo mas ligero posible para maximizar el payload de un robot. Las juntas rotacionales son tan pequeñas que no es posible el uso de rodamientos, además de no ser representativo de un producto real pues incrementaría los costos, motivo por el cual los bujes de color negro, serian tornillos o remaches metálicos, en este caso también se les asigno aluminio como material.

Los eslabones de color rojo tienen un perfil cuadrado de 4mm x 4mm, con aberturas para el eslabonamiento y ensamble.

En la tabla 1 se presentan las magnitudes relevantes de cada a eslabón, su masa, su momento de inercia con respecto al eje z perpendicular al plano del mecanismo, así como su magnitud en milímetros.

Tabla 1: Magnitudes de los Eslabones del Mecanismo

Eslabón	Magnitud (mm)	Masa (g)	$I_{zz} (g \text{ mm}^2)$
1		<i>Bancada</i>	
2	30	1.2216	89.0954
3	30	1.2216	89.0954
4	30	0.8591	62.3255
5	23 x 20	8.1075	55.0160
6	30	0.8591	62.3255
7	30	0.9878	61.4218
8	30	0.9878	61.4218
9	20 x 12	9.1413	1535.6818
10	20 x 12	9.1413	1535.6818

## 6. Ecuación de Gobierno

Dado que el mecanismo es controlado por un servomotor de bajo costo, se intuye que se trabaja con velocidad constante, por lo tanto la condición de gobierno de carácter cinemático, se plantea como una rampa ascendente y luego descendente, que desplaza el eslabón 20 mm hacia abajo, y luego lo retrocede en 20mm, durante un tiempo total de 1s. Matemáticamente esto se puede expresar con una función a trozos como la que se muestra a continuación.

$$R_y^5(t) = \begin{cases} -40t & \text{si } t \leq 0.5s \\ 40t - 20 & \text{si } t > 0.5s \end{cases}$$

Una representación gráfica de la ecuación de gobierno planteada en Inventor, se muestra en la figura 5.

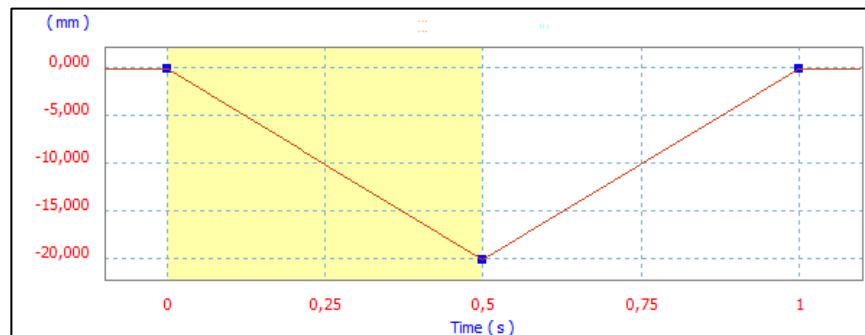


Figura 5. Grafica de la ecuación de gobierno cinemático.

## 7. Resultados de Simulación en Inventor

Con todas las condiciones de carga y gobierno cinemático definidas, se procede a ejecutar la simulación dinámica con 100 pasos para 1 segundo de tiempo. Desde la Figura 6 a la Figura 11, se muestran los resultados para las fuerzas en las Juntas rotacionales. Teniendo en cuenta que el mecanismo tiene simetría con respecto al eje y, estas fuerzas serán iguales en pares de juntas.

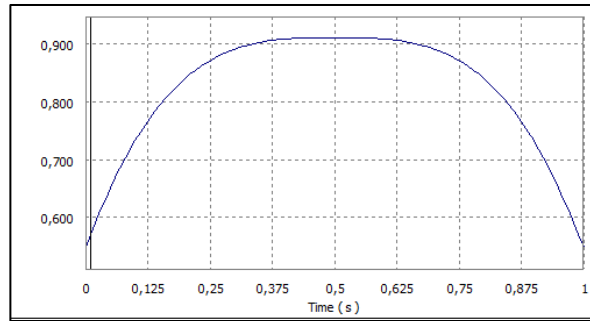


Figura 6: Fuerza total en la Juntas R1 y R2 (Newtons).

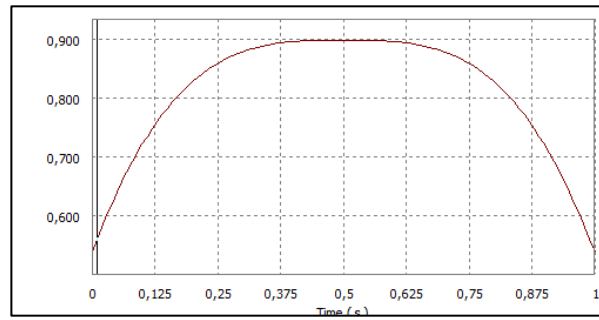


Figura 7: Fuerza total en la Juntas R3 y R4 (Newtons).

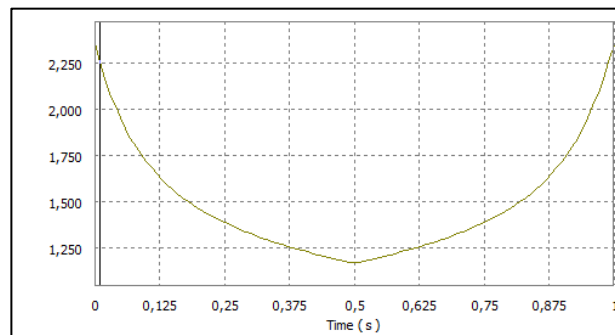


Figura 8: Fuerza total en la Juntas R5 y R6 (Newtons).

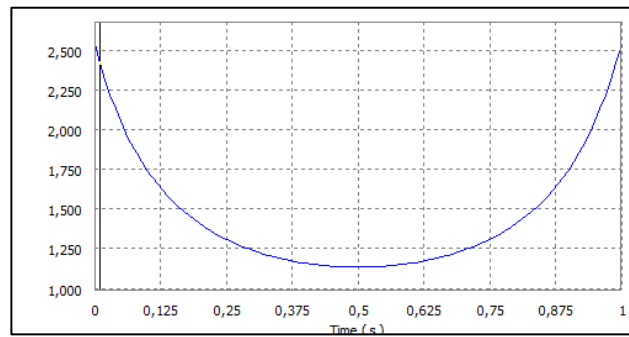


Figura 9: Fuerza total en la Juntas R7 Y R8 (Newtons).

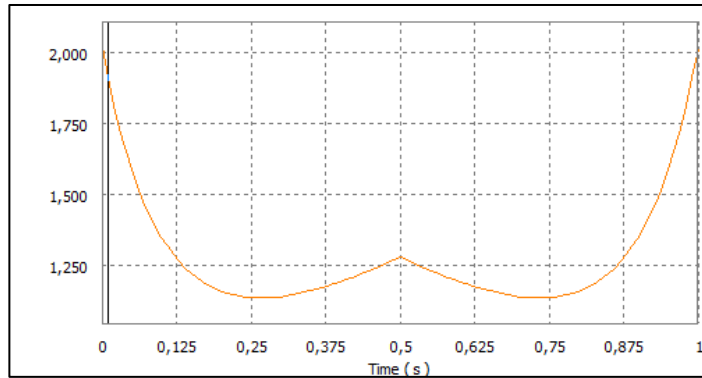


Figura 10: Fuerza total en la Juntas R9 y R10 (Newtons).

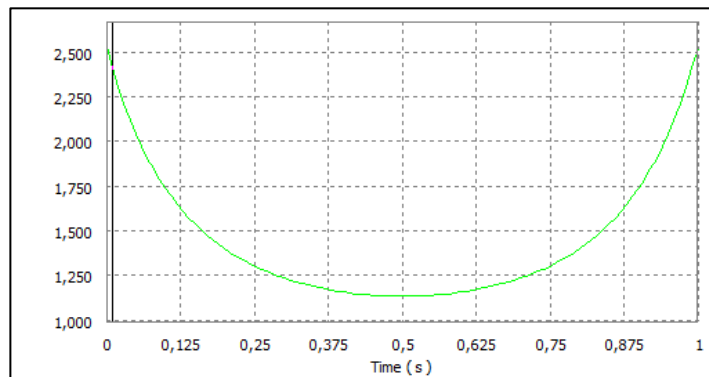


Figura 11 : Fuerza total en la Juntas R11 y R12 (Newtons).

En la Figura 12 se muestra el resultado de la fuerza requerida para ejecutar el movimiento en la junta prismática.

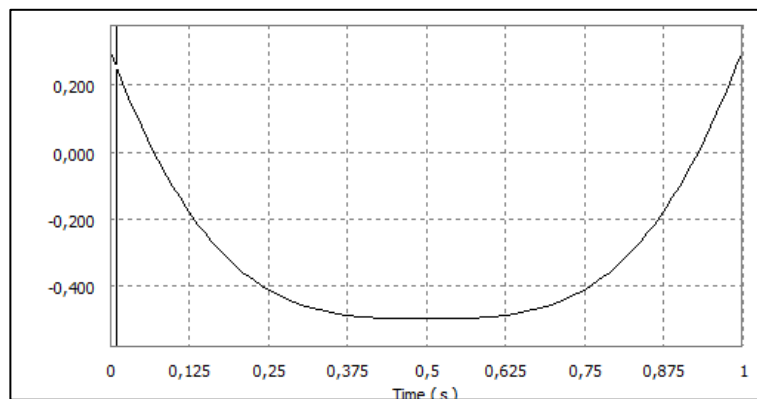


Figura 12 : Fuerza ejercida en la junta prismática (Newtons).

En las Figuras 13, 14 y 15 se muestran los valores absolutos de posición, velocidad y aceleración del punto A ubicado sobre la mordaza izquierda.



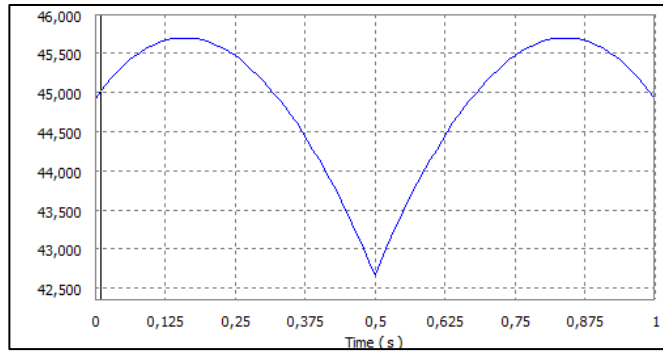


Figura 13 : Posición del Punto A (mm).

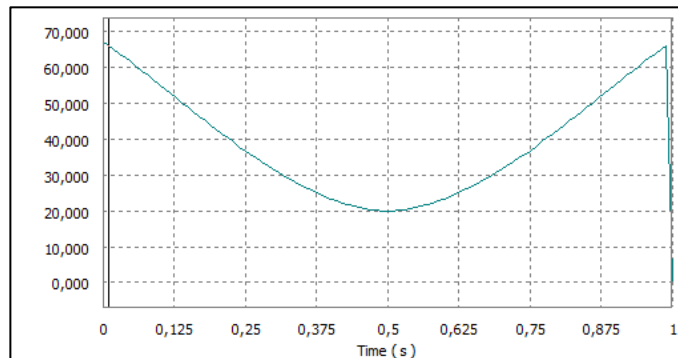


Figura 14 : Velocidad del Punto A (mm/s).

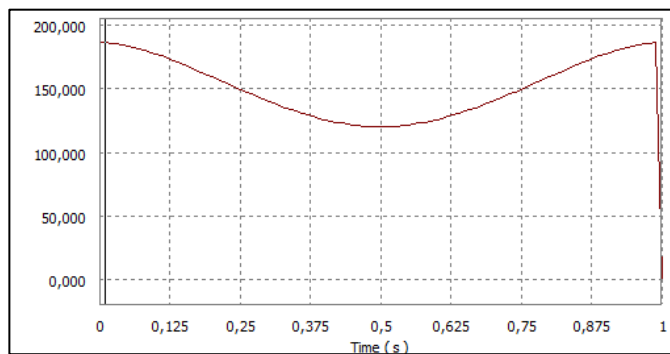


Figura 14 : Aceleración del Punto A (mm/s).

## 8. Conclusiones

- Los resultados obtenidos corresponden a lo esperado, debido a que las masas y las cargas son tan pequeñas, las fuerzas resultantes también son bastante pequeñas.
- En todas las gráficas se evidencia el cambio en la velocidad en la mitad de la simulación, y no se observa ninguna consecuencia en el repentino cambio de una velocidad constante a otra, lo cual indica que no es necesario plantear una ecuación de gobierno cinemático que incluya un perfil de velocidad que limite la aceleración máxima.

- Como se esperaba, debido a la simetría del mecanismo, las fuerzas en juntas opuestas son iguales en magnitud.

## 9. Referencias

- [1] M. Numan, "Robotic Gripper Save and Make Design" 2022, [En línea]. Disponible en: <https://www.youtube.com/shorts/Go2qCykVICA>
- [2] A. A. Shabana, "Computational Dynamics," 3rd ed. John Wiley & Sons, 2009.