

Investigación de Diseño de un Actuador de Doble Efecto Rotativo

Vargas Hermo Carlos Enrique y Juárez Campos Ignacio.

División de Estudios de Posgrado, Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo Teléfono (+52) (443) 322 3500, Avenida Francisco J. Mujica S/N Ciudad Universitaria, C.P. 58030, Morelia, Michoacán, México.

Resumen

En disposición de realizar un actuador novedoso en comparación con los existentes; aprovechando el buen rendimiento de los actuadores lineales, se propone el diseño de un actuador de doble efecto rotativo para obtener dos tipos de movimiento. Este trabajo investiga el comportamiento dinámico de un nuevo modelo de actuador, el cual transforma el movimiento lineal en un movimiento de rotación. El diseño del actuador se basa en un cilindro de doble efecto que desplaza un émbolo, éste a su vez unido a un elemento de rotación por medio de un sistema de barras, genera un desplazamiento angular en el actuador. Específicamente este artículo se centra en las características del movimiento del émbolo (movimiento lineal), el rotor (movimiento de rotación) y las conexiones entre ellos; obteniendo con la simulación del sistema, el tipo de unión que debe existir para generar el comportamiento deseado, así como las limitantes del mismo.

Palabras claves: Actuador, actuador lineal, actuador rotativo, cambio de movimiento, cilindro doble efecto, dinámica.

1. Introducción

Un actuador es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico [1]. Dependiendo del origen de la fuerza el actuador se denomina “neumático”, “hidráulico” o “eléctrico” [1].

Los actuadores se utilizan en una gran gama de campos, tanto en robótica, sistemas teleoperados, prótesis etc. [2,3,4]. Este tipo de proyectos requieren un sistema de actuación con características específicas, las cuales son obtenidas con la unión de varios tipos de actuadores en la mayoría de los casos. El diseño de nuevos actuadores que resuelvan de manera individual el comportamiento de un proyecto, abre un potencial de opciones a elegir en la industria moderna [5,6,7]. Dentro de los actuadores para nuestro interés existen dos: cilindro de doble efecto y actuador rotativo [1]; ya que la unión de éstos representa el diseño del actuador estudiado en este trabajo.

1.1 Nomenclatura

R = Radio del rotor

r = Radio del émbolo l = Longitud del eslabón de unión

d = Distancia de desplazamiento del émbolo

θ = Ángulo de movimiento del rotor

A = Punto de conexión barra – émbolo

A' = Proyección punto A, cara frontal rotor

AF = Posición final punto A

B = Punto de conexión barra – rotor

BF = Posición final punto B

C = Centro del actuador
 C' = Proyección punto C , cara frontal rotor
 m = Distancia $A' - B$

1.2 Diseño del actuador

La unión de el cilindro de doble efecto y un actuador rotativo, da como resultado el actuador presentado en este artículo, la conjunción de dos tipos de actuadores en uno, con lleva un trabajo especial en el elemento que une a cada una de las partes, es decir, el sistema de barras entre el émbolo que se desplaza linealmente y el rotor que genera el movimiento angular. El diseño del actuador se puede apreciar en la Figura 1.

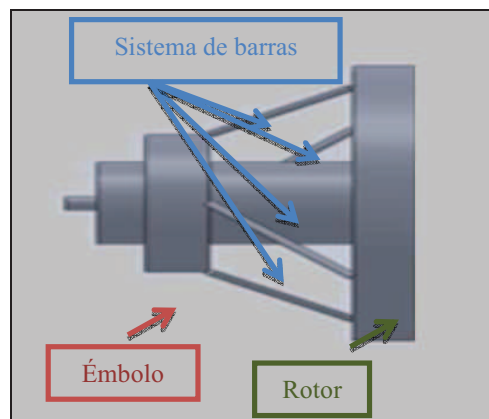


Figura 1. Diseño del actuador de doble efecto rotativo.

El diseño del actuador no tiene antecedentes similares, es decir, es novedoso y a su vez su aplicación no es específica; puede utilizarse en diferentes sistemas ya que es posible el aprovechamiento de los dos tipos de movimiento, lo que lo convierte en un actuador con mayor versatilidad que cualquier actuador con movimiento singular.

El comportamiento dinámico del actuador de doble efecto rotativo es gobernado por:

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{R^2 + r^2 - l^2 + d^2}{2rR} \right) \quad (1)$$

La ecuación (1) se obtiene de un análisis al diseño del sistema que se aprecia en la Figura2, donde se aprecia que la distancia entre los puntos $A-A'$ y la longitud (l) del eslabón de conexión, se puede relacionar con la distancia m , por un triángulo rectángulo.

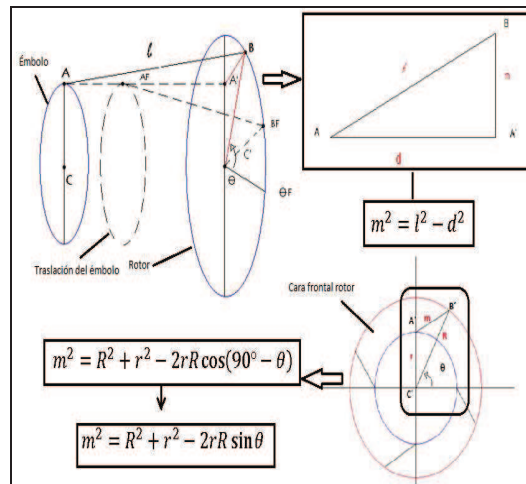


Figura 2. Análisis matemático del actuador de doble efecto rotativo.

La proyección de los puntos C y A en la cara frontal del rotor nos permite relacionar la distancia m con el ángulo de desplazamiento θ , y a su vez sustituir la primera relación obtenida, para así encontrar la ecuación gobernante de nuestro sistema mostrada en la ecuación (1).

Sin embargo, el análisis matemático no es suficiente para validar el diseño del proyecto, por lo cual la simulación del mecanismo es necesaria a fin de comprobar su funcionamiento así como sus limitantes.

2. Desarrollo

Ya que el propósito del trabajo es analizar el actuador en su comportamiento dinámico, es posible reducir su construcción dentro de la simulación, ya que la interpretación de resultados no involucra análisis de fuerzas, torque etc. Por lo que la simulación sólo incluirá la representación del émbolo, el rotor y una barra de conexión, aunque el diseño cuenta con cuatro barras; ya que con un solo eslabón de conexión es posible simular el comportamiento a analizar en este trabajo.

Para su simulación se utiliza la plataforma de Ansys Workbench. En primer lugar se construye la geometría del proyecto, como se mencionó anteriormente sólo construiremos una parte del diseño para analizar la dinámica del actuador, la geometría se puede observar en la Figura 3 [8].

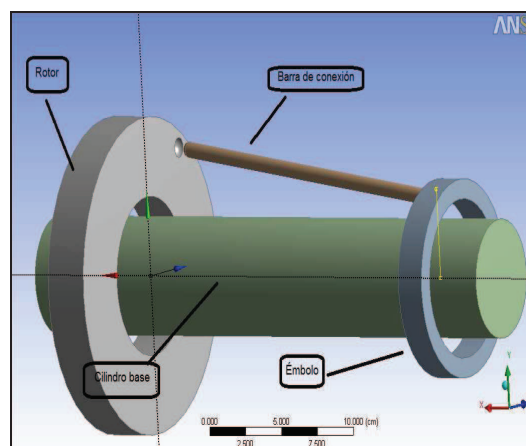


Figura 3. Geometría del proyecto.

En la Figura 3 se aprecia que en el diseño de la simulación encontramos cuatro elementos (rotor, émbolo, barra de conexión y cilindro base), éstos son suficientes para observar el movimiento de nuestro sistema.

La construcción de la geometría envuelve las dimensiones con las que se pretende construir físicamente el actuador, estas dimensiones están basadas en un cilindro de doble efecto de 126 mm de longitud con una carrera de su vástago de 75 mm [9] y en los rodamientos que fungirán como el émbolo y el rotor que tienen 100 mm y 160 mm de radio exterior respectivamente; con estos elementos se construye la geometría del proyecto, estas medidas se encuentran en la Tabla 1.

ELEMENTO	mm
Radio exterior rotor	80
Radio interior rotor	40
Ancho de rotor	20
Radio exterior émbolo	50
Radio interior émbolo	40
Ancho de émbolo	20
Radio cilindro base	30
Longitud cilindro base	360
Longitud de barra de conexión	248
Radio barra de conexión	4

Tabla 1. Dimensiones de la geometría del actuador

El cilindro base tiene medidas basadas en el grosor del vástago del cilindro de doble efecto [9], en el caso de esta simulación, sólo se utiliza para observar los movimientos del rotor y el émbolo.

Las medidas en el centro de la unión de la barra sobre el elemento rotativo, tiene coordenadas en el eje X de 40 mm y sobre el eje Y de 60 mm, generando un ángulo de desplazamiento de 33.70° con respecto a la vertical, la construcción de ésta se observa en la Figura 4.

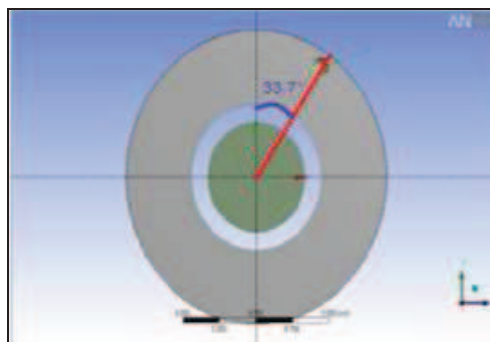


Figura 4. Geometría de conexión en elemento rotativo

La unión de la barra al rotor, presenta una inclinación con respecto a la vertical tomando como referencia el cilindro base, esta inclinación facilita el movimiento de rotación deseado en el actuador (Figura 4).

Las conexiones necesarias para el análisis son 5: la conexión fija del cilindro base, que sirve a los demás elementos, para moverse en referencia al cilindro; la conexión de traslación (cilindro base-émbolo), que simula el desplazamiento lineal del actuador, la conexión rotacional (cilindro base-rotor), que permite un movimiento giratorio alrededor del cilindro base; estas conexiones se pueden apreciar en la Figura 5.

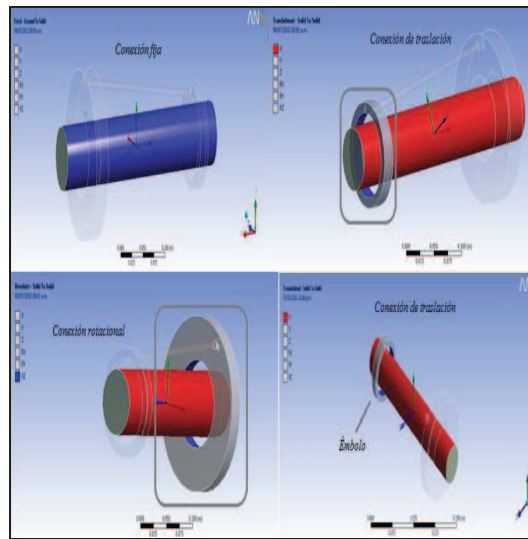


Figura 5. Conexiones fija, de traslación y rotacional.

Las conexiones de traslación y rotación presentadas en la Figura 5 permiten el movimiento lineal y giratorio del actuador; sin embargo para lograr que por medio de un movimiento lineal se genere un movimiento angular, el tipo de conexión que debe tener la barra que une a los dos elementos (émbolo y rotor) es una de las partes esenciales del trabajo.

Si la conexión de la barra en cada una de sus uniones, no es la adecuada, el actuador no desarrollará el movimiento deseado; para obtenerlo, se prueban las diferentes conexiones que el software permite, siendo la única solución satisfactoria la conexión esférica en ambas uniones de la barra, las cuales se aprecian en la Figura 6.

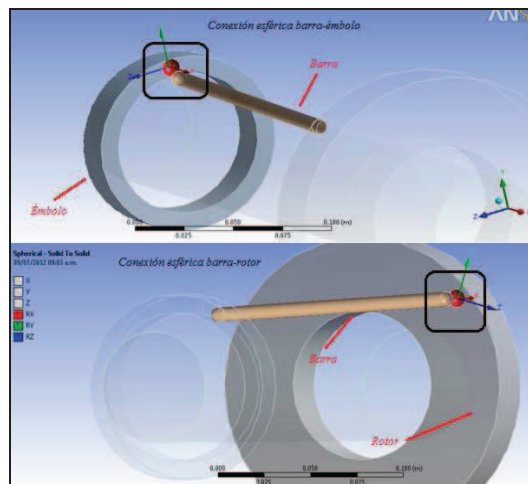


Figura 6. Conexiones esféricas.

Las conexiones esféricas permiten un movimiento en los tres ejes coordinados y es esta particularidad la que permite el movimiento deseado en el actuador, sin esta propiedad el movimiento no es posible; este tipo de conexión debe existir en los dos extremos de la barra como se aprecia en la Figura 6.

Para poder simular el actuador, se asigna movimiento al émbolo, para que éste se desplace de manera lineal con una velocidad constante; el movimiento del émbolo está limitado por las propiedades de la conexión antes asignadas, lo que permite observar el comportamiento del mecanismo.

3. Análisis de resultados

En un inicio se dan las condiciones del análisis, en la primer prueba damos como condiciones una duración de 5 segundos y sin limitaciones de movimiento, comprobando que el sistema funciona dinámicamente como se esperaba.

Sin embargo existe un detalle a considerar, debido a la geometría del proyecto, físicamente sería imposible el movimiento que se aprecia en la Figura 7, donde se puede observar que la barra de unión chocaría con el cilindro base limitando así el ángulo de desplazamiento del rotor.

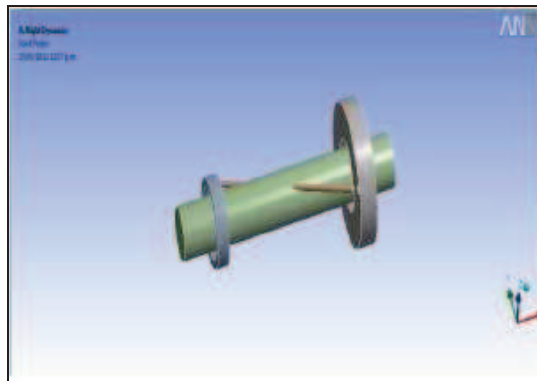


Fig. 7. Análisis sin limitaciones

Físicamente el actuador tiene un ángulo de desplazamiento máximo, el cual es determinado al observar la tabla de avance que el software proporciona (Figura 9); concluyendo que el elemento rotativo debe estar limitado a un giro de 75° aproximadamente, es decir, tomando como base la conexión de la barra, ésta se movería de su posición inicial de 33.7° a 108.7° con respecto a la vertical.

Con la finalidad de observar su comportamiento dinámico real, limitamos el movimiento en la conexión rotacional (cilindro base-rotor) que se observa en la Figura 8.

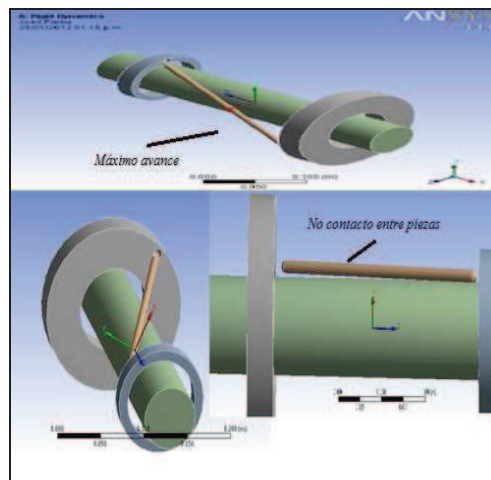


Figura 8. Análisis dinámico con limitación.

Como se aprecia en la Figura 8 el máximo avance se muestra en diferentes perspectivas, apreciando que no existe contacto entre la barra y el cilindro base, comprobando que la limitación de nuestro actuador es la adecuada.

Las gráficas de movimiento de la unión rotacional se muestra en la Figura 9, en ésta podemos observar el desplazamiento rotacional en el tiempo.

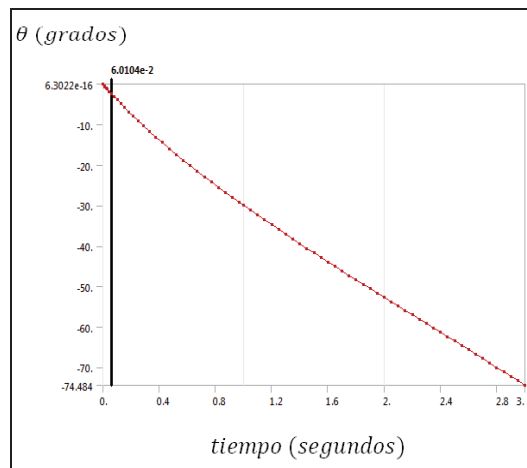


Figura 9. Gráfica movimiento rotacional

La Figura 9 muestra que al principio del movimiento el cambio en la posición angular del rotor es muy pequeño; a medida que el émbolo se acerca al rotor el cambio de posición angular en el rotor es mayor, es decir, entre más cerca esté el émbolo del rotor, el ángulo de desplazamiento del actuador es mayor.

La dinámica del actuador también incluye los movimientos que realiza el sistema de barras. Para observar su funcionamiento colocamos en la geometría del diseño una pestaña en la barra de conexión y realizamos el análisis dinámico del actuador completo. El análisis con la pestaña podemos observarlo en la secuencia de imágenes mostradas en la Figura 10.

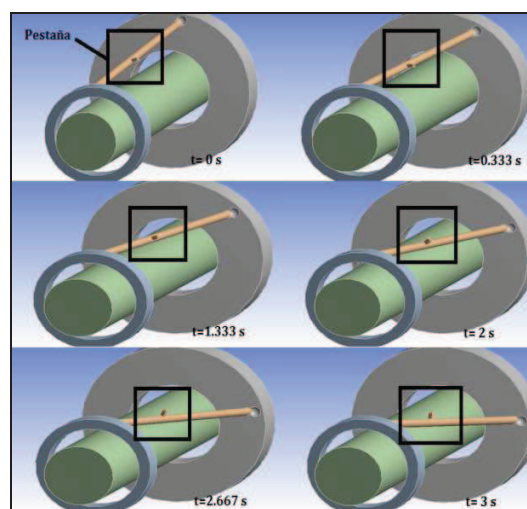


Figura 10. Dinámica barra de conexión.

Como se observa en la Figura 10 las imágenes muestran en secuencia el movimiento del actuador, ésta permite observar que la pestaña agregada a la barra de conexión, gira en sentido anti horario sobre su propio eje horizontal; este movimiento descarta el cambio de diseño de una conexión tipo curva para evitar el contacto con el cilindro base.

4. Conclusiones

En este trabajo se determina que el cilindro de doble efecto rotativo es factible y que la dinámica del mismo es la deseada. El diseño del actuador permite, transformar un movimiento de traslación en una rotación. El cambio de movimiento se logra por medio del tipo de conexiones en el sistema de barras, **las cuales deben tener libertad de movimiento en todas direcciones.**

El diseño del actuador se encuentra limitado a un rango de movimiento angular, sin embargo variaciones en el ángulo de construcción en la unión hacia el elemento rotativo puede causar un aumento en su rango de movimiento, así como también la cercanía entre el émbolo y el rotor.

La dinámica con la que se comporta el sistema de barras, implica que entre más pequeño sea su radio de giro aumenta la posibilidad de que el actuador tenga un desplazamiento angular mayor.

Referencias

- [1] Simarro, G., *"Fundamentos de Hidráulica"*. Ed. Grupo Editorial Universitario, España, Primera edición, 2006.
- [2] Yudong, X. Yanjun, L. y Yong, W. *"Dynamic Design of Electro-hydraulic Control Valve based on Physical Simulation Model"*. International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics, IEEE, pp. 388-391, China, 2009.
- [3] Wells, D. Iversen, E. Davis, C. Jacobsen, S. *"An investigation of hydraulic actuator performance trade-offs using a generic model"*, Center for Engineering Design University of Utah, IEEE, pp. 2168-2173, E.U., 2004
- [4] Zhu, H. y Book, W., *"Construction and Control of Massive Hydraulic Miniature-actuator-sensor Array"*, Proceedings of the 2006 IEEE Conference on Computer Aided Control Systems Design, IEEE, pp. 820-825, Munich, Germany, 2006.
- [5] *"Patent Application Publication, Pub. No.: US 2002/0083828 A1"*
- [6] *"Patent Application Publication, Pub. No.: 3-924-519"*
- [7] *"Patent Application Publication, Pub. No.: US 7/299,741 B2"*
- [8] ANSYS W, *"Guía del usuario de ANSYS"*, Ed. South pointe, E.U., Versión 12.1, 2009.
- [9] Parker, *"Compact Hydraulics Cylinders Series CHE/CHD"*, Parker Hannifin Corporation, E.U., 2011.