

ESTUDIO NUMÉRICO-ANALÍTICO DE UNA GRÚA PLEGABLE DE TALLER

Cabrera Oviedo Pablo Isaias (1), Diosdado De La Peña José Ángel (2)

1 [Licenciatura en Ingeniería Mecánica, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [pi.cabreraoviedo@ugto.mx]

2 [Departamento de Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías, Campus Irapuato salamanca, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [jose.diosdado@ugto.mx]

Resumen

El presente proyecto realiza el análisis analítico-numérico de una pluma hidráulica plegable aplicando el Principio de Trabajo Virtual, a su vez se introduce la geometría a un paquete de Análisis por Elemento Finito donde se analiza de forma numérica. Los resultados obtenidos se muestran tabulados para las diferentes configuraciones propuestas.

Abstract

This project appears to do the numerical and analytical analysis of a pen of folded hydraulics designed to realize maneuvers in elements or machines that do not exceed the maximum load of the equipment. Has as its main feature easy assemblage. With a height of 2.180m and a boom length of 1.125m its maximum load on the end is 3 tons. However, the load capacity directly dependent on the characteristics of hydraulic piston employed in the design.

Palabras Clave

Análisis por Elemento Finito ; Trabajo Virtual; Pluma

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo propone un análisis numérico analítico de un mecanismo de pluma hidráulica, tomando como objeto principal, el cálculo de la fuerza ejercida por el pistón hidráulico [2] sobre el punto de aplicación en la pluma. Con este objetivo en mira, se aplicara el Principio de Trabajo Virtual [1]. Dado que Pytel & Kiusalaas, (2010) afirman.

“Los métodos basados en conceptos de trabajo y energía son adecuados para el análisis de estructuras compuestas de miembros interconectados. La ventaja principal de dichos métodos es que las reacciones en ciertas conexiones, como pasadores o cables inextensibles, no entran en el análisis”. Por tanto, el número de incógnitas (y ecuaciones) con frecuencia se reduce en gran medida”. (p.523)

Sin embargo para el análisis numérico se realizó con la ayuda de un paquete de cómputo conocido como ANSYS ® (Disdado de la Peña, 2015) [3] y sus diferentes módulos como WORKBENCH, MECHANICAL Y DESIGN MODELER. Tomando una capacitación previa para el uso de dicho software.

MATERIALES Y MÉTODOS

- *Material*

Para el desarrollo y análisis de este proyecto se consideró perfil cuadrado de acero estructural de 76 x 76 mm, calibre 14 para el armazón del mecanismo. Ya que en los paquetes utilizados para generar la geometría es necesario definir las dimensiones y el tipo de material, sin embargo para el método analítico es importante señalar que los pesos de los elementos fueron despreciados. Las geometrías y ensamble del mecanismo se realizó con ayuda del software para diseño CATIA ® (Diosdado de la Peña, 2015) [4].

- *Método analítico*

Se emplea el Principio de Trabajo Virtual [1] el cual dice que, “Para una deformación virtual infinitamente pequeña de un cuerpo que se encuentra en equilibrio, el trabajo virtual de las

fuerzas exteriores es igual al trabajo virtual interno de deformación” (Pytel & Kiusalaas, 2010). De esta manera podremos saber la fuerza ejercida por el pistón hidráulico, el cual es uno de nuestros objetivos principales.

De acuerdo a lo anterior se propone un mecanismo de pluma hidráulica en la figura 1.

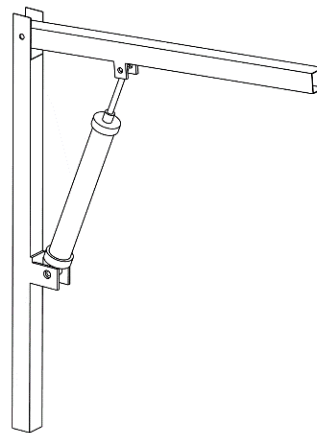


Figura 1: Mecanismo de la grúa plegable de taller.

En el diagrama que se presenta en la figura 2 se muestran las dimensiones del mecanismo en una vista lateral, (Tirado, 2010) “ya que de esta forma será analizado para determinar la fuerza **F1** que se requiere en el pistón y así mantener el mecanismo en la posición mostrada”. (p.113)

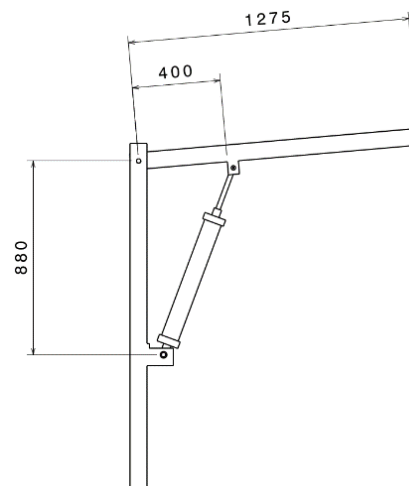


Figura 2: Diagrama esquemático del mecanismo grúa plegable (dimensiones en mm).

A partir del diagrama esquemático mostrado en la figura 2, se presenta un diagrama cinemático auxiliar (ver figura 3), para describir la geometría del movimiento del mecanismo, a su vez se determinan las ecuaciones (2) y (3) de restricción en posición.

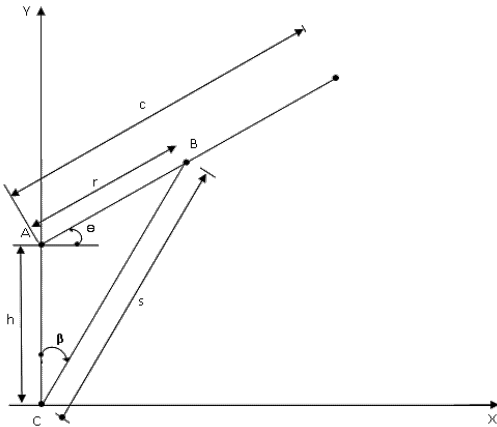


Figura 3: Diagrama cinemático auxiliar del mecanismo.

Donde el vector de coordenadas generalizadas es:

$$\bar{q} = \begin{bmatrix} s \\ \theta \\ \beta \end{bmatrix} \quad (1)$$

Las ecuaciones de restricción en posición son:

$$s \text{ Sen } \beta - r \text{ Cos } \theta = 0 \quad (2)$$

$$s \text{ Cos } \beta - r \text{ Sen } \theta - h = 0 \quad (3)$$

Donde:

θ Describe el movimiento de la pluma.

β Describe el pivoteo en la base del pistón.

s corresponde al movimiento del pistón y vástago a lo largo de la carrera del cilindro.

Derivando respecto al tiempo las ecuaciones de restricción en posición se obtiene:

$$s \delta s \text{ Sen } \beta + s \text{ Cos } \beta \delta \beta + r \text{ Sen } \theta \delta \theta = 0 \quad (4)$$

$$s \delta s \text{ Cos } \beta - s \text{ Sen } \beta \delta \beta - r \text{ Cos } \theta \delta \theta = 0 \quad (5)$$

Principio de Trabajo Virtual [1], el análisis inicia aplicando las fuerzas y desplazamientos virtuales en los puntos y direcciones deseados (ver figura 4).

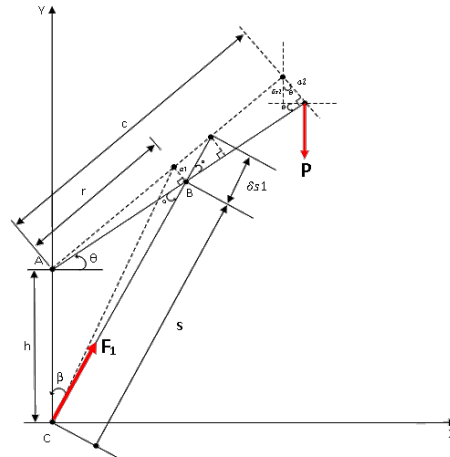


Figura 4: Fuerzas y desplazamientos virtuales aplicados en el mecanismo.

Donde:

P corresponde a la carga a la cual se somete la pluma.

F_1 corresponde a la fuerza que ejerce el pistón hidráulico para contrarrestar la carga P y mantener el equilibrio.

De lo anterior se enuncia la siguiente ecuación:

$$W = F_1 \delta s_1 - P \delta s_2 = 0 \quad (6)$$

Cabe mencionar que los pesos de los elementos que conforman el mecanismo no fueron considerados puesto su presencia en el análisis no es de relevancia en los resultados generales.

De la geometría mostrada en la figura 4 se determinan las siguientes ecuaciones:

$$a_1 = \delta s_1 \text{ Sen } \alpha \quad (7)$$

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{r}{c} \quad (8)$$

$$a_2 = \frac{a_1 c}{r} \quad (9)$$

$$a_2 = \delta s_1 \frac{c}{r} \text{ sen } \alpha \quad (9)$$

$$\delta s_2 = a_2 \text{ Cos } \theta$$

$$\delta s_2 = \delta s_1 \frac{c}{r} \text{ Cos } \theta \text{ Sen } \alpha \quad (10)$$

$$W = F_1 \delta_{s_1} - P \delta_{s_1} \text{Sen } \alpha \frac{c}{r} \text{Cos } \theta = 0 \quad (11)$$

Despejando la fuerza ejercida por el pistón hidráulico se obtiene la ecuación mostrada a continuación:

$$F_1 = \frac{Pc}{r} \text{Sen } \alpha \text{Cos } \theta \quad (12)$$

Aplicando la ley de Cosenos y Senos para la obtención de los ángulos, en el instante mostrado se desarrollaron las siguientes ecuaciones:

$$s = r^2 + h^2 - 2rh \text{Cos}(90 + \theta) \quad (13)$$

$$\text{Sen } \alpha = \frac{h \text{Sen}(90 + \theta)}{s}$$

$$\text{Sen } \alpha = \frac{h \text{Sen}(90 + \theta)}{r^2 + h^2 - 2rh \text{Cos}(90 + \theta)}$$

$$\alpha = \text{Sen}^{-1} \left(\frac{h \text{Sen}(90 + \theta)}{r^2 + h^2 - 2rh \text{Cos}(90 + \theta)} \right) \quad (14)$$

$$\text{Sen } \beta = \frac{r \text{Sen}(90 + \theta)}{r^2 + h^2 - 2rh \text{Cos}(90 + \theta)}$$

$$\beta = \text{Sen}^{-1} \left(\frac{r \text{Sen}(90 + \theta)}{r^2 + h^2 - 2rh \text{Cos}(90 + \theta)} \right) \quad (15)$$

- *Método numérico*

Como se mencionó anteriormente para la aplicación de este método se utiliza como herramienta fundamental el paquete de cómputo ANSYS [3] y sus diferentes módulos.

Una vez generada la geometría e identificados los puntos de aplicación de las fuerzas y los movimientos que debe realizar el mecanismo.

Se definen las uniones entre los elementos del ensamble (ver figura 5). Cabe mencionar que para simplificar el análisis, en la geometría se descarta la base del mecanismo, esto con el fin de eliminar algunas uniones que no son relevantes y solo complican el proceso al definir las restricciones de movimiento.

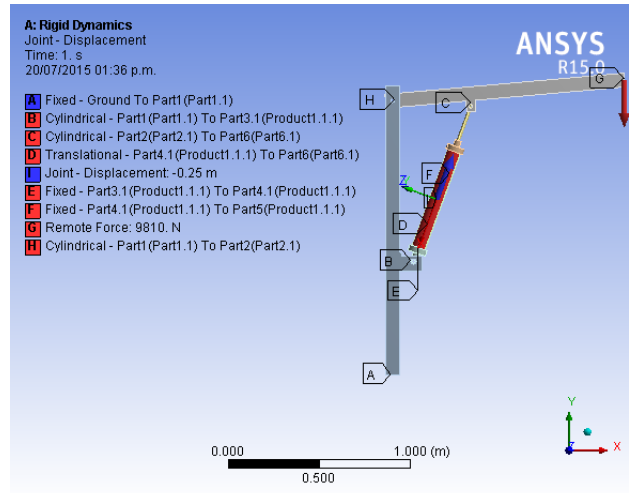


Figura 5: Puntos de unión entre los elementos del mecanismo los cuales definen el movimiento del mecanismo.

Aplicación de fuerzas y desplazamientos en los puntos y uniones correspondientes imagen 6.

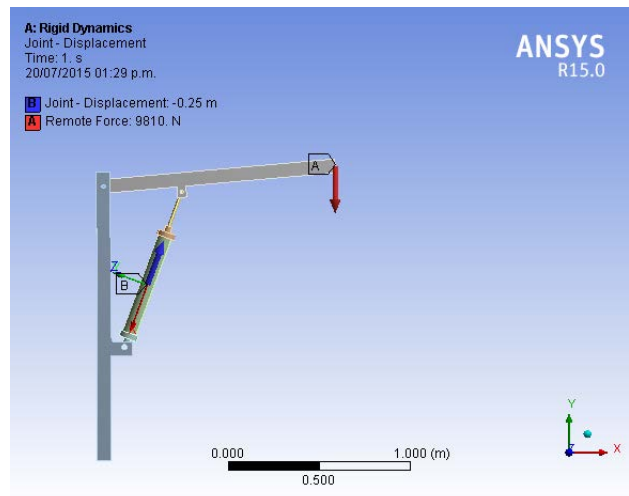


Figura 6: Carga aplicada en el extremo de la pluma de 1 tonelada.

Con lo anterior establecido procedemos aplicar la solución del conjunto. Los resultados se muestran en la siguiente sección.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- *Método analítico*

Para la obtención de resultados numéricos se establece que: 1) $\theta = 15^\circ$; 2) $\theta = 30^\circ$; 3) $\theta = 45^\circ$ y para una carga de: P = 1ton; 2) P = 2ton; 3) P = 3ton. Haciendo los cálculos pertinentes los resultados se resumen en la tabla 1.

Tabla 1: Resultados método analítico

$\theta [^\circ]$	$F_{1/P=9810N} [N]$	$F_{1/P=19620N} [N]$	$F_{1/P=29430N} [N]$
15	-6160.853904	-12321.70781	-18482.56171
30	-9262.462818	-18524.92564	-27787.38845
45	-9606.545532	-19213.09106	-28819.6366

- *Método numérico*

De igual forma la carga P fue de 1ton.

Time [s]	Displacement [m]	$\Theta [^\circ]$	Joint Probe (Total Force X) [N]	Joint Probe (Total Force Total) [N]
0.	0.	0	-30159	30159
1.	-0.25	45	-30460	30460
0.	0.	0	-30158	30158
1.	-0.1666	30	-31281	31281
0.	0.	0	-30158	30158
1.	-0.0833	15	-30986	30986

- *Discusión de Resultados*

En base a los resultados obtenidos, la fuerza máxima ejercida por el pistón hidráulico para el método analítico se da cuando la pluma se encuentra a un ángulo de 45° respecto a la horizontal y con una carga de 3 ton, sin embargo para el análisis numérico la fuerza máxima ejercida por el pistón se presenta en el tiempo igual a 1 s para un desplazamiento de 0.25 m que corresponde a un θ de 45° respecto a la horizontal y una carga

P de 1 ton. Es evidente que los resultados entre los métodos no coinciden, sin embargo el patrón de crecimiento es similar; es decir, si disminuimos el ángulo de aplicación la fuerza disminuirá y viceversa, tanto para un método como para el otro.

CONCLUSIONES

El uso de un Paquete de Análisis por Elementos Finitos reduce considerablemente el tiempo de análisis y otorga resultados mucho más precisos, sin embargo es de suma importancia concentrar la atención a la hora de aplicar las condiciones o restricciones de operación puesto que una pequeña variación podría arrojar resultados erróneos.

La parte analítica siempre es muy interesante, en cambio, la precisión de los resultados siempre se verá afectada por las consideraciones que se hallan hecho. Sabemos todos, que si se desea una alta precisión en los resultados el análisis se vuelve más complejo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco enormemente al Dr. Ángel Diosdado De La Peña que asesoro este proyecto con mucha entrega y dedicación.

También quiero extender un agradecimiento a mi familia Ximena Nohemí, y mis padres quienes estuvieron siempre presentes a lo largo del desarrollo de este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] Pytel, A., & Kiusalaas, J. (2010). *Ingeniería Mecánica Estática 3ed.* Pennsylvania: Cengage Learning.
- [2] Tirado, R. R. (2010). *Tesis de Maestría, Capítulo 6. Diseño del mecanismo hidráulico para la cámara de cosimiento final.* Salamanca.
- [3] Diosdado de la Peña, J. Á. (2015). Taller de Fundamentos de CAD y Dinámica Rígida. JADD, (p. 19). Salamanca.
- [4] Diosdado de la Peña, J. Á. (2015). Taller CATIA V5 sketcher, Part Design y Assembly Design. JADD, (pág. 51). Salamanca.