



Conciencia Tecnológica

ISSN: 1405-5597

contec@mail.ita.mx

Instituto Tecnológico de Aguascalientes
México

Sánchez, Carlos; Saucedo, Carlos Humberto
Generación de trayectorias requeridas en prensas para forja orbital
Conciencia Tecnológica, núm. 26, 2004
Instituto Tecnológico de Aguascalientes
Aguascalientes, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94402602>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

GENERACIÓN DE TRAYECTORIAS REQUERIDAS EN PRENSAS PARA FORJA ORBITAL

Investigación Científica Tecnológica

Dr. Carlos Sánchez López, M.C. Carlos Humberto Saucedo Zárate

Departamento de Ingeniería Metal Mecánica

Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Av. A. López Mateos 1801 Ote. Fracc. Ojocaliente FOVISSSTE, Aguascalientes, Ags. Tel: 01 (449) 9105002 ext. 104; carlossl@seit.ita.mx

Resumen

Una opción para la deformación en frío de algunos materiales lo representa la “forja orbital”. Es una tecnología desarrollada para obtener la geometría de una pieza mediante deformación plástica por efecto de recalado y por flujos radiales de la materia prima. En éste documento se presenta una breve descripción del proceso de forja orbital, sus aplicaciones y ventajas. La investigación desarrollada consistió en identificar el tipo de mecanismo mediante el cual se pudiera proporcionar el movimiento adecuado al punzón, posteriormente la atención se enfocó a la relación que existe en la cinemática del diseño básico del mecanismo orbital, para lo cual se obtuvo su modelo matemático y se analizó para identificar los movimientos de los eslabones del mecanismo para que un determinado punto en ellos describiera trayectorias específicas requeridas en el proceso de forja orbital. Con el objetivo de cubrir los requerimientos de deformación plástica del material a utilizar para las diferentes piezas que pueden fabricarse por este proceso, es necesario que el cabezal orbital que sujeta la parte superior de la herramienta tenga la posibilidad de generar trayectorias en línea recta, circulares, espirales, geometría de “margarita” y de cardioides. Se presenta la relación cinemática que debe existir entre los eslabones del mecanismo orbital para generar las trayectorias citadas [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Palabras Clave: Forja orbital, Deformación en frío, Deformación plástica, Modelo matemático.

Introducción

Los procesos de manufactura se han clasificado dependiendo de la forma en que es procesada la materia prima, de las cuales una de ellas es la deformación plástica que puede realizarse en frío o en caliente. El proceso de forja es uno de los más utilizados en la industria, existiendo variantes como forja en dado abierto, en dado cerrado, forja radial y la forja orbital. Tomando como referencia la figura 1, la forja orbital consiste en utilizar una prensa con un juego de dados (5) entre la materia prima, la parte

inferior del dado es desplazada verticalmente (7, 8) mientras que la parte superior se fija a un ariete con movimiento orbital (1, 3, 4). El movimiento del ariete permite obtener piezas con gran precisión dimensional en una sola operación. Entre la materia prima y el punzón se presenta horizontalmente un movimiento de rodadura a medida que el dado inferior se desplaza verticalmente hacia arriba. En cierta forma, la forja orbital es un proceso de forja en frío, en el cual la herramienta gira respecto al eje vertical con una inclinación fija entre 3 y 6 grados (ver figura 2) para deformar progresivamente la materia prima en una forma previamente determinada [7].

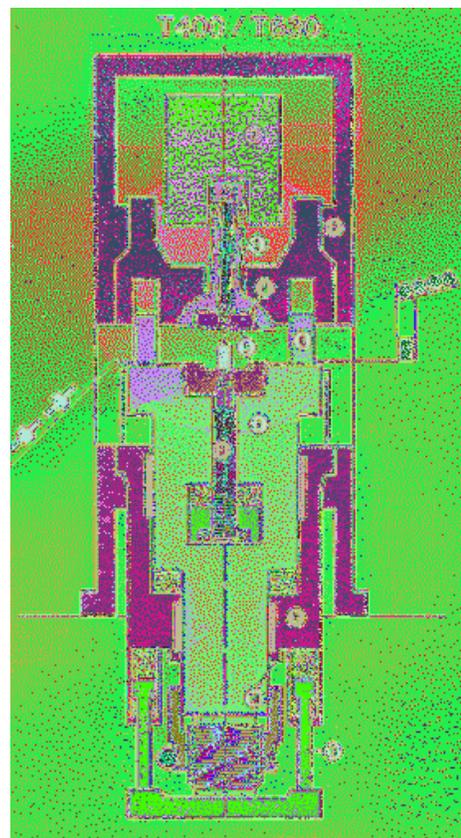


Figura 1. Esquema de una prensa para forja orbital.

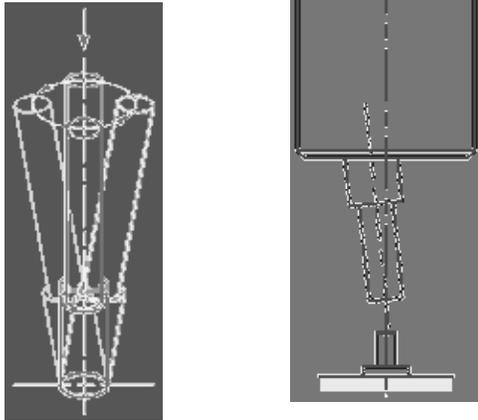


Figura 2. Movimiento del punzón en una prensa para forja orbital.

La fuerza axial requerida para deformar el material puede ser reducida hasta en un 80% por la ventaja mecánica que proporciona la inclinación del punzón, además de realizarse en una menor área de contacto. Las ventajas que esto proporciona son: Los requerimientos de capacidad de las prensas se disminuyen. Se pueden obtener grandes relaciones de deformación, (ver figura 3). Los materiales que se procesan van desde cualquier grado de acero, la mayoría de los aceros inoxidables, aceros tratados térmicamente, aluminios, cobres bronce, plásticos soldados por ultrasonido. Las principales ventajas que ofrece éste método son no desperdiciar material al obtenerse piezas con las dimensiones finales eliminándose operaciones secundarias como maquinados costosos, el herramental normalmente presenta una vida útil económicamente grande debido a la baja fricción en las operaciones de forjado, las prensas pueden equiparse con sistemas automatizados de carga y descarga. En las piezas obtenidas por éste proceso se incrementa la resistencia, la dureza y el acabado superficial y se reorienta la estructura granular.

Metodología

La investigación se inició mediante una búsqueda bibliográfica respecto al diseño de prensas para forja orbital, se identificaron las partes principales de las cuales la de mayor atención resulta ser el mecanismo que haga orbitar al punzón o ariete. Después de un exhaustivo análisis de alternativas de cómo podría ser dicho mecanismo se concluyó que el diseño básico

funcional más simple que permite lograr las diferentes geometrías de las trayectorias requeridas podría suponerse inicialmente como un mecanismo de lazo abierto de dos grados de libertad con uniones tipo revoluta, según se representa en la figura 4.

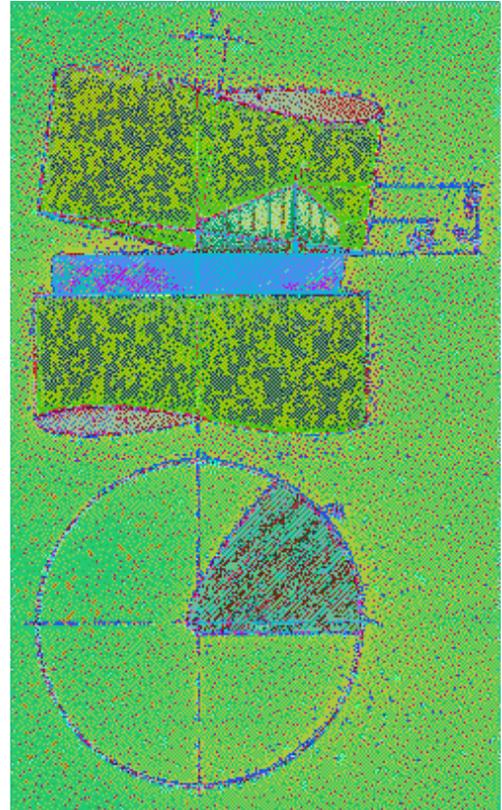


Figura 3. Área de contacto entre el punzón y la pieza de trabajo.

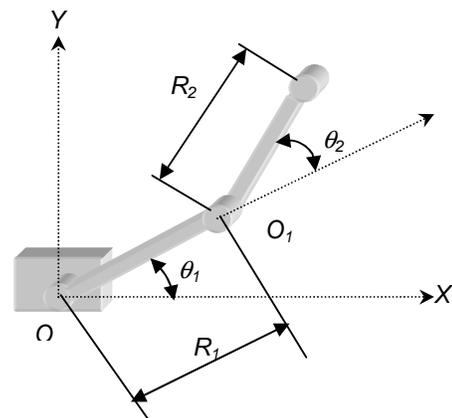


Figura 4. Mecanismo utilizado para el modelado de la cinemática del mecanismo principal de la prensa orbital.

Observando el funcionamiento de la prensa desde la parte superior, se conceptualiza el mecanismo de lazo abierto de dos grados de libertad con uniones tipo revoluta, con base en que se requiere de al menos tres movimientos independientes para lograr las trayectorias requeridas ya que el extremo del punzón debe moverse radialmente con respecto a la sección transversal de la pieza de trabajo y girar alrededor de su eje vertical.

Los parámetros cinemáticos que se utilizan a partir del mecanismo de la figura 4 son: la longitud del eslabón uno (R_1) y su ángulo de rotación (θ_1), la longitud del eslabón dos (R_2) y su ángulo de rotación (θ_2). Las componentes de la posición del extremo libre del primer eslabón se determinan a partir de las ecuaciones 1) y 2), mientras que para el extremo libre del segundo eslabón se utilizan las ecuaciones 3) y 4).

$$X_o = R_1 \cos \theta_1 \quad (1)$$

$$Y_o = R_1 \sin \theta_1 \quad (2)$$

donde:

R_1 es la longitud del primer eslabón.

θ_1 es la posición angular del primer eslabón.

$$X_{o1} = R_1 \cos \theta_1 + R_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \quad (3)$$

$$Y_{o1} = R_1 \sin \theta_1 + R_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \quad (4)$$

donde:

R_2 es la longitud del segundo eslabón.

θ_2 es la posición angular del segundo eslabón, relativa a la posición angular del primer eslabón.

Una vez establecido el modelo matemático de la cinemática del mecanismo seleccionado se procedió a evaluar la relación que debe existir entre las posiciones angulares de ambos eslabones, para lo cual se analizó el efecto que produce el proporcionar diferentes valores en magnitud y sentido a los ángulos de los eslabones. Las trayectorias se visualizan en el plano XY según la figura 4, el cual corresponde al plano de la sección transversal de la materia prima.

Para lograr trayectorias radiales en línea recta debemos proporcionar el doble del movimiento angular del eslabón uno al eslabón dos y con diferente signo, ver figura 5.

Para generar trayectorias circulares concéntricas del origen hacia fuera, debemos iniciar con establecer el radio del círculo utilizando la relación para trayectorias en línea recta, para una primera relación

posteriormente se hace girar 360° el mecanismo completo alrededor del eje vertical. A continuación se modifica el radio del siguiente círculo y se hace repite la rotación de 360° según la cantidad de trayectorias concéntricas que sean necesarias, tomando como referencia que el radio del círculo generado tendrá un valor máximo igual a la suma de la longitud de los eslabones. En caso de requerir trayectorias circulares concéntricas de afuera hacia adentro, se partirá del radio máximo ($R_1 + R_2$) cuyo valor se modifica en decrementos según la cantidad de trayectorias concéntricas que sean necesarias hasta el valor de cero, ver figura 6.

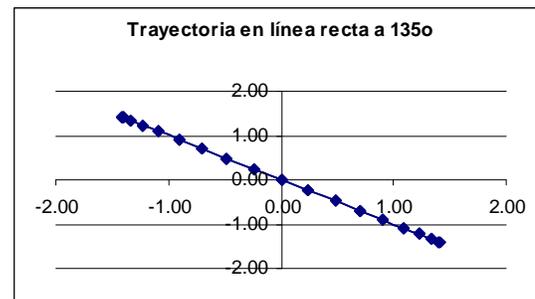
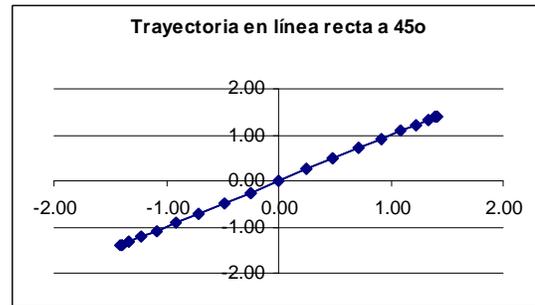
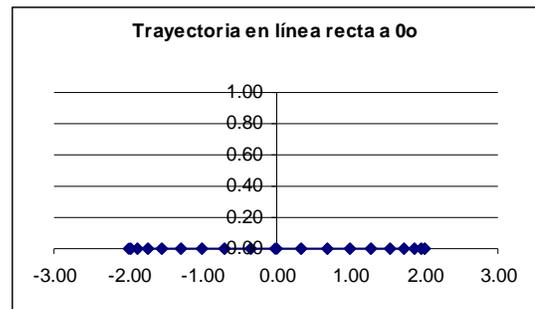


Figura 5. Trayectoria en línea recta obtenida cuando $\theta_2 = (-2) \theta_1$.

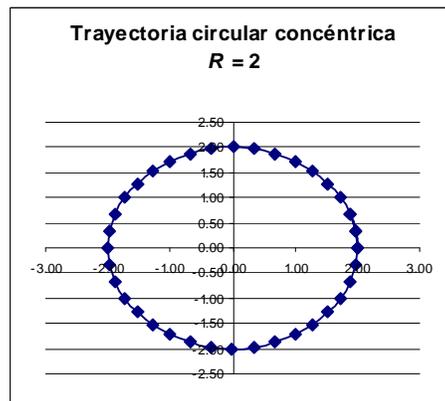
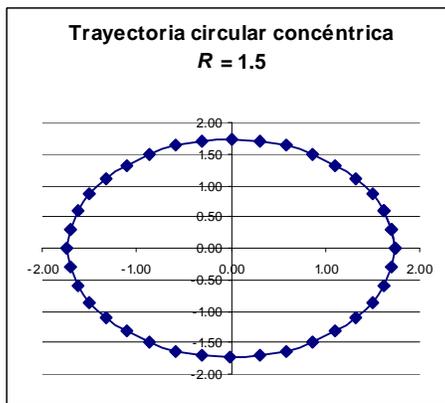
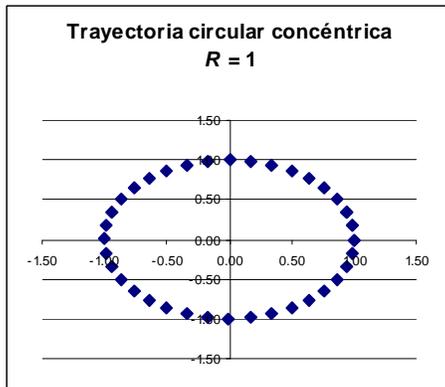


Figura 6. Trayectorias circular concéntrica de radio 1, 1.5 y 2.

Para trayectorias elípticas es necesario indicar los grados que debe girar el mecanismo durante la generación de la trayectoria, por ejemplo 360, 720, 1440, 2880. Esto trae como consecuencia que la

relación de los ángulos θ_1 y θ_2 se mantenga en las proporciones de 0.5, 0.25, 0.125 y 0.0625 respectivamente. Esto se interpreta de la siguiente manera. Si se requiere de una trayectoria en forma de elipse en 360 grados, entonces el valor del ángulo del eslabón dos debe ser igual a 0.5 veces la magnitud del ángulo del eslabón uno, ver figura 7.

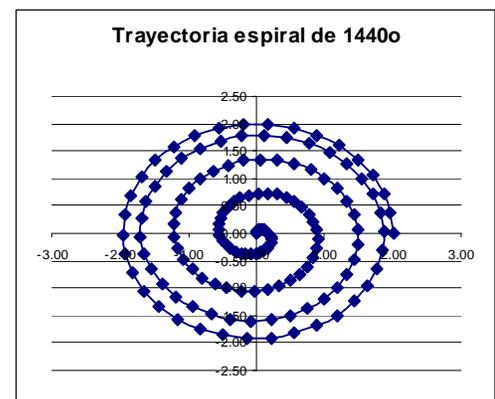
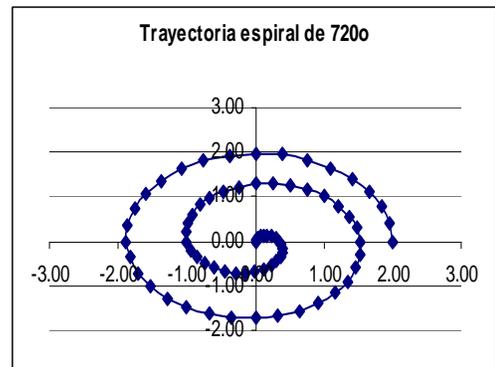
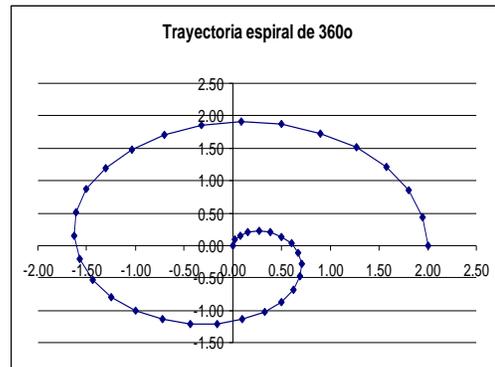


Figura 7. Trayectorias espirales de 360°, 720° y 1440°

Para trayectorias tipo flor de margarita se especifica el número de pétalos como 3, 7 o 9, para lo cual la relación de los ángulos θ_1 y θ_2 se mantiene en las proporciones de -1.5, -1.75 y -2.25 respectivamente.

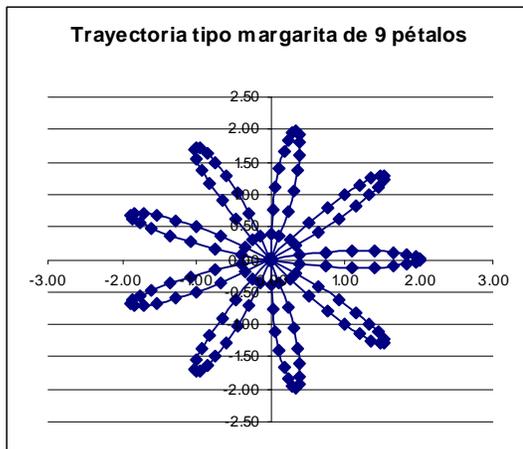
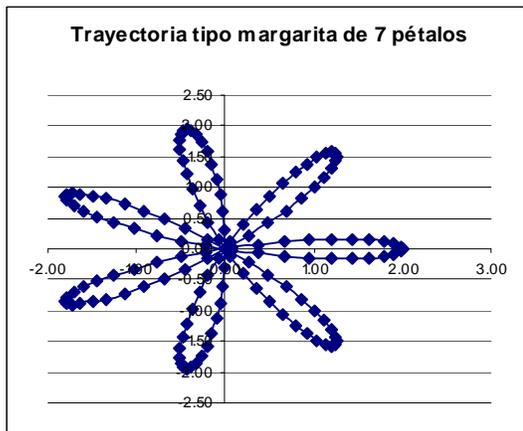
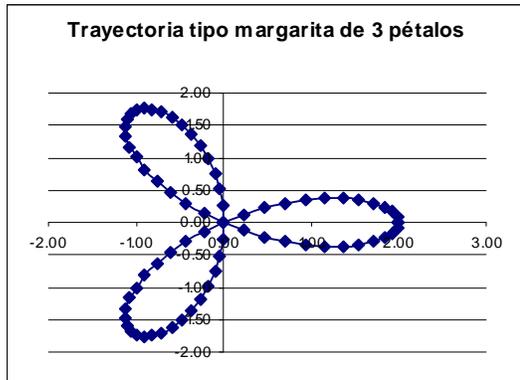


Figura 8 Trayectorias tipo margarita de 3, 7 y 9 pétalos.

Para 3 pétalos el valor del ángulo del eslabón uno debe variar desde 0° hasta 720° , mientras que para 7 y 9 pétalos cambia de 0° hasta 1440° . Lo anterior se interpreta de la siguiente manera. Si se requiere de una trayectoria tipo margarita de 3 pétalos, entonces el valor del ángulo del eslabón dos debe ser igual a -1.5 veces la magnitud del ángulo del eslabón uno, que debe cambiar de cero hasta 720° , ver figura 8.

Finalmente para las trayectorias tipo cardioide se mantiene una relación entre los ángulos de los eslabones de $\theta_2 = (-2) \theta_1$, ver figura 9.

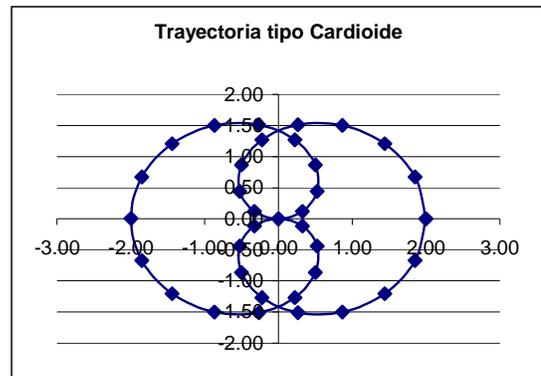


Figura 9. Trayectoria tipo cardioide.

Considerando que se conoce el cambio de la posición angular con respecto al tiempo (w_i), es decir la velocidad de rotación de los motores, entonces es posible determinar la velocidad lineal correspondiente, la cual analíticamente se representa por las siguientes relaciones.

Componentes de la velocidad lineal del extremo libre del primer eslabón.

$$\dot{X}_o = -R_1 \text{sen } \theta_1 w_1 \quad (5)$$

$$\dot{Y}_o = R_1 \text{cos } \theta_1 w_1 \quad (6)$$

donde:

w_1 es la velocidad angular del primer eslabón.

Componentes de la velocidad lineal del extremo libre del segundo eslabón.

$$\dot{X}_{o1} = -R_1 \text{sen } \theta_1 w_1 - R_2 \text{sen}(\theta_1 + \theta_2)(w_1 + w_2) \quad (7)$$

$$\dot{Y}_{o1} = R_1 \text{cos } \theta_1 w_1 + R_2 \text{cos}(\theta_1 + \theta_2)(w_1 + w_2) \quad (8)$$

donde:

w_2 es la velocidad angular del segundo eslabón.

En caso de que la velocidad varíe en función del tiempo, la aceleración lineal de los eslabones se puede obtener mediante las ecuaciones siguientes.

Componentes de la aceleración del extremo libre del primer eslabón.

$$\ddot{X}_o = -R_1 \cos \theta_1 w_1^2 - R_1 \sin \theta_1 \alpha_1 \quad (9)$$

$$\ddot{Y}_o = -R_1 \sin \theta_1 w_1^2 + R_1 \cos \theta_1 \alpha_1 \quad (10)$$

donde:

α_1 es la aceleración angular del primer eslabón.

Componentes de la aceleración lineal del extremo libre del segundo eslabón.

$$\begin{aligned} \ddot{X}_{o1} = & -R_1 \cos \theta_1 w_1^2 - R_1 \sin \theta_1 \alpha_1 \\ & - R_2 \cos(\theta_1 + \theta_2)(w_1 + w_2)^2 \\ & - R_2 \sin(\theta_1 + \theta_2)(\alpha_1 + \alpha_2) \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \ddot{Y}_{o1} = & -R_1 \sin \theta_1 w_1^2 + R_1 \cos \theta_1 \alpha_1 \\ & - R_2 \sin(\theta_1 + \theta_2)(w_1 + w_2)^2 \\ & + R_2 \cos(\theta_1 + \theta_2)(\alpha_1 + \alpha_2) \end{aligned} \quad (12)$$

donde:

α_2 es la aceleración angular del segundo eslabón.

Para llevar a cabo el análisis cinético se utilizó el algoritmo iterativo Newton-Euler [1]. Como primer paso se determina la fuerza y el momento necesarios para mover el primer eslabón, cuyas componentes se presentan en las siguientes ecuaciones, respectivamente.

$${}^1F_1 = \begin{bmatrix} -m_1 R_{C1} w_1^2 \\ m_1 R_{C1} \alpha_1 \\ g \end{bmatrix} \quad (13)$$

$${}^1N_1 = \begin{bmatrix} -I_{xz} \alpha_1 + I_{yz} w_1^2 \\ -I_{yz} \alpha_1 - I_{xz} w_1^2 \\ I_{zz} \alpha_1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

donde:

1F_1 es la fuerza para mover el primer eslabón.

m_1 es la masa del primer eslabón.

R_{C1} es la longitud desde la unión hasta el centro de masa del primer eslabón.

g es la aceleración causada por la gravedad sobre el primer eslabón.

1N_1 es el momento para mover el primer eslabón.

I_{ij} es el momento o producto de inercia del primer eslabón, según los valores que tomen i e j .

A continuación se determina la fuerza y el momento necesarios para mover el segundo eslabón, cuyas componentes se presentan en las ecuaciones (15) y (16) respectivamente.

$${}^2F_2 = \begin{bmatrix} -m_2 R_{C2} (w_1 + w_2)^2 - m_2 R_1 C_2 w_1^2 \\ m_1 R_{C1} \alpha_1 + m_2 R_1 S_2 w_1^2 \\ m_2 g \\ + m_2 R_1 S_2 \alpha_1 \\ + m_2 R_1 C_2 \alpha_1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

$${}^2N_2 = \begin{bmatrix} -I_{xz} (\alpha_1 + \alpha_2) + I_{yz} (w_1 + w_2)^2 \\ -I_{yz} (\alpha_1 + \alpha_2) - I_{xz} (w_1 + w_2)^2 \\ I_{zz} (\alpha_1 + \alpha_2) \end{bmatrix} \quad (16)$$

donde:

2F_2 es la fuerza para mover el segundo eslabón.

m_2 es la masa del segundo eslabón.

R_{C2} es la longitud desde la unión hasta el centro de masa del segundo eslabón.

g es la aceleración causada por la gravedad sobre el segundo eslabón.

C_2 es el coseno de la posición angular del segundo eslabón.

S_2 es el seno de la posición angular del segundo eslabón.

2N_2 es el momento para mover el segundo eslabón.

I_{ij} es el momento o producto de inercia del segundo eslabón, según los valores que tomen i e j .

Con los datos obtenidos haciendo uso de las ecuaciones (1 hasta la (16 se esta en condiciones de poder obtener las relaciones que permitan calcular las fuerzas y los momentos que se presentarían en las uniones de cada eslabón. Para tal efecto, y considerando que las uniones a emplear son del tipo revoluta, únicamente nos es útil determinar el momento en cada unión, lo cual puede obtenerse mediante las siguientes relaciones.

$$\begin{aligned}
 {}^1\tau_1 = & m_2 R_1 R_{C2} C_2 (2\alpha_1 + \alpha_2) \\
 & + m_2 R_1 R_{C2} S_2 w_2^2 \\
 & + m_2 R_{C2}^2 (\alpha_1 + \alpha_2) \\
 & + (m_1 R_{C1}^2 + m_2 R_1^2) \alpha_1 \\
 & - 2m_2 R_1 R_{C2} S_2 w_1 w_2 \\
 & + I_{zz} (2\alpha_1 + \alpha_2) \\
 & + (R_1 C_2 + R_2)^3 f_y \\
 & + R_1 S_2^3 f_x + {}^3\eta_z
 \end{aligned} \tag{17}$$

$$\begin{aligned}
 {}^2\tau_2 = & m_2 R_1 R_{C2} C_2 \alpha_1 + m_2 R_1 R_{C2} S_2 w_1^2 \\
 & + m_2 R_{C2}^2 (\alpha_1 + \alpha_2) + I_{zz} (\alpha_1 + \alpha_2) \\
 & + R_2^3 f_y + {}^3\eta_z
 \end{aligned} \tag{18}$$

donde:

${}^i\tau_i$ momento que se presenta en la unión de cada eslabón.

3f_j es la componente, según el valor que tome j , de la fuerza externa que se aplique en el extremo libre del segundo eslabón.

${}^3\eta_z$ es la componente del momento externo que se aplique en el extremo libre del segundo eslabón.

Resultados y discusiones

Se logró obtener un modelo matemático que representa la cinemática del mecanismo seleccionado, así mismo se tiene un modelo que permite determinar las fuerzas y los torques necesarios para situaciones estáticas. Además se identificó la relación que debe existir entre los movimientos de los eslabones para cada una de las trayectorias requeridas.

El control de las velocidades relativas y de los sentidos de giro de los elementos descritos permite obtener las

diferentes geometrías que se requieren en las operaciones de forja orbital.

Conclusiones

Los resultados nos permitirán continuar la investigación para obtener un prototipo didáctico así como el modelo matemático de su dinámica y posteriormente desarrollar su sistema de control.

Reconocimientos

Este proyecto se desarrolla en el Departamento de Ingeniería Metal Mecánica del Instituto Tecnológico de Aguascalientes.

Referencias

- [1] Source Book on Cold Forming. ASM Engineering Bookshelf. 1975.
- [2] Watkins M.T., *Cold Forming and Extrusion of steel*, Source Book ASM.
- [3] Drake Ronald J. & Throop James W., *How to predict Cold Extrusion Forces*, Source Book ASM.
- [4] Benedict J. and Wick C., *Tool and Manufacturing Engineers Handbook*.
- [5] PERA Reports Ns. 333 and 317, *Cold and warm forging*.
- [6] PERA Reports Ns. 99 and 107, *Cold Extrusion of carbon steel*. Dec. 1961.
- [7] http://www.orbitform.com/riveting/what_is_orbita_l_forming.htm