Dinámica de un Mecanismo de Leva, Manivela Ranurada y Seguidor.
SOLUCIÓN DE PROBLEMA

E. Montoya & J. Osorio
Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.
efmontoy@unalmed.edu.co & jdosorio@unalmed.edu.co

Resumen:

Mediante el uso de las herramientas matemáticas aprendidas hasta el momento para partículas, principalmente movimiento circular con radio variable, coordenadas radial-transversal y segunda ley de Newton con sus ecuaciones, se dará solución al problema asignado. Una leva con forma particular dispuesta horizontalmente sobre la que gira una guía ranurada que contiene un pasador, el cual al estar comprimido por un resorte se ve obligado a seguir la trayectoria impuesta por la forma de la leva (teóricamente). Se realiza un análisis tanto conceptual como matemático del problema y se hace una simulación con el uso del programa bidimensional Working Model. Posteriormente se discuten los resultados esperados con los obtenidos por ambos métodos.

Palabras clave: *Dinámica, Leva, mecanismo, movimiento circular, ecuaciones, simulación.*

Summary:

Using some mathematical tools learned until now for particles like circular movement with changing radius, polar coordinates and the second Newton 's law, the assigned problem will be solved. The problem 's mechanism consists of an horizontal disposed cam with a strange geometry and a revolving slotted crank with a plunger, which is compressed by a coil spring. It is supposed that the plunger must follow the trajectory imposed by the cam. An analysis will be done from both conceptual and mathematical points of view. The problem will also be simulated with the computer software Working Model. Finally the results obtained through the different methods will be discussed.

INTRODUCCIÓN

Los mecanismos que implican levas, bielas o manivelas, seguidores (o pasadores) y resortes, son frecuentes en el ámbito de la mecánica. Estos mecanismos permiten no solo transformar un movimiento circular en uno rectilíneo (o al contrario), sino que también permiten que el movimiento rectilíneo oscile cíclicamente de cierta manera, dependiendo precisamente de la forma de la biela cuya trayectoria forma una excéntrica.

La longitud de la ranura, así como la constante del resorte que se utilicen deben ser cuidadosamente estudiadas de manera que se garantice contacto permanente del seguidor con la leva y que este pueda hacer su recorrido completo, sin chocar con la guía, es decir, que al pasar el seguidor por los máximos y mínimos de la leva, pueda recorrer la guía sin tropezarse.

Para el problema asignado, primero que todo se realizarán diversos análisis conceptuales y se explicarán las situaciones y aspectos que consideramos relevantes. Luego se planteará una solución analítica y matemática del problema y posteriormente se discutirán los resultados obtenidos al simular el problema con Working Model (WM), que supuestamente deberían coincidir y reforzar los cálculos teóricos. Se hace al final un análisis de resultados y comparación de lo que se obtuvo con los diferentes métodos, expresando las posibles causas principales de error y algunas conclusiones.

Con este trabajo se espera comprender la dinámica del mecanismo del problema y concretamente encontrar la fuerza requerida por medio de lo aprendido en clase. También se quiere profundizar en el manejo del programa Working Model explorando así otra alternativa para resolver problemas que puede ser complementaria. Se busca

también enfrentarnos con un problema que consiste en un mecanismo común para los ingenieros mecánicos. Se pretende también poner en práctica el análisis y solución de problemas que tengan que ver con la dinámica.

PROBLEMA

El brazo ranurado gira con una velocidad angular W = 12 rad/s constante alrededor del eje vertical que pasa por el centro de la leva, véase Figura 1. La leva está construida de tal forma que el radio vector correspondiente a la trayectoria del centro del pasador de 0.11 kg varía según la expresión (1), donde N es el número de salientes (N = 6), R_{ll} es el diámetro primitivo (R_{ll} = 0.102 m) y b es la amplitud (b = 0.013 m). La compresión en el muelle varía desde 11.6 N hasta 19.1 N desde el valle hasta la cresta. Calcular la fuerza R entre la leva y el pasador cuando éste pasa por la parte superior del saliente en la posición mostrada.

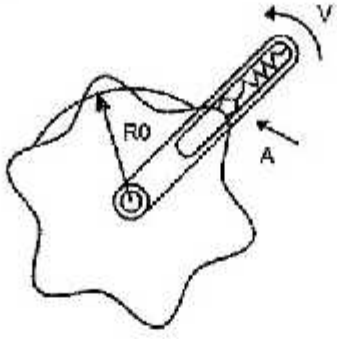


Figura 1 – Mecanismo a analizar –Representación gráfica del mecanismo compuesto por Leva, brazo, pasador y resorte.

$$r = r_0 + b \cdot \sin(Nwt) \qquad (1)$$

DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS

Funcionamiento Del Mecanismo: El brazo ranurado gira con una velocidad angular constante alrededor de un eje que pasa por el centro de la leva. Como la velocidad angular del brazo es constante, éste no presenta una aceleración angular. Este brazo ranurado es el encargado de transmitir el movimiento al pasador a través de una fuerza sobre el pasador, que tiene una dirección perpendicular a la superficie de la ranura del brazo y por tanto tangencial en todo momento a una trayectoria circular que varía de un radio menor (distancia del centro a un valle), hasta un radio mayor (distancia del centro a una cresta). La forma de la leva es la responsable de la trayectoria que sigue el pasador durante el movimiento. Ésta ejerce una fuerza de reacción sobre el pasador en dirección perpendicular a su superficie (leva) en todo punto, por tanto esta reacción no presenta una dirección preferencial tangencial o radial, sin embargo, la dirección en los puntos máximos de las crestas (donde estudiaremos el problema) y en los puntos mínimos de los valles es radial. El resorte es el encargado de mantener el pasador sobre la superficie de la leva a través de una fuerza que varía con el cambio de la distancia radial del pasador al centro de la leva. Como se conoce el valor de la fuerza del resorte sobre dos puntos con diferente distancia al centro (radio), es posible encontrar la constante del resorte. El pasador está sometido a la acción de tres fuerzas externas que ejercen cada uno de los elementos con los cuales está en contacto. Éste describe un movimiento curvilíneo con radio variable, por tanto, para el desarrollo del ejercicio se utiliza un sistema de coordenadas transversal – radial.

Análisis del problema y otras consideraciones: Como el problema no especifica tiempos ni desplazamientos sino sólo fuerzas (debidas al resorte), posiciones y velocidades, y lo que se pide encontrar es la reacción de la fuerza sobre el pasador A, se usará segunda ley de Newton.

Observe que la fuerza de reacción no es debida sólo a la normal que ejerce la leva sobre el pasador comprimido por el resorte, sino que es debida también a la normal que la guía ranurada ejerce y empuja al pasador. Además esta reacción es también una consecuencia directa de la aceleración pues por la segunda ley de Newton (2) se tiene que la fuerza en el movimiento circular depende tanto de la masa como de las aceleraciones (radial y transversal).

$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}^{P}$$

$$\sum \vec{F}_{radial} = m \cdot \vec{a}^{P}_{radial} \qquad (2)$$

$$\sum \vec{F}_{transversal} = m \cdot \vec{a}^{P}_{transversal}$$

Una consideración importante que se tuvo en cuenta, es que la leva se encuentra horizontal, pues como indica el problema hay un eje vertical que atraviesa la leva en O. Esta consideración implica que el movimiento y las fuerzas que se analizarán, estarán sobre ese plano horizontal de la leva, por lo tanto fuerzas como el peso y una posible inclinación del resorte no se tendrán en cuenta. Así mismo se asume que no existe fricción entre las superficies de los diferentes componentes.

Debido a lo complicado del movimiento alrededor de toda la leva (pues no sólo varía el radio mientras gira, sino que la dirección de la reacción va variando), y a que el problema sólo pide encontrar la reacción en un máximo (cresta), este artículo se limitará a encontrar la reacción puntual en el máximo. Lo anterior impide conocer y poder predecir lo que sucederá en otros puntos diferentes al radio máximo, por lo que al realizar la simulación no se puede saber si lo que se modela en otros puntos es coherente o no. Queda entonces con esto solo simular y esperar una respuesta adecuada puntual.

Para el cálculo de la constante del resorte y la simulación en WM no se contaba con la longitud del resorte en ningún momento ni tampoco con la longitud natural. Lo que se concluyó es que el problema depende de la compresión y de la constante del resorte sin importar su longitud.

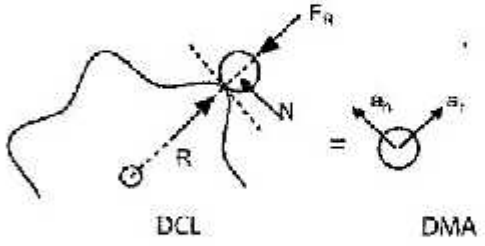
SOLUCIÓN ANALITICA

Definición de Variables: Antes que todo se procederá a definir las variables a usar, además de las que ya estaban definidas por el enunciado:

- R: Fuerza de reacción que la leva ejerce sobre el pasador.
- N: Fuerza en dirección transversal que el brazo ejerce sobre el pasador por el lado que lo empuja.
- F_R: Fuerza ejercida por el resorte sobre el pasador.
- a_r: aceleración radial.
- k: constante del resorte.
- X_i: distancia i por la cual el resorte se encuentra comprimido.

Diagramas de Fuerzas: El sistema que se analiza es el pasador sobre el que actúan tres fuerzas externas responsables de su movimiento. El DCL (diagrama de cuerpo libre) y el DMA (diagrama de movimiento acelerado o masa por aceleración) se ilustran en la Figura 2.

Figura 2 – Diagramas del sistema - pasador – Diagrama de cuerpo libre y diagrama movimiento acelerado (masa por aceleración) para el pasador.

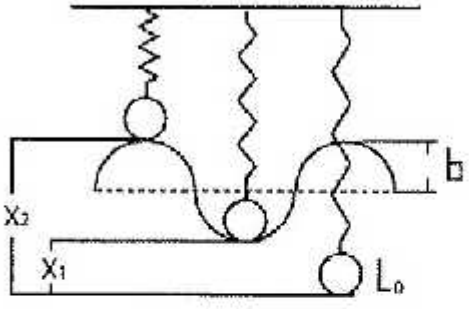


Cálculo de la constante K del resorte: El centro del pasador sigue una trayectoria sinusoidal (1):

$$r = r_0 + b \cdot sin(Nwt) =$$
$$r = 0.102 + 0.130 \cdot sin(72t)$$

Con base en los datos de la fuerza que el resorte ejerce sobre el pasador en los valles y en las crestas es posible calcular la constante K del resorte.

Figura 3 – Cálculo de la constante del resorte – Trayectoria seguida por el pasador. La distancia b corresponde a la amplitud de esta trayectoria sinusoidal, mientras que las distancias X_1 y X_2 son compresiones del resorte con longitud natural arbitraria L_0.



La distancia que está comprimido el resorte cuando el pasador está en el valle es X_1 y la distancia que está comprimido el resorte en la cresta es X_2. Conocida la distancia que existe entre una cresta y un valle que es $2 \cdot b$, se tiene que:

$$X_2 = X_1 + 2 \cdot b$$

Tenemos las ecuaciones para la fuerza del resorte que daba el problema:

$$11.6 = kX_1$$
$$19.1 = kX_2 = k(X_1 + 2 \cdot b)$$

Como se tiene dos ecuaciones con dos incógnitas (b = 0.013 m), se obtiene que:

K = 28.85 N/m

Cálculo de la reacción sobre el pasador: Cuando el tiempo es cero t = 0, entonces en (1) se tiene:

$$r = 0.102 + 0.130 \cdot sin(72 \cdot 0)$$
$$r = 0.102 = r_0$$

que es el valor del radio que corresponde a los puntos de inflexión de la trayectoria.

- Los tiempos en los cuales el pasador pasa por los puntos de inflexión son:

Sen (72*t) = 0; cuando el ángulo 72*t = n*π, con n = 0, 1, 2,3...

Luego t = 0, t = π/72, t = π/36, t = π/24, t = π/18...

- Los tiempos en los cuales el pasador pasa por los valles corresponden a:

Sen (72*t) = -1; cuando el ángulo 72*t = (3*π + 4*n*π)/2, n = 0, 1, 2, 3...

Esto para t = 3*π/144, t = 7*π/144, t = 9*π/144...

- Los tiempos en los cuáles el pasador pasa por las crestas:

Sen (72*t) = 1; cuando el ángulo 72*t = (π + 4*n*π)/2, n = 0, 1, 2, 3...

Que corresponde a t = π/144, t = 5*π/144, t = 9*π/144...

Es importante notar que la fuerza del resorte, F_R, siempre es radial y la fuerza normal de la guía, N, siempre es tangencial, mientras que la fuerza de la leva, R, es perpendicular a la trayectoria y por tanto varía con t. Sin embargo, la fuerza R es radial cuando el pasador se encuentra en una cresta o en un valle, por tanto como el punto A donde se va a calcular la reacción es una cresta, luego R está en la dirección radial.

Aplicando la segunda ley de Newton (2) en dirección radial:

$$\sum \vec{F}_{radial} = m \cdot \vec{a}_{radial}$$

Donde:

$$\vec{a}_{radial} = \frac{\partial^2 r}{\partial t^2} - r\left(\frac{\partial \theta}{\partial t}\right)^2$$

Derivando $r = r_0 + b \cdot sin(Nwt)$ (1) que es la ecuación que define la posición se obtiene la ecuación de la velocidad:

$$\frac{\partial r}{\partial t} = 72 \cdot b \cdot cos(72t)$$

Derivando nuevamente se encuentra la aceleración:

$$\frac{\partial^2 r}{\partial t^2} = -72^2 \cdot b \cdot sin(72t)$$

Con $\frac{\partial \theta}{\partial t} = \omega = 12$ y siendo las fórmulas de movimiento curvilíneo con radio variable se tiene:

$$\vec{a}_r = -72^2 \cdot b \cdot \sin(72t) - \left[r_0 + b \cdot \sin(Nwt) \cdot (12)^2\right]$$

$$\vec{a}_r = -37.392 \cdot \sin(72t) - \left[0.102 + 0.013 \cdot \sin(72t) \cdot (12)^2\right]$$

$$\vec{a}_r = -69.264 \cdot \sin(72t) - 14.688$$

Para t = π/144 (que corresponde al tiempo cuando el pasador está un la cresta A) se tiene:

$$\vec{a}_{radial} = -83.952\left[\frac{m}{s^2}\right]$$

Utilizando la ecuación (1)

R – 19.1 = 0.11*(- 83.952)

Luego, R = 0.11*(- 83.952) + 19.1

R = 9.87 N

ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS ANALITICAMENTE

De acuerdo al ejercicio planteado, el valor de la fuerza de reacción R es de 10 N, lo cual demuestra que el valor calculado analíticamente R = 9.87 N, a través del procedimiento planteado, bajo las hipótesis y suposiciones explicadas, es correcto y difiere del valor de la respuesta debido a la consideración de las cifras decimales, ya que la respuesta teórica de 10 N está redondeada sin decimales.

El comportamiento de la fuerza del resorte a medida que el pasador recorre la superficie de la leva se puede describir como una función periódica sinusoidal, en la cual los valores máximo y mínimo corresponden a los valores de la fuerza en la cresta y valle respectivamente, es decir, la fuerza del resorte aumenta hasta un valor máximo (en la cresta), luego disminuye hasta un valor mínimo (en el valle) repitiéndose periódicamente. En este caso si quisiéramos encontrar el valor de la fuerza del resorte en cualquier punto, podría hacerse en función del tiempo. La "amplitud" de la función fuerza del resorte sería la mitad de la variación de dicha fuerza, es decir:

$(F_R\ (\text{Cresta}) - F_R\ (\text{valle}))\ /\ 2$

$(19.1 - 11.6)\ /\ 2 = 3.75$ Newton

Es importante observar que hallar la función de la fuerza del resorte respecto al ángulo y por tanto al tiempo, no representa mucha dificultad, dado que dicha fuerza mantiene su dirección normal, caso contrario a la fuerza de reacción R, la cual varía además de su magnitud, su dirección.

La aceleración radial y la fuerza de reacción R también se pueden calcular fácilmente en los valles:

Si el pasador se encuentra en un valle, $F_R = 11.6$N, $\text{Sen}(72*t) = -1$

Luego, dado que

$$\overline{a_r} = -69.264 \cdot SIN(72 \cdot t) - 14.688$$

Se tiene que

$$\overline{a_r} = 54.576\ \text{m/s}^2$$

Que en este punto es positiva, es decir va en la dirección que aumenta el radio.

Luego,

$R = 0.11*(54.576) + 11.6 = 17.6$ N.

La fuerza R es mayor en los valles que en las crestas debido a que la aceleración es positiva.

También se puede encontrar el valor de la velocidad en las crestas y en los valles.

Sea V la velocidad del pasador.

$$\overline{v_{radial}} = \frac{\partial R}{\partial t}(radial) + R\frac{\partial \theta}{\partial t}(transversal)$$

Para la cresta. Con $t = \delta/144$

$$\frac{\partial R}{\partial t}(radial) = 72 \cdot b \cdot COS(72 \cdot t) = 0$$

$$R = 0.102 \cdot 0.013 \cdot SIN(72 \cdot t)$$

$$R = 0.115\text{m}$$

$$R \cdot \frac{\partial \theta}{\partial t} = 0.115 \cdot 12 \cdot = 1.38\ \text{m/s}$$

Luego, $\overline{V} = 1.38$ (transversal)

Para el valle. Con $t = 3*\pi/144$

$$\frac{\partial R}{\partial t}(radial) = 72 \cdot b \cdot COS(72 \cdot t) = 0$$

$$R = 0.102 + 0.013 \cdot SIN(72 \cdot t)$$

$$R = 0.089$$

$$R \cdot \frac{\partial \theta}{\partial t} = 0.089 \cdot 12 = 1.068\ \text{m/s}$$

$\overline{V} = 1.068$ m/s (transversal)

Como el vector velocidad del pasador es en todo momento tangente a la trayectoria, se observa que en las crestas y en los valles la componente normal de la velocidad es cero pues la tangente a la trayectoria en estos puntos es perpendicular a la línea radial, luego, toda la velocidad es transversal en estos puntos.

Se observa también que la velocidad en la cresta es mayor que la velocidad en el valle ya que, como la velocidad angular del brazo ranurado es constante, la velocidad tangencial es mayor a medida que el radio aumenta, pues se requiere recorrer un mismo ángulo en el mismo tiempo, pero a su vez un mayor arco de circunferencia en este mismo tiempo, por tanto, la velocidad tangencial tiene que ser mayor para un punto que esté más alejado del centro que otro.

SOLUCIÓN CON WORKING MODEL

Dada la complejidad de la forma de la leva y los problemas de compatibilidad con las extensiones de

los archivos de los programas usados (el hecho que WM sólo admite archivos del tipo ".dxf") fue necesario usar diversos programas. Mediante un software de matemáticas como "Derive for Windows 5.02" y "Matlab 7.0" se realizó una tabla de datos de la función. En Matlab se trabajó con la curva de R parametrizada en X, Y, mientras que en derive con la ayuda del archivo Mat2.mth del profesor Julio César Morales se trabajó en coordenadas polares directamente obteniendo el mismo resultado con ambos. Una vez se contaba con una tabla de datos de la función, se usó el programa "Solid Edge V16" para generar la curva a partir de la tabla de datos importada en Microsoft Excel con el respectivo comando. Luego se convirtió la curva a segmentos lineales para que pudiera ser comprendida por WM. Al sólido generado se le sacó su plano en escala 1:1 y éste guardó con la extensión ".dxf" que es compatible con WM. En WM se importó el archivo con extensión .dxf y se convirtió a polígono, dándole posteriormente una apariencia más estética.

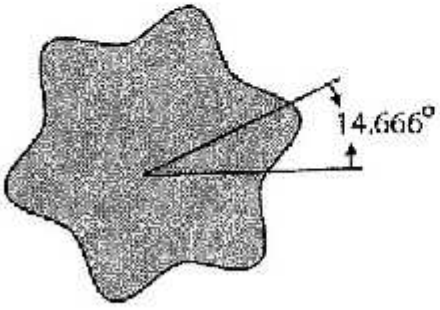
A la hora de usar tantos programas importando archivos de diferente tipo, se presentaron muchos inconvenientes. Hay que resaltar que para que WM logre reconocer la curva trazada, no sólo se requirió grabarla con la extensión adecuada, sino también contar con un número de puntos razonables y que estuvieran unidos mediante segmentos lineales. (El punto exacto fue difícil de encontrar pues si se tomaban muy pocos puntos la curva no quedaba suficientemente exacta ni redondeada y esos "picos" interferían directamente en el comportamiento de la simulación. Si por el contrario se usaban demasiados puntos, los segmentos lineales resultantes eran tan pequeños que no se lograba importar la figura a WM pese a haberla grabado con el formato y extensión adecuados). Así pues, la solución fue generar una tabla con 524 puntos dando como resultado una figura que pudo ser comprendida por WM y con un acabado suficientemente bueno para que no interfiriese en los resultados de la simulación. Otro aspecto a destacar y que pudo en un comienzo ser la causa de errores es que en Matlab se generó la tabla usando los valores en cm y posteriormente en Solid Edge al crear la curva por medio de la tabla, se escogían centímetros como unidad. Lo que se producía era que Solid Edge, configurado por defecto en mm, resultaba realizando una conversión de mm a cm. Por lo tanto no deben modificarse las unidades del programa para que los datos queden tal cual. Además al importar la figura a WM debe antes que nada configurarse las unidades, ya que de lo contrario si se importa primero la geometría y luego se cambian las unidades, el programa realiza también una conversión. Por lo tanto, lo que se hizo fue dejar los datos en Solid Edge sin cambiar las unidades del programa y de la misma manera se procedió en WM primero a configurar las unidades y luego a importar la geometría. El centro de la leva se ubicó en el origen de coordenadas.

Como se explica al comienzo, las dimensiones del pasador y la guía ranurada y del resorte no son relevantes, siempre que la guía permita el completo recorrido del pasador y el resorte se comprima lo especificado por el problema. De esta manera, se dibujó una biela ranurada o su simplificación equivalente en WM (un rectángulo con elemento de ranura) y un pasador proporcionales al tamaño de la leva pero con dimensiones arbitrarias. Para el resorte, una vez creado, se le colocó la constante de elasticidad k y para la longitud (correspondiente a la longitud natural) se restó a la longitud actual la compresión X discutida anteriormente en Cálculo de La Constante K del Resorte, (en el apartado "La Sección Solución Analítica") de manera que excediese en lo que se debe encontrar comprimido el resorte a la longitud actual. Para garantizar la velocidad constante de rotación se colocó en la ranura un motor y se pusieron las relaciones necesarias para ligar los elementos del mecanismo.

En WM se terminó de definir y organizar el entorno de trabajo. Se suprimió la gravedad, pues como se explicó en el plano donde se realiza el análisis (plano horizontal) ésta no tiene efecto, se quitó la fricción cinética y estática entre los diferentes cuerpos, se les puso así mismo un coeficiente de elasticidad e = 0 para que no rebotasen, se cuadró la velocidad del motor (que por cierto es tan alta que se hace necesario cuadrar la precisión muy baja de manera que la reproducción sea más lenta y se logre visualizar). Se configuró un control de pausa usando una posición angular adecuada de manera que la simulación se pausara en el momento en que el resorte se encontrase sobre un máximo.

Para facilitar el trabajo, el sistema se rotó de manera tal, que el máximo quedase en 0°.

Figura 4 – Ángulo θ que se encuentra rotada la leva para que una cresta quede en θ =0° –Para facilitar el modelamiento del problema se rotó la leva un ángulo de θ = 14.666° = 0.256rad. Esto no influye en el comportamiento, pues equivale a escoger un sistema polar de referencia adecuado.

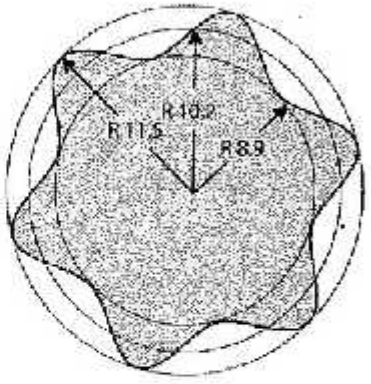


ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS CON LA SIMULACIÓN EN WORKING MODEL

Por la instrucción del problema y lo complejo que sería encontrar una ecuación que describiese en todo momento la reacción r, el análisis que se lleva a cabo es puntual. Por lo tanto no se usan gráficas sino que se prefiere mostrar los resultados como valores. Figuras 6. y 7.

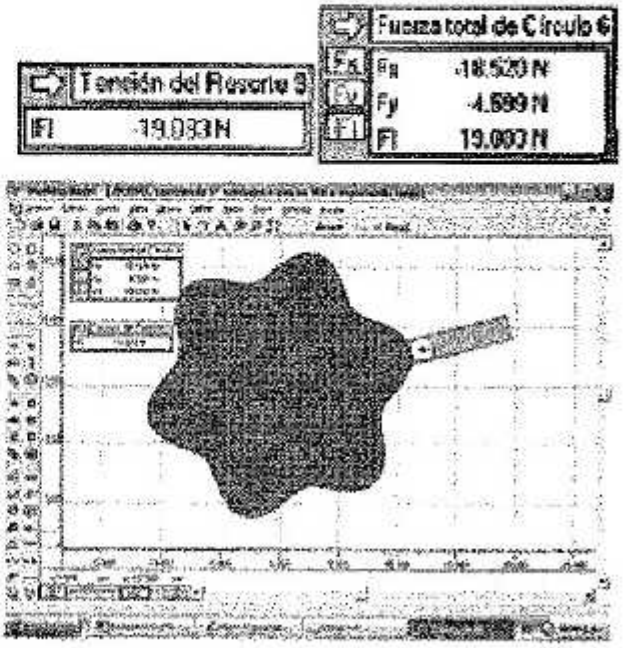
Para verificar que la geometría importada sí quedó correcta, se puede observar en el archivo adjunto "Verificación de los diámetros y la amplitud b", que se graficaron los tres diámetros notables con radios respectivamente de 11.5 cm, 10.2 cm y 8.9 cm (0.115 m, 0.102 m y 0.089 m). Nótese que el diámetro primitivo para t = 0s es R_0=10.2cm, y si a este se le suma o se le resta la amplitud, se obtienen los diámetros máximo y mínimo respectivamente. De esta manera la diferencia entre el diámetro externo que pasa por los máximos de la leva y el diámetro interno que pasa por los mínimos es dos veces la amplitud 2b = (2)(1.3)=2.6 cm como se observa en las Figuras 3. y 5.

Figura 5 – Diámetros notables de la leva – Se observan el diámetro exterior que corresponde a la circunferencia que pasa por los máximos, el diámetro interior que corresponde a la circunferencia que pasa por los mínimos y el diámetro primitivo que corresponde al valor R0 en la ecuación (1).



La manera de comprobar que la simulación está puesta a punto, es observar que las fuerzas de compresión del resorte que da el problema en una cresta o un valle concuerden con los que arroja WM. Para esto, se tiene, usando el modelo con la leva rotada, que la tensión en el resorte cuando la manivela se encuentra con un ángulo de 0° ó 180°, debe corresponder a la fuerza del resorte en una cresta que es según el problema 19.1N, véase la Figura 5. Análogamente la fuerza en el valle que está por ejemplo a 14.666° debe ser 11.6N como se verifica en la Figura 6.

Figura 6 – Seguidor en una cresta de la leva – Se observa en las figuras superiores que la tensión o fuerza en el resorte corresponde al enunciado del problema. Sin embargo, la reacción en el seguidor no concuerda con la obtenida analíticamente. La posición de la manivela es en este caso 14.66° y se obtuvo la información creando un control de pausa.



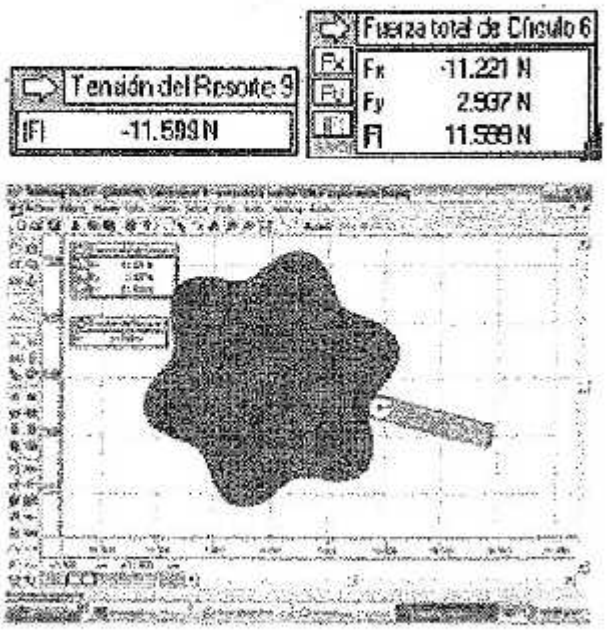


Figura 7 – Seguidor en un valle de la leva –Se observa en las figuras superiores, que la tensión o fuerza en el resorte corresponde al enunciado del problema. Sin embargo, la reacción en el seguidor no concuerda con la obtenida analíticamente. La posición de la manivela es en este caso -14.66° y se obtuvo la información creando un control de pausa.

COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Contrario a lo esperado, la simulación no arrojó resultados iguales o similares a los obtenidos analíticamente. Esto puede deberse a todos los problemas asociados con la geometría principal: la leva. El cambio entre programas, la forma en que se concibió la grafica, entre otros, pueden ser las causas de error. Se ensayaron diversas propuestas y se invirtió mucho tiempo buscando una solución, pero esto se complicó también, ya que sólo contamos con información en 2 puntos. Por lo tanto, no se puede ver cómo se comporta el resto de la simulación.

Al parecer, por lo que indican las Figuras 6. y 7. el programa asume la reacción en el seguidor como una mera reacción a la fuerza ejercida por la tensión del resorte (por la tercera ley de Newton), sin tener en cuenta las fuerzas producidas por la normal de la ranura, las fuerzas debidas a la aceleración radial.

Se concluye que por el resultado arrojado por WM, que no tiene mucho sentido y debido a todas las complicaciones que se tuvieron para lograr simular el problema, que este resultado es poco confiable. Además por las geometrías implicadas en la simulación, no era siempre posible garantizar tangencia entre el pasador y la leva. Otra cosa puede ser también, que teóricamente el problema planteado tiene solución, pero que, en la realidad o en la simulación, no. Por ejemplo se notó que la velocidad angular era muy alta lo que pudo generar conflictos en WM.

CONCLUSIONES

- En el problema, la barra AB no tiene aceleración constante.
- La fuerza de reacción R se puede calcular en los puntos donde su dirección es radial; para calcularla en cualquier otro punto de la trayectoria, es necesario encontrar la función con la cual varía.
- Bajo las hipótesis planteadas, los resultados obtenidos son coherentes.
- Para el ejercicio, como en la trayectoria, la distancia del pasador al centro de la leva varía, es adecuado utilizar un sistema de coordenadas polar.
- El sistema se comporta de una forma cíclica, por tanto sólo es necesario analizar el comportamiento de éste entre dos puntos, donde F_R tenga el mismo valor.
- En la fuerza resultante, no sólo intervienen la acción de otras fuerzas directas, sino de la aceleración misma a la que se encuentra sometido el sistema.
- La alternativa de realizar simulaciones puede resultar un importante punto de vista, siempre y cuando se tenga un programa adecuado y las condiciones que éste requiere para trabajar correctamente.

REFERENCIAS

[1] Alonso, Marcelo y Finn, Edward J. Física, Volumen 1: Mecánica. Addison-Wesley Iberoamericana. Argentina. 1967.

[2] Aristizábal Ramirez, Diego Luis responsable en Internet: http://www.unalmed.edu.co/fisica, MSc. profesor Asociado de la Escuela de Física. e-mail: daristiz@unalmed.edu.co

[3] Beer, Ferdinand P. y Johnston, E. Russell, Mecánica vectorial para ingenieros, Dinámica. Editorial Panamericana. 1977, tercera edición. pp. 1-99.

[4] Hibbeler R. C. Mecánica vectorial para ingenieros, Dinámica. Pearson, Prentice Hall. México. 2004.

[5] Meriam, James L. Dinámica. Editorial Reverté. España. 1970. pp.17-159.

Documento recepcionado en el CINTEX el 28 de marzo de 2007. Evaluado el 13 de junio de 2007 por el Ingeniero Mecánico, Alvaro Delgado Mejía, profesor investigador del Tecnológico Pascual Bravo, Institución Universitaria. Medellín.