

## Análisis dinámico multicuerpo en MSC ADAMS/VIEW

PONCE-REYNOSO, Rodolfo†\*, MARTÍNEZ-REBOLLEDO, Miguel Ángel, RABADÁN-VARGAS, Miguel y BRAVO-REYNA, Cándido

*Universidad Tecnológica de la Región Norte de Guerrero. S/N, Civi, 40032 Iguala de la Independencia, Gro.*

Recibido 8 de Abril, 2017; Aceptado 28 de Junio, 2017

### Resumen

El software de simulación grafica ADAMS (análisis dinámico automático de sistemas mecánicos) es empleado como herramienta de solución a los problemas cinemáticos y cinéticos de eslabonamientos y mecanismos comúnmente encontrados en los cursos de dinámica de máquinas de los programas educativos de Ingeniería Mecánica. En principio se listan las ecuaciones de movimiento relativo, que hacen uso del álgebra vectorial, así como las ecuaciones cinéticas de fuerza. Después se desarrollan y simulan los modelos de tres casos de estudio de eslabonamientos dentro del entorno grafico de ADAMS. Finalmente, se comparan los resultados cinemáticos obtenidos de manera analítica y numérica. La aplicación de este software de simulación para la solución de problemas de dinámica multicuerpo, junto con un sólido conocimiento de los fundamentos teóricos básicos de los sistemas mecánicos, incrementará las habilidades de análisis y diseño de los profesionales y estudiantes de Ingeniería Mecánica.

**Dinámica multicuerpo, MSC ADAMS/View, análisis cinemático, análisis cinético, mecanismo, algebra vectorial**

### Abstract

The graphical simulation software ADAMS (automatic dynamic analysis of mechanical systems) is employed as a tool to solve to the kinematics and kinetics problem of linkages and mechanisms commonly found in dynamics of machines courses of educative programs of Mechanical Engineering. First, the relative motion equations are listed, which makes use of the vector algebra, as well as kinetic equations of force. Then three study cases of linkages are developed and simulated within the ADAMS graphical environment. Finally, kinematic results obtained through an analytical and numerical way are compared. The application of this simulation software for the solution of multibody dynamics problems, along with a solid knowledge of the basic theoretical principles of the mechanical systems, will rise the professional's and Mechanical Engineering student's analysis and design skills.

**Multibody dynamics, MSC ADAMS/View, kinematics analysis, kinetics analysis, mechanism, vector algebra**

**Citación:** PONCE-REYNOSO, Rodolfo, MARTÍNEZ-REBOLLEDO, Miguel Ángel, RABADÁN-VARGAS, Miguel y BRAVO-REYNA, Cándido. Análisis dinámico multicuerpo en MSC ADAMS/VIEW. Revista de Tecnologías Computacionales 2017. 1-2:36-45

† Investigador contribuyendo como primer autor.

\*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: ponce.reynoso@gmail.com

## Introducción

Un sistema mecánico se define como una colección de cuerpos (o eslabones) en la que algunos o todos esos cuerpos pueden moverse uno en relación al otro. El movimiento de los sistemas mecánicos puede ser plano (dos dimensiones), o experimentar movimiento espacial (tridimensional), como es el caso de la suspensión y el sistema de dirección de un automóvil. Cualquier sistema mecánico se puede representar esquemáticamente como un sistema multicuerpo, es decir, que es de mayor importancia la conectividad y características inerciales de los cuerpos, el tipo y localización de las articulaciones, características de los resortes, amortiguadores, entre otros.

La rama de la mecánica que se encarga del estudio de los sistemas que modifican su respuesta con respecto al tiempo, es la dinámica. A su vez, la dinámica se divide en dos disciplinas, la cinemática y la cinética. La cinemática estudia el movimiento sin tomar en cuenta las fuerzas que producen ese movimiento; i.e., el estudio de los desplazamientos, velocidades y aceleraciones. Por otro lado, la cinética es la encargada del estudio del movimiento y su relación con las fuerzas que lo producen. Los métodos tradicionales de solución emplean cálculo vectorial, ya que las variables cinemáticas principales son cantidades vectoriales. El empleo de estos esquemas clásicos de solución de la dinámica de movimiento, es con frecuencia extenso y difícil, especialmente para sistemas mecánicos complejos.

El propósito del análisis y modelado de sistemas mecánicos asistido por computadora es desarrollar y solucionar sus ecuaciones de movimiento. Para ello se requiere tener conocimiento a priori del número de cuerpos que conforman ese sistema, el tipo de articulaciones, elementos de fuerza, así como de características geométricas y físicas.

Entonces, el paquete computacional genera todas las ecuaciones que gobiernan el movimiento y las resuelve numéricamente. Es por ello, que el modelado por computadora es una herramienta efectiva para acelerar y mejorar el diseño de nuevos sistemas mecánicos.

Existen muchas aplicaciones de la vida cotidiana que hacen uso de los beneficios de los mecanismos, entre ellos se pueden mencionar trenes de aterrizaje de aviones, maquinaria de construcción, maquinas herramientas, robots industriales, mecanismos de apertura y cierre de puertas y garaje, procesos en líneas de producción automatizadas, entre muchas otras. La utilización de un software de análisis dinámico multicuerpo, representa una herramienta auxiliar poderosa para la obtención de datos e información fundamental acerca del comportamiento físico de algún sistema mecánico en particular. Sin embargo, es necesario que el estudiante de Ingeniería Mecánica posea una formación sólida en el área de Dinámica de movimiento, con la finalidad de poder comprender los principios físicos y fenómenos involucrados en el movimiento de mecanismos y maquinas.

La mayoría de las aplicaciones de Ingeniería tienen que ver con cuerpos rígidos que se mueven bajo restricciones determinadas. La solución de un problema que implica un movimiento plano restringido requiere de un análisis cinemático preliminar del problema. Comúnmente en la solución de problemas que involucren dinámica multicuerpo, es necesario utilizar álgebra vectorial para realizar el análisis cinemático y el análisis cinético. Además del evidente grado de dificultad del análisis vectorial, los problemas de dinámica multicuerpo se resuelven para una única posición (configuración) del mecanismo o eslabonamiento. Asimismo, los datos cinemáticos son expresados para esa configuración en particular.

Si se requiere obtener información completa acerca de todo el rango de movimiento del mecanismo, se deben realizar cálculos para cada posición de interés deseada o desarrollar un algoritmo computacional en algún entorno de programación numérica.

Adicionalmente, si la forma geométrica de los eslabones que conforman al mecanismo es compleja, se incrementa considerablemente la dificultad del cálculo de parámetros cinéticos como el momento de inercia o la posición del centro de masa. Esto se torna aún más complejo cuando el movimiento del mecanismo es en el espacio cartesiano y cuenta con distintos tipos de articulaciones en las uniones de los eslabones. Una vez efectuados el análisis cinemático y cinético de algún mecanismo, se cuenta entonces con información específica como historiales de torque y fuerzas de reacción en los apoyos y uniones, pudiendo así seleccionar los actuadores y rodamientos adecuados. El objetivo es precisamente obtener una primera aproximación del diseño del mecanismo, que pueda después ser analizado desde el punto de vista de mecánica de materiales o metodología del Elemento Finito, para calcular esfuerzos y deformaciones que conlleven al diseño óptimo del mecanismo.

Existen trabajos reportados en la literatura con respecto al empleo del software MSC ADAMS en la resolución de problemas cinemáticos de mecanismos, como los que se encuentran en (Anis, 2012), (Sarga, Hroncová & Rákay, 2015), (Frankosvky, Hroncová & Virgala, 2015) y (Yu, Xue & Mei, 2009).

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad mostrar el alto grado de efectividad, precisión y confiabilidad en los resultados obtenidos al utilizar como herramienta de apoyo el software MSC ADAMS VIEW, en el análisis cinemático y cinético de sistemas mecánicos multicuerpo.

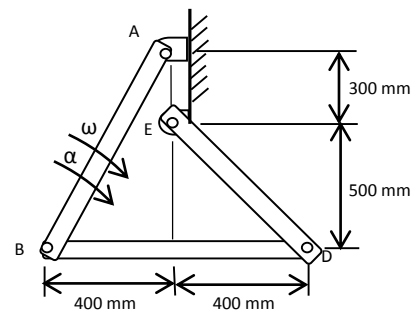
Se presentarán y compararán los resultados obtenidos por medio de análisis analítico (álgebra vectorial) y de análisis numérico (MSC ADAMS VIEW), de tres diferentes eslabonamientos tomados como casos de estudio.

### Casos de estudio

Un eslabonamiento es un mecanismo formado por la conexión de dos o más elementos (eslabones), unidos mediante pasadores, tuerca con tornillo o remaches, y que son diseñados para cambiar la dirección de una fuerza o hacer que dos o más objetos se muevan al mismo tiempo. Existen por lo general dos clases de eslabonamientos: eslabonamientos planos simples y eslabonamientos especializados más complejos; ambos son capaces de ejecutar tareas tales como describir líneas rectas o curvas y ejecutar movimientos a diferentes velocidades (Sclater, 2011).

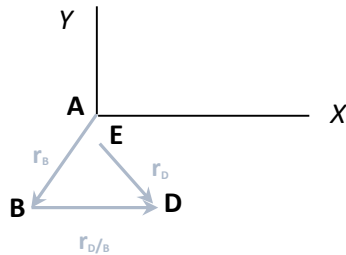
### Análisis cinemático de un eslabonamiento plano

Se sabe que en el instante mostrado la barra AB tiene una velocidad angular de  $4 \text{ rad/s}$  y una aceleración angular de  $2 \text{ rad/s}^2$  en el sentido de las manecillas del reloj. Se desea determinar las velocidades y aceleraciones angulares de las barras BD y DE (Beer, Johnston & Cornwell, 2010). La figura 1 ilustra el eslabonamiento.



**Figura 1** Esquema del eslabonamiento (Beer, Johnston & Cornwell, 2010).

El primer paso del método vectorial es establecer un diagrama vectorial que ilustre claramente los vectores de posición de cada punto de interés del eslabonamiento. Esto se muestra en la figura 2.



**Figura 2** Diagrama vectorial del eslabonamiento.

De acuerdo a las dimensiones del bosquejo inicial y del diagrama vectorial, los vectores de posición quedan definidos como:

- $r_B = -400i - 800j$
- $r_{D/B} = 800i + 0j$
- $r_D = 400i - 500j$

Ahora, empleando el teorema de velocidades y aceleraciones relativas, el cual se define mediante las siguientes expresiones:

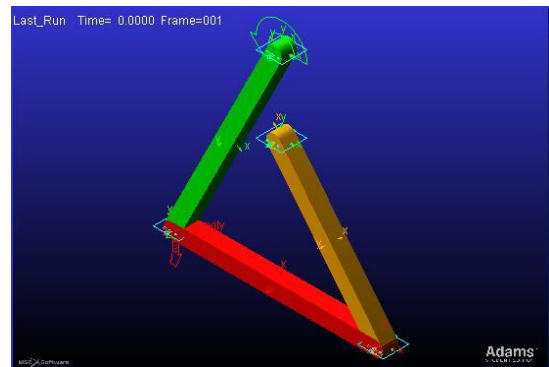
$$\begin{aligned} \vec{V}_D &= \vec{V}_B + \vec{V}_{D/B} \\ \omega_{DE} \hat{k} \times \vec{r}_D &= \omega_{AB} \hat{k} \times \vec{r}_B + \omega_{BD} \hat{k} \times \vec{r}_{D/B} \\ \vec{a}_D &= \vec{a}_B + \vec{a}_{D/B} \\ \vec{a}_D &= \alpha_{DE} \hat{k} \times \vec{r}_D - \omega_{DE}^2 \vec{r}_D \\ \vec{a}_B &= \alpha_{AB} \hat{k} \times \vec{r}_B - \omega_{AB}^2 \vec{r}_B \\ \vec{a}_{D/B} &= \alpha_{BD} \hat{k} \times \vec{r}_{D/B} - \omega_{BD}^2 \vec{r}_{D/B} \end{aligned} \quad (1)$$

En donde  $r_D$ ,  $r_B$ ,  $r_{D/B}$ ,  $V_D$ ,  $V_B$ ,  $V_{D/B}$ ,  $a_D$ ,  $a_B$ ,  $a_{D/B}$  representan respectivamente las posiciones, velocidades y aceleraciones lineales de esos puntos específicos del mecanismo (mm, mm/seg, mm/seg<sup>2</sup>).

Y  $\omega_D$ ,  $\omega_B$ ,  $\omega_{D/B}$ ,  $\alpha_D$ ,  $\alpha_B$  y  $\alpha_{D/B}$  son las velocidades y aceleraciones angulares de los eslabones del mecanismo (rad/seg, rad/seg<sup>2</sup>).

Después se sustituyen los valores conocidos en las ecuaciones anteriores, se realizan los respectivos productos vectoriales e igualan términos en i y j para obtener un sistema de ecuaciones escalares, el cual es resuelto simultáneamente.

Este eslabonamiento es ahora modelado y simulado en MSC ADAMS/VIEW, obteniendo los historiales siguientes de velocidades y aceleraciones angulares buscadas, los cuales equivalen a múltiples posiciones del eslabón de entrada a lo largo del tiempo, esto es que, se puede conocer el valor de velocidad y aceleración angular instantáneo de las barras BD y DE para cualquier posición angular del eslabón de entrada (barra AB). La figura 3 muestra el modelo en ADAMS.



**Figura 3** Modelo en MSC ADAMS/VIEW.

Las figuras 4 y 5 presentan los gráficos que se obtienen al ejecutar la simulación de movimiento del eslabonamiento. Los historiales de velocidades y aceleraciones angulares son expresados en rad/seg y en rad/seg<sup>2</sup>, respectivamente.

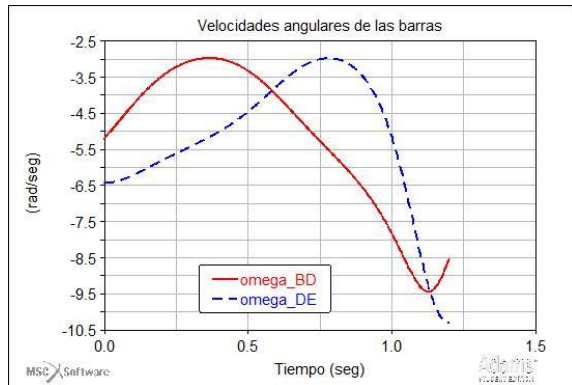


Figura 4 Velocidades angulares de las barras.

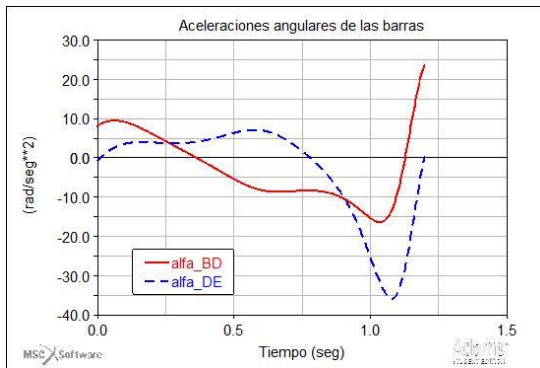


Figura 5 Aceleraciones angulares de las barras.

**Análisis cinético de un mecanismo de cuatro barras**

El método de análisis de fuerzas dinámicas (inerciales) que proporciona la mayor información acerca de fuerzas internas de los mecanismos, requiere tan solo del empleo de las leyes de Newton. Estas pueden ser escritas como la sumatoria de todas las fuerzas y torques en el sistema, como se define en las ecs. (2) y (3).

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \tag{2}$$

$$\sum \vec{T} = I_G \vec{\alpha} \tag{3}$$

En donde  $\vec{F}$  representa las distintas fuerzas involucradas (Newton, N),  $m$  es la masa del cuerpo (Kg),  $\vec{a}$  es la aceleración lineal del centro de masa de ese cuerpo (mm/seg<sup>2</sup>),  $\vec{T}$  es el torque aplicado (Newton-mm),  $I_G$  es el momento de inercia del cuerpo con respecto al centro de masa (Kg-mm<sup>2</sup>) y  $\vec{\alpha}$  representa la aceleración angular del cuerpo en rotación (rad/seg<sup>2</sup>).

También es conveniente sumar por separado las componentes de fuerza en las direcciones X y Y. Los torques en un sistema de coordenadas bidimensional se encuentran todos en la dirección Z. Esto permite separar las dos ecuaciones vectoriales anteriores en tres ecuaciones escalares (ec. (4)).

$$\begin{aligned} \sum F_x &= ma_x \\ \sum F_y &= ma_y \\ \sum T &= I_G \alpha \end{aligned} \tag{4}$$

Estas tres ecuaciones deben ser definidas para cada eslabón móvil en el sistema, lo cual conduce a establecer un conjunto de ecuaciones algebraicas que se resuelven de manera simultánea mediante un método matricial.

La figura 6 muestra el modelo desarrollado en MSC ADAMS/VIEW de un mecanismo de cuatro barras.

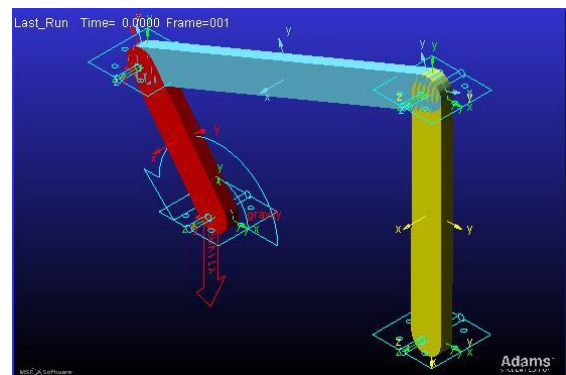


Figura 6 Modelo desarrollado en ADAMS/VIEW.

Para poder utilizar las ecs. (2)-(4), es necesario conocer las aceleraciones lineales y rotacionales de los centros de masa de los eslabones que se encuentran en movimiento, es decir, se requiere de efectuar un análisis cinemático preliminar. Esto es comúnmente complejo según la geometría de los eslabones del mecanismo, además de que al emplear álgebra vectorial es importante tomar en cuenta los signos de las cantidades vectoriales para no cometer errores de cálculo. La interfaz de post-procesamiento de ADAMS/VIEW permite generar gráficos de manera inmediata que proporcionen información de velocidades y aceleraciones angulares de los eslabones BD y ED (figuras 7 y 8).

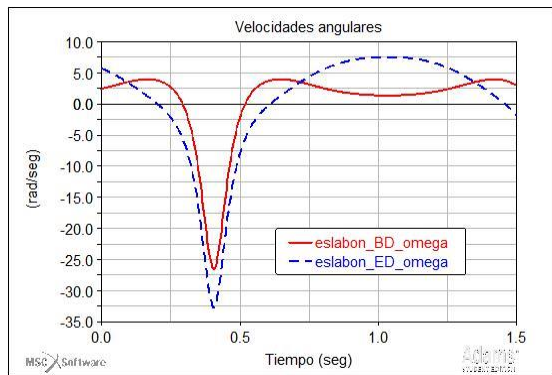


Figura 7 Velocidades angulares de las barras.

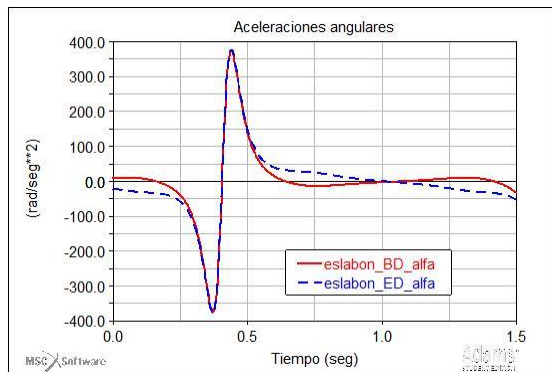


Figura 8 Aceleraciones angulares de las barras.

Como se mencionó en la introducción de este trabajo, en la fase del diseño de mecanismos es necesario calcular, además del dimensionamiento de los eslabones del mecanismo, las fuerzas y torques que actúan en los pernos y pasadores de las articulaciones, y de este modo seleccionar los rodamientos y actuadores (motores) adecuados para ese mecanismo en particular. Esto evitará concentraciones de esfuerzos elevadas y deformaciones excesivas en los eslabones. Las fuerzas de reacción para la articulación B en las direcciones X y Y se muestran en la figura 9. La figura 10 ilustra el torque requerido que se debe aplicar en la articulación de entrada para mantener las velocidades y aceleraciones angulares que se solicitan.

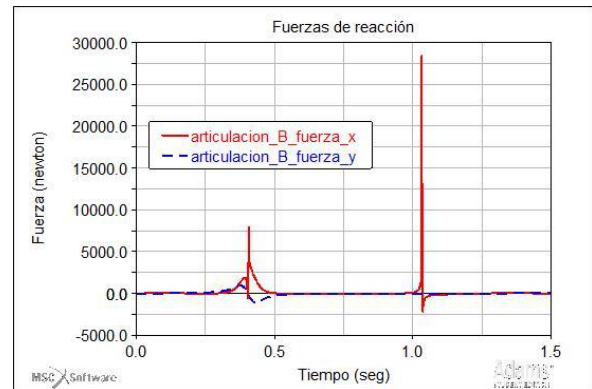


Figura 9 Fuerzas de reacción en la articulación B.

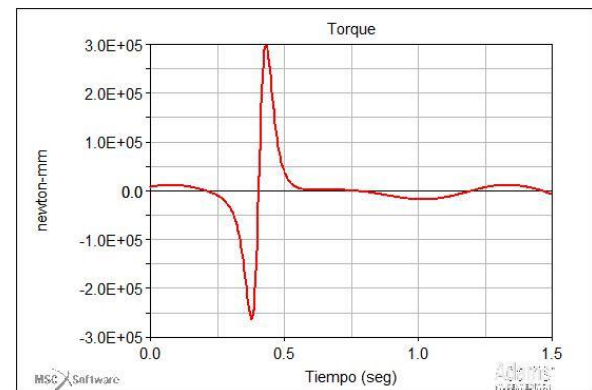


Figura 10 Torque requerido para el mecanismo (articulación B).

**Análisis cinemático tridimensional de un eslabonamiento**

Un extremo de la barra rígida CD se desliza a lo largo del miembro horizontal AB con una velocidad de 3 m/s, y el otro extremo situado en D lo hace a lo largo del miembro vertical EF. Se requiere determinar la velocidad del collarín situado en D y la velocidad angular de la barra CD en el instante mostrado (Hibbeler, 2004). La figura 11 muestra el modelo desarrollado en MSC ADAMS/VIEW del eslabonamiento tridimensional.

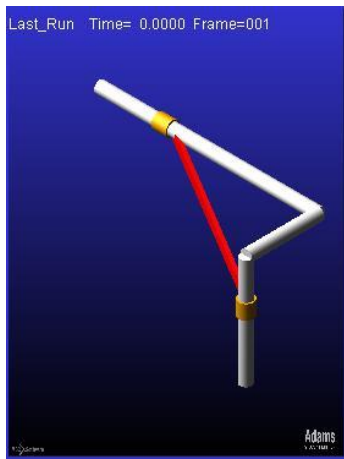


Figura 11 Modelo en ADAMS/VIEW

La figura 12 presenta el gráfico de los resultados obtenidos al efectuar la respectiva simulación para el movimiento de la barra CD. Se obtienen los historiales de  $\omega_x$ ,  $\omega_y$  y  $\omega_z$ . Por otro lado, la figura 13 ilustra el comportamiento de velocidad vertical ( $V_D$ ) del collarín D.

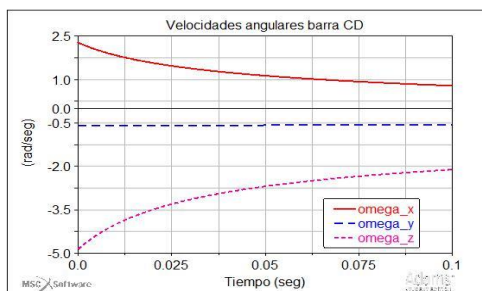


Figura 12 Velocidades angulares de la barra CD.

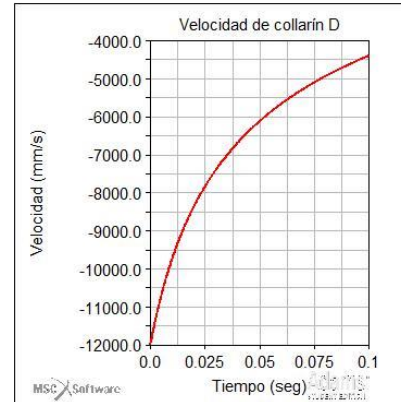


Figura 13 Velocidad lineal del collarín D.

**Resultados**

Parámetro cinemático	Álgebra Vectorial	ADAMS/VIEW
<b>Velocidad angular <math>\omega_{BD}</math> (rad/seg)</b>	<b>-5.2</b>	<b>-5.2</b>
<b>Velocidad angular <math>\omega_{ED}</math>(rad/seg)</b>	<b>-6.4</b>	<b>-6.4</b>
<b>Aceleración angular <math>\alpha_{BD}</math> (rad/seg<sup>2</sup>)</b>	<b>8.152</b>	<b>8.152</b>
<b>Aceleración angular <math>\alpha_{ED}</math> (rad/seg<sup>2</sup>)</b>	<b>-0.896</b>	<b>-0.896</b>

Tabla 1 Comparación caso de estudio 1

Parámetro cinemático	Álgebra Vectorial	ADAMS/VIEW
<b>Velocidad angular <math>\omega_{BD}</math> (rad/seg)</b>	<b>2.29</b>	<b>2.2857</b>
<b>Velocidad angular <math>\omega_{ED}</math>(rad/seg)</b>	<b>-0.571</b>	<b>-0.5714</b>
<b>Aceleración angular <math>\alpha_{BD}</math> (rad/seg<sup>2</sup>)</b>	<b>-4.86</b>	<b>-4.8571</b>
<b>Aceleración angular <math>\alpha_{ED}</math> (rad/seg<sup>2</sup>)</b>	<b>-12000</b>	<b>-12000</b>

Tabla 2 Comparación caso de estudio 3

Como se aprecia en las tablas 1 y 2, los resultados obtenidos de las simulaciones efectuadas en MSC ADAMS/View, concuerdan exactamente con los resultados que se generan al emplear las ecuaciones de movimiento relativo por de algebra vectorial. Esto demuestra el elevado grado de exactitud en los cálculos realizados por el software, el cual puede ser utilizado para el análisis y diseño de sistemas mecánicos con muchos más grados de libertad y complejidad de movimiento. No se presenta comparación con el caso de estudio 2, ya que ADAMS se basa en las ecuaciones de dinámica Lagrangiana (McConville, 2015), las cuales difieren un poco con respecto a las ecuaciones de Newton que toman, para un movimiento plano, como eje para el cálculo del momento de inercia del centro de masa el eje Z.

Como trabajo futuro se realizarán simulaciones usando los módulos de ADAMS/Machinery como son engranes, bandas, cadenas con catarinas, rodamientos, poleas, motores y levas, y se compararan con los métodos de análisis y cálculo tradicionales del diseño mecánico. También se estudiarán y explorarán los programas adicionales de ADAMS de Mecatrónica, Control y Vibraciones mecánicas.

### Agradecimiento

Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica de la Región Norte de Guerrero por su valioso apoyo para la realización de este trabajo de investigación.

### Conclusiones

En este trabajo se mostró un procedimiento para resolver problemas de dinámica multicuerpo, empleando álgebra vectorial y modelado gráfico en el software MSC ADAMS/View. Los resultados obtenidos se presentan en forma de diagramas de las variables cinemáticas y cinéticas deseadas en función del tiempo.

Se presentaron tres casos de estudio, un eslabonamiento plano, un mecanismo de cuatro barras y un eslabonamiento en el espacio. La simulación del modelado fue realizada en el software MSC ADAMS/View. En todos los casos los resultados obtenidos son idénticos a los que se generan empleando la solución analítica, lo cual demuestra la confiabilidad y exactitud del empleo del software en la resolución de este tipo de problemas.

El programa MSC ADAMS/View facilita notablemente el análisis de sistemas mecánicos más complejos con múltiples grados de libertad. El perfeccionamiento del uso de las herramientas que proporciona el software MSC ADAMS/View resultara en un invaluable apoyo para resolver problemas de diseño en la industria y en la enseñanza de dinámica multicuerpo en los cursos de Ingeniería Mecánica.

### Referencias

- Anis, A. (2012) Simulation of Slider Crank Mechanism Using ADAMS Software. *International Journal of Engineering and Technology*. 12-4: 108-112.
- Beer, F. P., Johnston, E. R., Cornwell, P. J. (2010). *Mecánica Vectorial para Ingenieros Dinámica*. McGraw-Hill (Eds.), pp. 920–1003). México: E-Publishing Inc.
- Frankovský, P., Hroncová, D., Virgala, I. (2015) Kinematics Analysis of the Six Member Mechanism in MSC Adams/View. *International Scientific Journal about Simulation* 1-1 :17-22
- Hibbeler, R. C. (2004) *Mecánica Vectorial para Ingenieros. Dinámica*. Pearson Educación (Eds.), (pp. 523–540). México
- McConville, J. B. (2015) *Introduction to Mechanical System Simulation Using Adams*. SDC Publications (Eds.), (pp. 7–14). USA.



Sarga, P., Hroncová, D., Rákay, R. (2015) The MSC Adams/View and Simulation of the Crank Rocker Mechanism. *American Journal of Mechanical Engineering*. 3-6: 161-164.

Sclater, N. (2011). *Mechanisms and Mechanical Devices*. McGraw-Hill (Eds.), (pp. 5–8). New York: E-Publishing Inc

Yu, L., Xue, Y., Mei, S. (2009) The Application of Adams in the Mechanical System Simulation Course. *IEEE Xplore Digital Library*.