

Análisis cinemático en simultaneidad de operación de mecanismos de 4 barras mediante el uso de realidad aumentada en plataforma libre

Kinematic analysis in simultaneous operation for a four-bar linkage through the use of augmented reality in open software

Javier Rangel Castro¹, Andrés Felipe Mantilla Rueda², Juan Diego Villamizar García³, William Pinto Hernandez⁴

¹Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad Industrial de Santander, Colombia. Email: javyrara_9511@hotmail.com

² Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad Industrial de Santander, Colombia. Email: danigus6@gmail.com

³ Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad Industrial de Santander, Colombia. Email: juandivillamizar@yahoo.com

⁴ Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad Industrial de Santander, Colombia. Email: wpintoh@uis.edu.com

Resumen

El objetivo de este trabajo es proporcionar una herramienta computacional que facilite el estudio del análisis cinemático de un mecanismo de 4 barras, proporcionando las gráficas correspondientes a la posición, velocidad y aceleración de los puntos importantes del mecanismo en simultaneidad con el movimiento de este. Para ello, se hace uso de herramientas de realidad aumentada en el software libre Processing 3.0 que permite procesar la topología del mecanismo a partir de una cámara. Se busca que la herramienta sea asequible y fácil de usar y de modificar para aplicaciones similares. Los resultados obtenidos demuestran que la metodología utilizada es funcional y permite visualizar satisfactoriamente los gráficos de posición y velocidad del mecanismo en simultáneo con su operación, sin embargo se encuentran algunas limitaciones producto de la tecnología implementada y debido a esto, las gráficas de aceleración son muy ruidosas y distorsionadas, y solo es aceptable con el mecanismo a baja velocidad, en este caso a 13 rpm.

Palabras clave: Mecanismo, Realidad Aumentada, Análisis Cinemático, Software Libre.

Abstract

The objective of this work is to provide a computational tool aim to simplify the kinematic analysis of a 4 bar linkage by providing the according graph of position, velocity and acceleration of the key points of the linkage in simultaneous operation with it. For this, augmented reality concept is used to read and process the information of the mechanism through a camera in the free software Processing 3.0. This tool is mean to be available and easy to use and modify for related applications. The results shows that the methodology used here is in fact useful and reliable for position and velocity analysis but it also indicate some limitations due to the available technology that causes a noisy and inaccurate graph for the acceleration and a low speed requirement for the proper overall performance that in this case sets in 13 rpm.

Keywords: Linkage; Augmented Reality; Kinematic Analysis; Open Software.

1. Introducción

En el campo de estudio de los mecanismos es relevante conocer las posiciones, velocidades y aceleraciones angulares relativas de las barras para el correcto análisis y diseño, los cálculos que se requieren para esto son dispendiosos cuando se realizan a mano y en los laboratorios de la escuela de ingeniería mecánica de la UIS no se cuenta con una plataforma digital que permita realizar estos de forma óptima. El objetivo de este trabajo es proporcionar una herramienta computacional que facilite el estudio del análisis cinemático del mecanismo de 4 barras, proporcionando datos y gráficas relevantes en simultaneidad con el movimiento del mecanismo, utilizando el software libre Processing 3.0. Para esto, se hace uso de herramientas de realidad aumentada, determinando los puntos claves del mecanismo, consiguiendo así una detección de la topología a partir de una cámara. Se busca que la herramienta sea asequible y fácil de usar para estudiantes y profesores de la materia mecánica de máquinas, con el fin de que se convierta en un valioso recurso para dicha materia.

2. Método(s), metodología

Para el uso de una plataforma libre y simple que cuenta con integración de librerías de realidad aumentada, se seleccionó Processing 3.0 por su IDE sencilla. Este software fue creado inicialmente como una plataforma de bocetado de códigos dentro de un contexto visual y es a día de hoy una herramienta versátil para el desarrollo de software a nivel profesional. Processing puede ejecutarse en Mac, Windows y Linux. [6]

2.1 Realidad Aumentada

La realidad aumentada se basa en la visión artificial haciendo uso de una cámara para reconocer una imagen con un patrón prediseñado en blanco y negro llamado *marcador* y un software que procesa continuamente la posición de este marcador. En este proyecto se hizo uso de una WebCam Logitech C270 (ver figura 1) que cuenta con 720p y 30 fps.[1]



Figura 1. WebCam Logitech C270. Fuente:[1]

Para poder emplear los marcadores de realidad aumentada, se hace uso de la librería disponible en processing NyAR4psg. Es en esta librería donde se encuentran las herramientas para el reconocimiento de los marcadores específicos a emplear. Los marcadores a usar son los números 0, 5, 8 y 9, que se pueden apreciar en la figura 2, se escogieron estos debido a que presentan diferencias significativas en sus diseños; puesto que se trata de un procesamiento en simultaneidad de operación; los marcadores se estarán moviendo junto con el mecanismo a analizar y por ello se hace más alta la probabilidad de que se presenten falsos positivos en el proceso de detección si los diseños difieren por poco. [2]

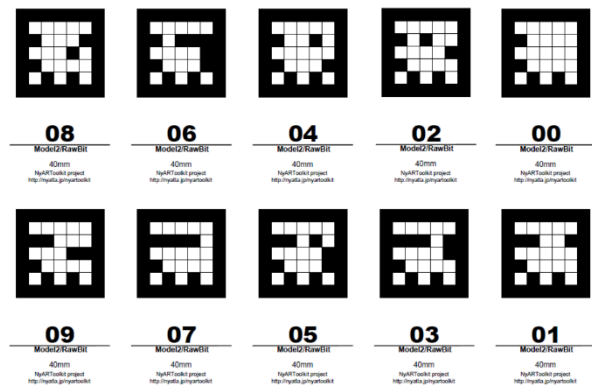


Figura 2. Marcadores de la librería NyAR4psg. Fuente: [2]

Se realizó un modelo de mecanismo de 4 barras funcional, accionado por un motor de velocidad constante y una transmisión por correas, de modo que las revoluciones de la barra motriz del mecanismo se aproximan a 13 rpm a favor de las manecillas de reloj, y se ubican los marcadores en los puntos clave. Se puede apreciar dicho mecanismo en la figura 3.

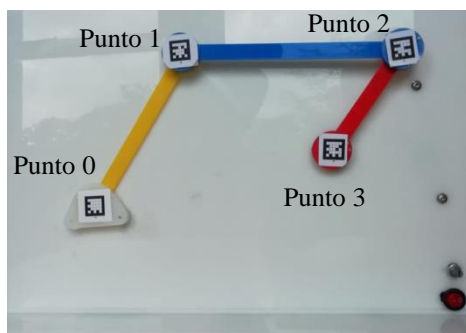


Figura 3. Mecanismo de 4 barras fabricado en acrílico. Fuente: Elaboración Propia

El software se basa en la lectura de datos por parte de la librería, entregados en forma de matriz de transformación homogénea tridimensional, que tiene la estructura de la ecuación 1.

$$T = \begin{bmatrix} R_{3 \times 3} & P_{3 \times 1} \\ f_{1 \times 3} & W_{1 \times 1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Rotación} & \text{Traslación} \\ \text{Perspectiva} & \text{Escala} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Donde $R_{3 \times 3}$ es la matriz de rotación, $P_{3 \times 1}$ el vector de translación, $f_{1 \times 3}$ vector de transformación de perspectiva y $W_{1 \times 1}$ el escalador global.

El proceso matemático para obtener la matriz real de cada marcador, a partir de la matriz de transformación homogénea recolectada por la cámara, respecto al punto 0, es una multiplicación entre la matriz transpuesta del marcador 0 y la del marcador que se quiere analizar, tal como se ve en la ecuación 2.

$$M_{0i} = M_0^T x M_i \quad (2)$$

Teniendo las matrices de posición para cada marcador, se toman las posiciones X y Y relativas al punto 0, y a partir de estas se calculan los ángulos como se muestra en la figura 4.

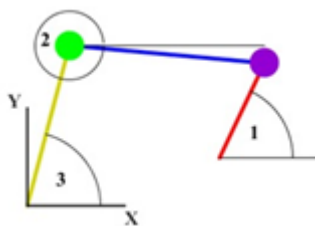


Figura 4. Medición de ángulos para el mecanismo de 4 barras. Fuente: Elaboración propia

Con estos ángulos, se realiza un proceso derivativo para encontrar las velocidades y aceleraciones que son de

interés para el análisis cinemático mediante la siguientes fórmulas:

$$velocidad = \frac{(posicion - posicion\ anterior)}{tiempo\ de\ la\ iteracion[s]} \quad (3)$$

$$aceleracion = \frac{(velocidad - velocidad\ anterior)}{tiempo\ de\ la\ iteracion[s]} \quad (4)$$

Por lo tanto la velocidad viene dada en *grados/s* y la aceleración en *grados/s²*. Para disminuir el ruido que generan estas fórmulas se saca el promedio de velocidad en 5 iteraciones y aceleración en 10 antes de ser graficadas. De la misma manera se calculan las rpm de la barra motriz como el promedio total de las velocidades de dicha barra con sus respectivas conversiones de unidades y se muestra este valor como referencia en la parte inferior derecha de todos los gráficos.

2.2 Requerimientos del software

Para poder interactuar con el software y permitir al usuario iniciar o detener la toma de datos y escoger el tipo de gráfica que desea observar, se diseñó una interfaz de usuario simple empleando la librería control P5 de Processing. Para dicha interfaz se seccionó una parte del cuadro de visualización que el programa principal muestra, creando un recuadro gris en su base donde se posicionan los botones y selectores que se programan, además de incluirse un diagrama y lista de instrucciones de operación en la pantalla inicial, como se ve en la figura 5.

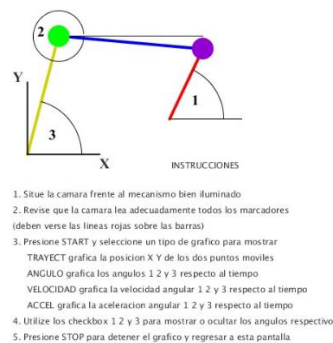


Figura 5. Diagrama de instrucciones e interfaz del software. Fuente: Elaboración propia

La interfaz permite seleccionar el tipo de gráfico a mostrar entre las siguientes opciones:

Trayectoria: Dibuja continuamente el desplazamiento en X y Y realizado por los dos puntos móviles (mostrados en verde y morado en la figura 4) teniendo como referencia el punto 0.

Ángulo: Grafica el ángulo de las tres barras respecto al tiempo (como se muestra en la figura 4), cada uno con su respectivo color.

Velocidad: Muestra la variación instantánea del ángulo respecto al tiempo para cada barra.

Aceleración: Grafica la aceleración angular de cada barra respecto al tiempo.

Además, la interfaz permite mostrar u ocultar la gráfica de cada una de las barras, para facilitar la visualización y el análisis de estas por separado o en simultáneo.

2.3 Métodos convencionales para el análisis de mecanismos

En clase de mecánica de máquinas se estudian diversos métodos para el análisis cinemático de los mecanismos, entre los cuales están el método gráfico basado en geometría y herramientas de dibujo, el método analítico que realiza todo el procedimiento matemático para obtener las variables deseadas y un método digital con la herramienta CAD Solidworks que requiere elaborar todo el sistema en esta plataforma.

Para la verificación de los resultados obtenidos con la realidad aumentada, se realiza el modelado analítico del sistema y se grafica usando el software solucionador de ecuaciones EES. El procedimiento para el modelado consiste en expresar el lazo vectorial en términos de números complejos, usando para ello la fórmula de Euler (ecuación 5).

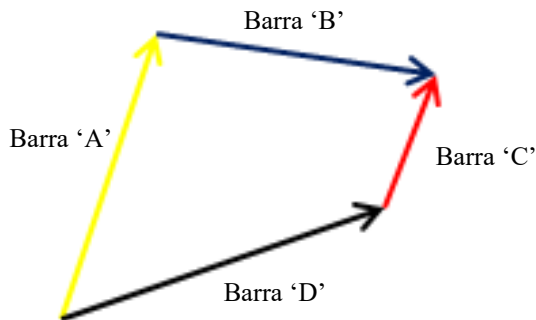


Figura 6. Lazo vectorial del sistema. Fuente: Elaboración propia

$$e^{\pm jx} = \cos x \pm j * \sin x \quad (5)$$

Los ángulos correspondientes a cada barra se miden de forma positiva (antihorario) respecto a la horizontal. La ecuación del sistema queda así:

$$Ae^{j\theta_A} + Be^{j\theta_B} - Ce^{\pm j\theta_C} - De^{\pm j\theta_D} = 0 \quad (6)$$

Teniendo el sistema expresado de esta forma, se separan las partes real e imaginaria, obteniéndose un sistema de ecuaciones 2×3 . Finalmente, mediante EES se varía el ángulo principal de la barra roja (θ_C , punto 0) y se van obteniendo valores de los demás ángulos en función del cambio del ángulo del punto 0 (θ_C). [4]

El proceso analítico para las velocidades y aceleraciones angulares consiste en la derivación de la ecuación del sistema expresado para ángulos; de este modo, todos los términos quedan expresados en función del ángulo base (punto 0), por lo que se procede a tabular y graficar en EES, formateando cada valor con los colores de las barras.

3. Resultados

Después de realizar el montaje del mecanismo y verificando el funcionamiento del software diseñado, se obtiene una visualización de la realidad aumentada en el conjunto, como se puede ver en la figura 6.

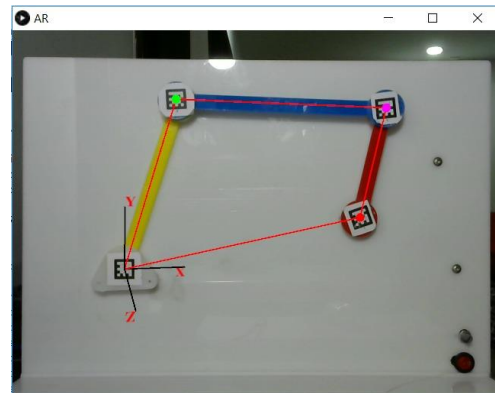


Figura 7. Esquema del mecanismo siendo detectado por el software de realidad aumentada. Fuente: Elaboración propia

Una vez iniciado el movimiento, se obtienen las siguientes gráficas para cada una de las opciones presentadas en la interfaz.

3.1 Trayectoria

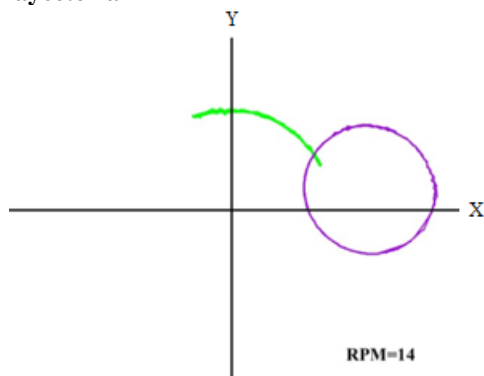


Figura 8. Gráfica de trayectoria obtenida. Fuente: Elaboración propia

La gráfica de trayectoria, mostrada en la figura 7, se aproxima muy bien a lo esperado, el punto 2 (en morado) que pertenece a la barra motriz realiza la circunferencia completa mientras que el punto 1 (en verde) de la barra conducida se mueve en un segmento de arco. Esta gráfica permite especialmente analizar la geometría de dicho arco, sus puntos mínimos y máximos, que son de gran importancia en un mecanismo real.

3.2 Posición

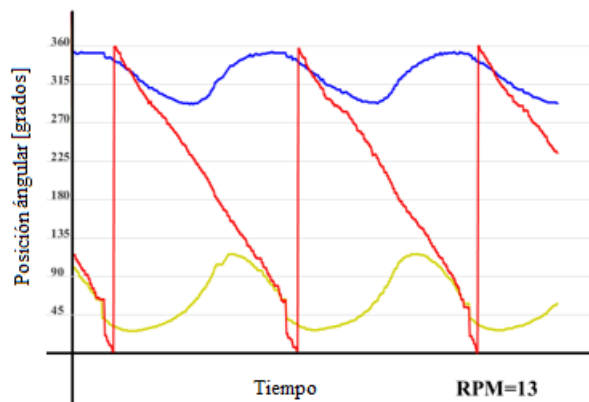


Figura 9. Gráfica de ángulo obtenida con el software. Fuente: Elaboración propia

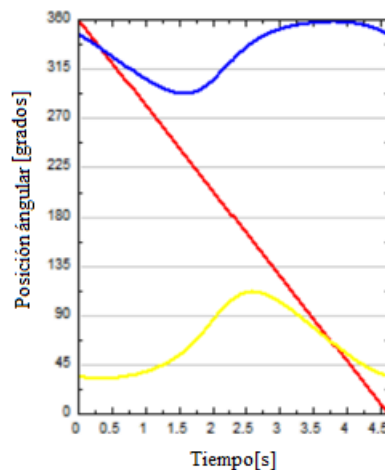


Figura 10. Gráfica de ángulo para una revolución por el método analítico en EES. Fuente: Elaboración propia

La primera parte del análisis cinemático del mecanismo es la gráfica de ángulo vs tiempo que se aprecia en la figura 8. Nuevamente se obtiene una gráfica satisfactoria en la que se ve claramente el comportamiento de cada ángulo analizado a través del tiempo, es fácil identificar el patrón que se repite para cada revolución y los ángulos mínimos y máximos que alcanza cada barra.

Esta gráfica se compara con la imagen 9 que corresponde a la gráfica que se obtiene a partir del método analítico en EES y se concluye que el análisis usando la realidad aumentada entrega datos de posición muy similares a los esperados teóricamente.

3.3 Velocidad

Para la velocidad se decidió separar los gráficos de las tres barras para facilitar su interpretación, además se añadieron líneas verticales para separar visualmente una revolución de otra (respecto a la barra motriz). De esta manera se obtienen las figuras 10 al 12.

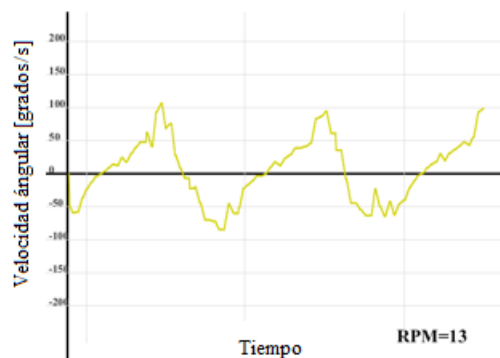


Figura 11. Gráfica de velocidad de la barra Amarilla. Fuente: Elaboración propia

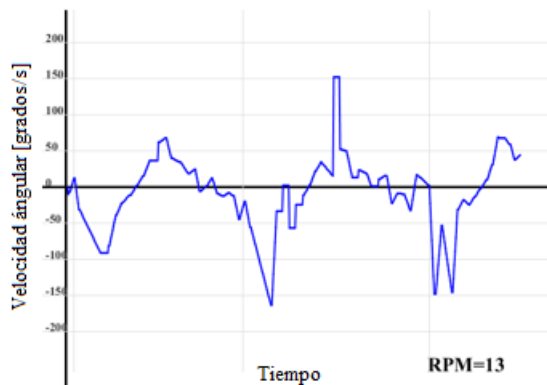


Figura 12. Gráfica de velocidad angular de la barra azul.
Fuente: Elaboración propia

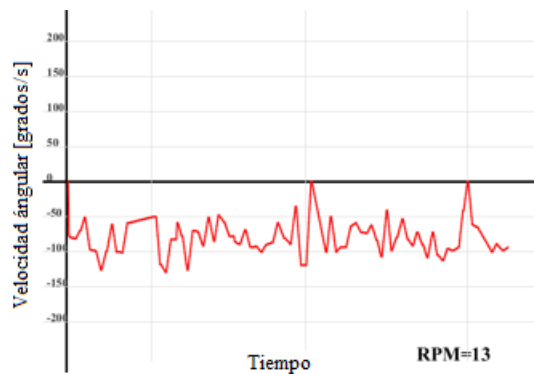


Figura 13. Gráfica de velocidad angular de la barra roja.
Fuente: Elaboración propia

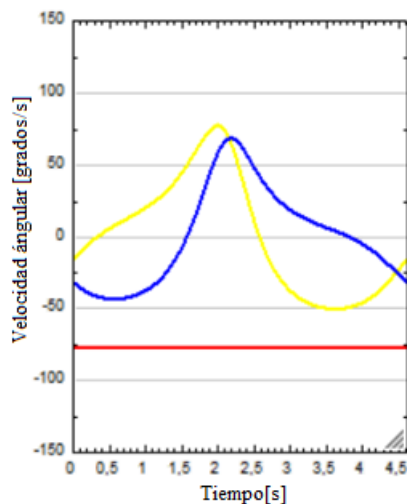


Figura 14. Gráfica de velocidad angular de las tres barras por el método analítico en EES. Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que las gráficas de velocidad son mucho más ruidosas e imprecisas que las anteriores, esto se debe a que gracias al proceso derivativo realizado, todos los errores que surgen de la medición de la posición repercuten aún más fuerte a medida que se deriva.

Sin embargo las gráficas sí permiten observar a grandes rasgos el comportamiento de la velocidad angular en el tiempo, y al compararlas con la gráfica obtenida por el método analítico en la figura 13 se obtiene un patrón similar con cierta distorsión. Para la barra amarilla se observa que empieza negativa, crece hasta su punto máximo cerca a la mitad del recorrido y disminuye nuevamente. La barra azul tiene una gráfica aún más ruidosa pero se aprecia el pico de velocidad negativa en los primeros ángulos seguido por otro positivo y terminando nuevamente negativa.

En la gráfica roja se puede ver igualmente que su valor fluctúa alrededor de los 50 y 100 en sentido horario coherente con lo obtenido analíticamente. Sin embargo la notoria distorsión de esta gráfica refleja no solo errores en la medición sino errores en la velocidad de entrada del mecanismo de la cual depende todo el análisis cinemático y por lo tanto agrega una nueva fuente de error al comparar este análisis a uno realizado con los métodos tradicionales. Este error puede ser a causa de los desperfectos del motor y de la fricción entre los componentes.

3.4 Aceleración

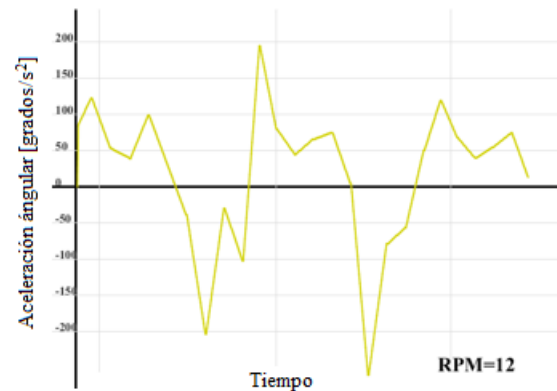


Figura 15. Gráfica de aceleración angular de la barra amarilla.
Fuente: Elaboración propia

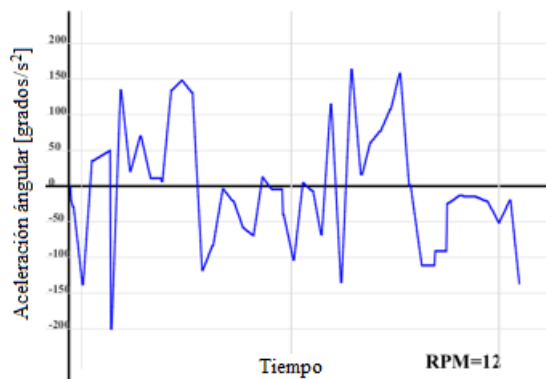


Figura 16. Gráfica de aceleración angular de la barra azul.
Fuente: Elaboración propia

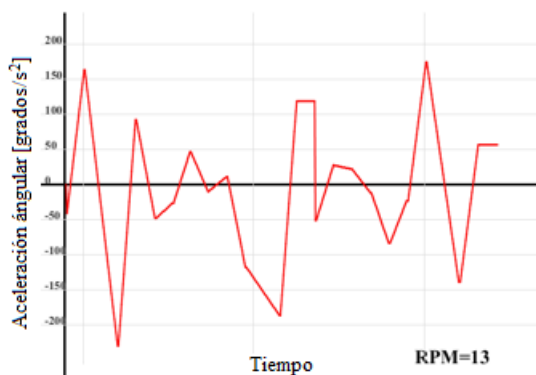


Figura 17. Gráfica de aceleración angular de la barra roja.
Fuente: Elaboración propia

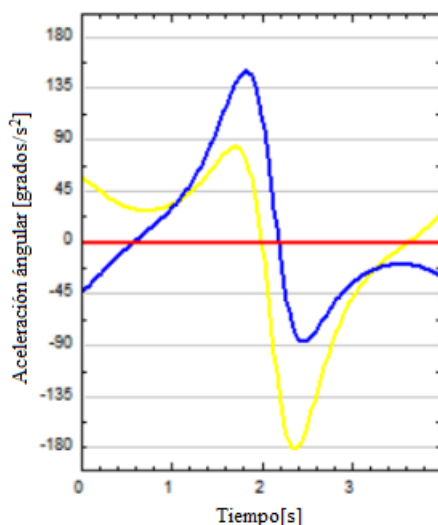


Figura 18. Gráfica de aceleración angular de las tres barras por el método analítico en EES. Fuente: Elaboración propia

Como se explico anteriormente, el proceso derivativo llevado a cabo multiplica la incidencia de los errores de medición cada vez que se deriva, lo cual se hace evidente

en las figuras 14, 15 y 16. A diferencia de las anteriores, en la aceleración la gráfica se distorsiona a tal punto que es muy difícil identificar su comportamiento. Al compararla con la gráfica esperada, en especial para la barra amarilla, es posible identificar los aspectos mas generales de la gráfica, lo cual indica que el proceso llevado a cabo fue correcto pero debido a todas las fuentes de error no es satisfactorio para el análisis cinemático de la aceleración.

4. Conclusiones

Se obtuvieron resultados satisfactorios en las gráficas de posición y velocidad del análisis cinemático del mecanismo, llegando a una gráfica muy similar a la obtenida por el método analítico. Sin embargo el ruido presente en la gráfica de aceleración hace casi imposible visualizar el comportamiento real de la aceleración y por lo tanto se concluye que la metodología desarrollada es efectivamente una herramienta funcional para el análisis de los mecanismos en cuanto a su posición y velocidad en función del tiempo pero no es confiable para su aceleración.

La principal dificultad en la realización de esta metodología está en la velocidad de lectura de los datos, esto depende tanto de la cámara que disminuye la calidad de las imágenes con objetos en movimiento, como de la librería de realidad aumentada que toma su tiempo en procesar las imágenes y entregar las matrices de posición adecuadas. Debido a esto, es obligatorio trabajar el mecanismo a bajas velocidades, en este caso 13 rpm, y aun así, el tamaño de los intervalos de medición lleva a la perdida de información que se hace evidente en las gráficas de velocidad y aceleración.

Se demostró que la realidad aumentada puede ser utilizada en la ingeniería mecánica como una herramienta para estudiar el movimiento de las máquinas y mecanismos. Teniendo en cuenta las dificultades encontradas la misma metodología empleada en este proyecto se puede aplicar en sistemas de mayor complejidad para obtener modelos rápidos y confiables que de otra forma serian procesos largos y complejos.

5. Referencias

- [1] Logitech C270. Disponible en: <https://www.logitech.com/en-roeu/product/hd-webcam-c270>
- [2] NyAR toolkit project . Disponible en: <http://nyatla.jp/nyartoolkit/wp/>
- [3] Matrices de transformación homogéneas. Disponible en: http://cidcame.uaeh.edu.mx/lcc/mapa/PROYECTO/libro39/321_transformacin_de_matrices_homogneas.html
- [4] R. L. Norton, Diseño de Maquinaria, 2a Ed., México D. F: McGraw Hill, 2000.
- [6] Processing overview. Disponible en: <https://processing.org/overview/>
- [7] L. J. Aguilar & I. Z. Martinez, Programación en Java 6: Algoritmos, programación orientada a objetos e interfaz gráfica de usuario, México: McGraw Hill, 2011.
- [8] Processing web reference. Disponible en: <https://py.processing.org/reference/>