

# Mobile app for the kinematic analysis of four bar mechanisms

## Aplicación móvil para el análisis cinemático de mecanismos de 4 barras

Aldo Francisco Cervantes-Figueroa<sup>\*1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Politécnica de Chihuahua (UPCH),  
Av. Teófilo Borunda 13200, Col. Labor de Terrazas, Chih., México, 31220.  
acervantes@upchihuahua.edu.mx

### Abstract

A mobile app for teaching the kinematics of four-bar mechanisms is presented, providing interactivity that allows the modification of input parameters and graphic adjustment to visualize the mechanism in the desired position for analysis. Velocities and accelerations of each link, as well as the angular positions provided, are the output values. The results of the velocities and accelerations in the centers of gravity of each link are also obtained, which are necessary for dynamic forces analysis. The app was developed so that engineering students have a reliable analysis tool available.

**Keywords**— four bar mechanism, kinematics, apps for teaching mechanisms

### Resumen

Se presenta una aplicación móvil para la enseñanza de la cinemática de mecanismos de 4 barras, brindando una interactividad que permite la modificación de parámetros de entrada y el ajuste gráfico para ver el mecanismo en una posición deseada para su análisis. Como valores de salida proporciona las posiciones, velocidades y aceleraciones angulares de cada eslabón y los resultados de las velocidades y aceleraciones en los centros de gravedad, mismos que son necesarios para un análisis de fuerzas dinámicas. La aplicación fue desarrollada para que los estudiantes de ingeniería tengan una herramienta de análisis confiable.

**Palabras clave**— mecanismo 4 barras, cinemática, aplicaciones para la enseñanza de mecanismos

\* Autor de correspondencia

### I. Introducción

El objetivo del estudio cinemático para un mecanismo consiste en obtener un movimiento deseado para una aplicación concreta [1] y del cual se obtendrá el cálculo del conjunto de parámetros cinemáticos (posición, velocidad y aceleración) que definen el comportamiento del movimiento para posteriormente llevar a cabo un análisis de fuerzas dinámicas del conjunto mecánico [2]. Entre los métodos tradicionales para el análisis cinemático se tienen el gráfico [3, 4] y el vectorial, a través de los conceptos de velocidad y aceleración relativa [5, 6, 7, 8].

Existen softwares y/o modelos matemáticos [3, 9] que definen el comportamiento de los parámetros cinemáticos del mecanismo de 4 barras como funciones de tiempo o con respecto a la posición angular del eslabón de entrada y en los cuales se puede llevar a cabo para una posición instantánea del mecanismo o en varias posiciones dentro del rango permitido del movimiento en ocasiones está restringido por el tipo de inversión cinemática como es el caso del mecanismo de 4 barras el cual se puede clasificar en: doble manivela, manivela balancín, doble manivela o triple balancín según cumpla o no con la ley de Grashof.

La aplicación aquí presentada se elaboró en el entorno informático de MIT App Inventor 2 [10], la cual es una plataforma destinada para la elaboración de aplicaciones para el sistema operativo Android, el programa lleva a cabo el análisis para una posición instantánea del eslabón motriz y conforme al cual se calculan automáticamente las posiciones, velocidades y aceleraciones del resto de eslabones que conforman el mecanismo de interés.

El artículo se organiza de la siguiente manera: en la sección II se describen las generalidades de la notación que define el mecanismo de 4 barras en la geometría de su diagrama cinemático. En la sección III se describen las ecuaciones matemáticas utilizadas para calcular las

variables de posición, velocidad y aceleración con respecto a una posición seleccionada del eslabón de entrada. En la sección IV se muestra la interfaz de usuario de la aplicación móvil. En la sección V se describen las pruebas realizadas para validar los algoritmos matemáticos y finalmente, en la sección VI se muestran las conclusiones de este trabajo.

## II. Generalidades

En la Figura 1 se muestra la representación cinemática utilizada para denotar la geometría de cualquier mecanismo de cuatro barras.

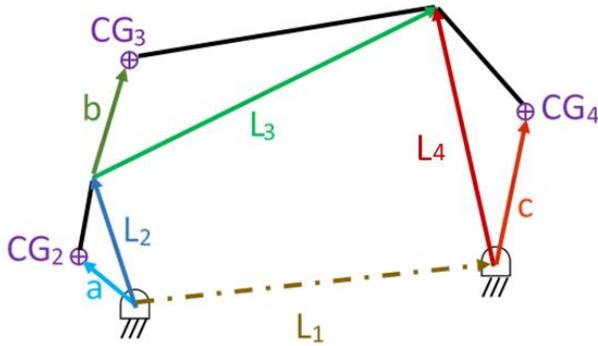


Figura 1: Diagrama cinemático para un mecanismo de 4 barras

De donde:

$L_1$ : Distancia entre juntas de la bancada o eslabón fijo.

$L_2$ : Distancia entre juntas del eslabón de entrada o motriz.

$L_3$ : Distancia entre juntas del acoplador.

$L_4$ : Distancia entre juntas del eslabón de salida.

$CG_2$ : Ubicación del centro de gravedad del eslabón de entrada o motriz.

$CG_3$ : Ubicación del centro de gravedad del acoplador.

$CG_4$ : Ubicación del centro de gravedad del eslabón de salida.

$a$ : Magnitud del vector que ubica el  $CG_2$ .

$b$ : Magnitud del vector que ubica el  $CG_3$ .

$c$ : Magnitud del vector que ubica el  $CG_4$ .

En la Figura 2 se muestran las referencias para los valores angulares, mismos que están asociados a las fórmulas de la siguiente sección.

De donde:

$\theta_1$ : Es el ángulo de orientación para el vector  $L_1$  con respecto a la horizontal (theta1 en la app).

$\theta_2$ : Es el ángulo de orientación para el vector  $L_2$  con respecto a la horizontal (theta2 en la app).

$\theta_3$ : Es el ángulo de orientación para el vector  $L_3$  con respecto a la horizontal (theta3 en la app).

$\theta_4$ : Es el ángulo de orientación para el vector  $L_4$  con respecto a la horizontal (theta4 en la app).

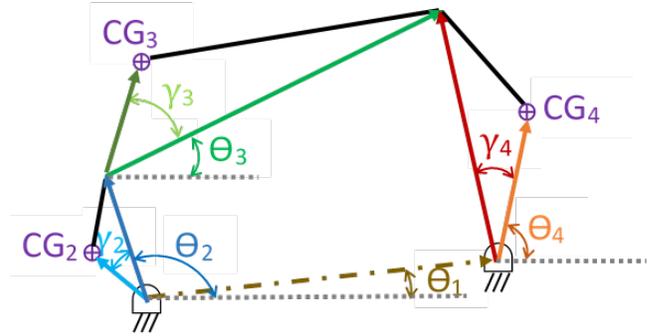


Figura 2: Referencia para valores angulares

$\gamma_2$ : Es la dirección del vector "a" con respecto al vector  $L_2$  (gamma2 en la app).

$\gamma_3$ : Es la dirección del vector "b" con respecto al vector  $L_3$  (gamma3 en la app).

$\gamma_4$ : Es la dirección del vector "c" con respecto al vector  $L_4$  (gamma4 en la app).

## III. Ecuaciones matemáticas

Las ecuaciones matemáticas utilizadas para la aplicación móvil quedan referenciadas por las ecuaciones (1)-(18) [9, 3].

### III.1. Posiciones

Para la posición angular del acoplador o eslabón 3 se utiliza la Ecuación (1):

$$\theta_3 = 2 \arctan \left[ \frac{-E \pm \sqrt{D^2 + E^2 - F^2}}{F - D} \right] \quad (1)$$

De donde:

$$D = 2L_3(L_2 \cos \theta_2 - L_1 \cos \theta_1)$$

$$E = 2L_3(L_2 \sin \theta_2 - L_1 \sin \theta_1)$$

$$F = L_1^2 + L_2^2 + L_3^2 - L_4^2 - 2L_1L_2 \cos(\theta_2 - \theta_1)$$

Para calcular la posición angular del eslabón de salida o eslabón 4 se utiliza la Ecuación (2):

$$\theta_4 = 2 \arctan \left[ \frac{-B \pm \sqrt{A^2 + B^2 - C^2}}{C - A} \right] \quad (2)$$

De donde:

$$A = 2L_4(L_1 \cos \theta_1 - L_2 \cos \theta_2)$$

$$B = 2L_4(L_1 \sin \theta_1 - L_2 \sin \theta_2)$$

$$C = L_1^2 + L_2^2 + L_4^2 - L_3^2 - 2L_1L_2 \cos(\theta_1 - \theta_2)$$

### III.2. Velocidades

Para determinar la velocidad angular del acoplador se utiliza la Ecuación (3):

$$\omega_3 = \frac{L_2\omega_2 \text{sen}(\theta_4 - \theta_2)}{L_3 \text{sen}(\theta_3 - \theta_4)} \quad (3)$$

Para obtener la velocidad angular del eslabón de salida se utiliza la Ecuación (4):

$$\omega_4 = \frac{L_2\omega_2 \text{sen}(\theta_2 - \theta_3)}{L_4 \text{sen}(\theta_4 - \theta_3)} \quad (4)$$

En lo que respecta a las velocidades en los centros de gravedad, para la notación polar del vector de velocidad en el eslabón de entrada, eslabón motriz o eslabón 2 se utilizan la Ecuación (5) y la Ecuación (6):

$$VCG_2Mag = \sqrt{VCG_{2x}^2 + VCG_{2y}^2} \quad (5)$$

$$VCG_2Ang = \arctan\left(\frac{VCG_{2y}}{VCG_{2x}}\right) \quad (6)$$

Donde:

$$VCG_{2x} = -a\omega_2 \text{sen}(\theta_2 + \gamma_2)$$

$$VCG_{2y} = a\omega_2 \text{cos}(\theta_2 + \gamma_2)$$

Para la notación polar del vector de velocidad en el acoplador o eslabón 3 se utilizan la Ecuación (7) y la Ecuación (8):

$$VCG_3Mag = \sqrt{VCG_{3x}^2 + VCG_{3y}^2} \quad (7)$$

$$VCG_3Ang = \arctan\left(\frac{VCG_{3y}}{VCG_{3x}}\right) \quad (8)$$

Donde:

$$VCG_{3x} = -L_2\omega_2 \text{sen} \theta_2 - b\omega_3 \text{sen}(\theta_3 + \gamma_3)$$

$$VCG_{3y} = L_2\omega_2 \text{cos} \theta_2 - b\omega_3 \text{cos}(\theta_3 + \gamma_3)$$

Para la notación polar del vector de velocidad en el eslabón de salida o eslabón 4 se utilizan la Ecuación (9) y la Ecuación (10):

$$VCG_4Mag = \sqrt{VCG_{4x}^2 + VCG_{4y}^2} \quad (9)$$

$$VCG_4Ang = \arctan\left(\frac{VCG_{4y}}{VCG_{4x}}\right) \quad (10)$$

Donde:

$$VCG_{4x} = -c\omega_4 \text{sen}(\theta_4 + \gamma_4)$$

$$VCG_{4y} = c\omega_4 \text{cos}(\theta_4 + \gamma_4)$$

### III.3. Aceleraciones

Para obtener la aceleración angular del acoplador o eslabón 3 se utiliza la Ecuación (11):

$$\alpha_3 = \frac{CD - AF}{AE - BD} \quad (11)$$

y del eslabón de salida o eslabón 4 se utiliza la Ecuación (12):

$$\alpha_4 = \frac{CE - BF}{AE - BD} \quad (12)$$

Donde:

$$A = L_4 \text{sen} \theta_4$$

$$B = L_3 \text{sen} \theta_3$$

$$C = L_2\alpha_2 \text{sen} \theta_2 + L_2\omega_2^2 \text{cos} \theta_2 + L_3\omega_3^2 \text{cos} \theta_3 - L_4\omega_4^2 \text{cos} \theta_4$$

$$D = L_4 \text{cos} \theta_4$$

$$E = L_3 \text{cos} \theta_3$$

$$F = L_2\alpha_2 \text{cos} \theta_2 + L_2\omega_2^2 \text{sen} \theta_2 - L_3\omega_3^2 \text{sen} \theta_3 + L_4\omega_4^2 \text{sen} \theta_4$$

La notación polar del vector de aceleración en el centro de gravedad del eslabón de entrada o motriz, queda definido por la Ecuación (13) y la Ecuación (14):

$$ACG_2Mag = \sqrt{ACG_{2x}^2 + ACG_{2y}^2} \quad (13)$$

$$ACG_2Ang = \arctan\left(\frac{ACG_{2y}}{ACG_{2x}}\right) \quad (14)$$

Donde:

$$ACG_{2x} = -a\alpha_2 \text{sen}(\theta_2 + \gamma_2) - a\omega_2^2 \text{cos}(\theta_2 + \gamma_2)$$

$$ACG_{2y} = a\alpha_2 \text{cos}(\theta_2 + \gamma_2) - a\omega_2^2 \text{sen}(\theta_2 + \gamma_2)$$

La notación polar del vector de aceleración en el centro de gravedad del acoplador o eslabón 3, queda definido por la Ecuación (15) y la Ecuación (16):

$$ACG_3Mag = \sqrt{ACG_{3x}^2 + ACG_{3y}^2} \quad (15)$$

$$ACG_3Ang = \arctan\left(\frac{ACG_{3y}}{ACG_{3x}}\right) \quad (16)$$

Donde:

$$ACG_{3x} = -L_2\alpha_2 \text{sen} \theta_2 - L_2\omega_2^2 \text{cos} \theta_2 - b\alpha_3 \text{sen}(\theta_3 + \gamma_3) - b\omega_3^2 \text{cos}(\theta_3 + \gamma_3)$$

$$ACG_{3y} = L_2\alpha_2 \text{cos} \theta_2 - L_2\omega_2^2 \text{sen} \theta_2 + b\alpha_3 \text{cos}(\theta_3 + \gamma_3) - b\omega_3^2 \text{sen}(\theta_3 + \gamma_3)$$

La notación polar del vector de aceleración en el centro de gravedad del acoplador o eslabón 4, queda definido por la Ecuación (17) y la Ecuación (18):

$$ACG_4Mag = \sqrt{ACG_{4x}^2 + ACG_{4y}^2} \quad (17)$$

$$ACG_4Ang = \arctan\left(\frac{ACG_{4y}}{ACG_{4x}}\right) \quad (18)$$

Donde:

$$ACG_{4x} = -c\alpha_4 \sin(\theta_4 + \gamma_4) - c\omega_4^2 \cos(\theta_4 + \gamma_4)$$

$$ACG_{4y} = c\alpha_4 \cos(\theta_4 + \gamma_4) - c\omega_4^2 \sin(\theta_4 + \gamma_4)$$

#### IV. Interfaz de usuario

La interfaz hace uso de 3 ventanas: la primera sirve para presentar la aplicación, la segunda para ingresar los valores mínimos de entrada y la tercera ejecuta el código que contiene todas las ecuaciones planteadas en la sección anterior y la cual muestra tanto el diagrama cinemático del mecanismo de 4 barras como los resultados cinemáticos en la posición de interés para el usuario.

##### IV.1. Ventana solicitando información de entrada

En la Figura 3 se observa la información de entrada necesaria para realizar los cálculos mismos que han sido definidos en la sección II.

Cabe mencionar que debajo de la solicitud de las longitudes de los eslabones hay un botón para ver si el mecanismo cumple o no con la ley de Grashof.

Esta ventana también contempla el hecho de que existen las configuraciones “abierta” y “cruzada” para analizar el mecanismo de 4 barras por lo que a través del menú desplegable se puede seleccionar el tipo de configuración. En lo que respecta a las unidades para la información de entrada, entre corchetes aparecen las unidades solicitadas; siendo “u.l.” unidades de longitudes debido a que se generalizó el hecho de trabajar con los sistemas de medida internacional e inglés y estas mismas saldrán en los resultados de velocidades y aceleraciones en los centros de gravedad de cada eslabón.

##### IV.2. Ventana mostrando resultados obtenidos

Debido a la cantidad de información resultante esta ventana tiene habilitada la función “scrollable”, que permite desplazarse hacia abajo para ver todos los resultados en el teléfono móvil.

En la parte superior de la Figura 4 se observan 3 barras de desplazamiento cuyo objetivo es escalar y mover el diagrama cinemático del mecanismo de 4 barras que se podrá visualizar automáticamente en el lienzo de color



Figura 3: Ventana de la app: solicitando información de entrada

blanco. Debajo de la zona que contiene la representación gráfica del mecanismo se mostrarán los resultados cinemáticos para posiciones, velocidades y aceleraciones angulares ( $\theta_3, \theta_4, \omega_3, \omega_4, \alpha_3$  y  $\alpha_4$ ), así como también la notación polar para los vectores de velocidad y aceleración que se llevan a cabo en los centros de gravedad de cada eslabón ( $Vcg_2, Vcg_3, Vcg_4, Acg_2, Acg_3$  y  $Acg_4$ ), mismos que están representados por magnitud (Mag) y dirección o ángulo con respecto al eje X en su lado positivo (Ang).

##### IV.3. Extracto del código de programación

En la Figura 5 se observa el almacenamiento de los datos de entrada en una variable de tipo global denominada *info*, misma que guarda la información de todas las variables de entrada y que será migrada a la programación en la ventana de resultados para su procesamiento a través de las ecuaciones matemáticas planteadas anteriormente.



Figura 4: Ventana de la app para mostrar los resultados cinemáticos

En este código también se lleva a cabo el proceso para definir si las longitudes de los eslabones cumplen con la ley de Grashof a través de la obtención del valor máximo y mínimo de las 4 longitudes para hacer la comparación  $s + l \leq p + q$ . Cabe señalar que en este apartado también se cuenta con la programación de un menú desplegable para la selección de la configuración abierta o cruzada del mecanismo a través de un spinner.

En lo que respecta a la gráfica del mecanismo de 4 barras, se utilizó la herramienta de canvas (lienzo blanco), en donde a través de las variables globales: *global L1*, *global L2*, *global L3* y *global L4* se colocan los valores de

longitud para cada eslabón, los cuales fueron agregados desde la primera ventana de usuario (ver Figura 3), aquí también se agrega el color con el que deberá aparecer cada valor de longitud en el canvas (ver Figura 6).

La Figura 7 muestra un extracto del código utilizado para calcular las coordenadas que definen el origen de las líneas que representan a cada eslabón en el canvas y que dependen de la información seleccionada por el usuario como: la escala, el desplazamiento en el eje x y el desplazamiento en el eje y, cuyos valores se obtienen de las barras de desplazamiento (ver parte superior de la Figura 4).

En la Figura 8 se observa como ejemplo el código utilizado para el ingreso de las fórmulas (3), (4), (5) y (6) usadas para la obtención de las velocidades angulares de los eslabones 3 y 4 ( $\omega_3$  y  $\omega_4$ ) y la velocidad en el centro de gravedad del eslabón 2 a través de su magnitud y dirección; estos resultados son desplegados en la interfaz de usuario a través de etiquetas. El resto de los parámetros cinemáticos se ingresan al código de forma similar, respetando las fórmulas señaladas en la Sección III.

## V. Resultados

En lo que respecta al diagrama cinemático del mecanismo de 4 barras, se compararon los resultados de la aplicación móvil con representaciones cinemáticas obtenidos de algunos ejercicios de libro de texto.

A la izquierda de la Figura 9, sobre el lienzo blanco se observan los resultados de los diagramas cinemáticos escalados y centrados por las barras de desplazamiento de la aplicación, como se puede apreciar las representaciones son muy parecidas a las que se obtienen en los bosquejos de los ejercicios c) y f) de la tabla P11-1 de la referencia [9]. Estos ejercicios tienen en común una bancada horizontal, por lo que para comparar representaciones cinemáticas con bancada inclinada se usó el problema propuesto 1 para el mecanismo de 4 barras de la referencia [3] y el ejercicio 16.134 de la referencia [5]. Como se puede observar en la Figura 10, las imágenes de la aplicación (izquierda) son similares a las mostradas en los libros de texto [3] y [5] (derecha).

Cabe mencionar que en los diagramas cinemáticos de la aplicación móvil, la línea de color verde representa la bancada del mecanismo de 4 barras, la línea roja al eslabón motriz o de entrada, la azul al acoplador y la amarilla al eslabón de salida, cuyas longitudes aparecen en la parte superior derecha bajo los mismos colores, mientras que en la parte inferior en color negro, se desglosan algunos datos de entrada como:  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ,  $\omega_2$  y  $\alpha_2$ .

La finalidad de contar con el diagrama cinemático es que el usuario coteje de manera visual el mecanismo y lo contraste con el que será analizado, ya que con esto se estaría validando el tipo de configuración del mecanismo

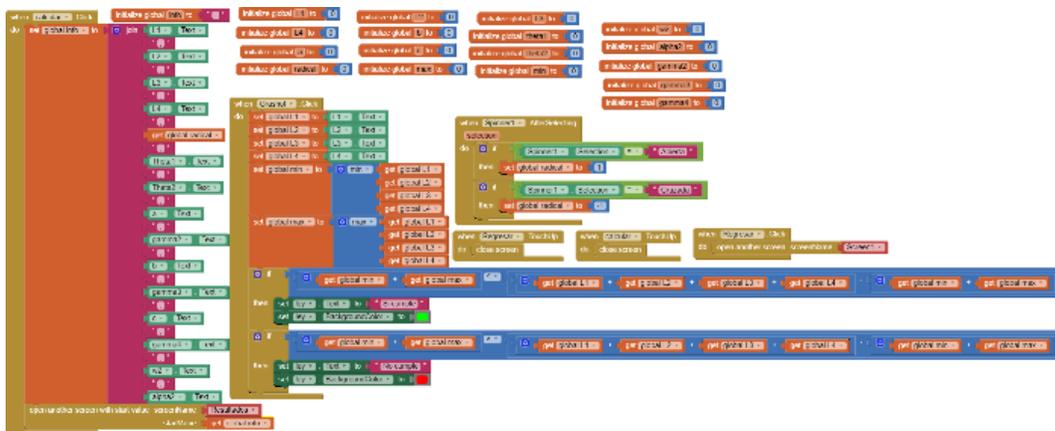


Figura 5: Código para obtener los datos de entrada y verificación de cumplimiento de la ley de Grashof



Figura 6: Extracto del código de programación de la información de longitud de eslabones en canvas

de 4 barras (abierta o cruzada).

En cuanto a los resultados para los parámetros cinemáticos, en la Tabla 1 se observa la comparación entre los resultados señalados en el ejercicio c) de la tabla P11-1 de la referencia [9] contra la información obtenida a través de la aplicación móvil, cabe señalar que en el caso de los resultados relacionados con la obtención de algún

ángulo, la aplicación móvil en su algoritmo toma la decisión de mostrar los resultados de  $0^\circ$  a  $180^\circ$  para primer y segundo cuadrante del vector y de  $0^\circ$  a  $-180^\circ$  para ángulos del tercer y cuarto cuadrante, por lo que algunos resultados son complementos a  $360^\circ$  y expresados con signo negativo; como se puede apreciar, los resultados son muy similares y se podría decir que la única diferencia es la cantidad de decimales que en este caso la aplicación puede mostrar.

Tabla 1: Comparación de resultados cinemáticos del ejercicio c) [9] y la aplicación móvil

Variable cinemática	Tabla P11-3 ejercicio c) [9]	Aplicación móvil
$\theta_3$	$128.70^\circ$	$128.70457^\circ$
$\theta_4$	$151.03^\circ$	$151.02651^\circ$
$\omega_3$	$16.6rad/s$	$16.59897rad/s$
$\omega_4$	$14.13rad/s$	$14.12955rad/s$
$Vcg_2(Mag)$	$60in/s$	$60in/s$
$Vcg_2(Ang)$	$-50^\circ$	$-50^\circ$
$Vcg_3(Mag)$	$191.94in/s$	$191.93577in/s$
$Vcg_3(Ang)$	$299.70^\circ$	$-60.29753^\circ$
$Vcg_4(Mag)$	$98.91in/s$	$98.90683in/s$
$Vcg_4(Ang)$	$241.03^\circ$	$-118.97349^\circ$
$\alpha_3$	$78.78rad/s^2$	$78.7819rad/s^2$
$\alpha_4$	$53.27rad/s^2$	$53.36894rad/s^2$
$Acg_2(Mag)$	$1200.84in/s^2$	$1200.84345in/s^2$
$Acg_2(Ang)$	$37.85^\circ$	$37.85241^\circ$
$Acg_3(Mag)$	$3120.71in/s^2$	$3120.71276in/s^2$
$Acg_3(Ang)$	$22.45^\circ$	$22.44894^\circ$
$Ag_4(Mag)$	$1446.58in/s^2$	$1446.58039in/s^2$

Lo mismo ocurre con el ejercicio f) de la tabla P11-1 de la referencia [9], cuyos resultados se pueden observar en la Tabla 2 y en donde los resultados de la aplicación móvil se aprecian en la Figura 4.

Figura 7: Extracto del código de programación para ubicar las coordenadas de inicio de cada eslabón del mecanismo

Figura 8: Extracto del código para las ecuaciones matemáticas que dan solución a las variables cinemáticas

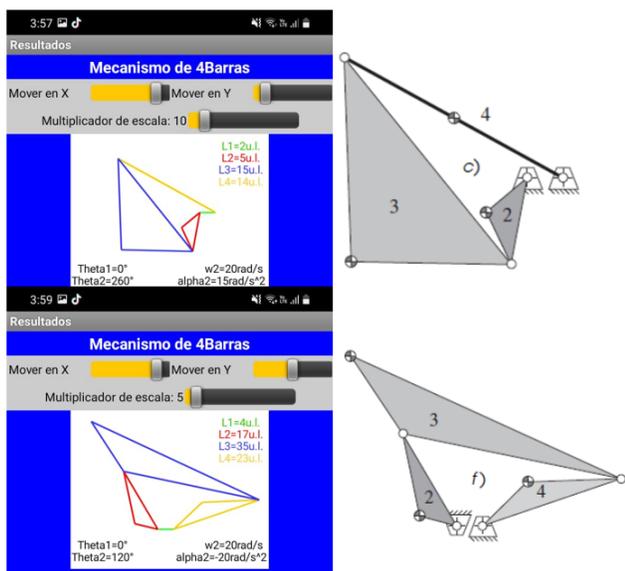


Figura 9: Comparación de diagramas cinemáticos con bancada horizontal

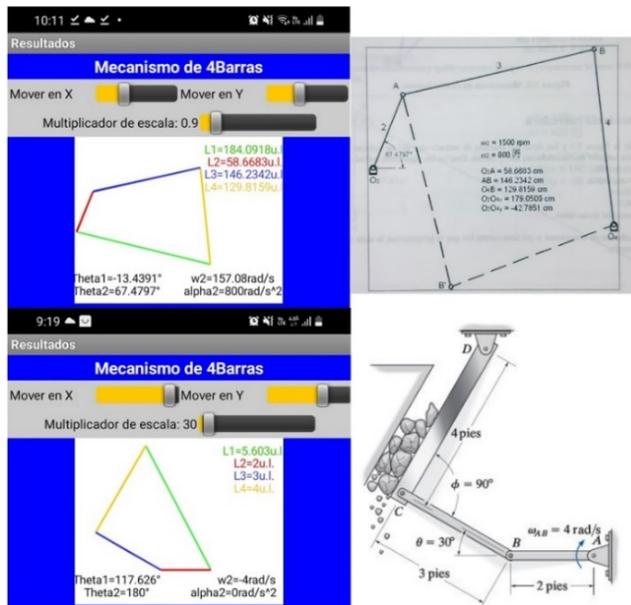


Figura 10: Comparación de diagrama cinemático con bancada inclinada

En lo que respecta a problemas con la bancada inclinada, nuevamente tomaremos como referencia el problema propuesto 1 para mecanismo de cuatro barras de la referencia [3]. En este caso el libro de texto sólo ofrece los resultados de posiciones, velocidades y aceleraciones angulares ( $\theta_3, \theta_4, \omega_3, \omega_4, \alpha_3$  y  $\alpha_4$ ) por lo que serán

las únicas variables a ser comparadas. En la Tabla 3 se encuentran los resultados del ejercicio mencionado.

La referencia [5] sólo ofrece los resultados de los parámetros  $\omega_4$  y  $\alpha_4$  para el ejercicio 16.134, mismos que son comparados en la Tabla 4.

**Tabla 2:** Comparación de resultados cinemáticos del ejercicio f) [9] y la aplicación móvil

Variable cinemática	Tabla P11-3 ejercicio f) [9]	Aplicación móvil
$\theta_3$	348.08°	-11.92054°
$\theta_4$	19.01°	19.01302°
$\omega_3$	18.55rad/s	18.55139rad/s
$\omega_4$	21.4rad/s	21.39765rad/s
$V_{cg2}(Mag)$	120in/s	120in/s
$V_{cg2}(Ang)$	255°	-105°
$V_{cg3}(Mag)$	618.05in/s	618.0499in/s
$V_{cg3}(Ang)$	211.39°	-148.61404°
$V_{cg4}(Mag)$	213.98in/s	213.97648in/s
$V_{cg4}(Ang)$	134.01°	134.01302°
$\alpha_3$	-101.63rad/s <sup>2</sup>	-101.62607rad/s <sup>2</sup>
$\alpha_4$	-150.86rad/s <sup>2</sup>	-150.8561rad/s <sup>2</sup>
$A_{cg2}(Mag)$	2403in/s <sup>2</sup>	2402.99813in/s <sup>2</sup>
$A_{cg2}(Ang)$	347.86°	-12.13759°
$A_{cg3}(Mag)$	12064.2in/s <sup>2</sup>	12064.19788in/s <sup>2</sup>
$A_{cg3}(Ang)$	310.22°	-49.7849°
$A_{g4}(Mag)$	4820.72in/s <sup>2</sup>	4820.71283in/s <sup>2</sup>
$A_{g4}(Ang)$	242.25°	-117.75089°

**Tabla 3:** Comparación de resultados cinemáticos del problema propuesto 1 [3] vs la aplicación móvil

Variable cinemática	Problema propuesto 1 [3]	Aplicación móvil
$\theta_3$	12.6758°	12.67585°
$\theta_4$	96.1513°	96.15127°
$\omega_3$	-30.4331rad/s	-30.43309rad/s
$\omega_4$	58.3898rad/s	58.38982rad/s
$\alpha_3$	5646.5213rad/s <sup>2</sup>	5646.52137rad/s <sup>2</sup>
$\alpha_4$	7426.6629rad/s <sup>2</sup>	7426.66397rad/s <sup>2</sup>

**Tabla 4:** Comparación de resultados cinemáticos del ejercicio 16.134 [5] vs la aplicación móvil

Variable cinemática	Ejercicio 16.134 [5]	Aplicación móvil
$\omega_4$	-1rad/s	-1rad/s
$\alpha_4$	10.9rad/s <sup>2</sup>	10.92823rad/s <sup>2</sup>

## VI. Conclusiones

Después de haber llevado a cabo los comparativos de resultados de la aplicación con ejercicios de diferentes fuentes bibliográficas, se observa que la aplicación móvil desarrollada ofrece resultados satisfactorios, por lo que promete ser una tecnología educativa útil para la comprensión del tema relacionado a la cinemática del

mecanismo de 4 barras y en un mundo en donde los estudiantes requieren de un docente disruptivo, esta herramienta puede ser adaptada para generar diversos guiones instruccionales dentro de los procesos de enseñanza aprendizaje para el estudio del mecanismos de 4 barras en los temas de: Ley de Grashof, diagrama cinemático y análisis cinemático.

Una ventaja que tiene la aplicación es la capacidad que tiene no sólo de obtener posiciones, velocidades y aceleraciones angulares, sino que también es capaz de calcular las velocidades y aceleraciones en los centros de gravedad, mismos que son necesarios para posteriormente hacer un análisis de fuerzas a través del método Newtoniano o por la ecuación de energía para obtener el par de torsión motriz en ese instante del mecanismo, algo que será tomado en cuenta para un trabajo a futuro.

Otro aspecto a considerar es la facilidad para poder graficar el diagrama cinemático en base a las barras deslizable de escala y movimiento x-y para centrar la representación.

## Referencias

- [1] Arthur G Erdman et al. *Diseño de mecanismos: análisis y síntesis*. 3.ª ed. México: Pearson educación, 1998.
- [2] Hamilton Mabie y Charles F. Reinholtz. *Mecanismos y dinámica de maquinaria*. 4.ª ed. México: Limusa-Wiley, 2005.
- [3] Romy Pérez. *Análisis de mecanismos y problemas resueltos*. México: Alfaomega, 2006.
- [4] David H Myszka. *Máquinas y mecanismos*. 4.ª ed. Naucalpan de Juárez, Estado de México: Pearson Educación, 2012.
- [5] Russell. C. Hibbeler. *Ingeniería mecánica: dinámica*. 12.ª ed. México: Pearson Educación, 2010.
- [6] William F Riley y Leroy D Sturges. *Ingeniería mecánica. Dinámica*. España: Reverte, 2001.
- [7] Jaan Kiusalaas y Andrew Pytel. *Dinámica - Ingeniería Mecánica*. 2.ª ed. España: International Thomson Editores, 1999.
- [8] López Cajún y Marco Ceccarelli. *Mecanismos: fundamentos cinemáticos para el diseño y optimización de maquinaria*. México: Trillas, 2008.
- [9] Robert L Norton. *Design of machinery: an introduction to the synthesis and analysis of mechanisms and machines*. McGraw-Hill/Higher Education, 2008.
- [10] MIT App Inventor. URL: <http://appinventor.mit.edu/>.