



Doi: <https://doi.org/10.70577/asce.v5i1.683>

Recibido: 2026-01-23

Aceptado: 2026-02-23

Publicado: 2026-03-24

Movimiento de un Pistón (Biela-Manivela) **Movement of a Piston (Connecting Rod-Crankshaft)**

Autores

Dayana Michelle Guamán Pujos¹

Estudiante de la Facultad de Mecánica - Carrera
de Mecánica

dayana.guaman@esepoch.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0006-5594-8407>

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Ambato – Ecuador

Ember Geovanny Zumba Novay²

Ingeniero de Mantenimiento - Ingeniero en
Administración y Producción Industrial- Magister
en Diseño Industrial y de Procesos - Magister en
Educación Tecnología e Innovación - Magister en
Matemática

ezumba@esepoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-2121-8418>

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba - Ecuador

Elvis Fernando Huaraca Morocho³

Ingeniero Civil

elvisfe.h96@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-7469-5229>

Autor Independiente
Riobamba - Ecuador

Edgar José Calapucha Andi⁴

Ingeniero de Mantenimiento

edgar.calapucha@istfo.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0001-7810-2037>

**Instituto Superior Tecnológico Francisco de
Orellana**
Pastaza - Ecuador

Cómo citar

Guamán Pujos, D. M., Zumba Novay, E. G., Huaraca Morocho, E. F., & Calapucha Andi, E. J. (2026). Movimiento de un Pistón (Biela-Manivela). *ASCE MAGAZINE*, 5(1), 3028–3053.



Resumen

El mecanismo biela–manivela constituye uno de los sistemas fundamentales en la ingeniería mecánica para la conversión de movimiento rotacional en movimiento alternativo, siendo ampliamente utilizado en motores de combustión interna, compresores y bombas de desplazamiento positivo. El análisis preciso del movimiento del pistón resulta esencial para comprender el comportamiento dinámico de estos sistemas y optimizar su eficiencia energética, desempeño mecánico y durabilidad estructural. El presente estudio analiza el comportamiento cinemático del pistón mediante la formulación matemática de sus ecuaciones de posición, velocidad y aceleración en función del ángulo de giro del cigüeñal. Se desarrolló un modelo basado en la relación geométrica entre el radio de la manivela (r) y la longitud de la biela (l), permitiendo identificar las características no armónicas del movimiento debido a la influencia de la geometría del mecanismo. Para validar el modelo teórico, se implementaron simulaciones computacionales en *MATLAB*, *Google Colab* (Python) y

Wolfram Mathematica, utilizando parámetros representativos del sistema ($r = 0.05$ m, $l = 0.15$ m y $\omega = 100$ rad/s). Los resultados muestran que el pistón presenta una carrera aproximada de 0.10 m, una velocidad máxima cercana a 5.27 m/s y aceleraciones que alcanzan valores del orden de 1.8×10^3 m/s², concentradas principalmente en los puntos muertos del ciclo. El análisis comparativo entre las plataformas de simulación evidenció una alta concordancia en los resultados

numéricos, confirmando la validez del modelo cinemático propuesto. Sin embargo, se identificaron diferencias en las capacidades de visualización, programación y análisis simbólico entre las herramientas, destacando *MATLAB* por su robustez en ingeniería aplicada, *Google Colab* por su flexibilidad en programación científica y *Wolfram Mathematica* por su potencia en manipulación matemática simbólica. Los resultados obtenidos permiten comprender con mayor precisión las asimetrías dinámicas del movimiento del pistón y las fuerzas inerciales asociadas, proporcionando información relevante para el diseño, optimización y simulación de sistemas mecánicos alternativos en aplicaciones industriales y energéticas.

Palabras claves: Mecanismo biela–manivela, Cinemática del pistón, Simulación computacional, *MATLAB*, *Wolfram Mathematica*, Dinámica de mecanismos.



Abstract

The slider–crank mechanism is one of the fundamental systems in mechanical engineering for converting rotational motion into reciprocating motion and is widely used in internal combustion engines, compressors, and positive displacement pumps. Accurate analysis of piston motion is essential for understanding the dynamic behavior of these systems and for optimizing their energy efficiency, mechanical performance, and structural durability. This study analyzes the kinematic behavior of the piston through the mathematical formulation of the position, velocity, and acceleration equations as a function of the crankshaft rotation angle. A model was developed based on the geometric relationship between the crank radius (r) and the connecting rod length (l), allowing the identification of the non-harmonic characteristics of the motion due to the geometry of the mechanism. To validate the theoretical model, computational simulations were implemented using MATLAB, Google Colab (Python), and Wolfram Mathematica, employing representative system parameters ($r = 0.05$ m, $l = 0.15$ m, and $\omega = 100$ rad/s). The results indicate that the piston exhibits a stroke of approximately 0.10 m, a maximum velocity close to 5.27 m/s, and accelerations reaching values on the order of 1.8×10^3 m/s², mainly concentrated near the dead center positions of the cycle. The comparative analysis between the simulation platforms showed a high level of agreement in the numerical results, confirming the validity of the proposed kinematic model. However, differences were identified in terms of visualization capabilities, programming flexibility, and symbolic computation performance among the tools. MATLAB stands out for its robustness in engineering analysis, Google Colab for its flexibility in scientific programming and cloud-based collaboration, and Wolfram Mathematica for its powerful symbolic mathematical capabilities. The findings provide a deeper understanding of the dynamic asymmetries of piston motion and the associated inertial forces, offering valuable insights for the design, optimization, and simulation of reciprocating mechanical systems in industrial and energy applications.

Keywords: Slider–crank mechanism, Piston kinematics, Computational simulation, MATLAB, Wolfram Mathematica, Mechanism dynamics.



Introducción

El movimiento de un pistón dentro de un cilindro constituye un fenómeno esencial y fundacional en la ingeniería mecánica, cuyo ingenio reside en la transformación de la energía de presión de un fluido en trabajo mecánico útil a través del mecanismo biela- manivela. Este principio, perfeccionado notablemente desde las mejoras de James Watt a la máquina de vapor, ha sido el motor de la revolución industrial y sigue siendo un pilar en el desarrollo de tecnologías energéticas y de transporte. Su aplicación es fundamental en los motores de combustión interna, que operan bajo ciclos termodinámicos como el Otto y el Diésel, así como en una vasta gama de compresores, bombas y sistemas neumáticos (1). El pistón, al desplazarse linealmente, transmite el esfuerzo generado por la expansión de los gases a la biela, que a su vez convierte este movimiento rectilíneo alternativo en el movimiento rotacional continuo del cigüeñal. Este proceso, lejos de ser un movimiento armónico simple, presenta una cinemática compleja influenciada directamente por la relación geométrica entre la longitud de la biela y el radio del cigüeñal (L/R). (2)

Esta relación no solo determina las curvas de posición, velocidad y aceleración, sino que también introduce armónicos de orden superior que tienen implicaciones directas en las vibraciones, el equilibrio del motor y la entrega de par. (3)

En la actualidad, el estudio detallado del pistón enfrenta nuevos desafíos impulsados por la necesidad de una mayor eficiencia energética y la reducción de emisiones contaminantes. La investigación se centra en la optimización de materiales, como aleaciones de aluminio ligeras y recubrimientos de baja fricción, para minimizar las pérdidas mecánicas y térmicas. El diseño de la cabeza del pistón es, además, un factor crítico para controlar el proceso de combustión y maximizar el rendimiento. (2)

Asimismo, las metodologías de análisis han evolucionado drásticamente. Los enfoques analíticos clásicos se complementan hoy con potentes herramientas de simulación, como el Análisis por Elementos Finitos (FEA) y la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD). Estas técnicas permiten modelar con alta fidelidad el comportamiento del pistón bajo condiciones de operación extremas, considerando cargas térmicas, presiones y esfuerzos mecánicos, lo que reduce la necesidad de prototipos físicos y acelera el ciclo de desarrollo. (4)

El presente artículo busca analizar de manera integral el movimiento de un pistón, abordando su formulación teórica, las implicaciones termodinámicas y las aplicaciones prácticas. Se explorarán tanto los modelos cinemáticos como los dinámicos, así como las innovaciones tecnológicas que buscan optimizar su desempeño. De esta forma, se pretende aportar al entendimiento de los factores que determinan su eficiencia y contribuir al avance hacia tecnologías de conversión de energía más sostenibles. (5)

Marco Teórico

Definición de Variables

El pistón es un elemento mecánico que se desplaza dentro de un cilindro y cuya función principal es recibir la presión ejercida por un fluido para generar movimiento alternativo. Dicho movimiento, mediante la biela, se transmite al cigüeñal, convirtiéndose en rotación.

Supongamos que la manivela tiene radio r y la biela tiene una longitud l ($l > 2r$). La manivela gira con velocidad angular constante y el pistón oscila.

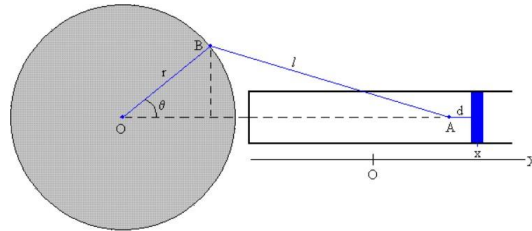


Figura 5. Biela, manivela y eje

La posición del pistón respecto al centro de la rueda es:

$$x_e = r \cdot \cos(\theta) + \sqrt{l^2 - r^2 \sin^2(\theta)} + d \quad (1)$$

Si situamos el origen en la posición del pistón para $\theta = 90^\circ$, se tiene:

$$x_o = \sqrt{l^2 - r^2} + d \quad (2)$$

Funcionamiento en Matlab Código

```

ejemplo.m
1 % Simulación del movimiento de un pistón con mecanismo biela-manivela
2
3 % Parámetros geométricos
4 r = 0.05; % radio del cigüeñal en metros (5 cm)
5 L = 0.15; % longitud de la biela en metros (15 cm)
6
7 % Rango de ángulos del cigüeñal
8 theta = linspace(0, 2*pi, 500); % de 0° a 360° en radianes
9
10 % Fórmula de la posición del pistón
11 x = r*cos(theta) + sqrt(L^2 - (r*sin(theta))^2);
12
13 % Graficar posición del pistón
14 figure;
15 plot(rad2deg(theta), x, 'b', 'linewidth', 2);
16 grid on;
17 xlabel('Ángulo del cigüeñal \theta (grados)', 'FontSize', 12);
18 ylabel('Posición del pistón x (m)', 'FontSize', 12);
19 title('Movimiento del pistón en función del ángulo del cigüeñal', 'FontSize', 14);
20
21 % Marcar puntos importantes en la gráfica
22 hold on;
23 plot(0, x(1), 'ro', 'MarkerFaceColor', 'r'); % PMS (Punto muerto superior)
24 plot(180, x(250), 'go', 'MarkerFaceColor', 'g'); % FMI (Punto muerto inferior)
25
26 legend('Posición del pistón', 'PMS', 'FMI');
27

```

Figura 6. Código en Matlab

Gráfica

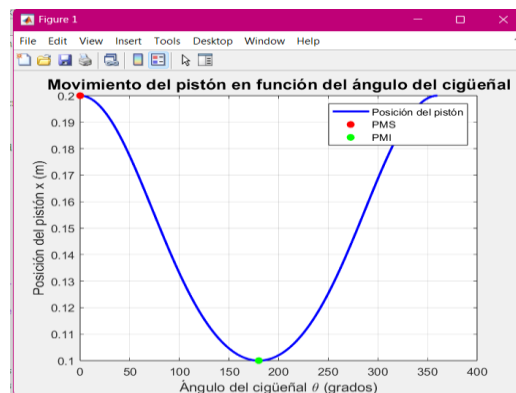


Figura 7. Gráfica de Resultados.

En el eje X (horizontal): Ángulo del cigüeñal (0° – 360°).

- 0° → Pistón en Punto Muerto Superior (PMS).
- 180° → Pistón en Punto Muerto Inferior (PMI).
- 360° → Regresa al PMS.

En el eje Y (vertical): Posición del pistón en metros.

- La curva muestra cómo el pistón sube y baja en el cilindro a medida que gira el cigüeñal.

La curva azul representa el desplazamiento no armónico del pistón.

- Se observa que el movimiento no es perfectamente simétrico entre la subida y la bajada.

Puntos marcados:

- Rojo (PMS): cuando el pistón está arriba del todo.
- Verde (PMI): cuando está abajo del todo.

POSICIÓN

Se derivada de la ecuación (1) llegando a la siguiente expresión:

$$x_e - x_o = r \cdot \cos(\theta) + \sqrt{l^2 - r^2 \sin^2 \theta} - \sqrt{l^2 - r^2} \quad (3)$$

Si la manivela se mueve con velocidad angular constante, la posición del pistón en función del tiempo es:

$$x_o = r \cdot \cos(\omega t) + \sqrt{l^2 - r^2 \sin^2(\omega t)} - \sqrt{l^2 - r^2} \quad (4)$$

Así obtenemos valores máximos y mínimos dando las siguientes ecuaciones:

- El valor máximo se obtiene para $\theta t = 0$, y vale:

$$x = r + l - \sqrt{l^2 - r^2} \quad (5)$$

- El valor mínimo se obtiene para $\omega t = \pi$:

$$x = -r + l - \sqrt{l^2 - r^2} \quad (6) \text{ Funcionamiento en Matlab}$$

Código

```
%% Movimiento del pistón (modelo exacto vs MAS)
clear; clc; close all;

% Parámetros
r = 0.05; % radio cigüeñal [m]
L = 0.15; % longitud biela [m]
w = 100; % velocidad angular [rad/s]

% Ángulo del cigüeñal
theta = linspace(0,2*pi,1000); % [rad]
theta_deg = rad2deg(theta);

% Posición exacta (biela-manivela)
x = r*cos(theta) + sqrt(L^2 - (r*sin(theta)).^2);
s = x - L; % desplazamiento relativo

% Movimiento armónico simple (aprox)
s_mas = r*cos(theta);

% Graficar
plot(theta_deg, s*1000,'b','LineWidth',2); hold on;
plot(theta_deg, s_mas*1000,'r--','LineWidth',1.5);
xlabel('Ángulo \theta (°)'); ylabel('Desplazamiento [mm]');
title('Movimiento del pistón: Exacto (azul) vs MAS (rojo)');
legend('Exacto','MAS'); grid on; xlim([0 360]);
set(gca,'XTick',0:45:360);
```

Figura 8. Código en Matlab

Este código determina la ubicación precisa del pistón en cada ángulo del cigüeñal, aplicando la geometría del sistema biela-manivela. Para simplificar el análisis y compararlo con un Movimiento Armónico Simple (rcos), la posición se centra al restar la longitud de la biela (L).

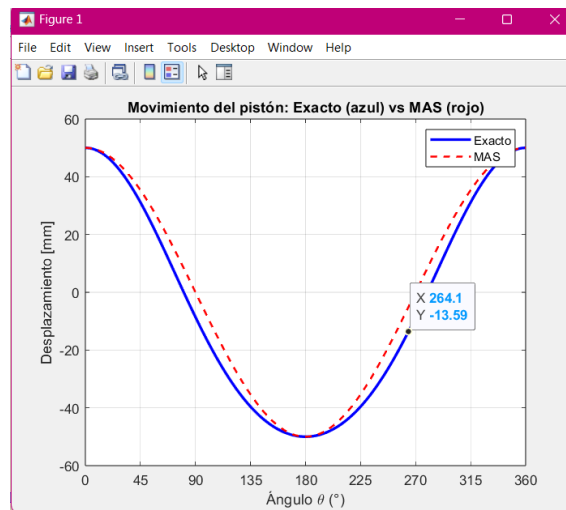


Figura 9. Gráfica de Resultados

1. Curva azul (posición real del pistón)

Representa la posición del pistón a lo largo de un ciclo completo del cigüeñal (de 0 a 2π). Es importante recalcar que no es una onda perfectamente sinusoidal; se observa ligeramente deprimida o deformada debido a la influencia de la longitud de la biela (L). Esta deformación refleja que, en un motor real, el pistón no sube y baja de manera perfectamente armónica.

2. Curva roja (Movimiento Armónico Simple, MAS)

Representa un oscilador perfecto: una onda coseno. Esta se usa como referencia para comparar el movimiento del pistón. Se observa que es simétrica y suave, lo que permite notar las pequeñas diferencias geométricas que aparecen en la curva azul, es decir, en la posición real del pistón.

VELOCIDAD

La velocidad del pistón en un mecanismo biela–manivela se obtiene al derivar la ecuación de posición con respecto al tiempo, revelando que su movimiento no es estrictamente armónico. Esto se debe a que la geometría del sistema, en particular la relación entre la longitud de la biela y el radio del cigüeñal, introduce una corrección que altera la forma sinusoidal ideal (7).

Derivando la posición x con respecto al tiempo obtenemos la velocidad:

$$v = \frac{dx}{dt} = -r\omega \sin(\omega t) \left(1 + \frac{r \cos(\omega t)}{\sqrt{l^2 - r^2 \sin^2(\omega t)}} \right) \quad (7)$$

Funcionamiento en Matlab

Código

Este código representa mantener la velocidad en el movimiento simple de acondicionamiento del aire (volumen). Primero, se determinan las variables simbólicas y los parámetros físicos:

1. r es el radio o amplitud del movimiento.

```
% Velocidad en un movimiento armónico simple
syms t
r = 1; w = 1; l = 2;

% Ecuación de velocidad
v = -r*w*sin(t*w) - (r^2*w*cos(t*w)*sin(t*w)) / sqrt(l^2 - r^2*sin(t*w)^2);
vv = -sin(t) - (cos(t)*sin(t)) / sqrt(4 - sin(t)^2);

% Gráfica
fplot(vv, [0 2*pi], 'g', 'LineWidth', 1.5)
hold on
fplot(-sin(t), [0 2*pi], 'b--', 'LineWidth', 1.2)
title('Velocidad en el Movimiento Armónico Simple')
xlabel('Tiempo (t)')
ylabel('Velocidad (v)')
legend('v(t)', 'v = -sin(t)', 'Location', 'best')
grid on
hold off
```

Figura 10. Código en Matlab

2. w (omega) es la frecuencia angular, que determina qué tan rápido oscila el sistema.
3. l es una longitud auxiliar usada en la ecuación para modelar la trayectoria del movimiento.

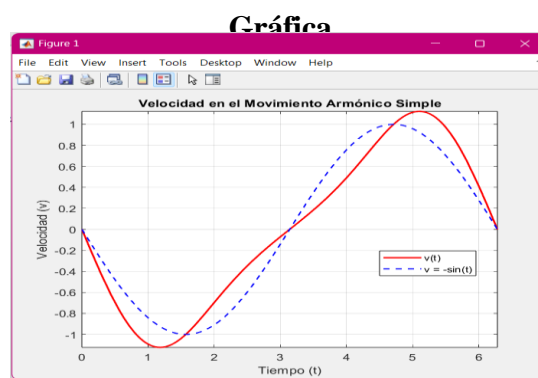


Figura 11. Código en Matlab.

La gráfica obtenida muestra la variación de la velocidad del pistón en función del tiempo. En ella aparecen dos curvas:

- La línea roja denota la velocidad real del pistón calculada con toda la ecuación, teniendo en cuenta la geometría del mecanismo de conexión. Esta ecuación incluye una expresión:

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

$$-r\omega \sin(\omega t) \quad (8)$$

y una corrección que depende del ángulo y la longitud de la biela, lo que hace que el movimiento no sea perfectamente

- La línea azul (o discontinua, según el código) representa la velocidad ideal del movimiento armónico simple (MAS), es decir, la velocidad que tendría el sistema si siguiera una oscilación perfectamente sinusoidal

$$-\sin(t) \quad (9)$$

Al examinar la figura, se evidencia que es una figura los dos gráficos son del mismo tipo general (sueños tienen oscilaciones hacia arriba y hacia abajo del coordenado horizontal), pero no se llega a intersecar exactamente. La velocidad real (en rojo) existe una diferencia entre dos gráficas, aunque es de una pequeña amplitud, así como de la fase de los gráficos, en especial cerca de los puntos máximos y mínimos. Lo cual está dado, ya que en una biela-manivela no es posible obtener un movimiento totalmente armónico, en este caso la biela le da otra asimétrica a la trayectoria.

ACELERACIÓN

Sea la ecuación:

$$x(\theta) = r \cos \theta + \sqrt{L^2 - r^2 \sin^2 \theta},$$

$$S(\theta) = \sqrt{L^2 - r^2 \sin^2 \theta} \quad (11)$$

Derivando respecto a θ :

$$\frac{dx}{d\theta} = -r \sin \theta - \frac{r^2 \sin \theta \cos \theta}{S} = -r \sin \theta \left(1 + \frac{r \cos \theta}{S} \right)$$

La velocidad temporal resulta $v = \omega \frac{dx}{d\theta}$

Derivando de nuevo,

$$\frac{d^2x}{d\theta^2} = -r \sin \theta - \frac{r^2(\cos^2 \theta - \sin^2 \theta)}{S} = -\frac{r^4 \sin^2 \theta \cos^2 \theta}{S^3}$$

Por tanto, la aceleración es:

$$a = \frac{d}{dt} = -r\omega^2(\cos(\omega t)) + \frac{r(l^2 \cos(2\omega t) + r^2 \sin^4(\omega t))}{(l^2 - r^2 \sin^2(\omega t))^{3/2}}$$

Código

Este código tiene como objetivo analizar el movimiento del pistón en un sistema biela-manivela, mostrando cómo varía su aceleración con respecto al tiempo.

```

% Aceleración del pistón en función del tiempo
syms t
r = 1; l = 2; w = 1;

% Ecuación simbólica de la velocidad (ya deducida previamente)
v = -r*w*sin(w*t) - (r^2*w*cos(w*t)*sin(w*t)) / sqrt(1-2 - r^2*sin(w*t)^2);

% Derivada de la velocidad: aceleración
a = diff(v, t);
a = simplify(a);

% Sustituir los valores numéricos
aa = subs(a, {w, l, r}, {1, 2, 1});

% Aceleración ideal del movimiento armónico simple
ap = -cos(t);

% Gráfica
fplot(aa, [0 2*pi], 'b', 'LineWidth', 1.5)
hold on
fplot(ap, [0 2*pi], 'r--', 'LineWidth', 1.3)
title('Aceleración del pistón vs. Movimiento Armónico Simple')
xlabel('Tiempo (t)')
ylabel('Aceleración (a)')
legend('Aceleración real', 'Aceleración MAS', 'Location', 'best')
grid on
hold off

```

Figura 12. Código en Matlab

Gráfica

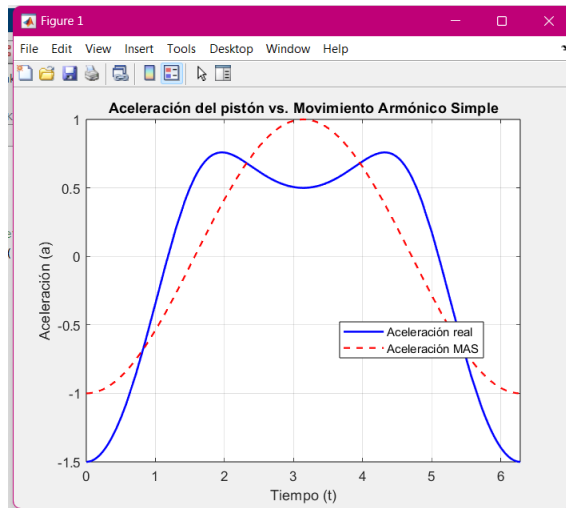


Figura 13. Código en Matlab

1. La aceleración real (azul) presenta pequeñas desviaciones respecto al MAS (rojo) debido a los efectos geométricos del sistema biela-manivela.
2. Los picos máximos y mínimos no son perfectamente simétricos, lo que demuestra que el movimiento del pistón no es puramente armónico.
3. Cuando el cigüeñal se mueve más rápido cerca del punto es: muerto, la aceleración aumenta ligeramente más que en el modelo ideal.

ACELERACIÓN NULA, MÁXIMA VELOCIDAD

Deducción de aceleración nula

La aceleración es nula cuando:

$$a = r\omega^2 \cos\theta = 0$$

Dividimos entre $r\omega^2 \neq 0$:

$$\cos\theta = 0$$

$$\theta = 90^\circ \quad \text{o} \quad \theta = 270^\circ$$

✓ **Interpretación geométrica:**

- El pistón está en el punto medio de su recorrido, ni en PMI ni en PMA.
- En estos puntos, la aceleración es cero, porque no hay cambio instantáneo de velocidad.

Deducción de velocidad máxima

La velocidad es:

$$v = r\omega\sin\theta$$

Para encontrar el máximo, derivamos v respecto a θ y buscamos dónde la derivada es cero:

$$\frac{dv}{d\theta} = r\omega\cos\theta = 0$$

$$\cos\theta = 0 \Rightarrow \theta = 90^\circ,$$

$$270^\circ$$

✓ **Resultado:**

- La velocidad máxima ocurre exactamente donde la aceleración es nula.
- El valor máximo de la velocidad es:

$$v_{\text{máx}} = r\omega$$

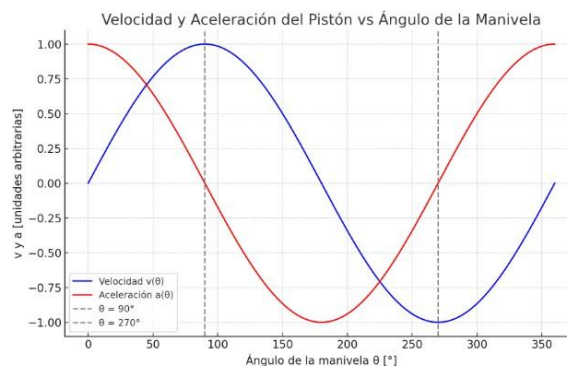


Figura 14. Velocidad y Aceleración vs Ángulo de la Manivela

La velocidad es máxima en el centro del recorrido, donde la aceleración es nula. Inversamente, la velocidad es nula en los extremos (puntos muertos), que es precisamente donde la aceleración alcanza su máximo para forzar el cambio de dirección.

1. Análisis del movimiento del pistón

El mecanismo biela–manivela convierte el movimiento rotativo de la manivela en un desplazamiento alternativo del pistón. Este sistema es esencial en motores de combustión, compresores y bombas. Su análisis cinemático permite determinar la posición, velocidad y aceleración del pistón en función del ángulo de giro de la manivela.

Asumiendo que la longitud de la biela l es considerablemente mayor al radio r ($l \gg r$), las ecuaciones aproximadas del movimiento del pistón se expresan como:

$$x = r(1 - \cos\theta)$$

$$v = r\omega \sin\theta \tag{20}$$

$$a = r\omega^2 \cos\theta \tag{21}$$

A partir de estas ecuaciones se analizan los puntos de máxima velocidad y aceleración nula. En las tablas siguientes se resumen los resultados principales.

Tabla 1. Valores cinemáticos del pistón

θ (°)	x	v	a	Interpretación
0	0	0	$+r\omega^2$	PMI (inicio)
90	r	$+r\omega$	0	Mitad ascenso
180	$2r$	0	$-r\omega^2$	PMA (cambio)
270	r	$-r\omega$	0	Mitad descenso
360	0	0	$+r\omega^2$	Retorno al PMI

Tabla 2. Condiciones de aceleración nula y velocidad máxima

Condición	Ecuación	θ (°)	Resultado
------------------	-----------------	--------------	------------------

<i>Aceleración nula</i>	$a = r\omega^2 \cos \theta = 0$	90, 270	$a = 0$
<i>Velocidad máxima</i>	$v = r\omega \sin \theta$	90, 270	$v_{\text{máx}} = \pm r\omega$

Tabla 3. Resumen del ciclo de movimiento del pistón

<i>Punto</i>	θ (°)	v	a
<i>PMI (inicio)</i>	0	0	+máx
<i>Mitad ascenso</i>	90	+máx	0
<i>PMA (arriba)</i>	180	0	-máx
<i>Mitad descenso</i>	270	-máx	0
<i>PMI (fin)</i>	360	0	+máx

Material y métodos

La biela-manivela es un componente clave en el ámbito de la ingeniería y la mecánica. Este mecanismo transforma el movimiento lineal en movimiento rotativo, o viceversa, y se utiliza en una variedad de dispositivos, desde motores de combustión interna hasta maquinaria industrial (Aude,(6)).

La biela-manivela es un mecanismo compuesto por una biela y una manivela. La biela es una barra rígida que transmite fuerza entre un componente móvil y un componente fijo. La manivela, por otro lado, es una palanca acoplada a un eje de rotación (Aude,(6)).

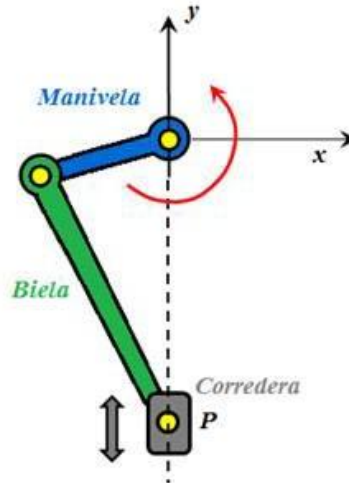


Figura 1. Mecanismo de un pistón (Biela-Manivela).

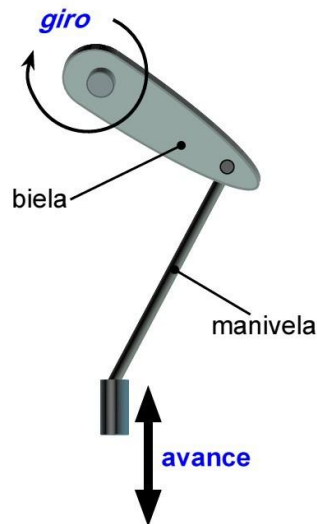


Figura 2. Sistema biela-manivela. Jesús Lozano Monge y Francisco J. Soria López en “Mecanismos” de “Mestre a Casa” (Conselleria d’Educació Generalitat Valenciana). Licencia CC-BY-NC-SA..

Componentes Principales

- Biela: La biela es una barra que conecta el pistón con la manivela.
- Manivela: La manivela está unida a un eje y gira para producir movimiento rotativo.
- Eje: El eje es la parte central alrededor de la cual gira la manivela.

Funcionamiento del Mecanismo biela manivela

El ciclo de operación de un mecanismo biela manivela se divide en varias etapas:

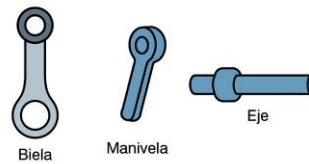


Figura 3. *OpenAI. (2025). Biela, manivela y eje.*

1. **Movimiento Ascendente:** El pistón se mueve hacia arriba, empujando la biela.
2. **Rotación de la Manivela:** La biela mueve la manivela, causando que esta gire alrededor del eje.
3. **Movimiento Descendente:** El pistón se mueve hacia abajo, tirando de la biela.
4. **Rotación Continua:** La manivela sigue girando, completando el ciclo.

Aplicaciones Comunes

El Mecanismo biela manivela se utiliza en diversos ámbitos, incluyendo:

Motores de Combustión Interna En automóviles y motocicletas, la biela-manivela convierte la combustión del combustible en movimiento rotativo para las ruedas.

Máquinas de Prensa En la industria, este mecanismo se usa para transformar el movimiento alternativo de las prensas en movimiento rotativo para cortar o moldear materiales.

Bombas Hidráulicas Las bombas que utilizan el mecanismo biela-manivela convierten el movimiento alternativo en rotativo para bombear fluidos.

Ventajas y Desventajas de la Biela-Manivela

VENTAJAS

1. **Eficiencia:** El mecanismo biela-manivela es altamente eficiente en la conversión de energía.
2. **Versatilidad:** Puede ser utilizado en una amplia variedad de aplicaciones industriales y automotrices.
3. **Durabilidad:** Con un mantenimiento adecuado, los sistemas biela-manivela son extremadamente duraderos.

DESVENTAJAS

1. Complejidad: La construcción y el mantenimiento de un sistema biela-manivela pueden ser complejos.
2. Desgaste: Las partes móviles están sujetas al desgaste, lo que requiere un mantenimiento regular.

Mantenimiento y Cuidado de la Biela-Manivela

Inspección Regular

Para asegurar el correcto funcionamiento de un mecanismo biela-manivela, es crucial realizar inspecciones regulares. Esto incluye verificar el estado de la biela, la manivela y el eje, así como revisar los puntos de lubricación (Aude,(6)).

Lubricación Adecuada

La lubricación es esencial para reducir el desgaste de las partes móviles. Es importante utilizar el lubricante adecuado y aplicar la cantidad correcta en los puntos de contacto (Aude,(6)).

Reemplazo de Piezas Desgastadas

Con el tiempo, las partes del mecanismo biela-manivela pueden desgastarse y necesitar un reemplazo. Es crucial utilizar piezas de alta calidad y seguir las especificaciones del fabricante para garantizar la longevidad del sistema (Aude,(6)).



Figura 4. FocusCE. (2024). *Mecanismo biela-manivela*

Resultados

Aplicaciones Prácticas

El análisis del movimiento del pistón y del mecanismo biela–manivela es fundamental en numerosos sistemas mecánicos e industriales. Su comprensión permite optimizar la conversión de movimiento rotacional en lineal, así como el rendimiento y la durabilidad de los componentes que lo integran.

Motores de combustión interna

En los motores alternativos, el conjunto cigüeñal–biela–pistón transforma la energía de la combustión en trabajo mecánico rotacional. El estudio de la velocidad y la aceleración del pistón permite determinar los esfuerzos dinámicos en la biela y el cigüeñal, así como el equilibrio de masas en el motor. Un control adecuado de la aceleración máxima contribuye a reducir vibraciones y a mejorar la eficiencia del ciclo termodinámico.

Bombas y compresores alternativos

El mecanismo se aplica en bombas de desplazamiento positivo y compresores alternativos, donde el pistón genera presión mediante su movimiento oscilante. Conocer el perfil de velocidad y aceleración del pistón ayuda a calcular el caudal teórico, las pérdidas por inercia y el comportamiento del fluido dentro del cilindro (8), (9). Permite diseñar sistemas con menor nivel de pulsaciones de caudal.

Maquinaria industrial y robótica

En sistemas de automatización y robótica, la biela–manivela se emplea en mecanismos de prensado, corte, troquelado y manipulación, donde se requiere transformar el giro del motor en movimiento lineal controlado (10). El conocimiento del punto de máxima velocidad y de aceleración nula permite optimizar la sincronización del movimiento y mejorar la precisión del sistema.

Simulación y modelado

Las herramientas modernas de simulación, como MATLAB/Simulink, SolidWorks Motion o Adams, utilizan modelos matemáticos del mecanismo biela–manivela para predecir comportamientos dinámicos complejos. Estos modelos consideran los efectos de holguras, fricción y flexión en la biela, permitiendo un diseño más realista y eficiente (11), (12). El uso de simulaciones reduce costos de prototipado y mejora la confiabilidad de los sistemas mecánicos antes de su fabricación.

Aplicaciones emergentes

Actualmente, el mecanismo biela–manivela está siendo adaptado en sistemas de generación eléctrica a pequeña escala, motores híbridos y dispositivos de energía alternativa. Su estudio



detallado contribuye al desarrollo de soluciones más sostenibles y de alto rendimiento en la ingeniería moderna (2)

EJEMPLO PRÁCTICO

Cálculos realizados en el código

El mecanismo biela–manivela se analiza considerando los siguientes parámetros:

$$r = 0.5 \text{ m}, \quad l = 0.15 \text{ m}, \quad \omega = 100 \text{ rad/s}$$

El ángulo de giro de la manivela varía en el intervalo:

$$\theta \in [0, 2\pi]$$

Posición del pistón

La posición instantánea del pistón respecto al eje del cigüeñal está dada por:

$$x = r \cos \theta + \sqrt{l^2 - (r \sin \theta)^2}$$

Sustituyendo los valores del mecanismo:

$$x = 0.05 \cos \theta + \sqrt{0.15^2 - (0.05 \sin \theta)^2}$$

La carrera del pistón (diferencia entre su posición máxima y mínima) resulta:

$$\Delta_x = \max(x) - \min(x) \approx 0.099999 \text{ m} \approx 0.10 \text{ m}$$

Velocidad del pistón

La velocidad se obtiene derivando la posición respecto al tiempo:

$$v = -r\omega \sin \theta - \frac{r^2 \omega \sin \theta \cos \theta}{\sqrt{l^2 - (r \sin \theta)^2}}$$

Sustituyendo los valores numéricos:

$$v = -0.05(100) \sin \theta - \frac{0.05^2(100) \sin \theta \cos \theta}{\sqrt{0.15^2 - (0.05 \sin \theta)^2}}$$

El valor máximo de la velocidad se presenta en:

$$v_{\max} \approx 5.273 \text{ m/s} \text{ cuando } \theta \approx 286.8^\circ$$

6.3 Aceleración del pistón

La aceleración se determina derivando la velocidad:

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

$$a = -rw^2 \cos\theta - \frac{r^2 \omega^2 \left[\cos(2\theta) - \frac{l^2}{r^2} \sin^2\theta \right]}{\sqrt{l^2 - (r \sin\theta)^2}}$$

Sustituyendo los valores del mecanismo:

$$a = -0.05(100)^2 \cos\theta - \frac{0.05^2(100)^2 \left[\cos(2\theta) - \frac{0.15^2}{0.05^2} \sin^2\theta \right]}{\sqrt{0.15^2 - (0.05 \sin\theta)^2}}$$

El valor máximo de aceleración (en magnitud) ocurre en:

$$a_{\text{máx}} \approx 1798.16 \text{ m/s}^2 \quad \text{cuando } \theta \approx 97.27^\circ$$

Valores característicos

θ [°]	0	90	180	270
x (m)	0.2000	0.1414	0.1000	0.1414
v (m/s)	0.0000	-5.0000	0.0000	5.0000
a (m/s ²)	-666.67	1767.77	333.33	1767.77

En resumen, el pistón recorre una carrera de aproximadamente

0.10m, alcanza una velocidad máxima de 5.27 m/s y una aceleración máxima de $1.80 \times 10^3 \text{ m/s}^2$.

Simulación en Matlab

Presentamos el siguiente código:

```

% SIMULACIÓN DEL MOVIMIENTO DE UN PISTÓN (BIELA-MANIVELA)
% Autor: Dayana Guaman
% Descripción: Se grafican posición, velocidad y aceleración del pistón
% considerando un mecanismo ideal (sin fricción ni flexión).

clc; clear; close all;

% Parámetros del mecanismo
r = 0.05; % Radio de la manivela (m)
l = 0.15; % Longitud de la biela (m)
omega = 100; % Velocidad angular (rad/s)

% Vector de ángulos (0 a 360 grados)
theta = linspace(0, 2*pi, 360);

```

Figura 15. Código en Matlab

```
% Mecanismo Biela-Manivela
% Posición
x = r*cos(theta) + sqrt(L^2 - (r*sin(theta))^2); % Posición
v = -r*omega*sin(theta) - (r^2*omega*cos(theta)*cos(theta))/sqrt(L^2 - (r*sin(theta))^2); % Velocidad
a = -r*omega^2*cos(theta) - (2*r*omega*cos(theta)*sin(theta)*omega)/sqrt(L^2 - (r*sin(theta))^2); % Aceleración

% Gráficas
figure('Name','Movimiento del Pistón','MenuBar','none');
subplot(3,1,1)
plot(rad2deg(theta), x, 'b','LineWidth', 2);
title('Posición del pistón vs. ángulo de manivela');
xlabel('Ángulo θ [°]');
ylabel('x [m]');
grid on;

subplot(3,1,2)
plot(rad2deg(theta), v, 'r','LineWidth', 2);
title('Velocidad del pistón vs. ángulo de manivela');
xlabel('Ángulo θ [°]');
ylabel('v [m/s]');
grid on;

subplot(3,1,3)
plot(rad2deg(theta), a, 'b','LineWidth', 2);
title('Aceleración del pistón vs. ángulo de manivela');
xlabel('Ángulo θ [°]');
ylabel('a [m/s^2]');
grid on;
```

Figura 16. Código en Matlab

Una vez que obtuvimos el código obtenemos la gráfica correspondiente:

Gráfica

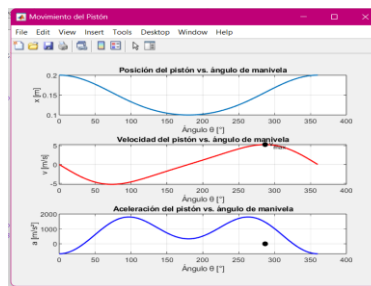
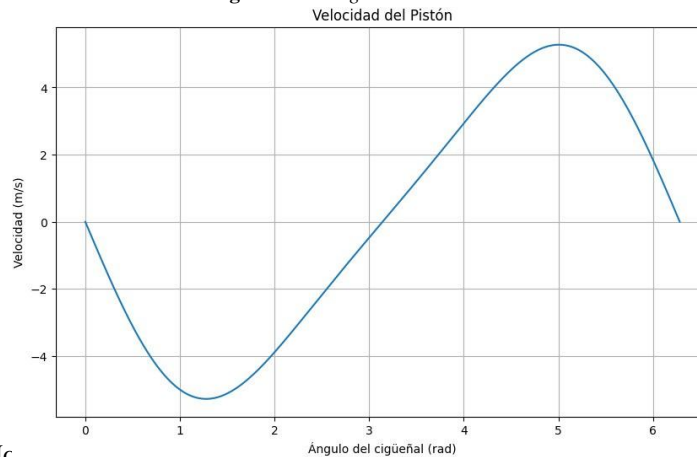


Figura 17. Código en Matlab.



Nota: La gráfica muestra la variación de la velocidad del pistón

en función del ángulo del cigüeñal durante un ciclo completo del mecanismo biela–manivela. Se observa que la velocidad no es perfectamente sinusoidal, lo que confirma que el movimiento del pistón no es un movimiento armónico simple, debido a la influencia de la geometría de la biela. La velocidad es cero en los puntos muertos (0 y 2 rad), donde el pistón cambia de dirección. Luego aumenta hasta alcanzar un valor máximo positivo cercano a 5 m/s, y presenta un valor mínimo negativo cercano a 5 m/s, indicando el movimiento alternativo del pistón dentro del cilindro. Estas ligeras asimetrías en la curva reflejan el efecto de la relación geométrica entre la longitud de la biela y el radio de la manivela.

Gráfica

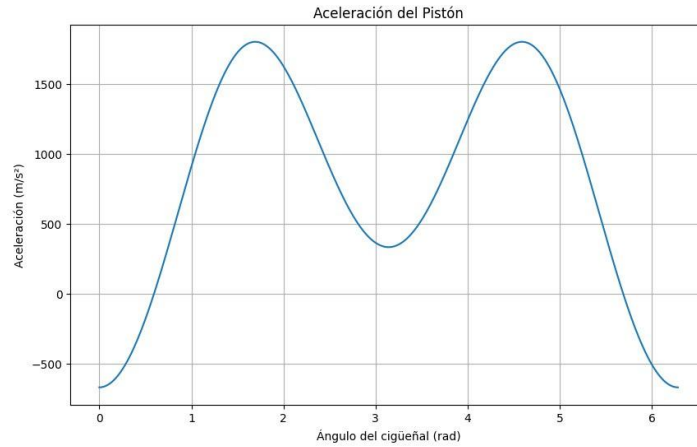


Figura 19. Aceleración del Pistón (Google Colab)

Nota: La gráfica representa la aceleración del pistón en función del ángulo del cigüeñal durante un ciclo completo del mecanismo biela-manivela. Se observa que la aceleración presenta picos máximos cercanos a $1.8 \times 10^3 \text{ m/s}^2$ y valores negativos cuando el pistón cambia de dirección en los extremos de su recorrido. Esto indica que las mayores fuerzas inerciales ocurren cerca de los puntos muertos, donde el pistón debe detenerse y revertir su movimiento. La forma de la curva no es perfectamente sinusoidal, lo que evidencia la influencia de la geometría de la biela y la manivela, generando pequeñas asimetrías en la aceleración a lo largo del ciclo del movimiento.

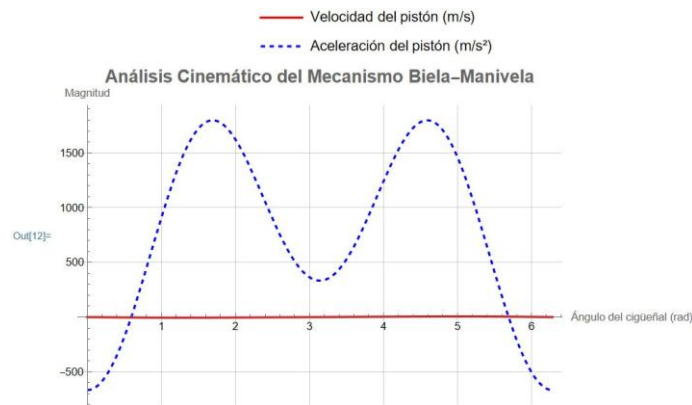


Figura 20. Análisis Cinemático del Mecanismo Biela - Manivela (Wolfram (Mathematica))

Nota: La gráfica muestra la velocidad y aceleración del pistón durante un ciclo del cigüeñal. La velocidad es máxima cerca de la mitad del recorrido ($\approx 90^\circ$ y 270°), mientras que la aceleración es máxima en los puntos muertos (0° y 180°) donde el pistón cambia de dirección. Esto confirma que el movimiento del pistón no es perfectamente armónico debido a la geometría del mecanismo biela-manivela.

Velocidad $v(\theta)$.

- El término principal de es $-r\omega \sin \theta$; por ello se observan valores cercanos a $\pm r\omega = \pm 5 \text{ m/s}$.
- El segundo término geométrico (proporcional a $\sin \theta \cos \theta$ dividido por la raíz) desplaza ligeramente la posición angular donde ocurre la velocidad máxima y provoca asimetría en la curva.
- En los puntos muertos (0° y 180°) la velocidad es cero, como es físicamente correcto.



- Observación numérica: $v_{\text{máx}}$ no coincide exactamente con 270° debido a la corrección geométrica; ocurre alrededor de 286.8° .

Aceleración $a(\theta)$.

- La aceleración contiene un término principal $-r\omega^2 \cos \theta$ y una contribución geométrica compleja que puede amplificar

o reducir localmente la aceleración, según el signo y magnitud del numerador en ??.

- Los picos grandes (por ejemplo, $a \approx 1.8 \times 10^3 \text{ m/s}^2$) se deben a la combinación de ω^2 y a razones geométricas como l^2/r^2 , que para los datos dados vale $(l/r)^2 = (0.15/0.05)^2 = 9$.

Consecuencia práctica: aceleraciones tan altas generan fuer-zas inerciales importantes $F = m_p a$ sobre el pistón y los en-laces. Aunque aquí no se ha dado m_p , la magnitud de a indica la necesidad de análisis dinámico y robustez estructural para cojinetes y bielas.

Relación de fase y armonías

- La posición está dominada por $\cos \theta$ con una pequeña corrección en $\cos 2\theta$.
- La velocidad es aproximadamente la derivada de esa forma, presentando componentes en $\sin \theta$ y $\sin 2\theta$ (desplazamientos y asimetrías).
- La aceleración, siendo la segunda derivada, presenta mayor complejidad y picos pronunciados: los máximos de v y a no están separados exactamente 90° como en un oscilador armónico puro por las no linealidades geométricas.

Podemos decir que la simulación del mecanismo biela–manivela con $r = 0.05 \text{ m}$, $l = 0.15 \text{ m}$ y $\omega = 100 \text{ rad/s}$ muestra una carrera del pistón de 0.10 m . La posición presenta una componente fundamental en $\cos \theta$ y una pequeña componente en $\cos 2\theta$ causada por la geometría de la biela. La velocidad alcanza $v_{\text{máx}} \approx 5.27 \text{ m/s}$ alrededor de $\theta \approx 286.8^\circ$, mientras que la aceleración alcanza picos de hasta $a_{\text{máx}} \approx 1.80 \times 10^3 \text{ m/s}^2$ en $\theta \approx 97.27^\circ$, lo que implica fuerzas inerciales significativas y justifica un análisis dinámico detallado para el dimensionamiento de componentes.



Conclusiones

El análisis del mecanismo biela–manivela permitió establecer las relaciones cinemáticas fundamentales entre la posición, velocidad y aceleración del pistón en función del ángulo de giro del cigüeñal. Estas relaciones constituyen la base para comprender el comportamiento dinámico de sistemas mecánicos alternativos, tales como motores de combustión interna, compresores y bombas de desplazamiento positivo.

A partir del modelado matemático y la simulación computacional se determinó que, para los parámetros considerados ($r = 0.05$ m, $l = 0.15$ m y $\omega = 100$ rad/s), el pistón presenta una carrera aproximada de 0.10 m, una velocidad máxima cercana a 5.27 m/s y una aceleración máxima del orden de 1.80×10^3 m/s². Estos resultados son coherentes con los valores teóricos esperados para una relación geométrica $l/r \approx 3$, lo que valida el modelo cinemático utilizado.

El estudio evidenció que el movimiento del pistón no es perfectamente armónico, debido a la influencia geométrica de la longitud finita de la biela. Esta condición introduce asimetrías en las curvas de velocidad y aceleración, generando ligeros desplazamientos en los ángulos donde se presentan los valores máximos y mínimos del movimiento.

El estudio permitió realizar una comparación entre diferentes herramientas de simulación computacional, específicamente MATLAB, Google Colab (Python) y Wolfram Mathematica. Los resultados obtenidos con estas plataformas mostraron una alta concordancia en las curvas de posición, velocidad y aceleración, demostrando la validez del modelo matemático aplicado. No obstante, se observaron diferencias en la visualización gráfica, facilidad de programación y potencia simbólica de cada herramienta: MATLAB destaca en el análisis numérico y la ingeniería aplicada, Google Colab facilita la implementación en Python y el acceso colaborativo en la nube, mientras que Wolfram Mathematica ofrece ventajas en el análisis simbólico y la representación matemática avanzada.

En general, el uso combinado de modelado teórico y simulación computacional permite comprender con mayor profundidad el comportamiento del mecanismo biela–manivela, optimizar su diseño y reducir costos experimentales, contribuyendo al desarrollo de sistemas mecánicos más eficientes, confiables y tecnológicamente avanzados.



Referencias bibliográficas

- [1] J. B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, 2nd ed. McGraw-Hill Education, 2018.
- [2] “Dynamic balancing of the slider crank mechanism,” 2020s.
- [3] Universitat Politècnica de València, “Riunet: Repositorio institucional de la universitat politècnica de valència,” 2008, repositorio institucional de acceso abierto. [Online].

Available: <https://riunet.upv.es/>

- [4] M. Luc'ic', “Kinematic analysis of the slider-crank mechanism of an internal combustion engine using modern software,” 2023.
- [5] R. Bottini, J. C. Petras, and M. Cavalieri, “Influencia de las fuerzas alternativas de inercia en el diseño y resistencia de bielas en motores de elevadas vueltas,” in *II Jornadas Iberoamericanas de Motores Térmicos y Lubricación*, 2016, pp. 379–390. [Online]. Available: <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/77626>
- [6] J. Aude. (2024) Mecanismo biela-manivela: Todo lo que necesitas saber. FocusCE. [Online]. Available: <https://www.focusce.com.ar/post/biela-manivela-todo-lo-que-necesitas-saber>
- [7] J. B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw-Hill Education, 1988.
- [8] J.-L. Ha, R.-F. Fung, K.-Y. Chen, and S.-C. Hsien, “Dynamic modeling and identification of a slider-crank mechanism,” *Journal of Sound and Vibration*, vol. 289, pp. 1019–1044, 2006.
- [9] S. C. Chu and K. C. Pan, “Dynamic response of a high-speed slider-crank mechanism with an elastic connecting rod,” *AS-ME Journal of Engineering for Industry*, vol. 118, pp. 687–694, 1975.
- [10] “A brief review on slider-crank mechanism,” *JETIR*, 2023.
- [11] S. Xiao, M. Song, and Z. Zhang, “Dynamic analysis of slider-crank mechanism with clearance fault,” *Extrica*, 2025.
- [12] Y. Wang *et al.*, “Dynamic analysis of crank slider mechanism considering 3d translational pair,” *Mechanics & Industry*, 2025.
- [13] R. L. Norton, *Design of Machinery: An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines*, 6th ed. McGraw-Hill Education, 2020.
- [14] W. W. Pulkrabek, *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*, 2nd ed. Pearson, 2016.
- [15] R. Stone, *Introduction to Internal Combustion Engines*, 4th ed. Palgrave Macmillan, 2012.
- [16] T. D. Gillespie, *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Society of Automotive Engineers, 1992.
- [17] R. Stone, *Introduction to Internal Combustion Engines*, 3rd ed. Macmillan Press, 1999.



- [18]Y. Zhang *et al.*, “Dynamic analysis of a planar slider–crank mechanism with clearance for a high speed and heavy load press system,” *Mechanism and Machine Theory*, vol. 98, pp. 81–100, 2016. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0307904X08001819>
- [19]Z. N. Jia, C. Z. Hao, J. B. Sun, and X. Y. Liu, “Kinematics and dynamics analysis of piston-connecting rod mechanism of internal combustion engine,” *Applied Mechanics and Materials*, vol. 470, pp. 539–542, 2013. [Online]. Available: <https://www.scientific.net/AMM.470.539>
- [20]“Research article from mechanism and machine theory,” *Mechanism and Machine Theory*, 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0094114X21000112>
- [21]Y. Z. Chen, Y. Sun, and C. Chen, “Dynamic analysis of a planar slider-crank mechanism with clearance for a high speed and heavy load press system,” *Mechanism and Machine Theory*, vol. 98, pp. 81–100, 2016. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0307904X08001819>
- [22]H. H. Mabie and C. F. Reinholtz, “Mechanisms and dynamics of machinery,” *Mechanism and Machine Theory*, 2006. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0094114X06000917>
- [23]D. Botta, M. Brusconi, S. Pokolenko, and A. Vera de la Cruz, “Efecto de la relación biela-manivela en el comportamiento del motor de ciclo otto,” 2011, proyecto académico. [Online]. Available: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/53658166/EFFECTO_RELACION_BIELA_MANIVELA-libre.pdf
- [24]“Diseño y análisis del mecanismo biela-manivela aplicado a motores de combustión interna,” *Revista de Ingeniería Mecánica*, 2020, disponible en Dialnet. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7531078>
- [25]E. Tomacen Castillo, “Caracterización del desgaste en el sistema biela–manivela del automóvil hyundai,” 2010, tesis en opción al título de Ingeniero Mecánico. [Online]. Available: <http://ninive.ismm.edu.cu/bitstream/handle/123456789/3197/tomacen.pdf>

**Conflicto de intereses:**

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

Los autores agradecen al proyecto EENTITLE por su aporte al fortalecimiento de la enseñanza de la ingeniería y por motivar el desarrollo de esta investigación. El autor Ember Zumba, docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Mecánica, Carrera de Mecánica, con registro ENTER 2311199218, reafirma su compromiso con la excelencia académica, la innovación educativa y la formación integral de los estudiantes, e invita a los educadores a continuar en un proceso permanente de preparación y fortalecimiento profesional. Asimismo, los autores expresan su aspiración de alcanzar la certificación docente, inspirados por los principios de calidad educativa promovidos por EENTITLE y guiados por valores éticos.

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.