

**TRABAJO DE UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO  
DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: “ANALISIS DE LAS FUERZAS DINAMICAS QUE SE GENERAN EN EL MECANISMO  
BIELA MANIVELA DEL MOTOR A GASOLINA DE TRES CILINDROS UTILIZANDO  
PROGRAMAS COMPUTACIONALES”**

**AUTOR: COLUMBA SIGCHO, OSCAR GABRIEL**

**TUTOR: ING. LARA NUÑEZ, MARIO ALCIDEZ**

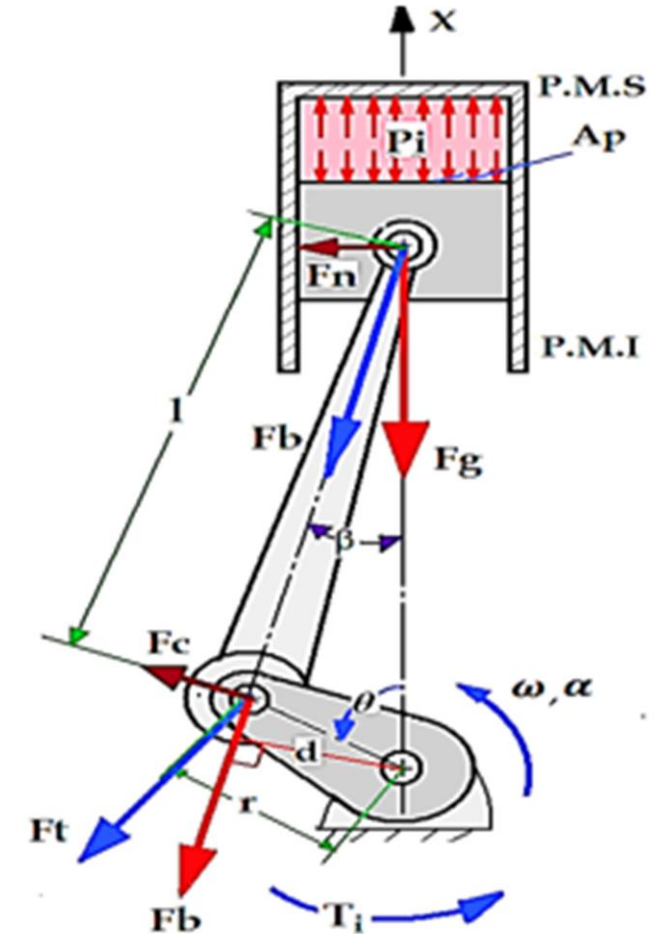
**LATACUNGA, MARZO 2022**





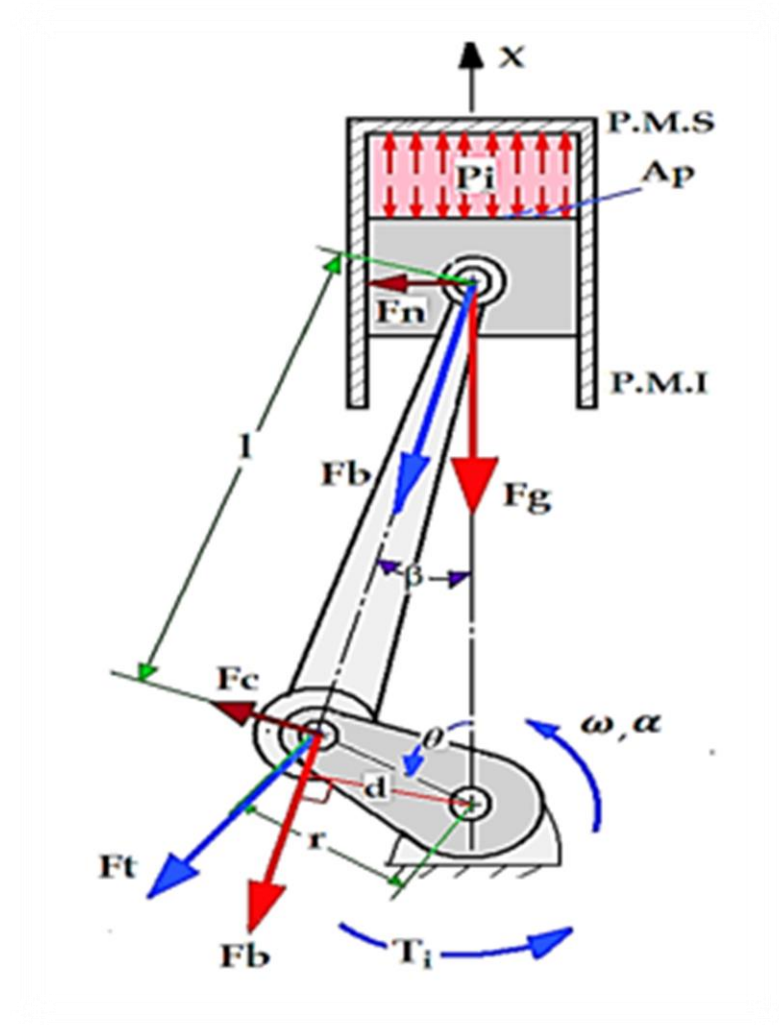
## ➤ **CONTENIDO**

- 1 • Introducción
- 2 • Justificación
- 3 • Objetivos
- 4 • Metodología
- 5 • Resultados
- 6 • Conclusiones
- 7 • Recomendaciones



## ➤ **CONTENIDO**

- 1 • Introducción
- 2 • Justificación
- 3 • Objetivos
- 4 • Metodología
- 5 • Resultados
- 6 • Conclusiones
- 7 • Recomendaciones

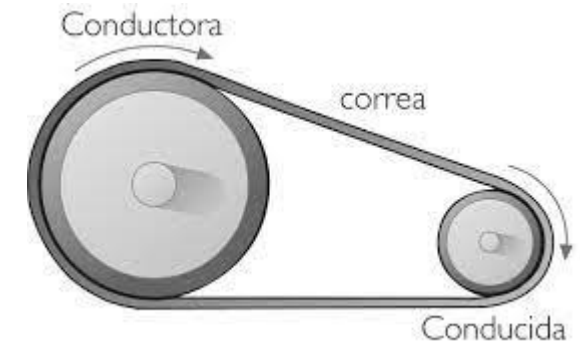
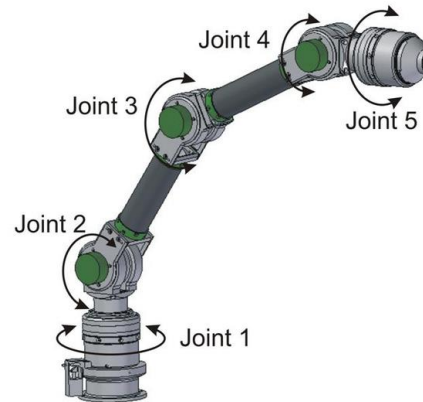


- **Mecanismo, ¿Que es?**

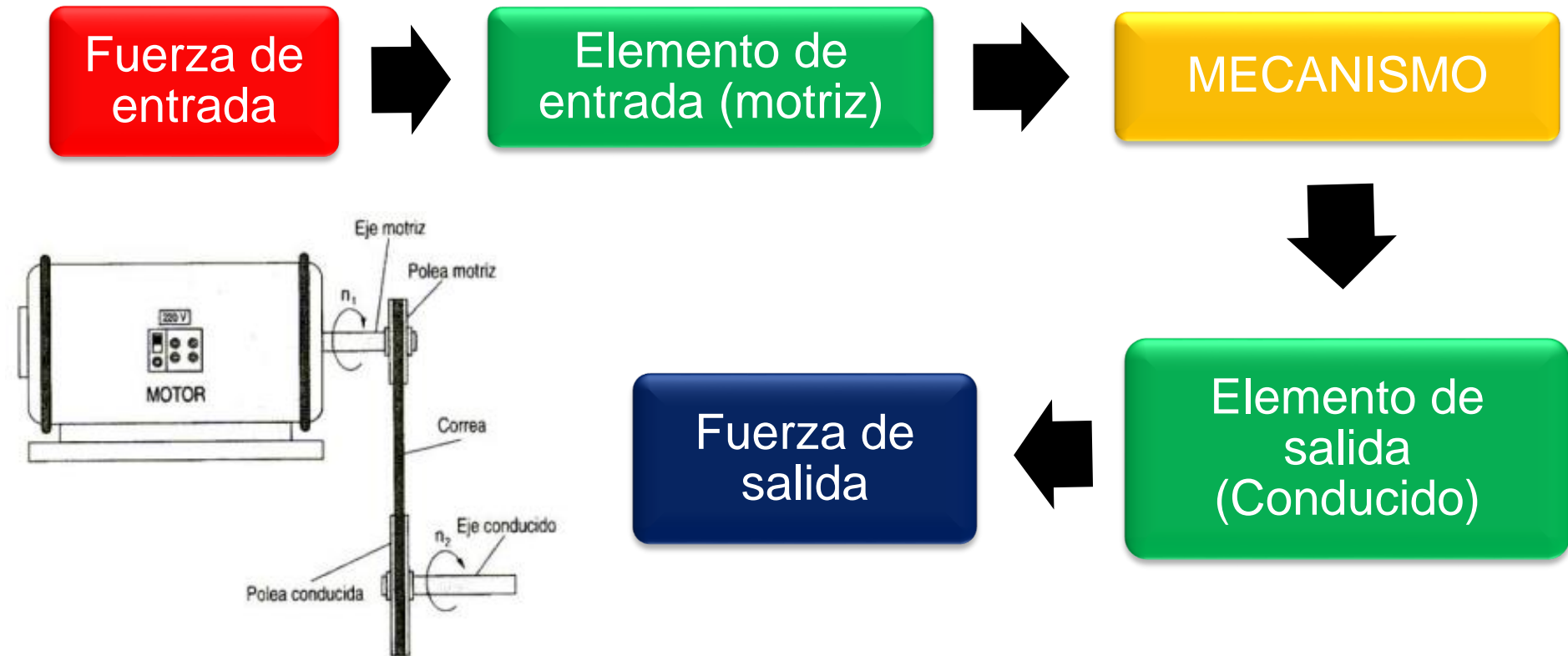
Agrupación de componentes

Transmite o convierte el movimiento a través de cadenas cinemáticas

Desde un componente motriz hacia un componente receptor o conducido



- **Funcionamiento**



- **Dinámica**

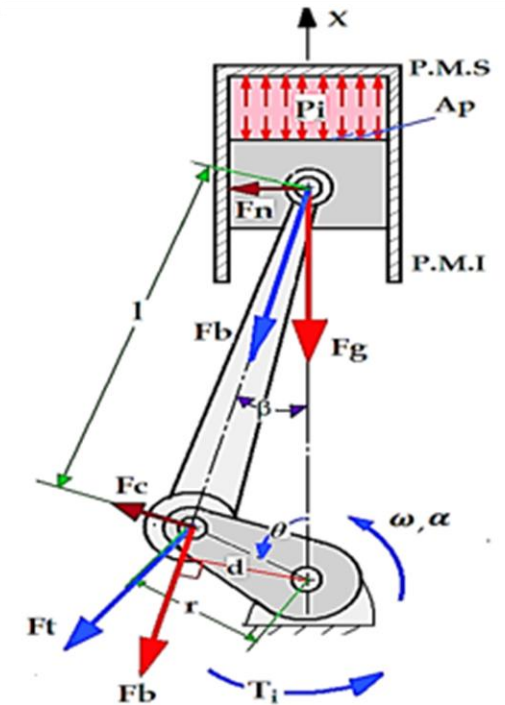
La dinámica se enfoca en el estudio de dos aspectos muy importantes que son:

**Análisis de fuerzas**

- Es el estudio de la acción de las fuerzas externas, del peso de los eslabones, de las fuerzas de fricción y las fuerzas másicas (inercia), sobre los eslabones y apoyos del mecanismo.

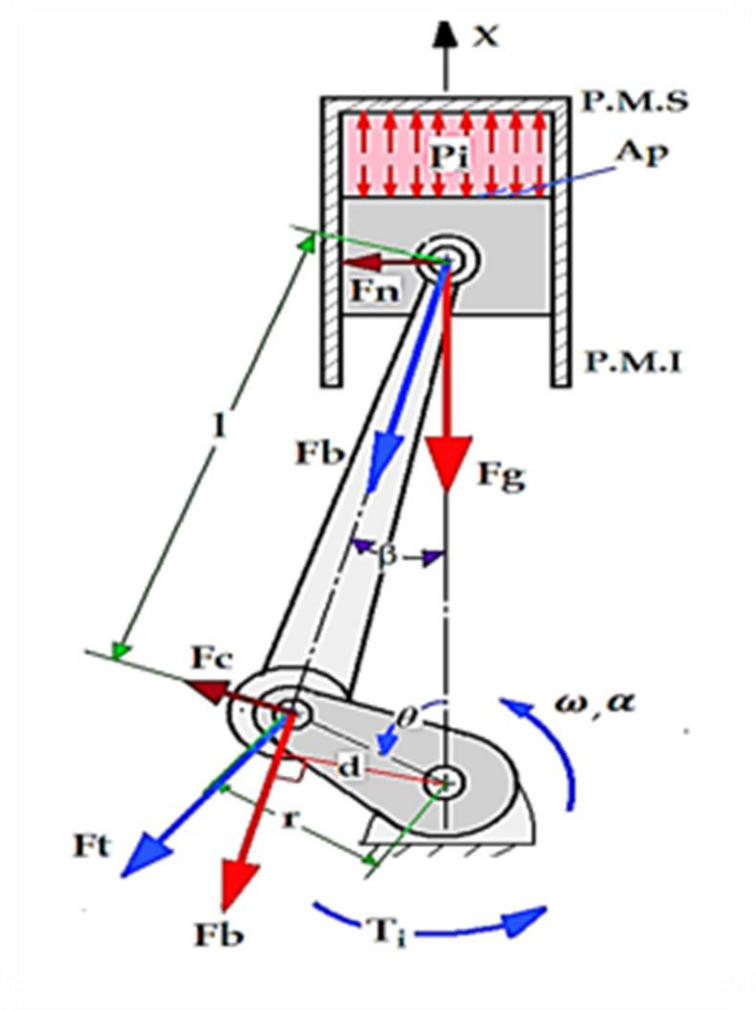
**Dinámica de mecanismos**

- Es el estudio del régimen de movimiento del mecanismo bajo la acción de las fuerzas dadas y la determinación de los medios para garantizar los regímenes de movimiento deseados para el mecanismo.



## ➤ **CONTENIDO**

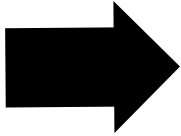
- 1 • Introducción
- 2 • Justificación
- 3 • Objetivos
- 4 • Metodología
- 5 • Resultados
- 6 • Conclusiones
- 7 • Recomendaciones



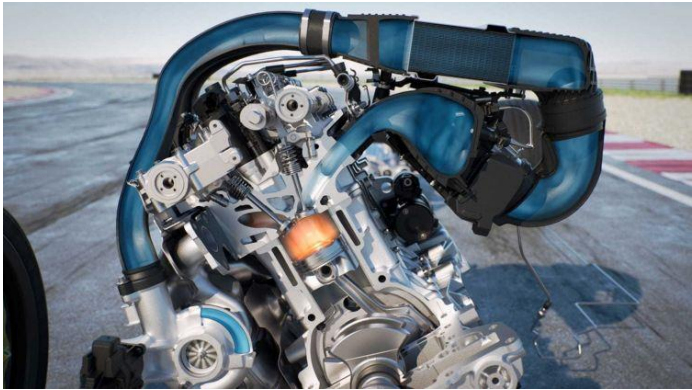
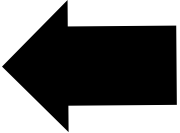


## ➤ JUSTIFICACIÓN

En la actualidad la falta de información a nivel mundial sobre dicho tema ha ocasionado que la problemática que ocasionan las fuerzas dinámicas sometidas al mecanismo biela manivela llegue a afectar no solo a la vida útil del mismo, sino que también ha contribuido a la contaminación ambiental.



El análisis dinámico del mecanismo ayuda a la reducción de las fuerzas que se generan en el mismo por lo que mejora el rendimiento del motor y reduce la contaminación ambiental.

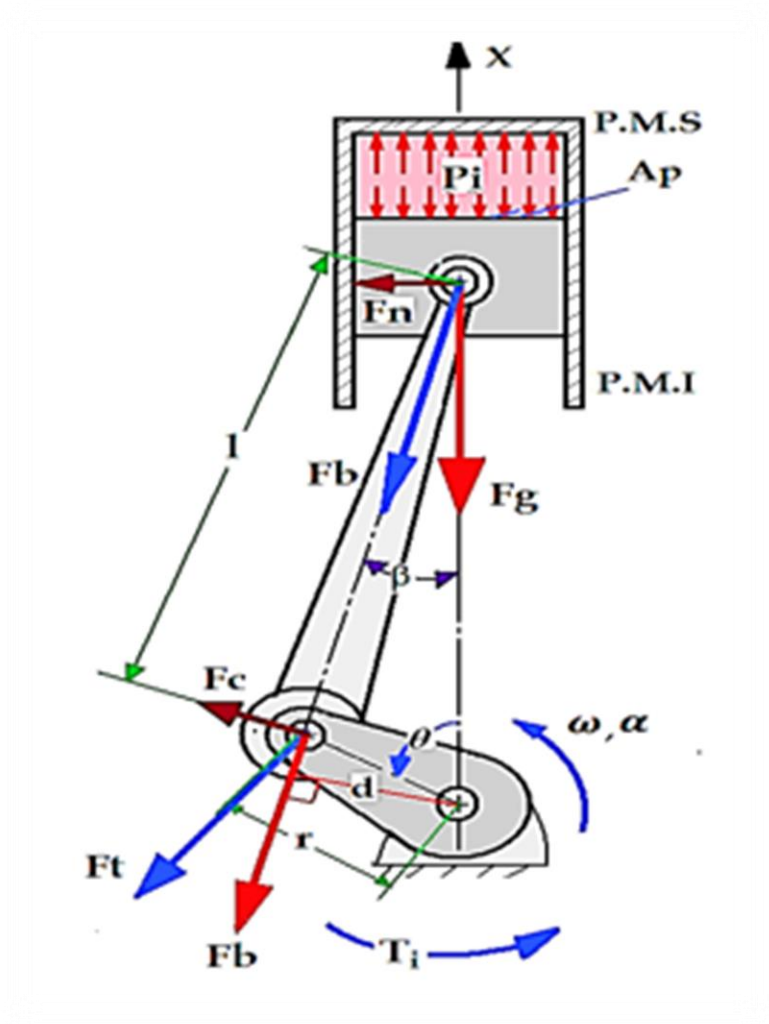


↑  
Rendimiento  
Contaminación  
↓



## ➤ **CONTENIDO**

- 1 • Introducción
- 2 • Justificación
- 3 • **Objetivos**
- 4 • Metodología
- 5 • Resultados
- 6 • Conclusiones
- 7 • Recomendaciones





## Objetivo General

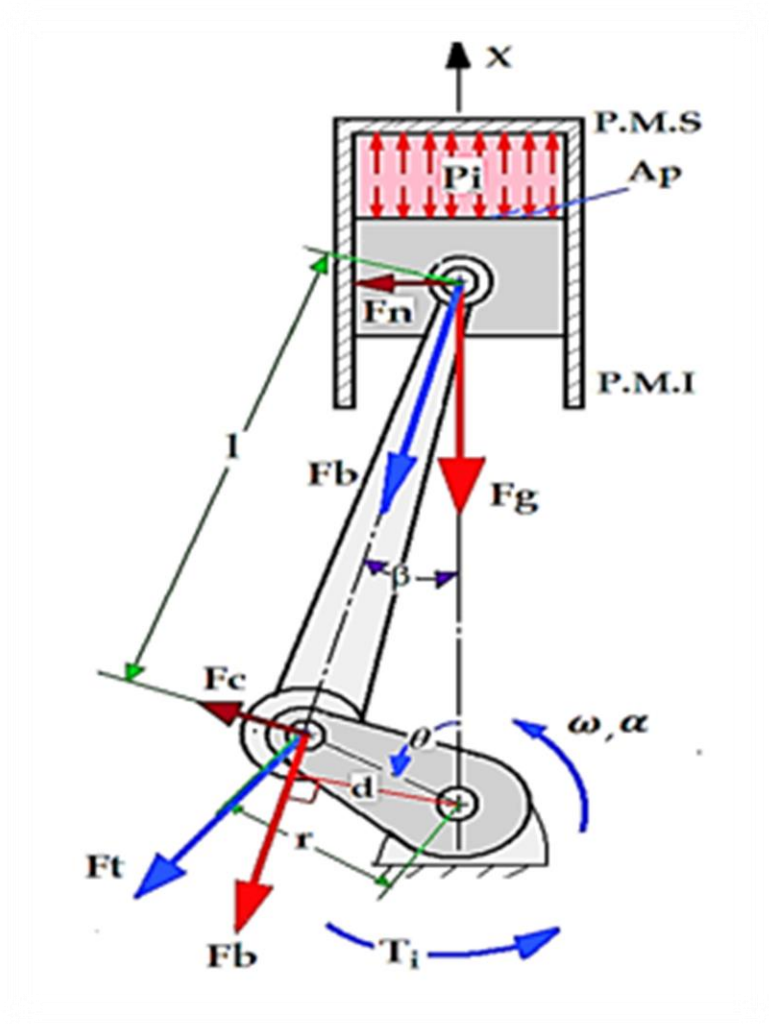
- Realizar el análisis de las fuerzas dinámicas que se generan en el mecanismo biela-manivela del motor a gasolina de tres cilindros utilizando programas computacionales.

## Objetivos Específicos

- Realizar el análisis cinemático y dinámico del mecanismo biela – manivela del motor de tres cilindros mediante un análisis algebraico con el fin de encontrar las ecuaciones de posición, velocidad, aceleración y fuerzas que actúan en el mecanismo.
- Implementar la metodología del análisis cinemático y dinámico a través de los programas computacionales de solución de ecuaciones algebraicas y diseño 2D, para dar solución a las ecuaciones planteadas en el análisis algebraico.
- Analizar las curvas características y los resultados obtenidos a través de los programas computacionales del análisis cinemático y dinámico con fines comparativos.

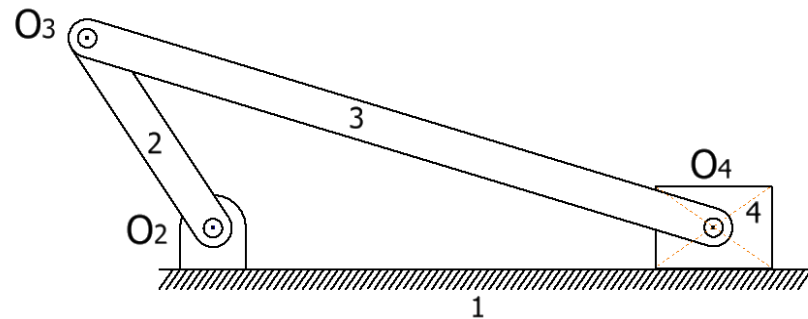
## ➤ **CONTENIDO**

- 1 • Introducción
- 2 • Justificación
- 3 • Objetivos
- 4 • Metodología
- 5 • Resultados
- 6 • Conclusiones
- 7 • Recomendaciones



## a) Análisis Cinemático

- Grados de libertad del mecanismo (Grübler – Kutzbach)



$$m = 3(n - 1) - 2j1 - j2$$

$$m = 3(4 - 1) - 2(4) - 0 = 1$$

Movimiento un solo actuador

- Comportamiento de rotación (Ley de Grashof)

VARIABLE	VALOR
s= manivela	38.5 mm
l= biela	120 mm
p= 2s	77 mm
q= distancia del centro de la biela al PMI = l – s	81.5 mm

$$s + l \leq p + q$$

$$38.5 + 120 \leq 77 + 81.5$$

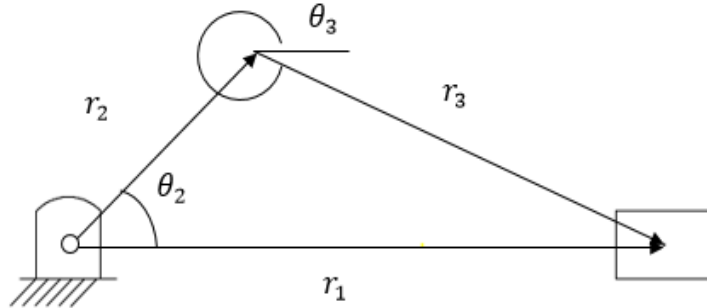
$$158.5 \leq 158.5$$

No existen interferencias

• **Análisis de posición, velocidad y aceleración**

**I. Método Algebraico**

- Circuito vectorial



- Formulas de posición

$$\vec{r}_1 = \vec{r}_2 + \vec{r}_3 \quad \longrightarrow \quad \text{Ecuación de cierre}$$

$$\theta_3 = \text{sen}^{-1} \left( -\frac{r_2}{r_3} \text{sen}(\theta_2) \right) \quad \longrightarrow \quad \text{Angulo de biela}$$

$$r_1 = \sqrt{r_2^2 + r_3^2 + 2 r_2 r_3 \cos((\theta_2) - (\theta_3))} \quad \longrightarrow \quad \text{Posición pistón}$$

- Formulas de velocidad

$$\dot{\vec{r}}_1 = \dot{\vec{r}}_2 + \dot{\vec{r}}_3 \quad \longrightarrow \quad \text{Ecuación de cierre}$$

$$\omega_3 = \omega_2 * \frac{-r_2}{r_3} * \frac{\cos(\theta_2)}{\cos(\theta_3)} \quad \longrightarrow \quad \text{Velocidad angular biela}$$

$$\dot{r}_1 = v_1 = r_2 * \omega_2 * \frac{\text{sen}(\theta_3 - \theta_2)}{\cos(\theta_3)} \quad \longrightarrow \quad \text{Velocidad lineal pistón}$$

- Formulas de aceleración

$$\ddot{\vec{r}}_1 = \ddot{\vec{r}}_2 + \ddot{\vec{r}}_3 \quad \longrightarrow \quad \text{Ecuación de cierre}$$

$$\alpha_3 = \frac{-\ddot{r}_1 \cos(\theta_2) - r_3 \omega_3^2 \cos(\theta_3 - \theta_2) - r_2 \omega_2^2}{r_3 \text{sen}(\theta_3 - \theta_2)} \quad \longrightarrow \quad \text{A. de biela}$$

$$\ddot{r}_1 = \alpha_1 = \frac{r_2 \alpha_2^2 \text{sen}(\theta_3 - \theta_2) - r_2 \omega_2^2 \cos(\theta_3 - \theta_2) + r_3 \omega_3^2}{\cos(\theta_3)} \quad \longrightarrow \quad \text{A. pistón}$$

## II. Método Computacional

- Parámetros de entrada.

VARIABLES
Angulo en el cual se realiza el análisis ( $\theta_2$ ).
Angulo de posición del eslabón 3 ( $\theta_3$ ).
Longitudes de los eslabones ( $r_2$ ; $r_3$ ).
Velocidad y aceleración angular en el eslabón 2 ( $\omega_2, \alpha_2$ ).
Velocidad angular en el eslabón 3 ( $\omega_3$ )

- Ingreso de ecuaciones principales, aceleración de pistón y biela:

$$\theta_3(\theta_2) := \text{asin}\left[-\left(\frac{r_2}{r_3}\right) \cdot \sin(\theta_2)\right]$$

$$r_1(\theta_2) := \left[(r_2)^2 + (r_3)^2 + 2 \cdot r_2 \cdot r_3 \cdot \cos\left[\theta_2 - \text{asin}\left[-\left(\frac{r_2}{r_3}\right) \cdot \sin(\theta_2)\right]\right]\right]^{0.5}$$

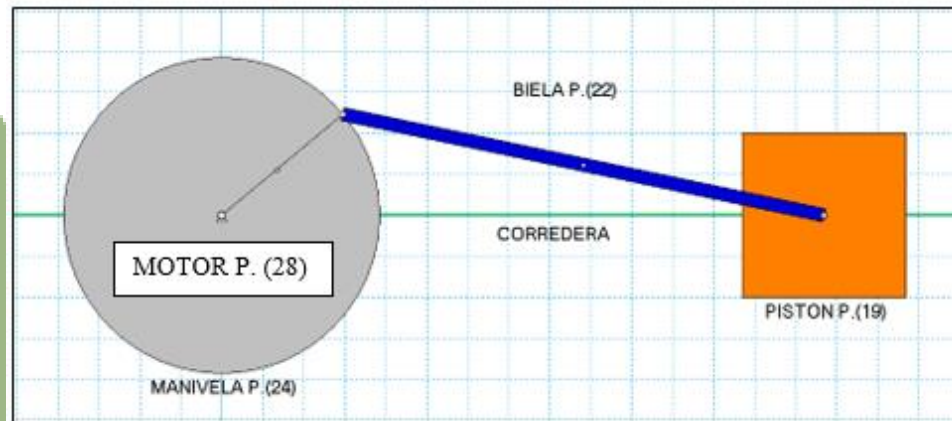
$$v_1(\theta_2) := \frac{r_2 \cdot \omega_2 \cdot \sin(\theta_3(\theta_2) - \theta_2)}{\cos(\theta_3(\theta_2))}$$

$$a_1(\theta_2) := \frac{r_2 \cdot \alpha_2 \cdot \sin(\theta_3(\theta_2) - \theta_2) - r_2 \cdot (\omega_2)^2 \cdot \cos(\theta_3(\theta_2) - \theta_2) - r_3 \cdot (\omega_3(\theta_2))^2}{\cos(\theta_3(\theta_2))}$$

$$\omega_3(\theta_2) := \frac{-r_2 \cdot \omega_2 \cdot \cos(\theta_2)}{r_3 \cdot \cos(\theta_3(\theta_2))}$$

$$\alpha_3(\theta_2) := \frac{-a_1(\theta_2) \cdot \cos(\theta_2) - r_3 \cdot (\omega_3(\theta_2))^2 \cdot \cos(\theta_3(\theta_2) - \theta_2) - r_2 \cdot (\omega_2)^2}{r_3 \cdot \sin(\theta_3(\theta_2) - \theta_2)}$$

- Configuración de los puntos para obtener valores de aceleración:



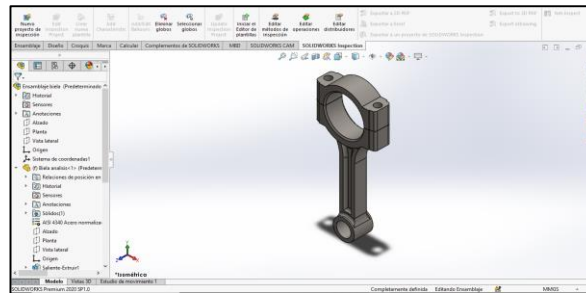
<b>Position of Point 19</b> x: 146.913 mm y: 1.368e-005 mm rot: -11.901 °	<b>Position of Point 22</b> x: 88.203 mm y: 12.374 mm rot: -11.901 °	<b>Position of Point 24</b> x: 13.406 mm y: 11.249 mm rot: 40.000 °
<b>Position of Point 24</b> x: 13.406 mm y: 11.249 mm rot: 40.000 °	<b>Velocity of Point 22</b> Vx: -9334.379 mm/s Vy: 4941.540 mm/s  M : 11.056e+004 mm/s  V : -4822.486 °/s	<b>Velocity of Point 19</b> Vx: 1.038e+004 mm/s Vy: -3.074e-007 mm/s  M : 1.038e+004 mm/s  V : -4822.486 °/s
<b>Position of Point 24</b> x: 13.406 mm y: 11.249 mm rot: 40.000 °	<b>Acceleration of Point 22</b> Ax: -3.453e+006 mm/s <sup>2</sup> Ay: -1.389e+006 mm/s <sup>2</sup>  A : 3.722e+006 mm/s <sup>2</sup>  A : 1.270e+006 °/s <sup>2</sup>	<b>Acceleration of Point 19</b> Ax: -3.595e+006 mm/s <sup>2</sup> Ay: -3.638e-009 mm/s <sup>2</sup>  A : 3.595e+006 mm/s <sup>2</sup>  A : 1.270e+006 °/s <sup>2</sup>



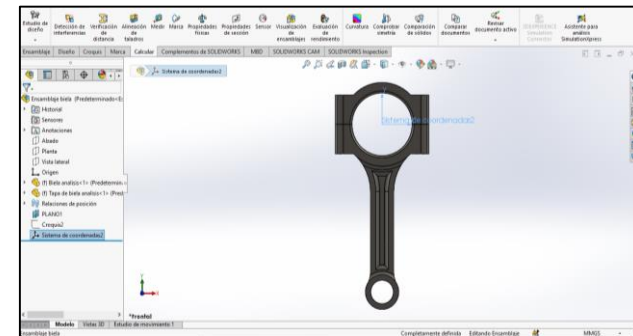
## b) Análisis Dinámico

- Momento de inercia de la biela

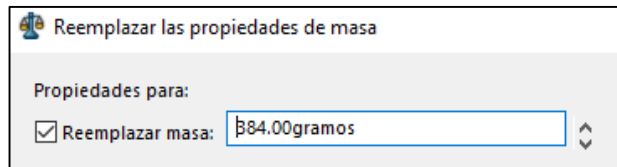
Diseño de la biela



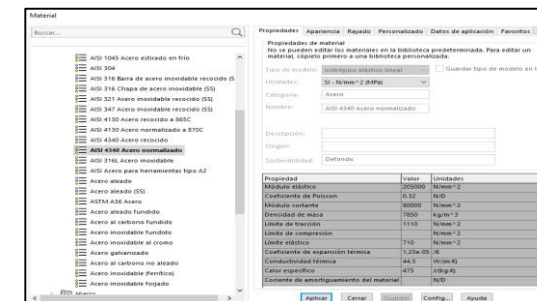
Sistema de coordenadas



Masa (384 gr)

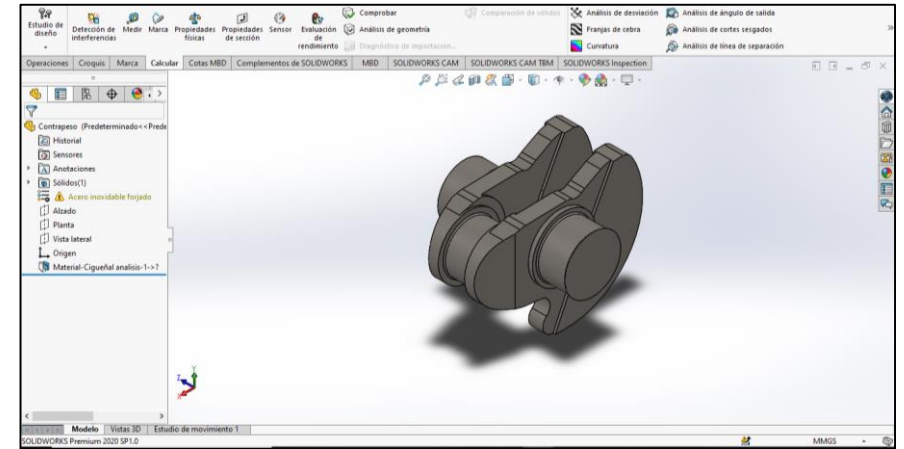
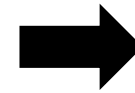


Material (AISI 4340)



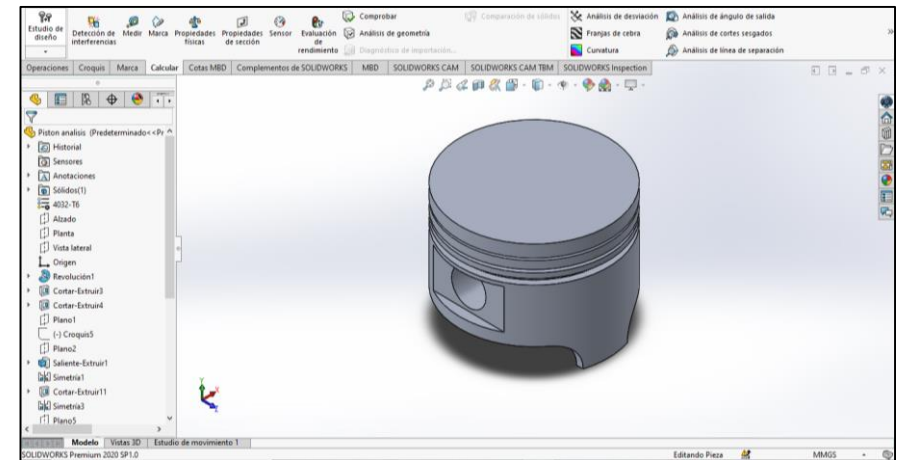
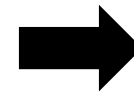
- **Momento de inercia del cigüeñal**

1. Diseño del cigüeñal
2. Materia (Acero forjado)
3. Masa (2212.65 gr)



- **Momento de inercia del pistón**

1. Diseño del cigüeñal
2. Materia (Aleación de aluminio)
3. Masa (208 gr)

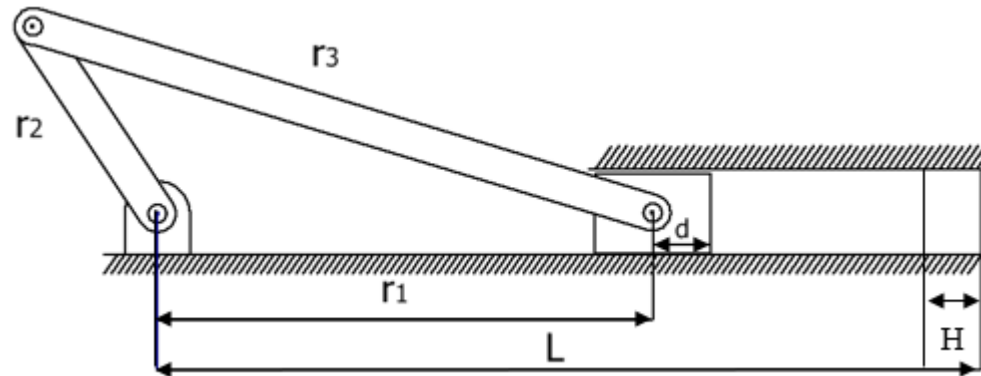




## I. Método Algebraico

- **Calculo de la fuerza estática debido a la presión de los gases**

Mecanismo biela manivela



- Ley de Boyle Mariotte:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

- Volumen máx. y min. :

$$V_1 = A[L - d - r_3 + r_2]$$

$$V_2(\theta_2) = A[L - d - r_1(\theta_2)]$$

- Área del pistón:

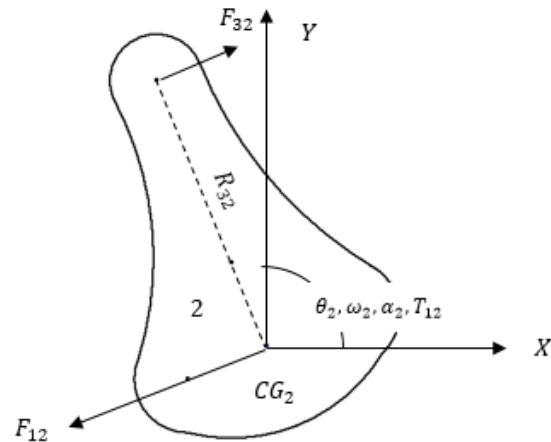
$$A = \frac{\pi}{4} B^2$$

Reemplazando los volúmenes y despejando  $P_2$  en la ecuación de Boyle, obtenemos la ecuación de los gases la cual viene dada por la siguiente ecuación:

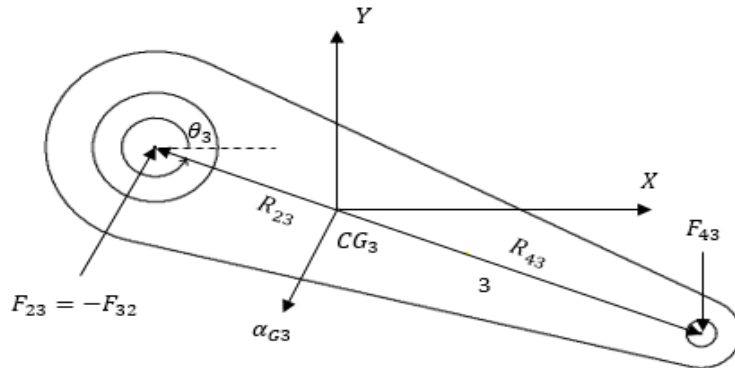
$$P_2 = F(\theta_2) = A(P_{atm}) \left[ \frac{V_1}{V_2(\theta_2)} - 1 \right]$$

- **Análisis para el impulsor o manivela y el acoplador o biela**

- Diagrama de cuerpo libre



- Diagrama de cuerpo libre



- Ecuaciones generales del eslabón 2:

$$\sum F_x = ma_{Gx} \quad \sum F_y = ma_{Gy} \quad \sum T = I_G \alpha$$

$$F_{12x} + F_{32x} = m_2 a_{G2x} / 0$$

$$F_{12y} + F_{32y} = m_2 a_{G2y} / 0$$

$$T_{12} + (R_{12x} F_{12y} - R_{12y} F_{12x}) + (R_{32x} F_{32y} - R_{32y} F_{32x}) = I_{G2} \alpha_2$$

$$T_{12} + (R_2 \cos \theta_2)(F_{32y}) - (R_2 \cos \theta_2)(F_{32x}) = 0$$

- Ecuaciones generales del eslabón 3:

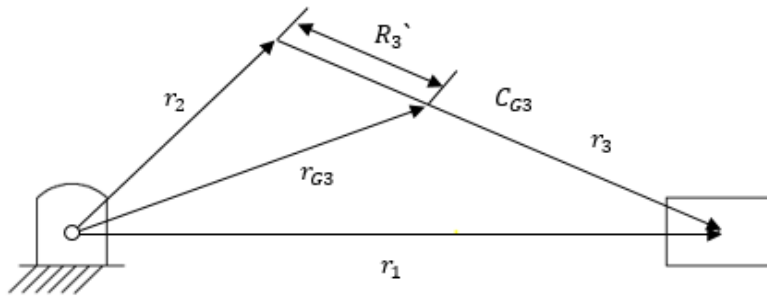
$$F_{43x} - F_{32x} = m_3 a_{G3x}$$

$$F_{43y} - F_{32y} = m_3 a_{G3y}$$

$$(R_{23} \cos \theta_3)(F_{32y}) + (-R_{23} \sin \theta_3)(F_{32x}) + (-R_{43} \cos \theta_3)(F_{43y}) - (R_{43} \sin \theta_3)(F_{43x}) = I_{G3} \alpha_3$$

- **Determinación de aceleración. CG y análisis para la corredera o pistón**

- Circuito vectorial



- Ecuaciones de la aceleración del CG

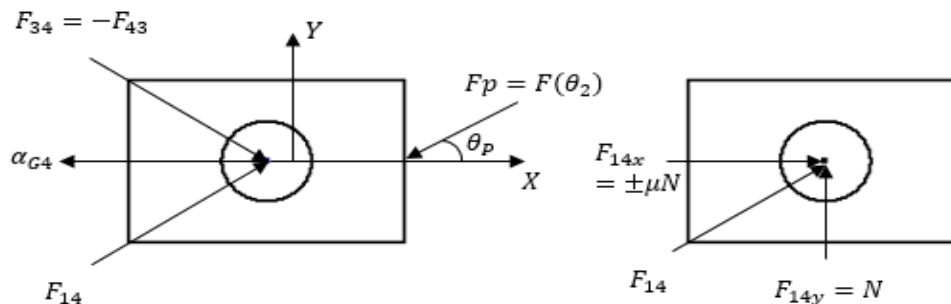
$$\vec{r}_{G3} = \vec{r}_2 + \vec{R}_3'$$

$$\alpha_{CG3x} = -r_2\omega_2^2 \cos\theta_2 + R_3'\alpha_3 \sin\theta_3 - R_3'\omega_3^2 \cos\theta_3 \quad P. real$$

$$\alpha_{CG3y} = -r_2\omega_2^2 \sin\theta_2 + R_3'\alpha_3 \cos\theta_3 - R_3'\omega_3^2 \sin\theta_3 \quad P. imag.$$

$$\alpha_{CG3} = \sqrt{(\alpha_{CG3x})^2 + (\alpha_{CG3y})^2}$$

- Diagrama de cuerpo libre



- Ecuaciones generales del eslabón 4:

$$F_{14x} - F_{43x} + F_{Px} = m_4 a_{G4x}$$

$$F_{14y} - F_{43y} + F_{Py} = m_4 a_{G4y}$$

$$F_{14x} = \pm \mu F_{14y}$$

$$\pm \mu F_{14y} - F_{43x} + F_{Px} = m_4 a_{G4x}$$

$$F_{14y} - F_{43y} + F_{Py} = 0$$





## II. Método Computacional

Ingreso de ecuaciones:

### ANÁLISIS DINAMICO MECANISMO DE CUATRO BARRAS MANIVELA CORREDERA

#### DATOS

$A_p := 0.00425447$	$\alpha_2 := 0$	$IG_4 := 0.000243653$
$Patm := 73900$	$RG_2 := 0$	$\mu := 0.15$
$r_2 := 0.0385$	$R_{3p} := 0.03177$	$\theta_p := 180 \cdot \frac{\pi}{180}$
$r_3 := 0.12$	$m_2 := 2.21265$	
$d := 0.028$	$IG_2 := 0.0054032132$	
$L_{\omega} := 0.204757$	$m_3 := 0.384$	
$\omega_2 := 3200 \frac{2\pi}{60}$	$IG_3 := 0.001308541$	
	$m_4 := 0.208$	

#### ANÁLISIS PARA LA MANIVELA

$$R_{32x}(\theta_2) := r_2 \cdot \cos(\theta_2)$$

$$R_{32y}(\theta_2) := r_2 \cdot \sin(\theta_2)$$

$$aG_{2x}(\theta_2) := 0$$

$$aG_{2y}(\theta_2) := 0$$

### CÁLCULO DE LA FUERZA ESTÁTICA DEBIDO A PRESION DE GASES

$$V_1 := A_p \cdot (L - d - r_3 + r_2)$$

$$V_2(\theta_2) := A_p \cdot (L - d - r_1(\theta_2))$$

$$F_{\omega}(\theta_2) := A_p \cdot Patm \cdot \left( \frac{V_1}{V_2(\theta_2)} - 1 \right)$$

#### ANÁLISIS PARA LA BIELA

$$R_{23x}(\theta_2) := -R_{3p} \cdot \cos(\theta_3(\theta_2))$$

$$R_{23y}(\theta_2) := -R_{3p} \cdot \sin(\theta_3(\theta_2))$$

$$R_{43x}(\theta_2) := (r_3 - R_{3p}) \cdot \cos(\theta_3(\theta_2))$$

$$R_{43y}(\theta_2) := (r_3 - R_{3p}) \cdot \sin(\theta_3(\theta_2))$$

#### ANÁLISIS PARA EL PISTON

$$F_x(\theta_2) := -F(\theta_2) \cdot \cos(\theta_p)$$

$$F_y(\theta_2) := F(\theta_2) \cdot \sin(\theta_p)$$

#### DETERMINACIÓN DE aG3x, aG3y

$$aG_{3x}(\theta_2) := -r_2 \cdot \omega_2^2 \cdot \cos(\theta_2) - R_{3p} \cdot (\omega_3(\theta_2))^2 \cdot \cos(\theta_3(\theta_2)) - R_{3p} \cdot \alpha_3(\theta_2) \cdot \sin(\theta_3(\theta_2))$$

$$aG_{3y}(\theta_2) := -r_2 \cdot \omega_2^2 \cdot \sin(\theta_2) - R_{3p} \cdot (\omega_3(\theta_2))^2 \cdot \sin(\theta_3(\theta_2)) + R_{3p} \cdot \alpha_3(\theta_2) \cdot \cos(\theta_3(\theta_2))$$

$$aG_3(\theta_2) := \left[ (aG_{3x}(\theta_2))^2 + (aG_{3y}(\theta_2))^2 \right]^{0.5}$$

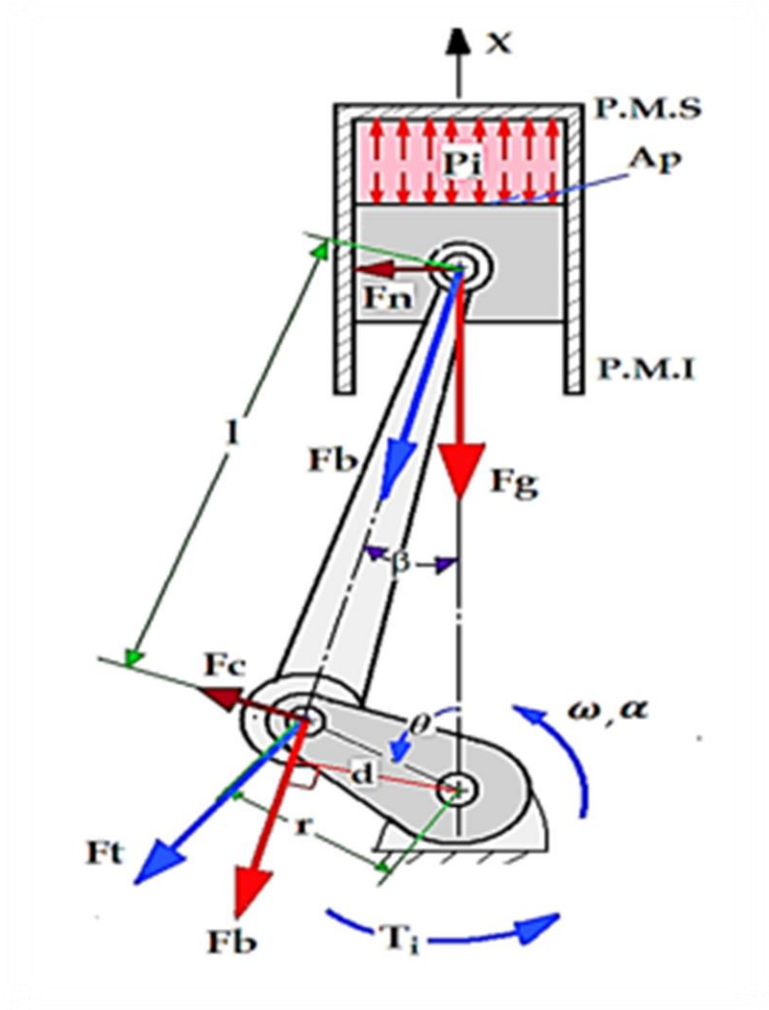
#### SOLUCIÓN DE LAS ECUACIONES VECTORIALES

$$VEC(\theta_2) := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -R_{32y}(\theta_2) & R_{32x}(\theta_2) & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_{23y}(\theta_2) & -R_{23x}(\theta_2) & -R_{43y}(\theta_2) & R_{43x}(\theta_2) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & \mu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$C_{\omega}(\theta_2) := \begin{pmatrix} m_2 \cdot aG_{2x}(\theta_2) \\ m_2 \cdot aG_{2y}(\theta_2) \\ IG_2 \cdot \alpha_2 \\ m_3 \cdot aG_{3x}(\theta_2) \\ m_3 \cdot aG_{3y}(\theta_2) \\ IG_3 \cdot \alpha_3(\theta_2) \\ m_4 \cdot a_1(\theta_2) - F_x(\theta_2) \\ -F_y(\theta_2) \end{pmatrix}$$

$$R_{\omega}(\theta_2) := VEC(\theta_2)^{-1} \cdot C_{\omega}(\theta_2)$$

1	• Introducción
2	• Justificación
3	• Objetivos
4	• Metodología
5	• Resultados
6	• Conclusiones
7	• Recomendaciones



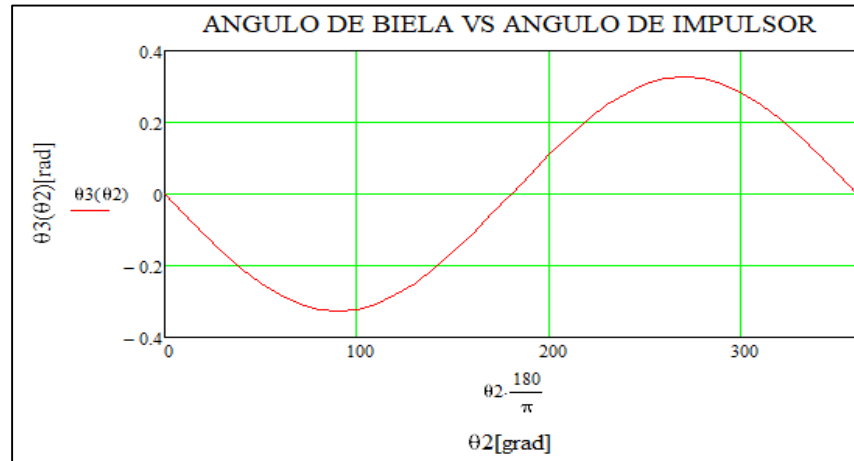


## a) Resultados del análisis cinemático

- Análisis de posición

function( $\theta_2$ )  $\cdot \frac{180}{\pi} =$

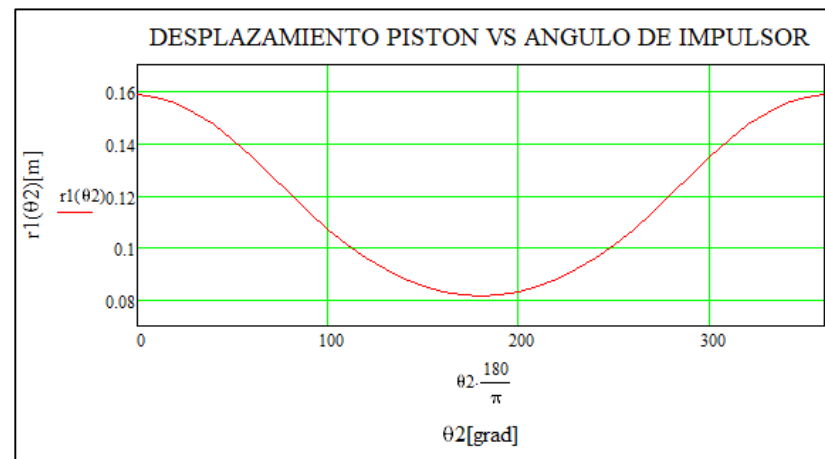
0
-11.90137638
-18.41872676
-16.1319169
-6.2998358
6.2998358
16.1319169
18.41872676
11.90137638
4.50223977·10 <sup>-15</sup>



- Valor negativo del ángulo  $\theta_3$  en sentido anti horario.
- Angulo máximo de biela a los 90 y 270° de la manivela.

function( $\theta_2$ ) =

0.1585
0.15772872
0.15545352
0.1517879
0.14691319
0.14106662
0.13452494
0.1275843
0.12053819
0.11365628
...



- Posición del pistón medido desde el punto fijo de la manivela hacia la unión del eslabón 3 y 4.
- Pistón se encuentra en el PMS a los 0 y 360° y en el PMI a los 180°



- **Análisis de posición**

Posicion manivela [°]	Posicion biela [°]	Posicion piston [mm]
rot	rot	x
0	-5,37E-07	158,5
10	-3,194	157,729
20	-6,3	155,454
30	-9,231	151,788
40	-11,901	146,913
50	-14,227	141,067
60	-16,132	134,525
70	-17,547	127,585
80	-18,419	120,538
90	-18,713	113,657

- Comprobación de valores de los programas computacionales solucionador de ecuaciones algebraicas y Working Model 2D.

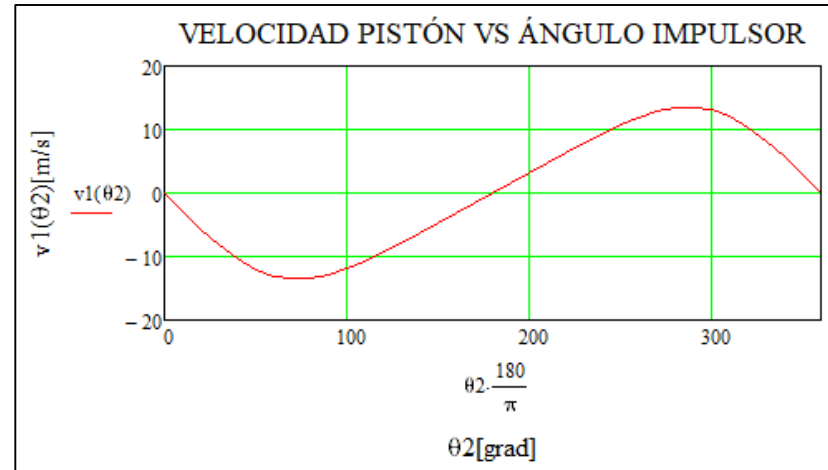




## • Análisis de velocidad

function(theta) =

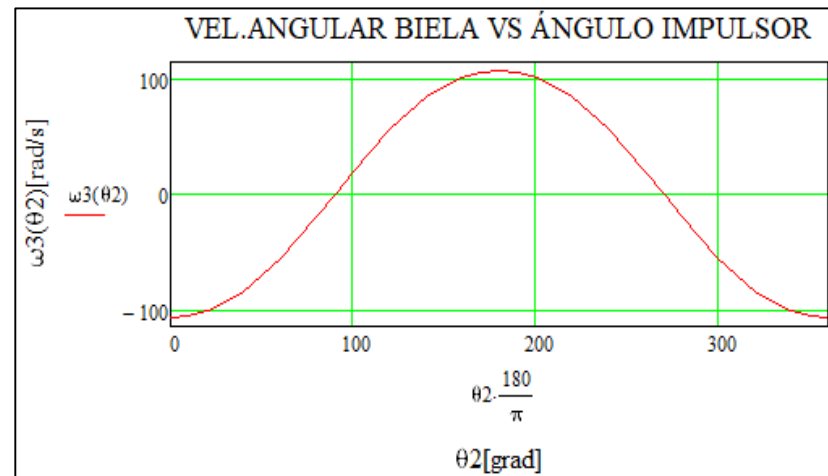
0
-10.37585181
-13.45153922
-9.30720114
-3.07416109
3.07416109
9.30720114
13.45153922
10.37585181
3.15984537·10 <sup>-15</sup>



- Valor negativo porque el pistón va del PMS al PMI.
- Velocidad cero en los ángulo 0 y 180° por cambio de dirección, velocidad no uniforme y máxima a los 80 y 280°.

function(theta) =

-107.51228192
-84.16846891
-19.6773263
55.95957581
101.64228831
101.64228831
55.95957581
-19.6773263
-84.16846891
-107.51228192



- Valor negativo, biela se mueve en sentido anti horario.
- Valor cero cuando la manivela esta a 90 y 270°, velocidad máxima a los 0 y 180°.



- **Análisis de velocidad**

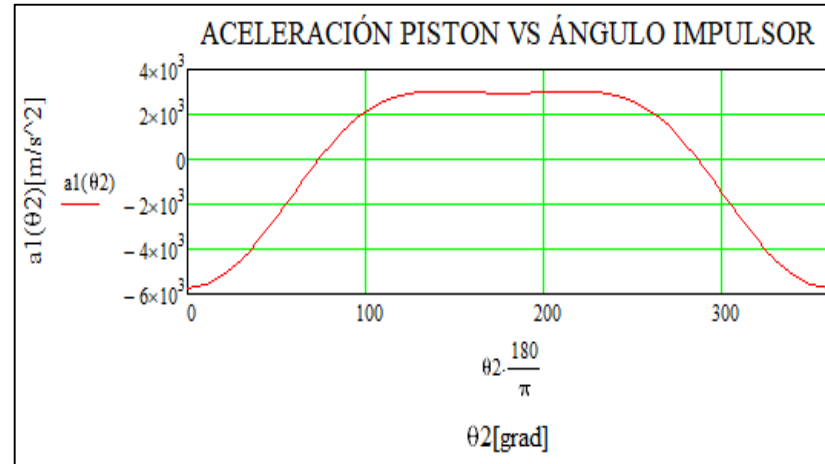
Posicion manivela [°]	Velocidad biela [rad/s]		Velocidad piston [mm/s]
	V <sub>ø</sub> %s	V <sub>ø</sub> rad/s	V
0	0	0	0
40	-4822,486	-84,16825883	1,04E+04
80	-1127,425	-19,67727832	1,35E+04
120	3206,239	55,95942716	9307,206
160	5823,66	101,6420415	3074,165
200	5823,661	101,642059	3074,164
240	3206,24	55,95944461	9307,205
280	-1127,424	-19,67726087	1,35E+04
320	-4822,486	-84,16825883	1,04E+04
360	-6159,986	-107,5120376	0,002

- Comprobación de valores de los programas computacionales solucionador de ecuaciones algebraicas y Working Model 2D.

• **Análisis de aceleración**

function( $\theta_2$ ) =

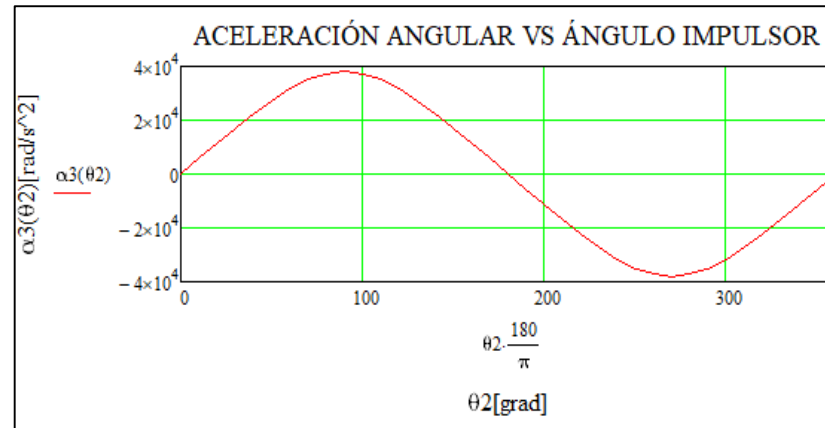
-5.71039227·10 <sup>3</sup>
-3.59496206·10 <sup>3</sup>
618.16555752
2.85342441·10 <sup>3</sup>
2.97856823·10 <sup>3</sup>
2.97856823·10 <sup>3</sup>
2.85342441·10 <sup>3</sup>
618.16555752
-3.59496206·10 <sup>3</sup>
-5.71039227·10 <sup>3</sup>



- Valor negativo porque el pistón va del PMS al PMI.
- Aceleración casi constante en un intervalo de 125 a 250 °.

function( $\theta_2$ ) =

0
2.21738292·10 <sup>4</sup>
3.72671216·10 <sup>4</sup>
3.15740782·10 <sup>4</sup>
1.12565254·10 <sup>4</sup>
-1.12565254·10 <sup>4</sup>
-3.15740782·10 <sup>4</sup>
-3.72671216·10 <sup>4</sup>
-2.21738292·10 <sup>4</sup>
0



- Valor positivo velocidad va en aumento.
- Aceleraciones angulares máximas cuando el impulsor se encuentra a los 90 y 270°.



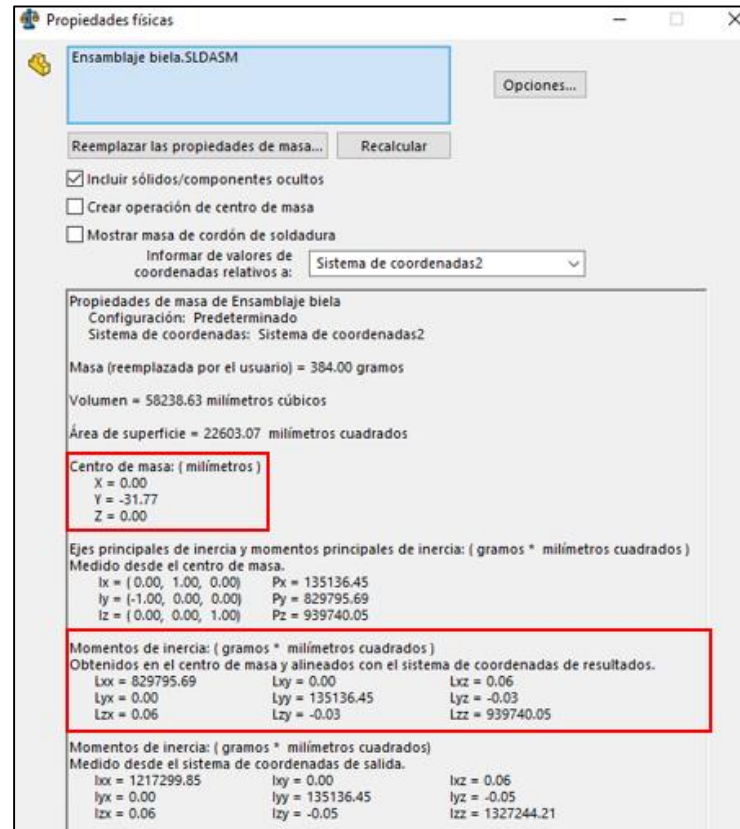
- **Análisis de aceleración**

Posicion manivela [°]	Aceleracion biela [rad/s^2]		Aceleracion piston [mm/s^2]
	$A\varnothing \text{ } ^\circ/\text{s}^2$	$A\varnothing \text{ rad/s}^2$	A
0	-1,80E-12	-3,13E-14	1,13E-12
40	1,27E+06	2,22E+04	3,60E+06
80	2,14E+06	3,73E+04	6,18E+05
120	1,81E+06	3,16E+04	2,85E+06
160	6,45E+05	1,13E+04	2,98E+06
200	-6,45E+05	-1,13E+04	2,98E+06
240	-1,81E+06	-3,16E+04	2,85E+06
280	-2,14E+06	-3,73E+04	6,18E+05
320	-1,27E+06	-2,22E+04	3,60E+06
360	-0,003	-5,24E-05	5,71E+06

- Comprobación de valores de los programas computacionales solucionador de ecuaciones algebraicas y Working Model 2D.

## a) Resultados del análisis dinámico

- **Momento de inercia**



- Momento de inercia Biela:

$$I_T = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$I_{Tb} = 1308054.091 \text{ gr} * \text{mm}^2 = 0.001308541 \text{ Kg} * \text{m}^2$$

- Momento de inercia manivela:

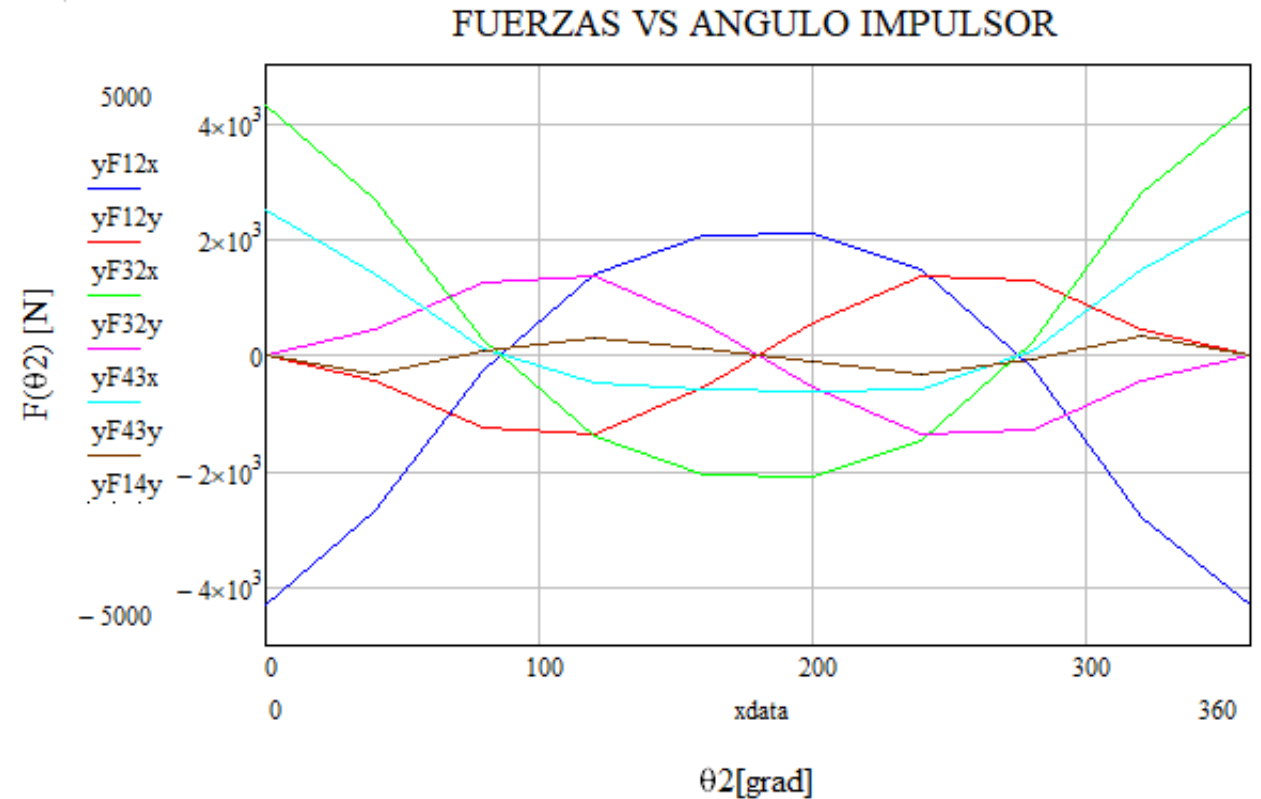
$$I_{Tm} = 5403213.211 \text{ gr} * \text{mm}^2 = 0.0054032132 \text{ Kg} * \text{m}^2$$

- Momento de inercia pistón:

$$I_{Tp} = 243653.0383 \text{ gr} * \text{mm}^2 = 0.000243653 \text{ Kg} * \text{m}^2$$

- **Fuerzas del Mecanismo biela manivela**

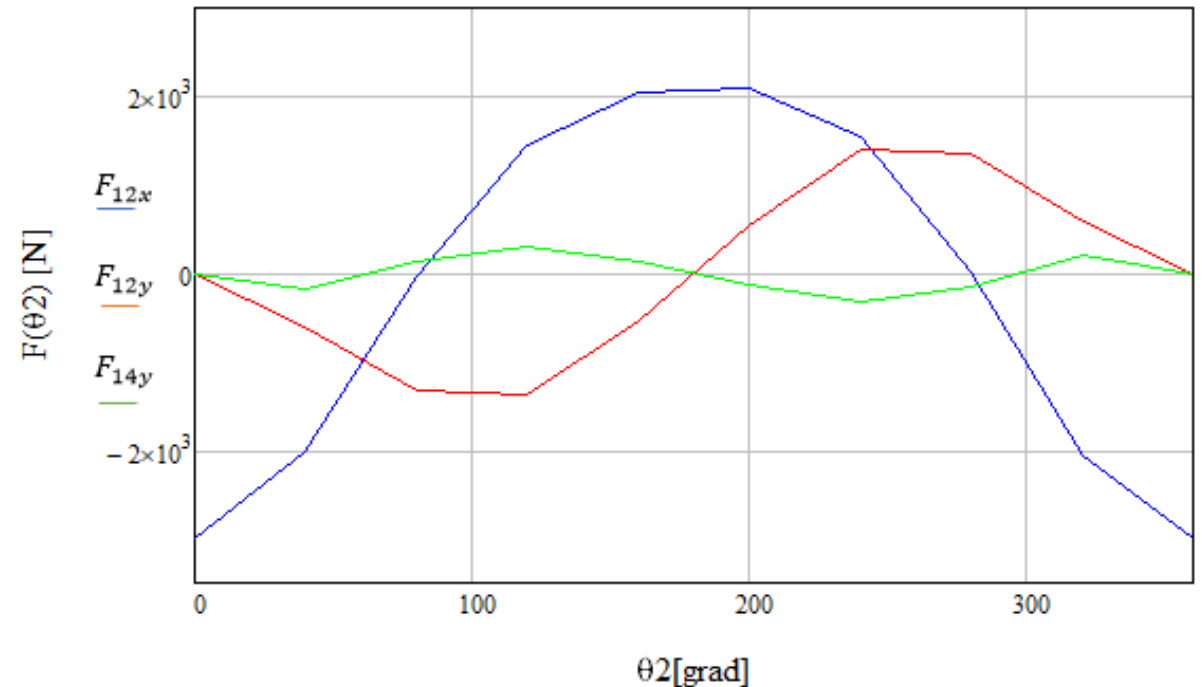
- Fuerzas mas influyentes sobre el eje "x" en la biela y manivela.
- Fuerzas proporcionalmente iguales, pero con signo diferente.
- Fuerzas igualmente proporcionales en el eje "y" con signo diferente, estas fuerzas son menores que las que están sobre el eje "x".
- Fuerza del pistón es mayor en eje "x" que en el eje "y", se debe a que se mueve en el eje de las abscisas por efecto de la fuerza de los gases.



- **Fuerzas de Sacudimiento en el Mecanismo biela manivela**

- Fuerzas importantes para la elección de cojinetes.
- Se exceptúa la fuerza de los gases y solo actúa la fuerza inercial.
- Las fuerzas de sacudimiento son las que actúan en el plano de la bancada.
- Fuerza mas influyente es la de la manivela que actúa sobre el eje "x", y las menos influyentes son las de la manivela y pistón que actúan sobre el eje "y".

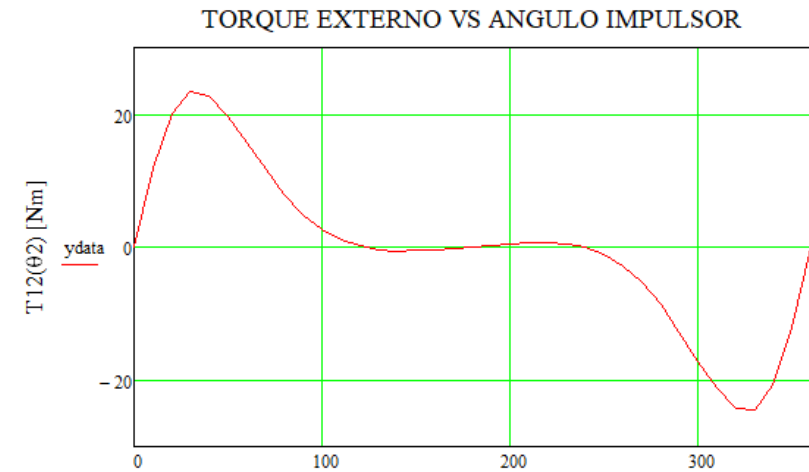
FUERZAS DE SACUDIMIENTO VS ANGULO IMPULSOR



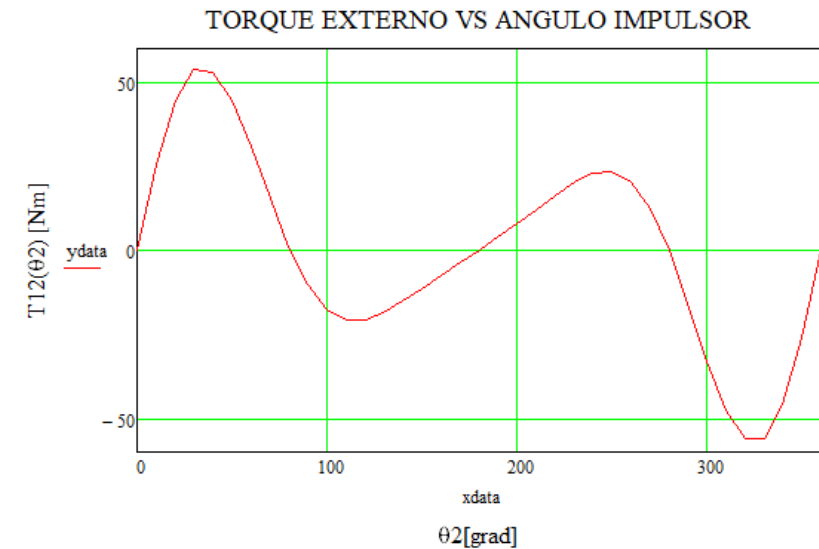
- **Momento de inercia en el Mecanismo biela manivela**

- Diseño de volante se realiza a través del momento de inercia.
- Entre mayor sea el torque, menor tamaño del volante y entre menor sea el torque, mayor será el tamaño del volante.
- Curvas de inercia resultantes con el tamaño adecuado del volante.
- El volante aplicado al motor funcionando a 800 rpm es mas grande que el motor funcionando a 3200 rpm.

800 rpm



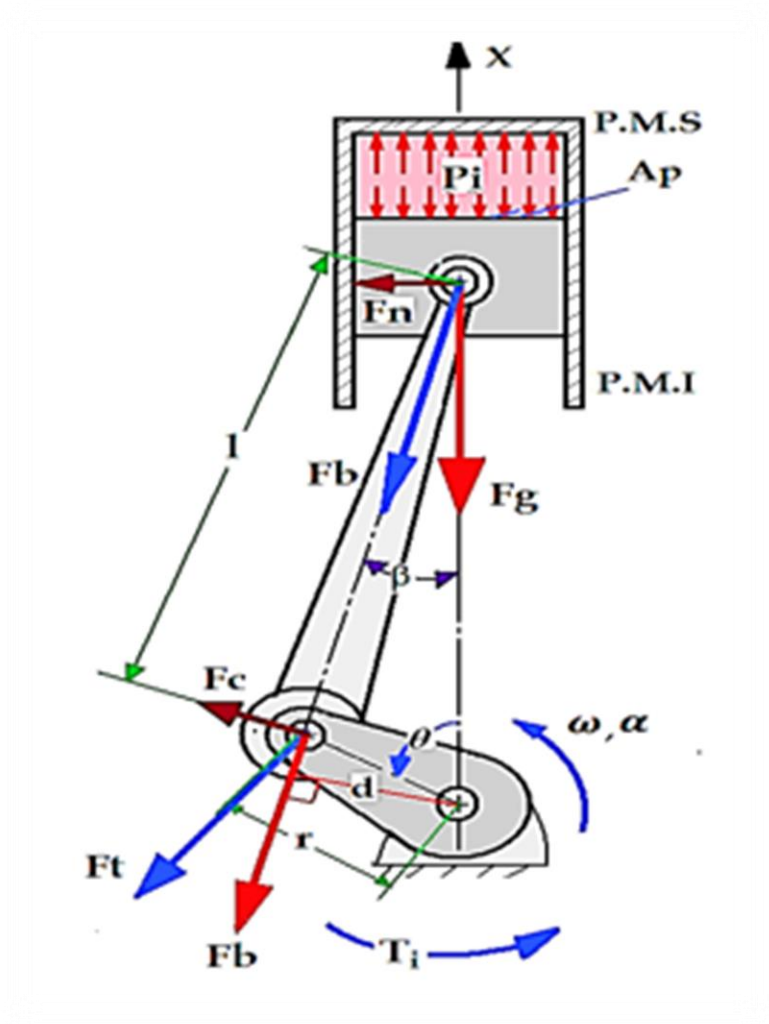
3200 rpm





## ➤ **CONTENIDO**

- 1 • Introducción
- 2 • Justificación
- 3 • Objetivos
- 4 • Metodología
- 5 • Resultados
- 6 • Conclusiones
- 7 • Recomendaciones





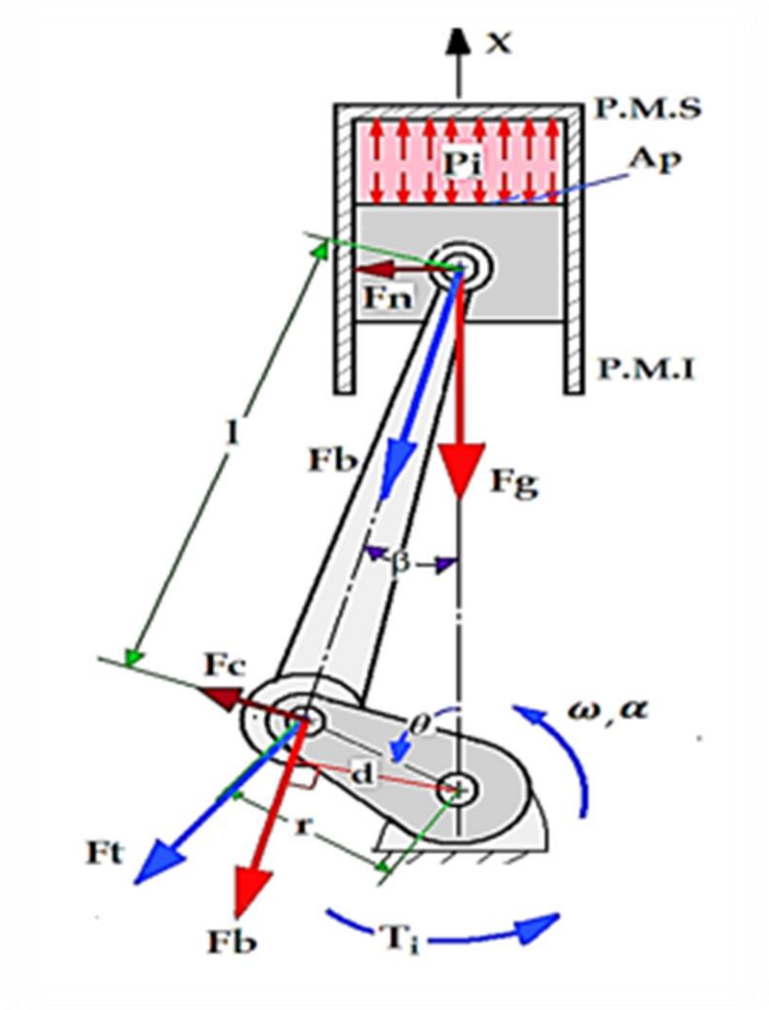
- A través del análisis cinemático y dinámico se logró establecer las ecuaciones de posición, velocidad, aceleración y fuerzas que actúan en el mecanismo, dichas ecuaciones fueron resueltas los programas de solución de ecuaciones algebraicas y diseño 2D los cuales nos arrojaron los resultados de posición, velocidad, aceleración y fuerzas del mecanismo.
- Se establece que los resultados obtenidos del análisis cinemático y dinámico a través del programa computacional de solución de ecuaciones algebraicas varían dependiendo el ángulo del eslabón impulsor, por lo que la posición, velocidad, aceleración y fuerzas del mecanismo se ven afectadas.
- Con las gráficas generadas por el programa computacional de solución de ecuaciones algebraicas se logró conocer a que distancia se encuentra el pistón del PMS y PMI, también se logró conocer en que ángulo del impulsor se presentan las velocidades, aceleraciones y fuerzas máximas y mínimas del sistema.



- En la gráfica de fuerzas generada por el programa computacional de solución de ecuaciones algebraicas se verifica que aquellas fuerzas con más incidencia en el mecanismo son las fuerzas axiales, esto en vista de que el mecanismo se mueve sobre el eje de las abscisas.
- A través de la gráfica de fuerzas de sacudimiento se establece la mayor fuerza de sacudimiento es la que se ejerce entre la bancada y la manivela, también se verifica que el mayor sacudimiento se encuentra en el eje de las abscisas por lo que al momento de la elección de cojinetes a utilizar se debe tomar en cuenta la fuerza de sacudimiento que este soportara en su eje axial.
- Con la gráfica de torque a diferentes revoluciones se estableció a qué velocidad el vehículo entrega el mayor torque en el mecanismo, dicha grafica también nos indica que la fluctuación del torque varía en función de las revoluciones, por lo que a mayores revoluciones la fluctuación será mayor también.

## ➤ **CONTENIDO**

- 1 • Introducción
- 2 • Justificación
- 3 • Objetivos
- 4 • Metodología
- 5 • Resultados
- 6 • Conclusiones
- 7 • Recomendaciones





- Se recomienda realizar una investigación bibliográfica con la cual se pueda establecer las mejores rutas previas a la resolución del análisis cinemático y dinámico del mecanismo biela manivela.
- Es recomendable ampliar los horizontes de investigación con respecto al análisis dinámico del mecanismo biela manivela.
- Es recomendable enfocar el análisis dinámico del mecanismo biela manivela en un análisis dinámico de los tres mecanismos funcionando conjuntamente, para de esta forma analizar el desfase de dichos mecanismos y en que influiría dicho desfase.
- Es recomendable que una vez concluido el análisis dinámico del mecanismo biela manivela se realice un análisis en el cual se lleve a cabo la selección de cojinetes, bulón y volante de inercia del motor, esto con el fin de lograr un estudio más completo.



***GRACIAS  
POR SU  
ATENCIÓN***