

PICAMI MOTORS

Catalina Peña

Pontificia Universidad Javeriana

Email: pena-catalina@javeriana.edu.co

Juan Felipe Restrepo

Pontificia Universidad Javeriana

Email: juanfrestrepo@javeriana.edu.co

Miguel Casallas

Pontificia Universidad Javeriana

Email: casallas.miguel@javeriana.edu.co

I. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

El motor utilizado como referencia para el diseño de PICAMI es el **Szekely SR-3**, un motor radial de tres cilindros (y 7 barras) que se empleó en aplicaciones de aviación ligera en la década de 1930. Su configuración radial permitía un enfriamiento más eficiente por aire y un funcionamiento robusto en condiciones exigentes.



Fig. 1. Motor radial de 3 cilindros SZEKELY SR-3, referencia para el diseño de PICAMI.

En cuanto a su **mecanismo comercial**, este motor se comercializaba como una alternativa ligera y económica frente a motores en línea más complejos. Se utilizó principalmente en aeronaves deportivas y experimentales, debido a su bajo peso, simplicidad mecánica y facilidad de mantenimiento.

II. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE

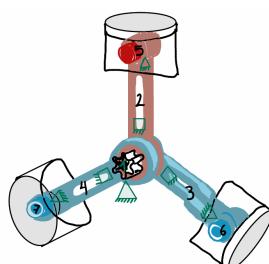


Fig. 2. Diagrama de restricciones del motor.

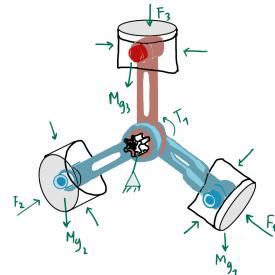


Fig. 3. Diagrama de cuerpo libre del motor.

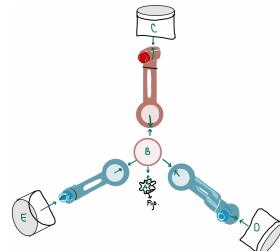


Fig. 4. Diagrama de nodos y reacciones del motor.

III. FUERZAS Y TORQUES

En el motor radial Szekely SR-3, las fuerzas principales provienen del proceso de combustión y del movimiento de los pistones, cuyo peso es aproximadamente de 15 kg. Estas fuerzas se transmiten a través de la biela y actúan sobre el cigüeñal, generando el par motor.

A. Fuerzas internas por combustión (carga de pistón)

La combustión produce una presión interna que actúa directamente sobre el pistón, generando una fuerza axial transmitida a la biela y, posteriormente, al cigüeñal.

Fórmula general:

$$F_{gas}(t) = p_{comb}(t) \cdot A_p$$

Si consideramos un radio del cilindro de $r = 9.25$ cm, el área del pistón es:

$$A_p = \pi r^2 = \pi(0.0925)^2 \approx 0.0269 \text{ m}^2$$

Para presiones medias efectivas representativas de la combustión de 10 bar, es decir 10×10^5 Pa, la fuerza ejercida en cada ciclo de combustión por cilindro sería aproximadamente:

- 10 bar $\rightarrow F \approx 26.9 \text{ kN}$

Este valor corresponde al pico de presión y fuerza que la combustión ejerce sobre cada pistón.

B. Esfuerzos en la biela maestra y bielas articuladas

La biela maestra transmite no solo la fuerza de combustión de su cilindro, sino también la de los cilindros secundarios a través de las bielas articuladas. Esto genera esfuerzos combinados de compresión, tracción y flexión. Los puntos más críticos corresponden a los pernos de unión y al cojinete principal, donde se concentran los esfuerzos.

C. Cargas en el cigüeñal y cojinetes

El cigüeñal recibe la resultante de las fuerzas de combustión e inercia, generando cargas radiales y torsionales. Estas cargas deben ser soportadas por los cojinetes principales, los cuales están sometidos a esfuerzos alternantes de carácter cíclico que inducen fenómenos de fatiga.

IV. FUERZAS EN LOS ELEMENTOS

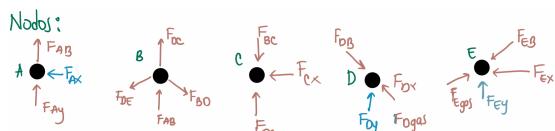
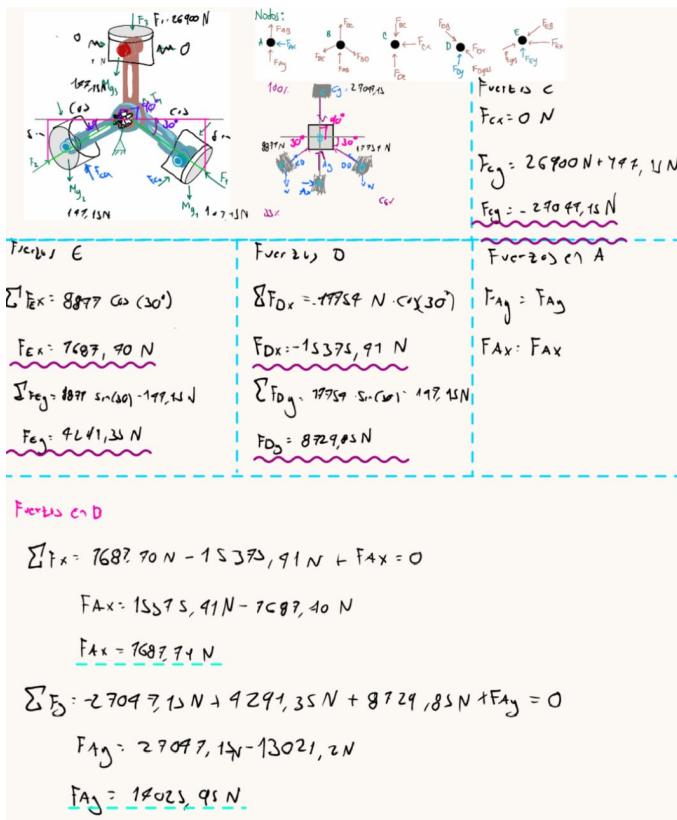


Fig. 5. Fuerzas en los nodos.

Con toda la información mencionada previamente en el documento y teniendo en cuenta que la fuerza en cada pistón es diferente en determinado momento, se obtuvieron los siguientes resultados:



V. CENTROIDE DE LOS ELEMENTOS

A. Puntilla

Para determinar el centroide de cada elemento, diseñamos en cartón las piezas y las colocamos sobre una puntilla hasta que éstas quedaran en equilibrio.



Fig. 6. Centroide del cigüeñal en la puntilla.

1) Cigüeñal (Puntilla):

$$\bar{y} = 200.5 \text{ mm} \quad y \quad \bar{x} = 0 \text{ mm}$$



Fig. 7. Centroide de la biela en la puntilla.

2) Biela (Puntilla):

$$\bar{y} = 300 \text{ mm} \quad y \quad \bar{x} = 0 \text{ mm}$$



Fig. 8. Centroide del pistón en la puntilla.

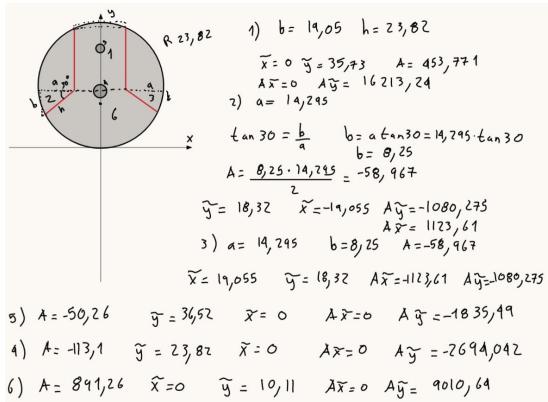
3) Pistón (Puntilla):

$$\bar{y} = 100 \text{ mm} \quad y \quad \bar{x} = 0 \text{ mm}$$

B. Teoría

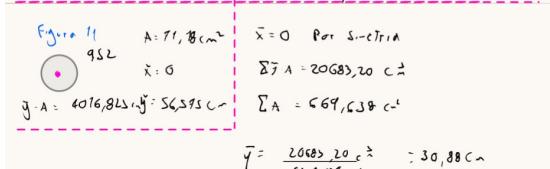
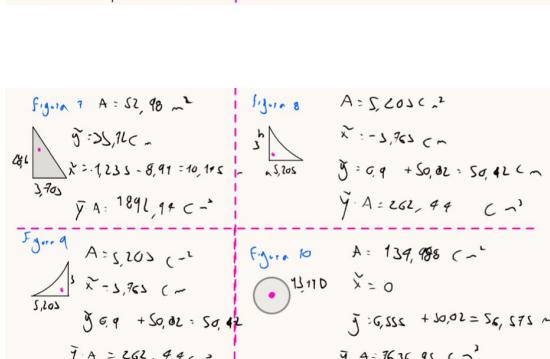
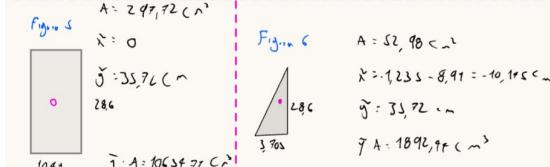
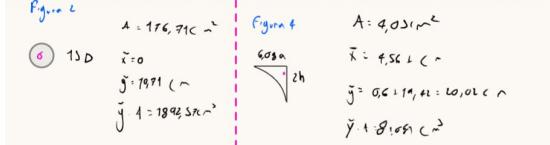
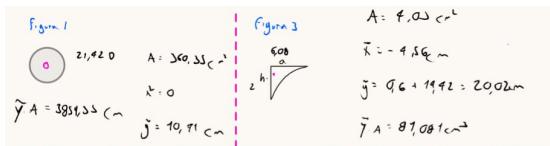
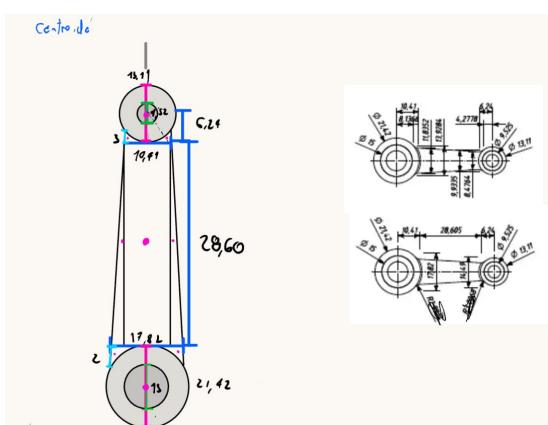
Para determinar el centroide de manera teórica, se procedió a descomponer cada elemento en figuras geométricas simples. Posteriormente, se calcularon los centroides individuales de dichas figuras y, mediante las siguientes expresiones, se obtiene la ubicación del centroide global:

$$\bar{y} = \frac{\sum(\bar{y}_i \cdot A_i)}{\sum A_i} \quad \text{y} \quad \bar{x} = \frac{\sum(\bar{x}_i \cdot A_i)}{\sum A_i}$$



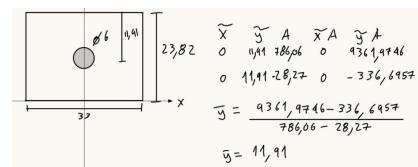
	\bar{x}	\bar{y}	A	$A\bar{x}$	$A\bar{y}$
1	0	35,73	453,77	0	16213,24
2	-19,055	18,32	-58,967	1123,61	-1080,275
3	19,055	18,32	-58,967	-1123,61	-1080,275
4	0	23,82	-113,1	0	-1835,99
5	0	36,52	-50,26	0	-2694,042
6	0	10,11	891,26	0	9010,64

$$\bar{y} = 179.2 \text{ mm} \quad \text{y} \quad \bar{x} = 0 \text{ mm}$$



2) Biela (Teórico):

$$\bar{y} = 308 \text{ mm} \quad \text{y} \quad \bar{x} = 0 \text{ mm}$$



3) Pistón (Teórico):

$$\bar{y} = 119,1 \text{ mm} \quad \text{y} \quad \bar{x} = 0 \text{ mm}$$

C. Simulación 3D

Para determinar el centrode de cada elemento se empleó el software **SolidWorks**, donde se diseñaron individualmente todas las piezas. Posteriormente, estas se ensamblaron con el fin de comprobar la correcta integración y validar las medidas.



Fig. 9. Ensamblaje del motor en vista de plano.



Fig. 10. Ensamblaje del motor en vista isométrica.

Del análisis de cada pieza en SolidWorks se obtuvieron los siguientes resultados:

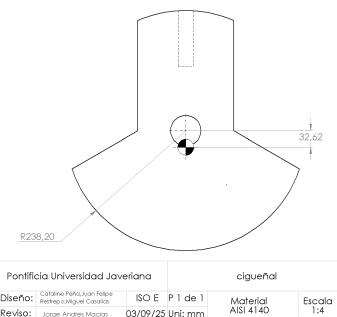


Fig. 11. Plano del centroide del cigüeñal en SolidWorks.

1) Cigüeñal (Simulación):

$$\bar{y} = 205.58 \text{ mm} \quad y \quad \bar{x} = 0 \text{ mm}$$

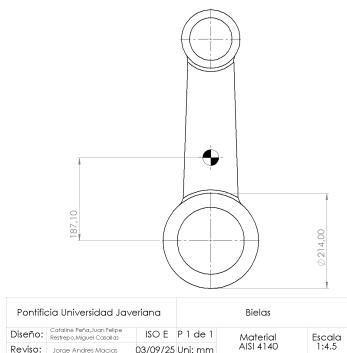


Fig. 12. Plano del centroide de las bielas en SolidWorks.

2) Biela (Simulación):

$$\bar{y} = 294 \text{ mm} \quad y \quad \bar{x} = 0 \text{ mm}$$

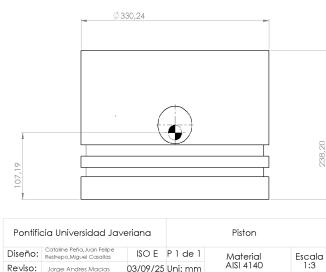


Fig. 13. Plano del centroide de los pistones en SolidWorks.

3) Pistón (Simulación):

$$\bar{y} = 107.19 \text{ mm} \quad y \quad \bar{x} = 0 \text{ mm}$$

VI. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se presenta la comparación de los centroides obtenidos mediante los tres métodos aplicados: puntilla, teoría y SolidWorks.

TABLE I
COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LOS CENTROIDS (\bar{y} EN MM)

Elemento	Puntilla	Teórico	SolidWorks
Cigüeñal	200.5	179.2	205.58
Biela	300.0	308.0	294.0
Pistón	100.0	119.1	107.19

VII. CONCLUSIÓN

Al comparar los tres métodos se observa que los resultados de SolidWorks y la prueba experimental con la puntilla son los más cercanos, mientras que el cálculo teórico presenta mayores diferencias debido a las simplificaciones geométricas. En conclusión, SolidWorks ofrece el resultado más confiable, la puntilla sirve como verificación práctica y el cálculo teórico como una aproximación analítica.

REFERENCIAS Y FUENTES

- [1] Glenn D. Angle, *Airplane Engine Encyclopedia*, Otterbein Press, 1921.
- [2] Gunston, B., *World Encyclopedia of Aero Engines*, Cambridge, 2006.
- [3] Herschel Smith, *A History of Aircraft Piston Engines*, Ethyl Corporation, 1981.
- [4] Taylor, C. F., *The Internal Combustion Engine in Theory and Practice*, MIT Press, 1985.
- [5] J. B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill, 1988.
- [6] Beer, F. P., Johnston, E. R., *Mechanics of Materials*, McGraw-Hill, 2012.