

**Análisis cinemático de levas de baja velocidad, con leyes combinadas en base a métodos geométricos y matemáticos**

***Kinematic analysis of low speed cams, with combined laws based on geometric and mathematical methods***

***Análise cinemática de cames de baixa velocidade, com leis combinadas baseadas em métodos geométricos e matemáticos***

Sócrates M. Aquino-Arroba <sup>I</sup>  
[socratesaquino@hotmail.com](mailto:socratesaquino@hotmail.com)

Luis P. Tierra-Pérez <sup>II</sup>  
[luestierraperez@hotmail.com](mailto:luiستيerraپerez@hotmail.com)

Edwin R. Pozo-Safla <sup>III</sup>  
[pozosafla@hotmail.com](mailto:pozosafla@hotmail.com)

Miguel A. Escobar-Guachambala <sup>IV</sup>  
[miguel.escobar@hotmail.com](mailto:miguel.escobar@hotmail.com)

Marco A. Ordoñez-Viñan <sup>V</sup>  
[marcoordonezv@hotmail.com](mailto:marcoordonezv@hotmail.com)

Luis S. Choto-Chariguaman <sup>VI</sup>  
[luis.schoto@hotmail.com](mailto:luis.schoto@hotmail.com)

**Recibido:** 14 de julio de 2018 \* **Corregido:** 05 de agosto de 2018 \* **Aceptado:** 17 de septiembre de 2018

- <sup>I.</sup> Magister en Diseño Producción Y Automatización Industrial, Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- <sup>II.</sup> Magister en Gestión Industrial y Sistemas Productivos, Magister en Seguridad Industrial Mención Prevención de Riesgos y Salud Ocupacional, Ingeniero Industrial, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- <sup>III.</sup> Magister en Diseño Producción y Automatización Industrial, Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- <sup>IV.</sup> Magister en Diseño Producción y Automatización Industrial, Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- <sup>V.</sup> Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- <sup>VI.</sup> Magister en Manufactura y Diseño Asistidos por Computador, Ingeniero Automotriz, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

## Resumen

El mecanismo de leva – seguidor es ampliamente utilizado en diversos tipos de máquinas por su facilidad de construcción, la precisión de los mecanismos depende directamente de la correcta generación del perfil de la leva. El perfil de la leva puede generarse por métodos geométricos y modelos matemáticos. En muchas aplicaciones es útil la aplicación de una ley que gobierne la subida del seguidor y otra ley que gobierne la bajada lo cual es analizado al generar el perfil de la leva. El perfil de leva generado por métodos geométricos permite generar doce posiciones de movimiento del seguidor, en las doce posiciones se obtienen las velocidades y aceleraciones por métodos gráficos en base a sumas vectoriales. El perfil de leva generado por modelos matemáticos permite generar valores con ayuda de MATLAB de posiciones que son útiles para generar el perfil de la leva y trayectoria del seguidor, al derivar el modelo matemático de trayectoria del seguidor se puede obtener las velocidades del seguidor y al derivar el modelo matemático de velocidades se puede obtener las aceleraciones del seguidor. La comparación de estudios de los dos perfiles permite establecer las variaciones que sufre el perfil entre un método y el otro, estas comparaciones permiten establecer su influencia en posiciones, velocidades y aceleraciones del seguidor lo cual es de gran utilidad para analizar la precisión del mecanismo para el trabajo requerido.

**Palabras clave:** ingeniería mecánica; diseño de levas; sistemas mecánicos; elementos de máquinas; mecanismos.

## Abstract

The mechanism of cam - follower is widely used in various types of machines for its ease of construction, the precision of the mechanisms depends directly on the correct generation of the profile of the cam. The profile of the cam can be generated by geometric methods and mathematical models. In many applications it is useful to apply a law that governs the upload of the follower and another law that governs the download which is analyzed when generating the profile of the cam. The cam profile generated by geometric methods allows to generate twelve positions of movement of the tracker, in the twelve positions the velocities and accelerations are obtained by graphic methods based on vector sums. The cam profile generated by mathematical models allows to generate values with the help of MATLAB of positions that are useful to generate the profile of the cam and trajectory of the follower, by deriving the mathematical model of the trajectory of the follower can be obtained the

speeds of the follower and the deriving the mathematical model of velocities we can obtain the accelerations of the follower. The comparison of studies of the two profiles allows to establish the variations suffered by the profile between one method and the other, these comparisons allow to establish their influence on positions, speeds and accelerations of the tracker which is very useful to analyze the accuracy of the mechanism for the work required.

**Key words:** mechanical engineering; cam design; mechanical systems; elements of machines; mechanisms.

## Resumo

O mecanismo do seguidor de came é amplamente utilizado em vários tipos de máquinas por sua facilidade de construção, a precisão dos mecanismos depende diretamente da geração correta do perfil do came. O perfil do came pode ser gerado por métodos geométricos e modelos matemáticos. Em muitas aplicações, é útil aplicar uma lei que rege o upload do seguidor e outra lei que rege o download, que é analisada ao gerar o perfil da câmara. O perfil de came gerado por métodos geométricos permite gerar doze posições de movimento do rastreador, nas doze posições as velocidades e acelerações são obtidas por métodos gráficos baseados em somatórios vetoriais. O perfil da came gerado pelos modelos matemáticos pode gerar valores usando posições MATLAB, que são úteis para gerar o perfil de resalto e seguidor de trajetória, para derivar o modelo matemático da trajetória do seguinte pode ser obtido velocidades e seguidor derivando o modelo matemático de velocidades, podemos obter as acelerações do seguidor. O estudo de comparação dos dois perfis permite que as variações experimentadas pelo perfil entre um método e a outra das comparações mostram estabelecer a sua influência em posições, velocidades e acelerações do seguidor, que é útil para analisar o mecanismo de precisão o trabalho necessário.

**Palavras chave:** engenharia mecânica; design de cames; sistemas mecânicos; elementos de máquinas; mecanismos.

## Introducción

El mecanismo de leva - seguidor o palpador ha sido utilizado desde inicios de la revolución industrial debido a sus características de permitir la realización de un movimiento determinado con gran exactitud, la sencillez de su construcción, además que puede instalarse en espacios reducidos, etc. pudiéndose utilizar en máquinas textiles, máquinas para empaquetar, motores de combustión, robots, etc.

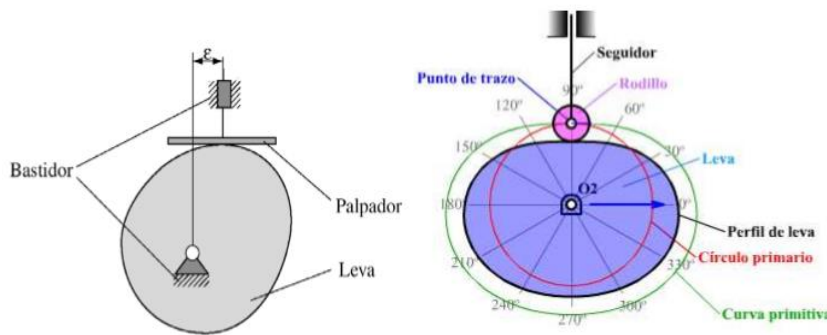
El proceso de diseño de un mecanismo de leva palpador inicia con la definición del movimiento del palpador o seguidor de acuerdo a los requerimientos de trabajo y basados en las leyes de movimiento de las levas, luego se obtiene el perfil de la leva que deberá ser comprobado si es adecuado, además es importante establecer los datos cinemáticos: posiciones, velocidades y aceleraciones del seguidor y los datos dinámicos: fuerzas. El cálculo de los parámetros cinemáticos permite el diseño adecuado de mecanismo y son útiles en caso de realizarse el control automático, el cálculo de los parámetros dinámicos permitirá establecer los torques que debe generar el actuador y por ende su potencia, también será útil para el diseño a resistencia del mecanismo, así como también para el control automático de torque o fuerza de ser necesario. Erdman y Sandor (1998), Norton, R. (2002), Shigley y Uicker (1998).

La obtención de la geometría de la leva y su análisis cinemático puede obtenerse por métodos gráficos o desarrollando modelos matemáticos principalmente en levas de baja velocidad. En el presente trabajo se realiza un análisis comparativo de los métodos gráficos y la generación de modelos matemáticos para levas que tengan leyes combinadas es decir que la subida utilice una ley distinta que a la bajada.

La contribución de la investigación permite establecer las variaciones que se producen entre los dos métodos de diseño de levas con la finalidad de implantar una metodología de diseño de acuerdo a las condiciones y precisión del trabajo requerido por el equipo y que permitan concluir con la construcción del sistema leva palpador más adecuado.

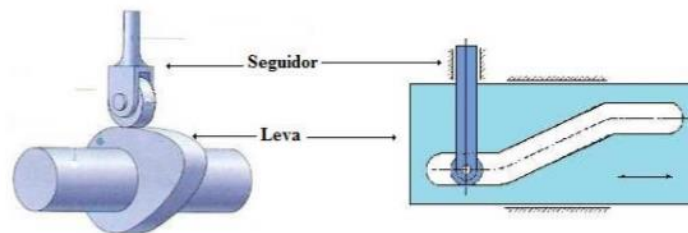
## Marco Teórico/ Metodología

La leva es un elemento mecánico que gira en base a una circunferencia base, la leva permite generar el movimiento de otro elemento llamado impulsor, palpador o seguidor como muestra la Figura 1.



**Fig. 1** Configuración del mecanismo leva seguidor y sus partes.

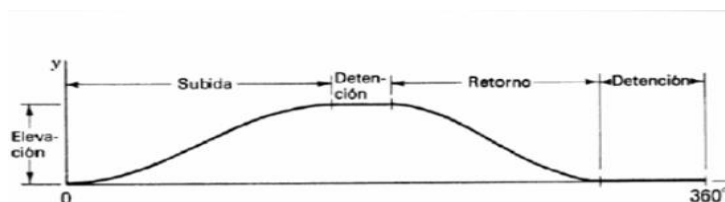
A veces puede existir un tercer elemento denominado rodillo de contacto como se ve en la Figura 2.



**Fig. 2** Levas con seguidor de rodillo.

Las levas han sido ampliamente utilizadas desde la revolución industrial, debido que son de fácil construcción y permiten diseñar un tipo de movimiento con gran precisión con una eficacia muy alta que es igualada únicamente con el control electrónico de actuadores. Los mecanismos de leva palpador se utilizan ampliamente en la maquinaria moderna.

Un mecanismo de leva acoplador normalmente posee un diagrama cinemático con un tiempo de subida, un reposo superior, un tiempo de retorno o bajada y un tiempo de reposo inferior como se muestra en la Figura 3.



**Fig. 3** Diagrama cinemático de una leva.

De la Figura 3 se observa que los movimientos de subida y bajada están formando curvaturas, dichas curvaturas influyen directamente en las características de movimiento del palpador deben ser generados en base a una ley que puede ser obtenida por un método gráfico o generando un modelo matemático, estas leyes se clasifican en leyes para levas de baja y alta velocidad.

Levas de baja velocidad

Ley Uniforme

Ley Armónica

Ley Parabólica

Ley Cúbica

Levas de baja velocidad

Ley Cicloidal

Movimientos Combinados

Ley Polinomial "3 4 5"

Ley Polinomial "4 5 6 7"

Curvas de Bezier

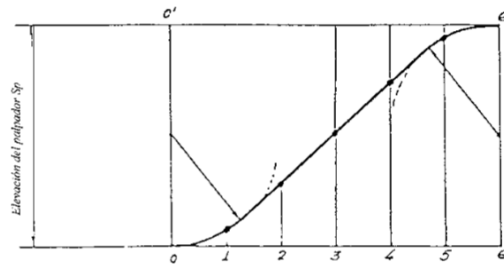
**Tabla I** Características de las Leyes Usadas en Levas.

Leva	Aceleración relativa	Sobreaceleración	Radio base mínimo	Velocidad de despegue	Aplicación
uniforme	$\infty$	$\infty$	90 mm		No es aplicable
armónica	0.12	$\infty$	120 mm	195 rpm	Para baja velocidad, genera ruido y vibración
parabólica	0.1	$\infty$			Para baja velocidad, genera ruido y vibración
cúbica	0.3	$\infty$			Para baja velocidad, genera ruido, vibración y despegue
cicloidal	0.156	0.022	180 mm	157 rpm	Alta velocidad, cuidar el despegue
trapezoidal modificada	0.12	0.033	168 mm	165 rpm	Por la baja aceleración sería recomendable para manejar grandes masas
345	0.14	0.031	160 mm	169 rpm	Alta velocidad, resiste el despegue
4567	0.186	0.022	190 mm	144 rpm	Alta velocidad, cuidar el despegue
Bezier	0.067	0.006	90 mm	280 rpm	Muy buenas características dinámicas. Bajo control en la temporización

Cada una de las leyes permiten generar curvas que establecen el comportamiento de una leva durante el ciclo de subida o bajada como muestra la TABLA I. De estas leyes se pueden el perfil de la lleva a partir de un modelo matemático, pero no todas pueden ser obtenidas por métodos geométricos, a continuación, se describe las leyes que permiten la aplicación de métodos geométricos.

### Ley Uniforme Modificada

En la Figura 4 se muestra una ley uniforme obtenida a través de un método geométricos donde el palpador se mueve a velocidad constante y con la finalidad de evitar los choques en tramos contiguos se ha suavizado los extremos por medio de un radio en los extremos.



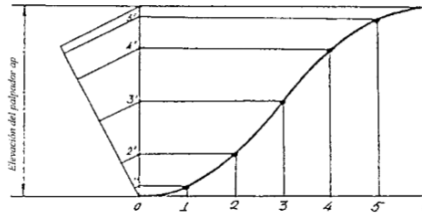
**Fig. 4** Ley uniforme modificada.

Matemáticamente se puede deducir que la ley uniforme debe ser generada por la ecuación de una recta como se muestra en la Ecuación 1, donde  $C_s$  será la carrera del seguidor,  $\theta$  la variación angular durante el movimiento,  $m$  y  $b$  son constantes, para lograr el modelo matemático del movimiento uniforme modificado se debe combinar la Ecuación 1 y 2.

$$C_s(\theta) = m \cdot \theta + b$$

### Ley parabólica

En la Figura 5 se muestra una ley parabólica generada por el método geométrico, la cual se compone de parábolas, generando una aceleración constante del palpador.



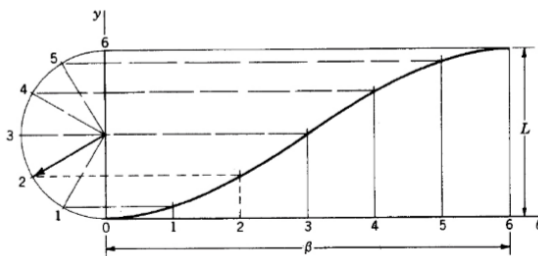
**Fig. 5** Ley parabólica

Matemáticamente se puede deducir que la ley parabólica debe ser generada por la ecuación de una parábola de segundo grado como se muestra en la Ecuación 2, donde  $C_s$  será la carrera del seguidor,  $\theta$  la variación angular durante el movimiento,  $a$ ,  $b$  y  $c$  son constantes.

$$C_s(\theta) = a.\theta^2 + b.\theta + c$$

### Ley armónica

La Figura 6 muestra una ley armónica obtenida por el método geométrico, que se basa en la utilización de una función armónica que puede ser seno o coseno.



**Fig. 6** Ley armónica

Matemáticamente se puede generar la ley armónica por medio la función coseno y seno como indica la Ecuación 3 y 4, donde  $C_s$  será la carrera del seguidor,  $\theta$  la variación angular durante el movimiento,  $a$  y  $b$  son constantes.

$$C_s(\theta) = a * (1 - \cos(\theta * b))$$

$$C_s(\theta) = a * \left(1 - \sin\left(\theta * b + \frac{\pi}{2}\right)\right)$$

### Ley cicloidal

En la Figura 7 se muestra la ley cicloidal desarrollada por método geométrico, la que genera un movimiento cicloidal del palpador generando una trayectoria similar a la descrita por un fisor rodante, de radio  $r = L/2 \pi$ , donde  $L$  es la elevación requerida. Permite una velocidad de giro de la leva mayor que en los casos anteriores.



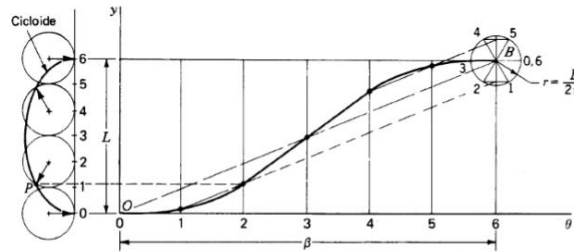


Fig. 7 Ley cicloidal.

Matemáticamente se establece la ley cicloidal por medio de la Ecuación 5, donde  $C_s$  será la carrera del seguidor,  $\theta$  la variación angular durante el movimiento,  $C$ ,  $k_2$  y  $\beta$  son constantes.

$$C_s(\theta) = C \frac{\beta}{2\pi} \left[ \theta - \frac{\beta}{2\pi} \sin \left[ 2\pi \frac{\theta}{\beta} \right] \right] + k_2$$

Con la finalidad de lograr un trabajo eficiente de las máquinas que usan el mecanismo de leva-palpador en la presente investigación se analiza la combinación de leyes para levas de baja velocidad. es decir que en la subida tiene una ley mientras que en la bajada tiene otra ley. Se realiza una combinación de ley parabólica a la subida y ley armónica a la bajada sin embargo la combinación puede realizarse entre cualquiera de las leyes.

### Análisis de leva por método geométrico.

En la Figura 8 se muestra el diagrama cinemático generada por medio de métodos geométricos de la trayectoria del seguidor, teniendo el seguidor una carrera de subida entre  $0^\circ$  a  $120^\circ$  con ley parabólica, un reposo superior de  $90^\circ$ , una carrera de bajada del palpador de  $120^\circ$  con ley armónica y finalmente un reposo inferior de  $30^\circ$  cumpliéndose en su totalidad el ciclo mecánico del mecanismo.

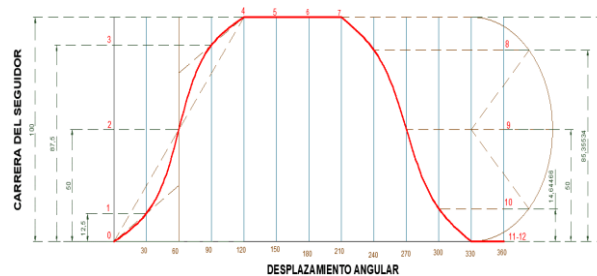
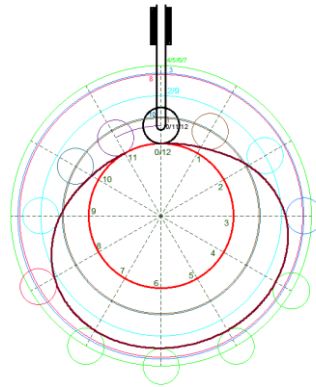


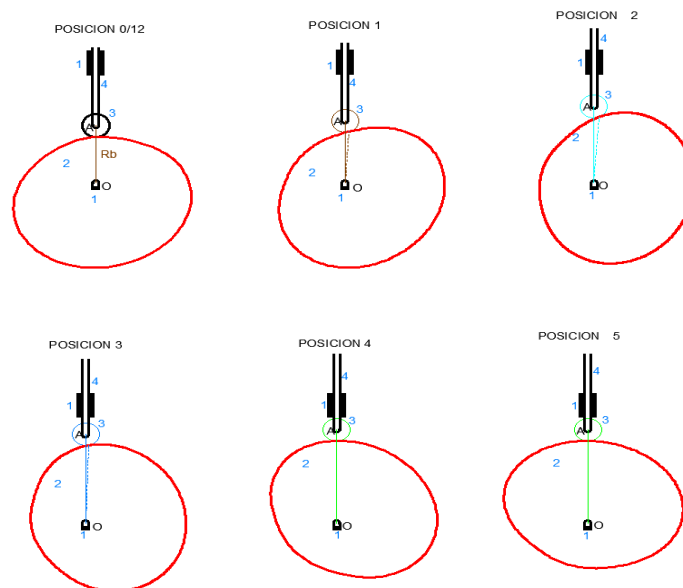
Fig. 8 Diagrama cinemático de leva con ley combinada por métodos geométricos.

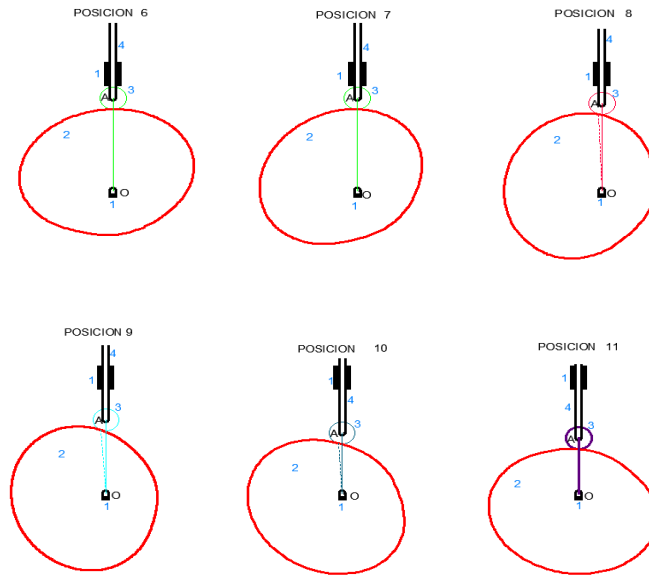
En base al diagrama cinemático de la Figura 8, por medio de métodos de diseño geométrico se determina el perfil de la leva con ayuda del software de dibujo para ingeniería como se muestra en la Figura 9.



**Fig. 9** Obtención del perfil de leva con ley combinada por método gráfico.

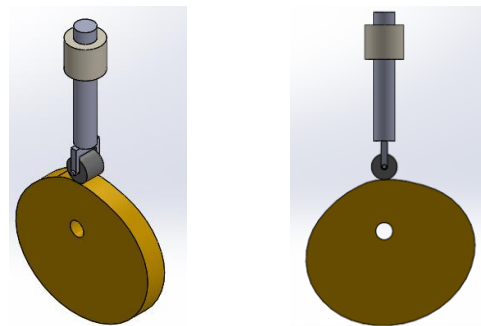
Obtenido el perfil de la leva se procede a hacer rotar la leva 12 posiciones como muestra la Figura 10, en cada una de estas posiciones se puede encontrar por métodos gráficos las velocidades y aceleraciones de seguidor.





**Fig. 10** Rotación de la leva con ley combinada cada 30°.

Con el perfil de la leva del software de dibujo es posible generar un sólido como muestra la Figura 11.



**Fig. 11** Modelo sólido de leva con ley combinada por método geométrico.

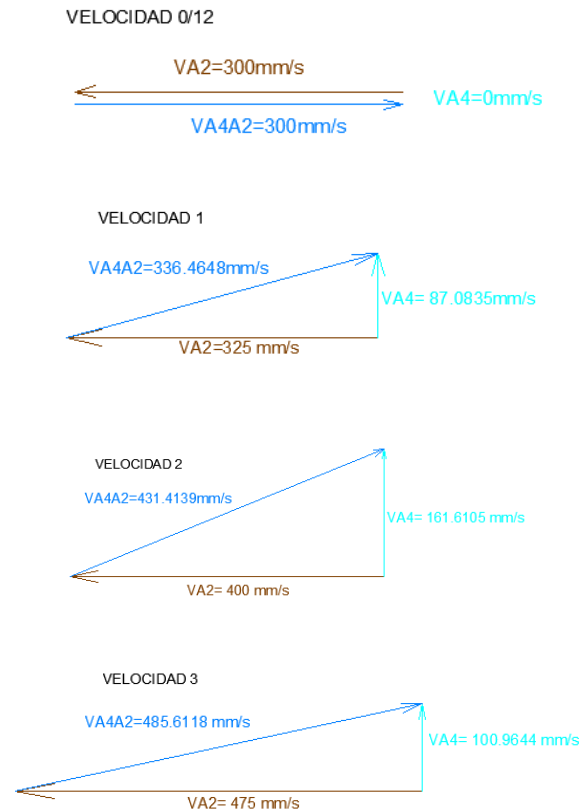
Para generar las velocidades de las 12 posiciones establecidas en la Figura 10, se aplican sumas vectoriales por medio de métodos gráficos como indica la Figura 12 donde, se calcula las velocidades para las posiciones 0, 1, 2 y 3 basadas en las Ecuaciones 6 y 7.

La Ecuaciones 6 y 7, se basan en la aplicación del principio de velocidades relativas con lo se determina gráficamente los valores de velocidad en los 12 puntos de análisis.

Análisis cinemático de levas de baja velocidad, con leyes combinadas en base a métodos geométricos y matemáticos

$$VA2=W.OA \quad (6)$$

$$VA4=VA2+VA4A2 \quad (7)$$



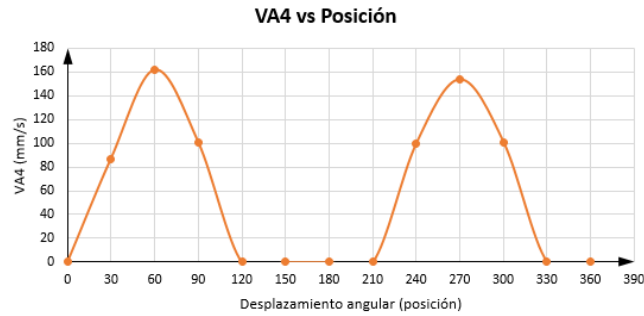
**Fig. 12** Velocidades de las posiciones 0,1,2 y 3 por método gráfico basado en sumas vectoriales.

La TABLA II muestra los datos de velocidad obtenidos de forma gráfica en base a sumas vectoriales para los 12 puntos de análisis.

**Tabla II** Velocidad Del Seguidor

ANGULO (grados)	VA4 (mm/s)
0	0
30	87.0835
60	161.6105
90	100.9644
120	0
150	0
180	0
210	0
240	100.0526
270	153.5456
300	100.6739
330	0
360	0

En la Figura 13 se muestra la gráfica de velocidad del seguidor en función del desplazamiento angular obtenida a partir de la TABLA II.



**Fig. 13** Diagrama de velocidad del seguidor vs desplazamiento angular de la leva.

Para generar las aceleraciones, se aplican sumas vectoriales por medio de métodos gráficos como indica la Figura 14 donde se ha calculado las aceleraciones para las posiciones 0, 1, 2 y 3 basadas en las Ecuaciones 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15, con lo se podrá determinar gráficamente los valores de velocidad en los 12 puntos de análisis.

$$AA4=AA2+AC+AA4A2 \quad (8)$$

$$AA4t+AA4n=AA2t+AA2n+AC+AA4A2t+AA4A2n \quad (9)$$

$$AA4t=AA2n+AC+AA4A2n+AA4A2t \quad (10)$$

$$AA4=AA4t / VA4 \quad (11)$$

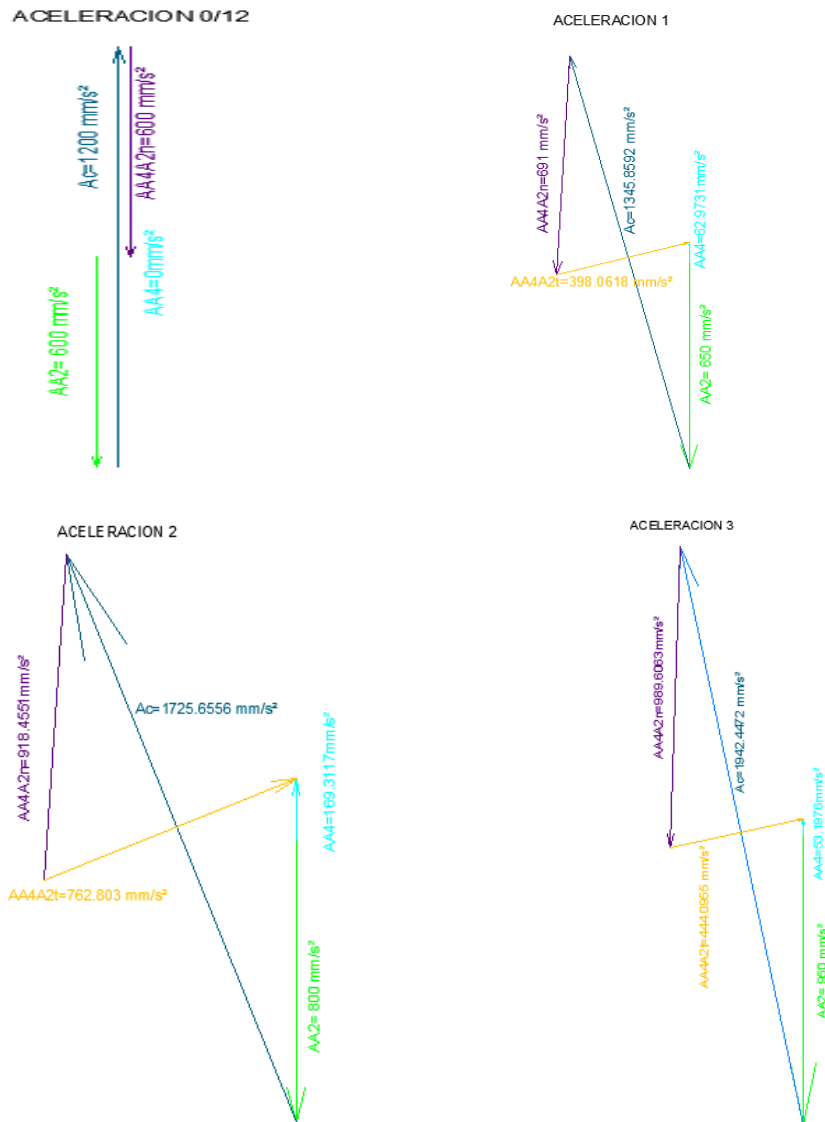
$$AA2=AA2n=VA2^2/OA \quad (12)$$

$$AC=2W \times VA4A2 \quad (13)$$

$$AA4A2n= VA4A2^2/R \quad (14)$$

$$AA4A2t // VA4A2 \quad (15)$$

Análisis cinemático de levas de baja velocidad, con leyes combinadas en base a métodos geométricos y matemáticos



**Fig. 14** Aceleraciones de las posiciones 0,1,2 y 3 por método gráfico basado en sumas vectoriales.

La TABLA III muestra los datos de aceleración obtenidos de forma gráfica y vectorialmente para los 12 puntos de análisis.

**Tabla III** Aceleración Del Seguidor

ANGULO (grados)	AA4 (mm/s <sup>2</sup> )
0	0
30	62.9731
60	169.3117
90	53.1976
120	0
150	0
180	0
210	0
240	53.637
270	151.4806
300	84.1789
330	0
360	0

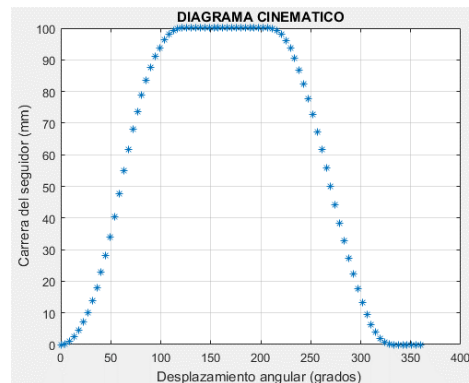
En la Figura 15 se muestra la gráfica de aceleración del seguidor en función del desplazamiento angular obtenida a partir de la TABLA III.



**Fig. 15** Diagrama de aceleración del seguidor vs desplazamiento angular de la leva.

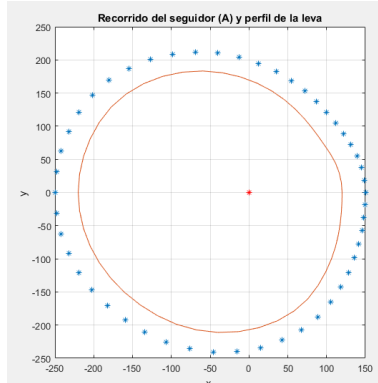
### Análisis de leva obteniendo un modelo matemático

En la Figura 16 se muestra la gráfica de desplazamiento del seguidor en función del desplazamiento angular desarrollado en el software Matlab en base a la Ecuación 2 para la subida del seguidor y la Ecuación 3 para la bajada del seguidor.



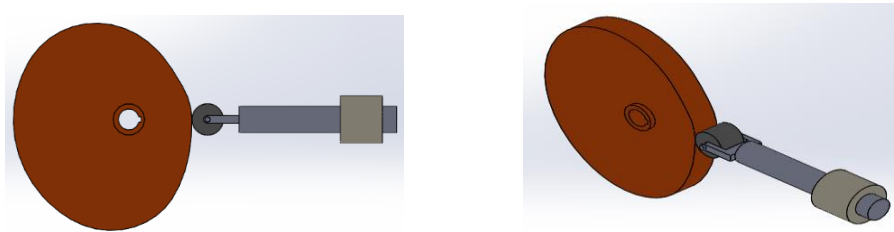
**Fig. 16** Diagrama cinemático de leva con ley combinada por modelo matemático.

En la Figura 17 se muestra el perfil de la leva y la trayectoria del punto central del seguidor, obtenido en Matlab basado en las Ecuaciones 2 y 3 sumando a estas el radio de la circunferencia base.



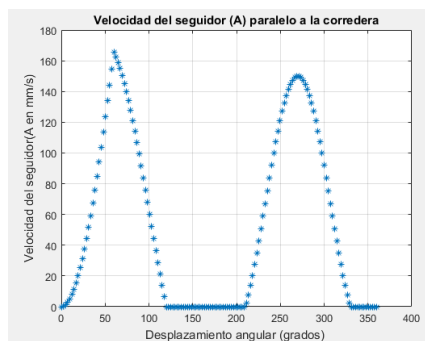
**Fig. 17** Perfil de la leva y trayectoria del seguidor.

Del software Matlab se obtiene varios puntos o coordenadas con los cuales en el software de modelado tridimensional se genera el modelo sólido de la leva de acuerdo a la Figura 18.



**Fig. 18** Modelado sólido de leva con ley combinada por modelo matemático.

La primera derivada la variable angular respecto al tiempo para las Ecuaciones 2 y 3 permiten hallar las velocidades generadas para el seguidor, como indica la Figura 19.

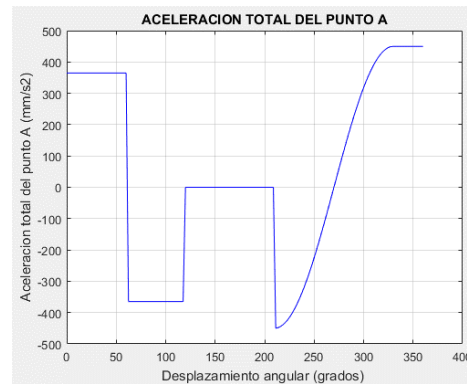


**Fig. 19** Diagrama velocidad del seguidor vs desplazamiento angular de la leva.



Análisis cinemático de levas de baja velocidad, con leyes combinadas en base a métodos geométricos y matemáticos

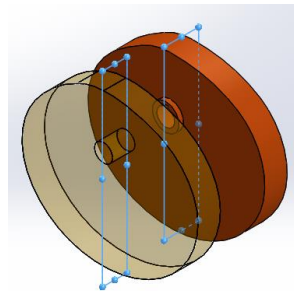
La primera derivada la variable angular respecto al tiempo de las Ecuaciones 2 y 3 permiten hallar las velocidades generadas para el seguidor, la derivada de la variable angular respecto al tiempo de las velocidades generalizadas permite hallar las aceleraciones generalizadas como indica la Figura 20.



**Fig. 20** Diagrama aceleración del seguidor vs desplazamiento angular de la leva.

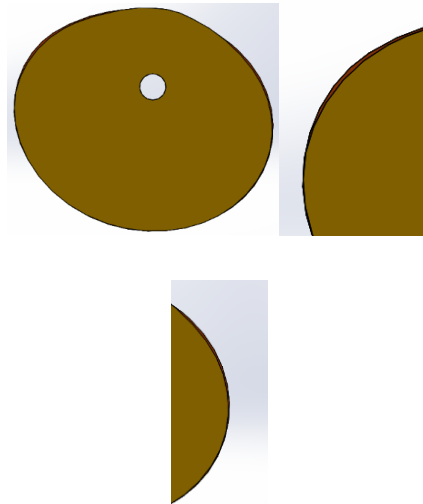
## Resultados y Discusión

Se compara los perfiles generados por medio de los métodos geométricos y métodos matemáticos como se muestra en la Figura 21, donde los dos perfiles muy similares.



**Fig. 21** Perfiles de levas generados.

La Figura 21 se muestra que existen unas pequeñas variaciones entre los perfiles de las levas generadas por medio del modelo matemático y el método geométrico.

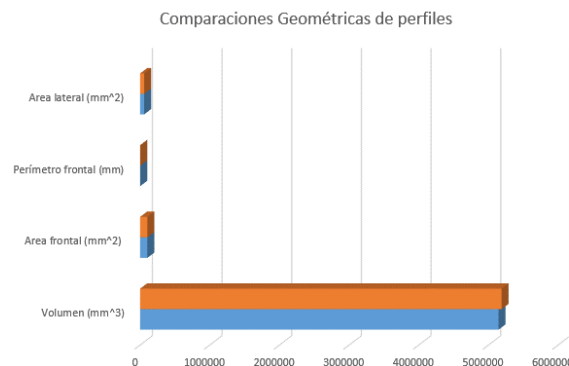


**Fig. 22** Comparación de perfiles generados.

Se determina valores numéricos de la variación que sufre el perfil obtenido geoméricamente con respecto al perfil del modelo matemático lo que se muestra la TABLA IV y la Figura 23, donde se observa que existe una variación entre los dos parámetros que no son significativas.

**Tabla IV** Comparación de los Parámetros Geométricos de los Modelos de Leva

Parámetro	Leva (Método Geométrico)	Leva (Modelo Matemático)	Variación
Volumen (mm <sup>3</sup> )	5144502.54	5188018.10	43515.56
Area frontal (mm <sup>2</sup> )	102847.50	103759.72	912.22
Perímetro frontal (mm)	1276.09	1281.49	5.4
Area lateral (mm <sup>2</sup> )	57521.84	57791.66	269.82



**Fig. 23** Comparación de perfiles generados.

El diagrama cinemático generado por el método geométrico que se muestra en la Figura 8 y el diagrama cinemático generado por el modelo matemático que se muestra en la Figura 16 son similares, sin embargo, el modelo matemático muestra que en  $120^\circ$  y  $210^\circ$  el cambio de curva a recta y recta a curva es casi tangente lo cual no sucede en el método geométrico.

En la Tabla V se realiza la comparación de velocidades entre el método geométrico y el modelo matemático, donde se observa que existen ligeras variaciones, sin embargo, se observa de las Figuras 13 y 19 que las velocidades de los picos de las curvas que corresponden a la velocidad máxima de subida y velocidad máxima al retorno no poseen variaciones significativas.

**Tabla V** Comparación de Velocidades del Seguidor

Velocidad (mm/s)	Método Geométrico	Modelo Matemático	Variación
Posición 0	0	0	0
Posición 1	87.0835	47.75	39.3335
Posición 2	161.6105	165.4	3.7895
Posición 3	100.9644	95.49	5.4744
Posición 4	0	0	0
Posición 5	0	0	0
Posición 6	0	0	0
Posición 7	0	0	0
Posición 8	100.0526	91.86	8.1926
Posición 9	153.5456	150	3.5456
Posición 10	100.6739	91.86	8.8139
Posición 11	0	0	0
Posición 12	0	0	0

Al comparar las Figuras 15 y 20 donde se muestran las aceleraciones se establece diferencias principalmente debido a que el método gráfico basado en sumas vectoriales genera muy pocos datos como para generar una curva adecuada.

## Conclusiones

Para diseñar la leva por el método gráfico se mueve el seguidor en sentido contrario al movimiento produciéndose cuando se mueve el seguidor en sentido de las manecillas del reloj que la leva gira contrario a las manecillas de reloj y viceversa.

En el modelo matemático al generarse el perfil de la leva los signos negativos en los ángulos indican giro contrario a las manecillas del reloj de la leva, ángulos positivos indican giro en sentido de las manecillas del reloj de la leva.

El modelo matemático genera la leva con el seguidor desplazándose en el eje x positivo para modificar la posición del seguidor se debe configurar en MATLAB esta variación angular.

Las curvas generadas por el modelo matemático permiten tener más puntos de análisis con lo cual se puede generar curvas mejores formadas lo cual genera que la leva generada por este método tenga una mayor precisión disminuyendo también la fricción en el seguidor.

Las variaciones en la trayectoria del seguidor y la velocidad del seguidor son bajas en los picos.

En caso de requerirse una elevada precisión en el movimiento de la leva se recomienda usar el modelado matemático al modelado geométrico.

En la utilización de equipos donde no se requiera una alta precisión se puede usar el modelado geométrico ya que es más rápido de generar que el modelado matemático.

Para lograr un adecuado análisis de aceleraciones por el método gráfico es necesario realizarlo en más de 12 posiciones.

El modelo matemático de la cinemática de la leva permite de forma fácil pasar al modelado dinámico de la leva, además de permitir el control automático de ser necesario.

## Referencias Bibliográficas

A. M. Serrano. “Diseño, Análisis y Simulación de Levas Planas. Aplicación Informática CAM-DAS”, (tesis de pregrado). Universidad Carlos III, Madrid, España, 2010.

D. Myszka. “Máquinas y Mecanismos”, México: PEARSON, Cuarta Edición 2012. pp. 223 – 258.

R. Budynas y J. K. Nisbett. “Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley”, México: McGraw-Hill, Novena Edición 2008. pp. 4-6.

R. L. Norton. “Diseño de maquinaria, síntesis y análisis de máquinas y mecanismos”, México: McGraw-Hill, Cuarta Edición 2004. pp. 499- 520.

A. Erdeman y G. Sandor. “Diseño de Mecanismos, Análisis y Síntesis”, México: PEARSON, Tercera Edición 1998. Pp. 353 – 416.

Análisis cinemático de levas de baja velocidad, con leyes combinadas en base a métodos geométricos y matemáticos

---

B. J. Hamrock, B. Jacobson y S. R. Schmid. “Elementos de Máquinas”, México: McGraw-Hill, Primera Edición 2000. pp. 4-6.

D. G. Ullman. “The Mechanical Design Process”, McGraw-Hill, Quinta Edición 2015. pp. 4-6.

C. Riba. “Diseño Concurrente”, Barcelona: s.n., 2002. Primera Edición 2000. P.P. 59-60-61.