

METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE MECANISMOS DE LEVA CON SEGUIDOR BASCULANTE.

DrC. Orestes González Quintero¹, DrC. Eleno Alfonso Brindis², Ing. Francisco
Tchiquendja Eleno¹

1. Universidad de Matanzas – Sede “Camilo Cienfuegos”, Vía
Blanca Km.3, Matanzas, Cuba. orestes.gonzalez@umcc.cu

2. Polytechnic College of Suriname (PTC), Stichting Polytechnic
College Suriname. Kinderdorpstraat 2 - 4,ingang Doekhieweg –
Oost, Paramaribo – Suriname

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo presentar una nueva metodología para el análisis cinemático de los mecanismos de leva, consistente en una Aplicación Informática elaborada en Microsoft EXCEL con la que se cumplen los objetivos del tema en un menor tiempo que la versión precedente sin dejar de desarrollar habilidades en los estudiantes en la aplicación de la informática, en la misma, las posiciones, velocidades y aceleraciones del seguidor se determinan analíticamente, lo que elimina el paso de la integración gráfica que se venía aplicando hasta el momento atentando contra la eficiencia de la síntesis estructural de mecanismos de leva en el plano. Se exponen los resultados que brinda la Aplicación creada y las posibles formas de trazar el perfil de la leva con la información que nos entrega.

Palabras claves: levas; seguidor basculante; Excel; Matlab; AutoCAD; ANSYS.

Cuerpo de la monografía

Entre los objetivos del tema dedicado al estudio de los mecanismos de levas se encuentran: determinar posiciones, velocidades y aceleraciones por los métodos de mecanismo inverso y del mecanismo equivalente, así como realizar la síntesis estructural de mecanismos de leva en el plano. Estas tareas eran cumplidas hasta hace solo unos años con la ayuda de una calculadora, instrumentos tradicionales de dibujo y mucho trabajo. Con el advenimiento de computadoras más amigables desde el punto de vista de su interfaz, se propuso realizar esta labor con la ayuda de hojas de cálculo de EXCEL para el cálculo de las aceleraciones, obteniendo las velocidades y los desplazamientos por integración gráfica y a partir de estos últimos trazar el perfil de la leva necesario. Este trabajo tiene como objetivo presentar una nueva metodología para el análisis cinemático de los mecanismos de leva, consistente en una aplicación informática elaborada en Microsoft EXCEL con la que se cumplen los objetivos del tema en un menor tiempo que la versión precedente sin dejar de desarrollar habilidades en los estudiantes y en la aplicación de la informática.

Desarrollo.

Una leva es un elemento común en diversos mecanismos, la cual conduce un componente acoplado conocido como seguidor. La leva acepta una entrada de movimiento parecido a una manivela e imparte un movimiento resultante al seguidor.

El proceso de trabajo de muchas máquinas conduce a la necesidad de tener entre sus componentes mecanismos en los cuales el movimiento de sus eslabones finales deba ser ejecutado rigurosamente por una ley dada y coordinadamente con el movimiento de otros mecanismos, de hecho las levas pueden ser usadas para obtener movimientos inusuales o irregulares que serían muy difíciles de obtener con otros mecanismos, siendo esta su principal ventaja. Para cumplir esta tarea los mecanismos más sencillos, seguros y compactos resultan los de levas. En la figura 1 se muestra una de las aplicaciones más difundidas (MCI).

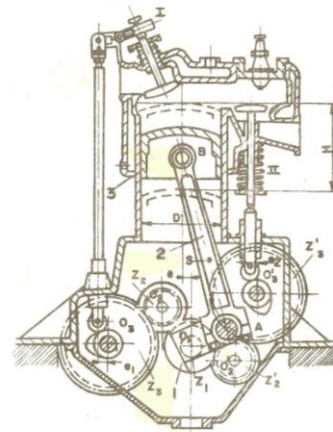


Figura 1. Motor de Combustión Interna.

El diseño de las levas tiene por objeto la formación de un perfil tal, que garantice el movimiento pedido por el seguidor.

El diagrama de desplazamiento trazado a escala es necesario para construir la forma real del perfil de la leva, según el método tradicional, como se muestra en las figuras 2 y 3.

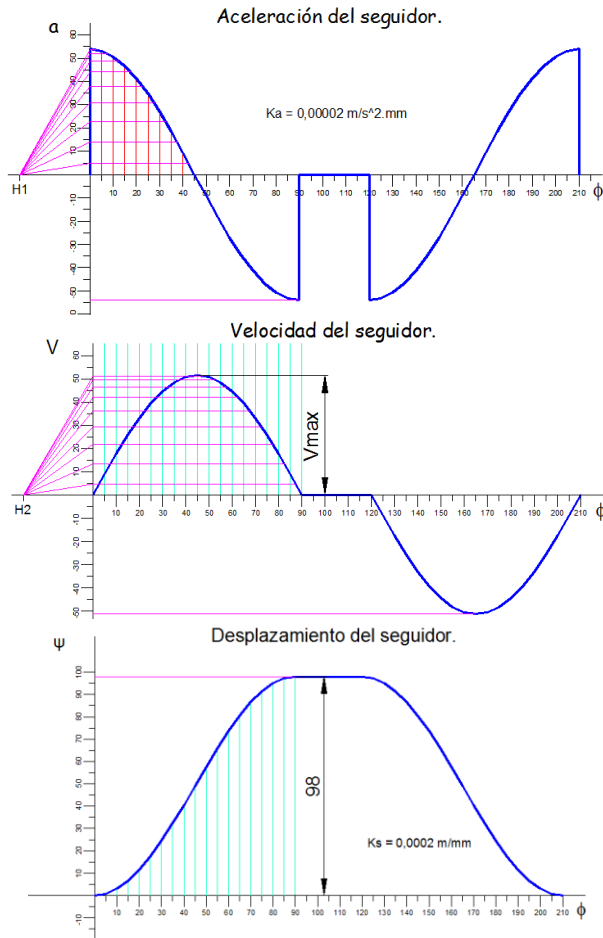


Figura 2. Diagramas de aceleración, velocidad y desplazamiento del seguidor (integración gráfica)

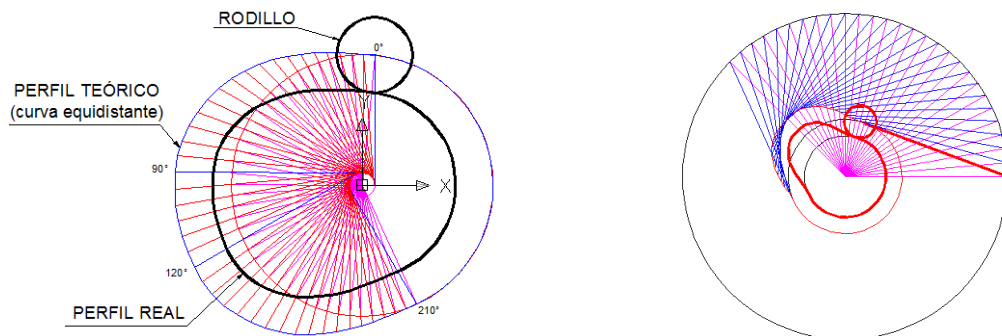


Figura 3. En la izquierda perfil de la leva para seguidor con movimiento rectilíneo alternativo y a la derecha para seguidor con movimiento basculante.

Como puede apreciarse la tarea realizada de la forma mostrada continúa siendo engorrosa para los estudiantes, aunque se use algún sistema CAD en su elaboración.

Nueva metodología para el análisis cinemático de los mecanismos de leva.

En la nueva metodología propuesta a los estudiantes, las posiciones, velocidades y aceleraciones del seguidor se determinan analíticamente con el auxilio de una aplicación elaborada en Excel, que consta de cuatro hojas: Datos, ver figura 4, Cinemática, Diagramas, figura 5 y Datos para el dibujo, figura 6, lo que elimina el paso de la integración gráfica.

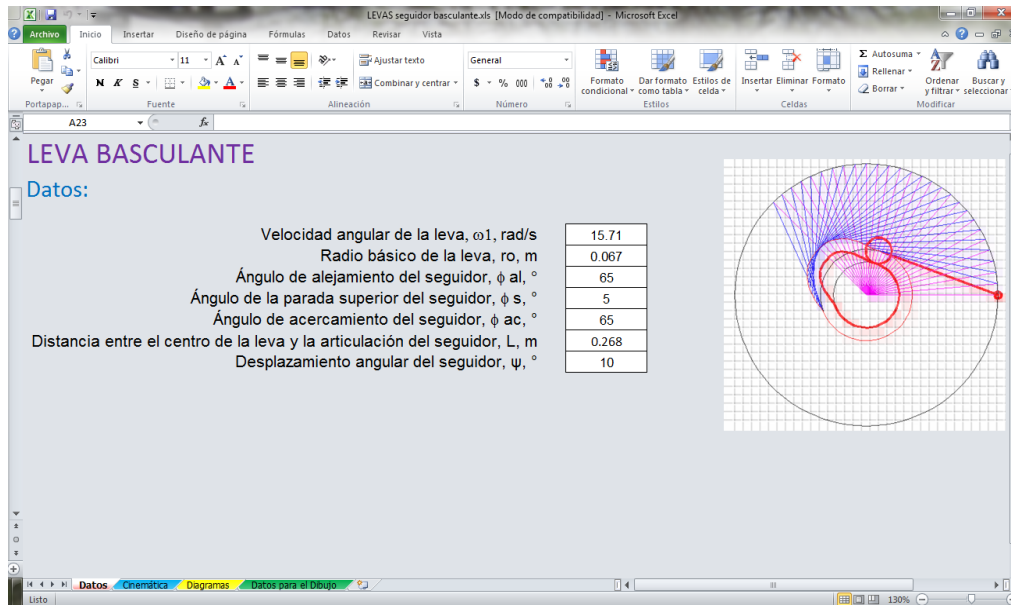


Figura 4. Datos para determinar posiciones, velocidades y aceleraciones, así como realizar la síntesis estructural de mecanismos de leva en el plano.

La hoja **Cinemática** nos entrega los resultados que se muestran en las tablas 1- 4, para los datos que se muestran arriba. Las ecuaciones empleadas en la misma, para la etapa de alejamiento, se exponen a continuación para las leyes de movimiento del seguidor más utilizadas, donde:

$\psi \rightarrow$ Desplazamiento angular máximo del seguidor, radianes en Excel.

$T \rightarrow$ es el periodo de tiempo para las secuencias de alejamiento y acercamiento del seguidor, s.

$t \rightarrow$ intervalos de tiempo en que se divide el tiempo de trabajo de la leva, s.

$s \rightarrow$ el desplazamiento angular instantáneo del seguidor en cualquier momento dado, radianes.

$v \rightarrow$ la velocidad angular instantánea del seguidor, rad/s.

$a \rightarrow$ la aceleración angular instantánea del seguidor, rad/s².

Ley de Velocidad Constante

$$s = \frac{\psi t}{T}$$

$$v = \frac{\psi}{T}$$

$$a = 0$$

Ley de Aceleración Constante

Para $0 < t < 0,5T$

$$s = 2\psi \left(\frac{t}{T}\right)^2$$

$$v = \frac{4\psi t}{T^2}$$

$$a = \frac{4\psi}{T^2}$$

Para $0,5T < t < T$

$$s = \psi - 2\psi \left[1 - \frac{t}{T}\right]^2$$

$$v = \frac{4\psi}{T} \left[1 - \frac{t}{T}\right]$$

$$a = -\frac{4\psi}{T^2}$$

Ley del Coseno

$$s = 0,5\psi \left[1 - \cos\left(\frac{\pi t}{T}\right)\right]$$

$$v = \frac{0,5\psi\pi}{T} \left[\sin\left(\frac{\pi t}{T}\right)\right]$$

$$a = \frac{0,5\psi\pi^2}{T^2} \left[\cos\left(\frac{\pi t}{T}\right)\right]$$

Ley del Seno

$$s = \psi \left[\frac{t}{T} - \frac{1}{2\pi} \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right)\right]$$

$$v = \frac{\psi}{T} \left[1 - \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right)\right]$$

$$a = \frac{2\pi\psi}{T^2} \left[\sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right)\right]$$

Tabla 1. Ley de Velocidad constante

Ángulo ϕ °	Tiempo segundos	Aceleración instantánea rad/s ²	Velocidad instantánea rad/s	Desplazamiento angular rad	Desplazamiento angular, ψ °
0	0.00	0	2.42	0.0000	0.00
5	0.01	0	2.42	0.0134	0.77
10	0.01	0	2.42	0.0269	1.54
15	0.02	0	2.42	0.0403	2.31
20	0.02	0	2.42	0.0537	3.08
25	0.03	0	2.42	0.0671	3.85
30	0.03	0	2.42	0.0806	4.62
35	0.04	0	2.42	0.0940	5.38
40	0.04	0	2.42	0.1074	6.15
45	0.05	0	2.42	0.1208	6.92
50	0.06	0	2.42	0.1343	7.69
55	0.06	0	2.42	0.1477	8.46
60	0.07	0	2.42	0.1611	9.23
65	0.07	0	2.42	0.1745	10.00

Tabla 2. Ley de Aceleración constante

Ángulo ϕ °	Tiempo segundos	Aceleración instantánea rad/s ²	Velocidad instantánea rad/s	Desplazamiento angular rad	Desplazamiento angular, ψ °
0	0.00	133.88	0.00	0.0000	0.00
5	0.01	133.88	0.74	0.0021	0.12
10	0.01	133.88	1.49	0.0083	0.47
15	0.02	133.88	2.23	0.0186	1.07
20	0.02	133.88	2.97	0.0330	1.89
25	0.03	133.88	3.72	0.0516	2.96
30	0.03	133.88	4.46	0.0744	4.26
35	0.04	-133.88	4.46	0.1012	5.80
40	0.04	-133.88	3.72	0.1229	7.04
45	0.05	-133.88	2.97	0.1415	8.11
50	0.06	-133.88	2.23	0.1559	8.93
55	0.06	-133.88	1.49	0.1663	9.53
60	0.07	-133.88	0.74	0.1725	9.88
65	0.07	-133.88	0.00	0.1745	10.00

Tabla 3. Ley del coseno

Ángulo ϕ °	Tiempo segundos	Aceleración instantánea rad/s ²	Velocidad instantánea rad/s	Desplazamiento angular rad	Desplazamiento angular, ψ °
0	0.00	165.17	0.00	0.00	0.00
5	0.01	160.37	0.91	0.00	0.15
10	0.01	146.25	1.76	0.01	0.57
15	0.02	123.63	2.52	0.02	1.26
20	0.02	93.82	3.12	0.04	2.16
25	0.03	58.57	3.55	0.06	3.23
30	0.03	19.91	3.77	0.08	4.40
35	0.04	-19.91	3.77	0.10	5.60
40	0.04	-58.57	3.55	0.12	6.77
45	0.05	-93.82	3.12	0.14	7.84
50	0.06	-123.63	2.52	0.15	8.74
55	0.06	-146.25	1.76	0.16	9.43
60	0.07	-160.37	0.91	0.17	9.85
65	0.07	-165.17	0.00	0.17	10.00

Tabla 4. Ley del seno

Ángulo ϕ °	Tiempo segundos	Aceleración instantánea rad/s ²	Velocidad instantánea rad/s	Desplazamiento angular rad	Desplazamiento angular, ψ °
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.01	97.73	0.28	0.00	0.03
10	0.01	173.07	1.04	0.00	0.23
15	0.02	208.76	2.13	0.01	0.73
20	0.02	196.63	3.27	0.03	1.59
25	0.03	139.45	4.23	0.05	2.79
30	0.03	50.33	4.76	0.07	4.23
35	0.04	-50.33	4.76	0.10	5.77
40	0.04	-139.45	4.23	0.13	7.21
45	0.05	-196.63	3.27	0.15	8.41
50	0.06	-208.76	2.13	0.16	9.27
55	0.06	-173.07	1.04	0.17	9.77
60	0.07	-97.73	0.28	0.17	9.97
65	0.07	0.00	0.00	0.17	10.00

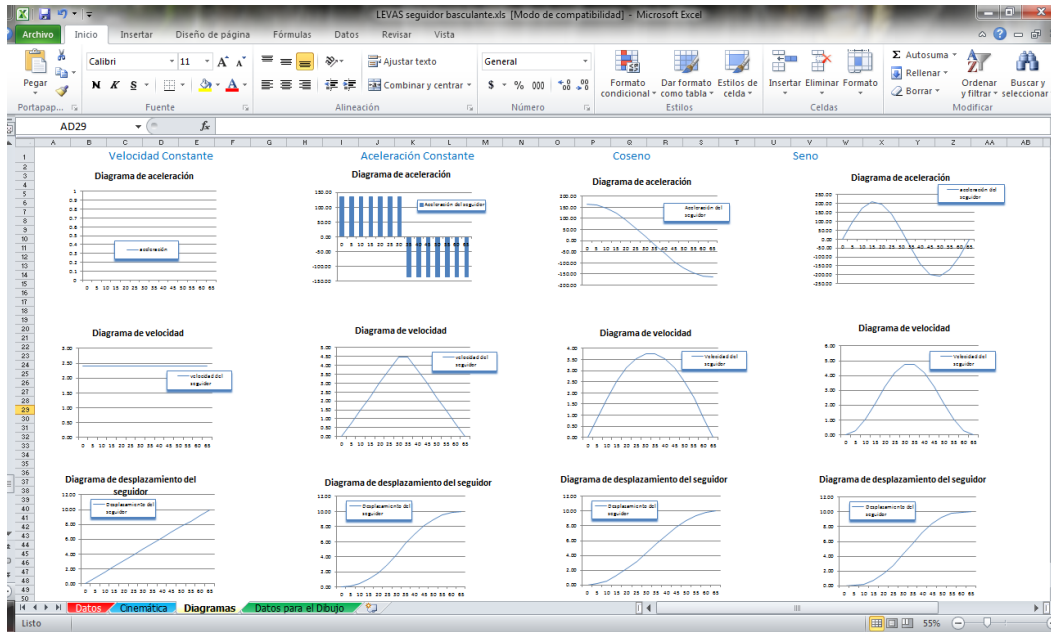


Figura 5. Hoja Diagramas, nos brinda los gráficos de la cinemática del mecanismo de levas para su comparación y análisis.

La hoja Datos para el Dibujo nos brinda la información necesaria para realizar la síntesis estructural de mecanismos de leva en el plano. En el ejemplo que se analiza en este trabajo solamente estamos exponiendo los resultados para la etapa de alejamiento del seguidor (ángulo de alejamiento), el estudiante en su interacción con el programa debe ajustar las tablas de las hojas Cinemática y Datos para el Dibujo para todo el ángulo de trabajo de la leva (o para los 360° si lo desea).

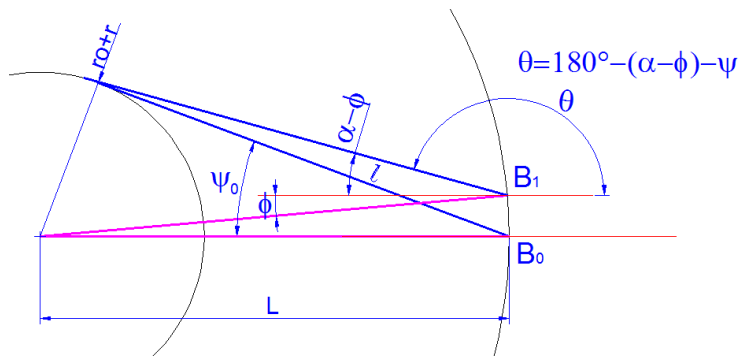


Figura 5. Entorno a la determinación de las coordenadas del pivote del seguidor en el movimiento inverso (B_x y B_y) y del ángulo θ .

La primera información que nos brinda la hoja Datos para el Dibujo está relacionada con la figura 5 como se muestra en la tabla 5:

Tabla 5. Angulo θ que forma el seguidor basculante con el ángulo 0° en AutoCAD.

Ángulo ϕ °	Bx mm	By mm	V. ctte. θ °	A. ctte. θ °	Coseno θ °	Seno θ °
0	268.00	0.00	159.51	159.51	159.51	159.51
5	266.98	23.36	163.74	164.39	164.37	164.48
10	263.93	46.54	167.97	169.04	168.94	169.28
15	258.87	69.36	172.20	173.45	173.26	173.78
20	251.84	91.66	176.44	177.62	177.35	177.92
25	242.89	113.26	180.67	181.55	181.29	181.72
30	232.09	134.00	184.90	185.25	185.12	185.28
35	219.53	153.72	189.13	188.71	188.91	188.75
40	205.30	172.27	193.36	192.47	192.74	192.30
45	189.50	189.50	197.59	196.41	196.67	196.10
50	172.27	205.30	201.82	200.58	200.77	200.24
55	153.72	219.53	206.05	204.99	205.09	204.74
60	134.00	232.09	210.28	209.63	209.66	209.54
65	113.26	242.89	214.51	214.51	214.51	214.51

La información anterior permite hacer un dibujo como el que se muestra a continuación para el trazado de la leva, figura 6, primero se trazan los puntos B_0, B_1, \dots, B_n y luego las líneas con su correspondiente ángulo θ en AutoCAD.

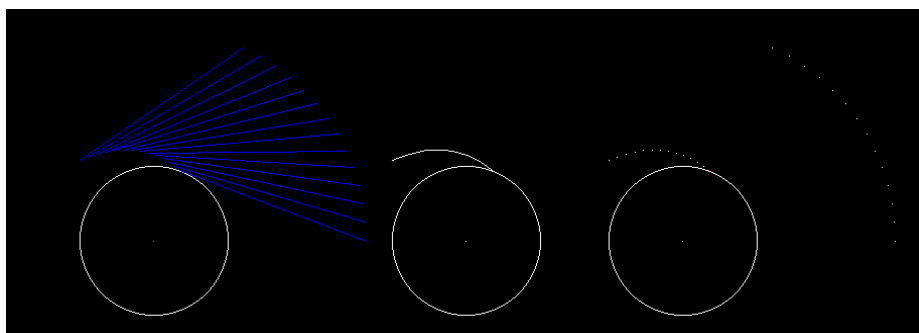


Figura 6. Perfil de la leva durante la etapa de alejamiento, realizada para un movimiento del seguidor según la ley de velocidad constante.

Una forma más eficiente para el trazado de la leva es determinar las coordenadas del perfil, en este ejemplo cada 5° , esto se logra a través de la proyección del seguidor en X y Y, tabla 6, refiriendo luego las coordenadas halladas al origen de coordenadas, centro de rotación de la leva, como se muestra en la tabla 7.

Tabla 6. Proyección del seguidor en X y Y.

ϕ °	ΔX Vel. ctte. mm	ΔY Vel. ctte. mm	ΔX Acel. ctte. mm	ΔY Acel. ctte. mm	ΔX Coseno mm	ΔY Coseno mm	ΔX Seno mm	ΔY Seno mm
0	-235.1700	87.8671	-235.1700	87.8671	-235.1700	87.8671	-235.1700	87.8671
5	-241.0115	70.2783	-241.7943	67.5359	-241.7625	67.6496	-241.8986	67.1613
10	-245.5394	52.3065	-246.4693	47.7333	-246.3861	48.1606	-246.6709	46.6801
15	-248.7291	34.0496	-249.4090	28.6477	-249.3115	29.4848	-249.5734	27.1787
20	-250.5633	15.6071	-250.8322	10.4288	-250.7811	11.5940	-250.8841	9.0948
25	-251.0319	-2.9204	-250.9566	-6.8087	-250.9857	-5.6330	-250.9356	-7.5437
30	-250.1324	-21.4320	-249.9948	-22.9815	-250.0490	-22.3839	-249.9844	-23.0943
35	-247.8697	-39.8268	-248.1511	-38.0339	-248.0195	-38.8832	-248.1290	-38.1782
40	-244.2561	-58.0046	-245.1253	-54.2140	-244.8686	-55.3617	-245.2830	-53.4958
45	-239.3113	-75.8662	-240.8271	-70.9075	-240.4951	-72.0255	-241.2008	-69.6258
50	-233.0622	-93.3144	-235.0310	-88.2383	-234.7334	-89.0269	-235.5464	-86.8530
55	-225.5429	-110.2540	-227.5534	-106.0425	-227.3692	-106.4369	-228.0043	-105.0696
60	-216.7945	-126.5927	-218.2186	-124.1218	-218.1602	-124.2244	-218.4106	-123.7836
65	-206.8645	-142.2415	-206.8645	-142.2415	-206.8645	-142.2415	-206.8645	-142.2415

La información que brinda la tabla 7, permite hacer un dibujo más sencillo como el que se muestra en la figura 7 para el trazado de la leva, La parte del perfil mostrada está realizado para un movimiento del seguidor según la ley de velocidad constante.

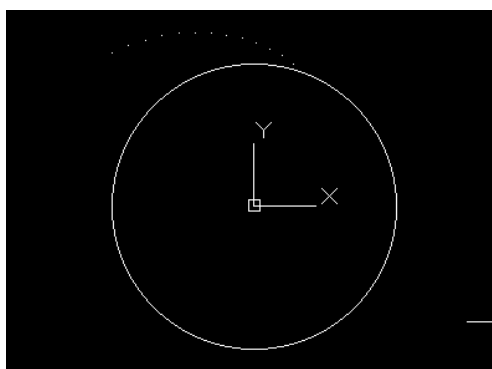


Figura 7. Parte del perfil de la leva (puntos) obtenido a partir de las coordenadas calculadas.

Tabla 7. Refiriendo las coordenadas halladas al origen de coordenadas

ϕ °	COORDENADAS Vel. ctte.		COORDENADAS Acel. ctte.		COORDENADAS Coseno		COORDENADAS Seno	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
0	32.8300	87.8671	32.8300	87.8671	32.8300	87.8671	32.8300	87.8671
5	25.9687	93.6360	25.1859	90.8936	25.2177	91.0074	25.0816	90.5191
10	18.3891	98.8442	17.4592	94.2710	17.5424	94.6983	17.2576	93.2178
15	10.1390	103.4131	9.4591	98.0112	9.5567	98.8483	9.2947	96.5422
20	1.2743	107.2685	1.0054	102.0902	1.0566	103.2554	0.9535	100.7562
25	-8.1414	110.3413	-8.0661	106.4530	-8.0952	107.6287	-8.0451	105.7180
30	-18.0376	112.5680	-17.9000	111.0185	-17.9542	111.6161	-17.8896	110.9057
35	-28.3369	113.8916	-28.6184	115.6846	-28.4867	114.8353	-28.5962	115.5403
40	-38.9562	114.2625	-39.8254	118.0531	-39.5687	116.9054	-39.9831	118.7713
45	-49.8066	113.6384	-51.3225	118.5971	-50.9905	117.4791	-51.6961	119.8788
50	-60.7951	111.9855	-62.7639	117.0616	-62.4663	116.2730	-63.2793	118.4469
55	-71.8245	109.2788	-73.8349	113.4903	-73.6507	113.0959	-74.2858	114.4632
60	-82.7945	105.5021	-84.2186	107.9730	-84.1602	107.8704	-84.4106	108.3112
65	-93.6028	100.6490	-93.6028	100.6490	-93.6028	100.6490	-93.6028	100.6490

La información que brinda la tabla 7, brinda la posibilidad de que con los datos obtenidos se elabore una rutina para Matlab que genera un archivo de comandos con extensión scr (SCRIPT), que se ejecuta en AutoCAD (Administrar/Ejecutar comandos) acción que se completa con la solicitud del archivo, permite el trazado de la leva en cuestión de segundos, en la figura 8, se muestran los perfiles diseñados en AutoCAD siguiendo esta técnica para las cuatro leyes de movimiento citadas en este trabajo. algo similar ocurre de escribir un archivo de comandos para el software ANSYS, ver Anexo.

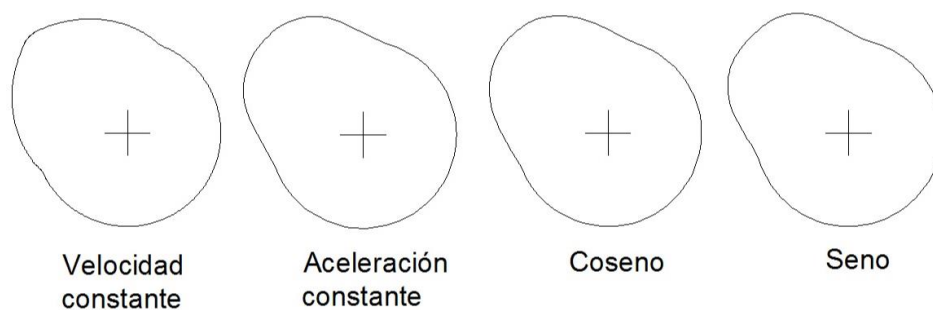


Figura 8. Perfiles diseñados en AutoCAD, mediante el uso de un script generado en Matlab para los 360° de rotación de la leva.

Conclusiones

La metodología expuesta para el análisis cinemático de los mecanismos de leva con el empleo de una aplicación informática elaborada en Excel y el empleo de AutoCAD contribuye a formar un Ingeniero Mecánico Info-Aplicador, como nos sugiere la Estrategia de Desarrollo Informático en la Carrera, formar un profesional universitario de perfil no informático que aplica conocimientos informáticos en su trabajo.

El hecho de no tener que realizar la integración gráfica para el análisis cinemático del mecanismo de leva unido a la existencia del programa analizado permite aumentar la eficiencia en la síntesis estructural del mecanismo de leva, así como a desarrollar habilidades en el empleo del tabulador electrónico Microsoft EXCEL que por otra parte brinda la posibilidad de que con los datos obtenidos se elabore una rutina en Matlab para la obtención del perfil de la leva. La aplicación propuesta motiva y hace más eficiente el proceso docente y el de auto preparación de los estudiantes.

Bibliografía

BARANOV, G.G. Curso de la Teoría de Mecanismos y Máquinas. Editorial MIR. Moscú. 1979. 574 Pág.

GOLUBEV, YURI. Teoría de máquinas y mecanismos. Editorial Pueblo y Educación. [La Habana]. 1978. 268 Pág.

GONZÁLEZ QUINTERO, ORESTES. Cinemática de los Mecanismos de Leva. Centro de Información de la Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. 2005. ISBN: 959-16-0295-8.

MYSZKA, DAVID H. Machines and mechanisms: Applied kinematic Analysis. Prentice Hall, Inc, 2012. ISBN: 0-13-215780-2.

NORTON, ROBERT L. Design of Machinery: An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines. McGraw-Hill Inc.1999.ISBN 0-04-847978-9

Anexo

Ejemplo de archivo de comandos para el software ANSYS, en este caso para el diseño de una leva con seguidor basculante con ley de movimiento de velocidad constante.

```
/PREP
K,1,32.8300,87.8671
K,2,25.9687,93.6360
K,3,18.3891,98.8442
K,4,10.1390,103.4131
K,5,1.2743,107.2685
K,6,-8.1414,110.3413
K,7,-18.0376,112.5680
K,8,-28.3369,113.8916
K,9,-38.9562,114.2625
K,10,-49.8066,113.6384
K,11,-60.7951,111.9855
K,12,-71.8245,109.2788
K,13,-82.7945,105.5021
K,14,-93.6028,100.6490
K,15,-102.0188,92.1080
K,16,-107.2793,80.4784
K,17,-111.2783,68.6859
K,18,-114.0327,56.8625
K,19,-115.5731,45.1359
K,20,-115.9427,33.6272
K,21,-115.1966,22.4507
K,22,-113.4008,11.7117
K,23,-110.6310,1.5064
K,24,-106.9714,-8.0796
K,25,-102.5135,-16.9718
K,26,-97.3548,-25.1072
K,27,-91.5972,-32.4351
K,28,-85.3458,-38.9171
K,29,-81.6291,-46.2074
K,30,-77.2913,-53.1460
K,31,-72.3652,-59.6802
K,32,-66.8883,-65.7601
K,33,-60.9024,-71.3396
K,34,-54.4530,-76.3761
K,35,-47.5892,-80.8314
K,36,-40.3632,-84.6714
K,37,-32.8300,-87.8671
K,38,-25.0469,-90.3941
K,39,-17.0733,-92.2331
K,40,-8.9697,-93.3702
K,41,-0.7978,-93.7966
K,42,7.3802,-93.5092
K,43,15.5019,-92.5102
K,44,23.5057,-90.8070
```

K,45,31.3307,-88.4128
K,46,38.9171,-85.3458
K,47,46.2074,-81.6291
K,48,53.1460,-77.2913
K,49,59.6802,-72.3652
K,50,65.7601,-66.8883
K,51,71.3396,-60.9024
K,52,76.3761,-54.4530
K,53,80.8314,-47.5892
K,54,84.6714,-40.3632
K,55,87.8671,-32.8300
K,56,90.3941,-25.0469
K,57,92.2331,-17.0733
K,58,93.3702,-8.9697
K,59,93.7966,-0.7978
K,60,93.5092,7.3802
K,61,92.5102,15.5019
K,62,90.8070,23.5057
K,63,88.4128,31.3307
K,64,85.3458,38.9171
K,65,81.6291,46.2074
K,66,77.2913,53.1460
K,67,72.3652,59.6802
K,68,66.8883,65.7601
K,69,60.9024,71.3396
K,70,54.4530,76.3761
K,71,47.5892,80.8314
K,72,40.3632,84.6714
L,1,2
L,2,3
L,3,4
L,4,5
L,5,6
L,6,7
L,7,8
L,8,9
L,9,10
L,10,11
L,11,12
L,12,13
L,13,14
L,14,15
L,15,16
L,16,17
L,17,18
L,18,19
L,19,20
L,20,21
L,21,22
L,22,23
L,23,24

L, 24, 25
L, 25, 26
L, 26, 27
L, 27, 28
L, 28, 29
L, 29, 30
L, 30, 31
L, 31, 32
L, 32, 33
L, 33, 34
L, 34, 35
L, 35, 36
L, 36, 37
L, 37, 38
L, 38, 39
L, 39, 40
L, 40, 41
L, 41, 42
L, 42, 43
L, 43, 44
L, 44, 45
L, 45, 46
L, 46, 47
L, 47, 48
L, 48, 49
L, 49, 50
L, 50, 51
L, 51, 52
L, 52, 53
L, 53, 54
L, 54, 55
L, 55, 56
L, 56, 57
L, 57, 58
L, 58, 59
L, 59, 60
L, 60, 61
L, 61, 62
L, 62, 63
L, 63, 64
L, 64, 65
L, 65, 66
L, 66, 67
L, 67, 68
L, 68, 69
L, 69, 70
L, 70, 71
L, 71, 72
L, 72, 1

Perfil diseñado a partir del archivo de comandos para el software ANSYS mostrado en este anexo.

