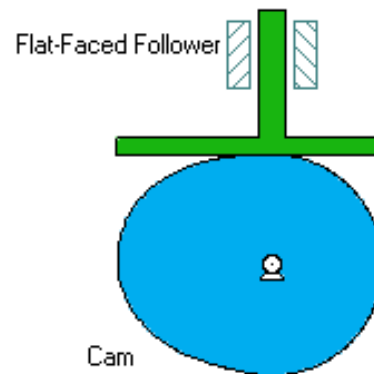
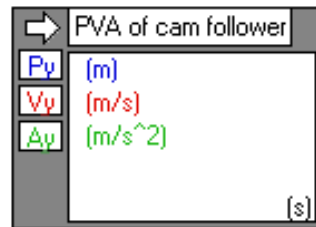




4IM-131
Capítulo 8
Diseño de levas

Introducción a Levas

- Fácil de diseñar, difícil de hacer
- Equivalente al mecanismo de cuatro barras
- Generador de funciones
- Puede generar una verdadera permanencia



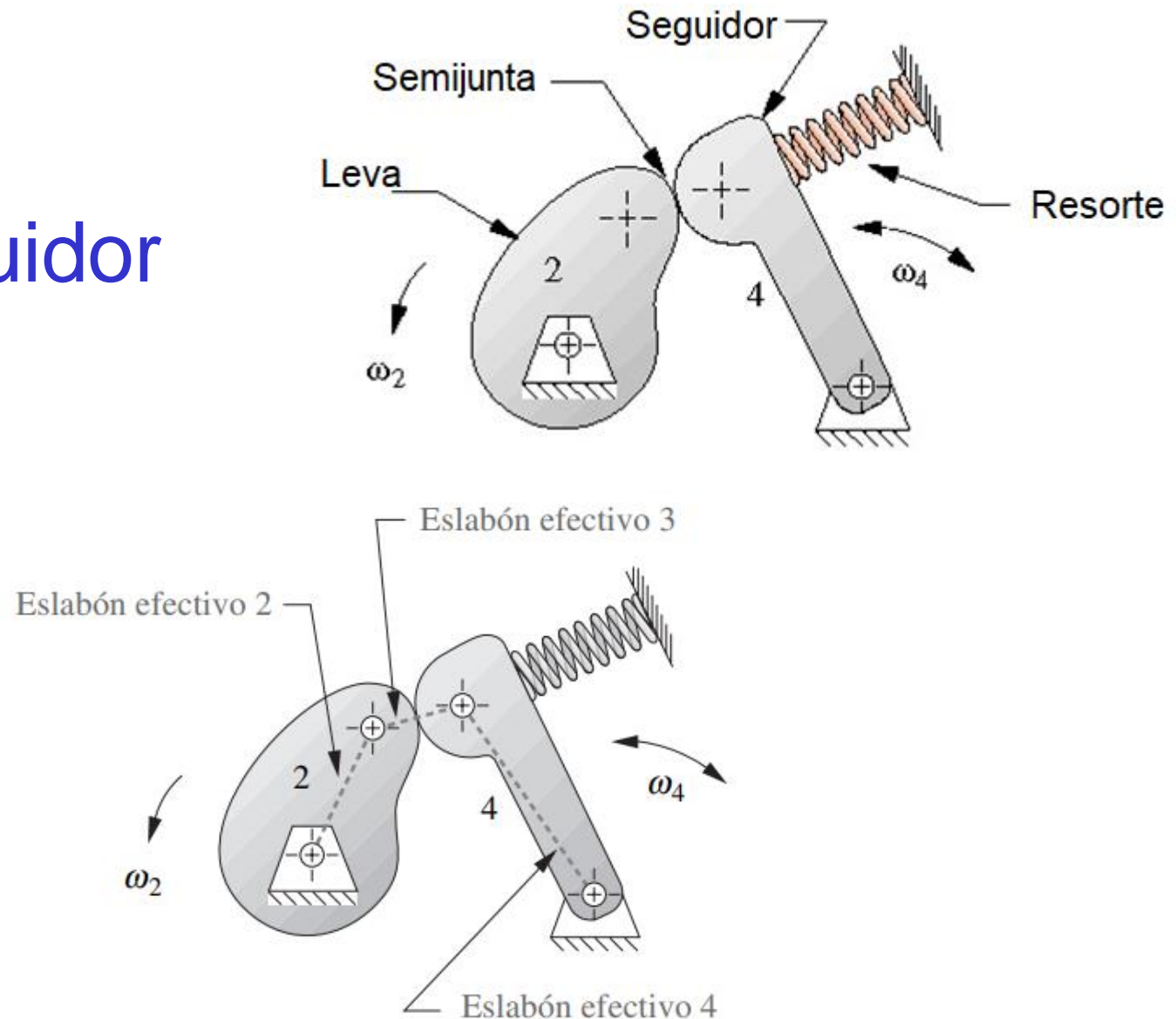
Created for "Design of Machinery, 3rd ed." by R. L. Norton and
"The Multimedia Handbook of Mechanical Devices" by S. Wang
Software copyright © 2004 by The McGraw-Hill Companies, Inc.
All rights reserved.

Terminología de levas

- Tipo de movimiento del seguidor (rotación, traslación)
- Tipo de cierre articular (fuerza, forma)
- Tipo de seguidor (rodillo, seta, plano)
- Dirección del movimiento del seguidor (radial, axial)
- Tipo de restricciones de movimiento (posición extrema crítica (CEP) y movimiento de trayectoria crítica (CPM))
- Tipo de programa de movimiento (subida-bajada (RF), subida-caída-permanencia (RFD), subida-permanencia-caída-permanencia (RDFD))

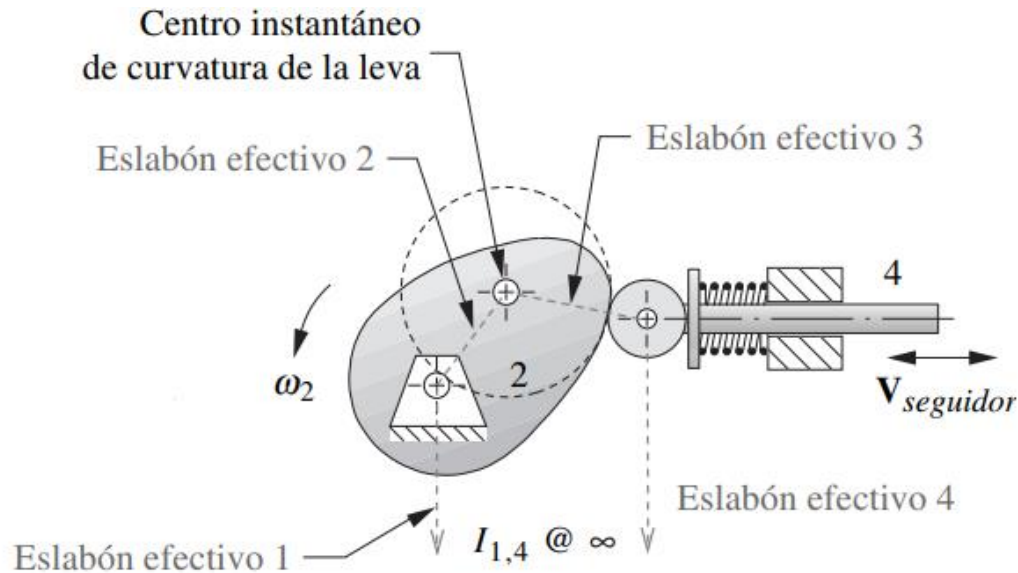
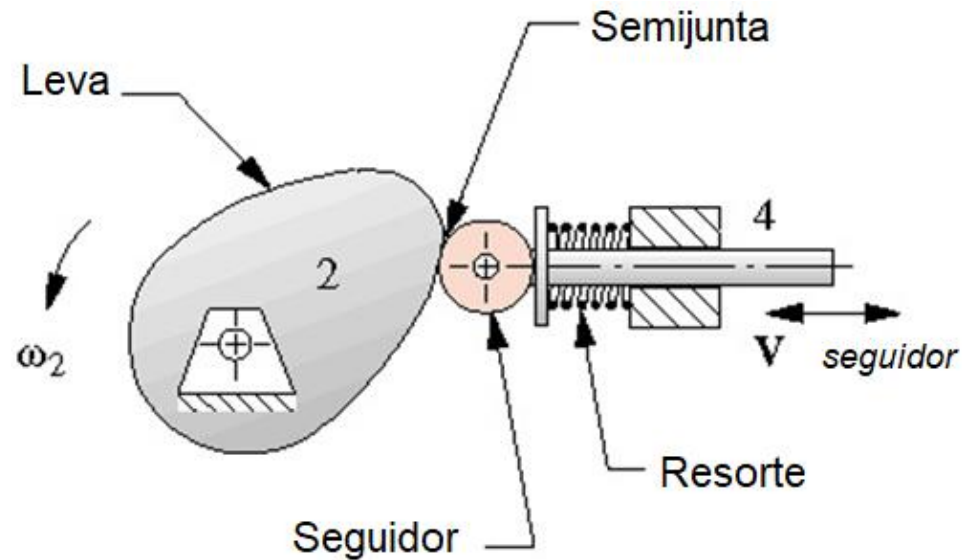
Tipo de movimiento del seguidor

Leva-seguidor oscilante



Tipo de movimiento del seguidor

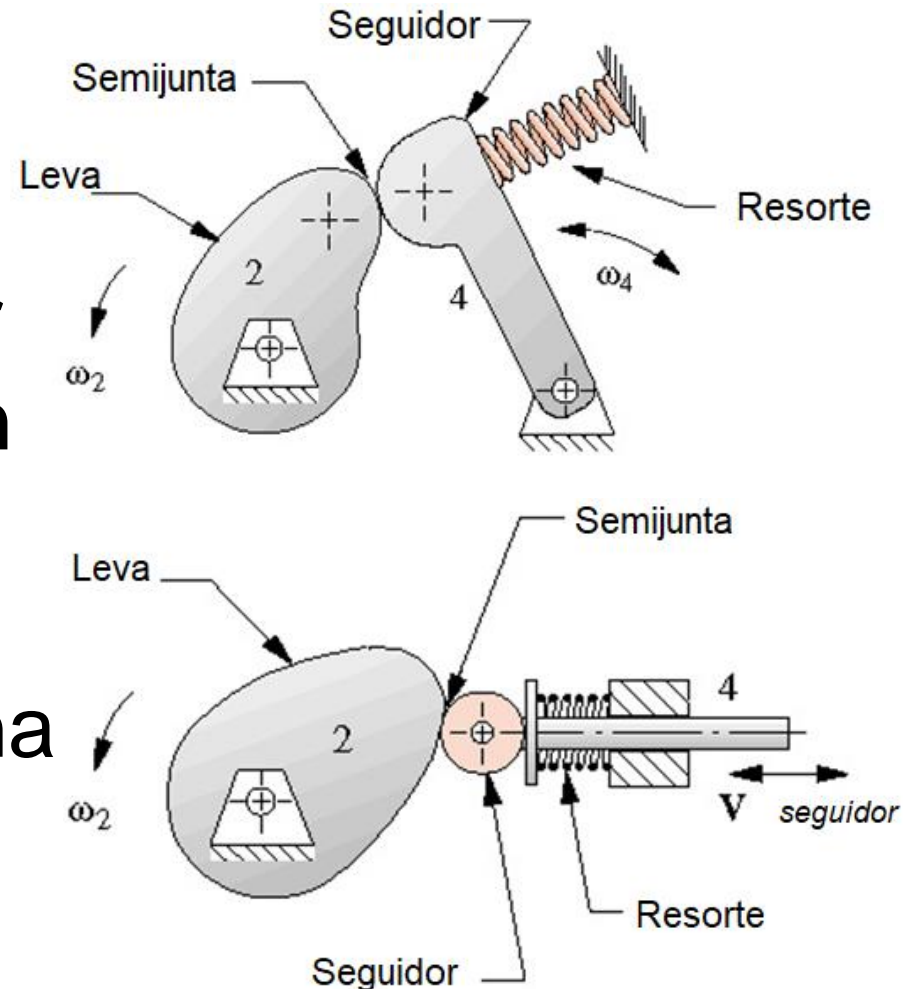
Leva-seguidor trasladante



Tipo de cierre de junta

Los cierres de fuerza o forma

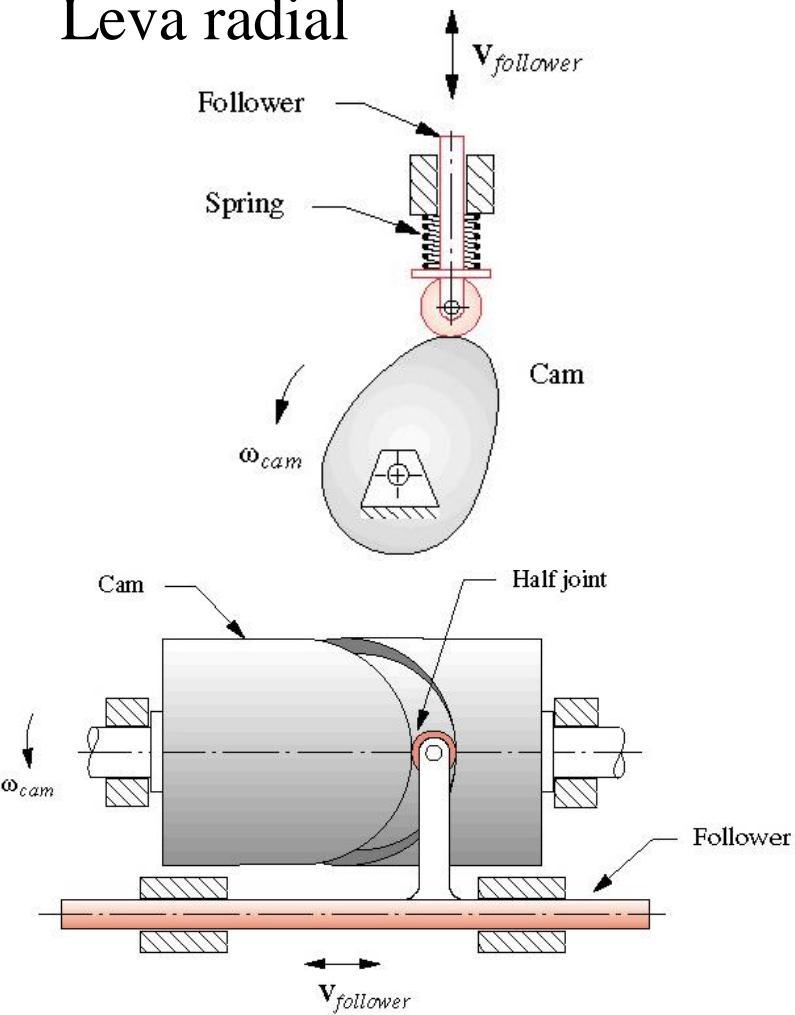
- Cierre de **fuerza** requiere una fuerza externa para mantener la leva en contacto con el seguidor
- Un **resorte** usualmente proporciona esta fuerza



Dirección del movimiento del seguidor

- Leva radial o axial

Leva radial



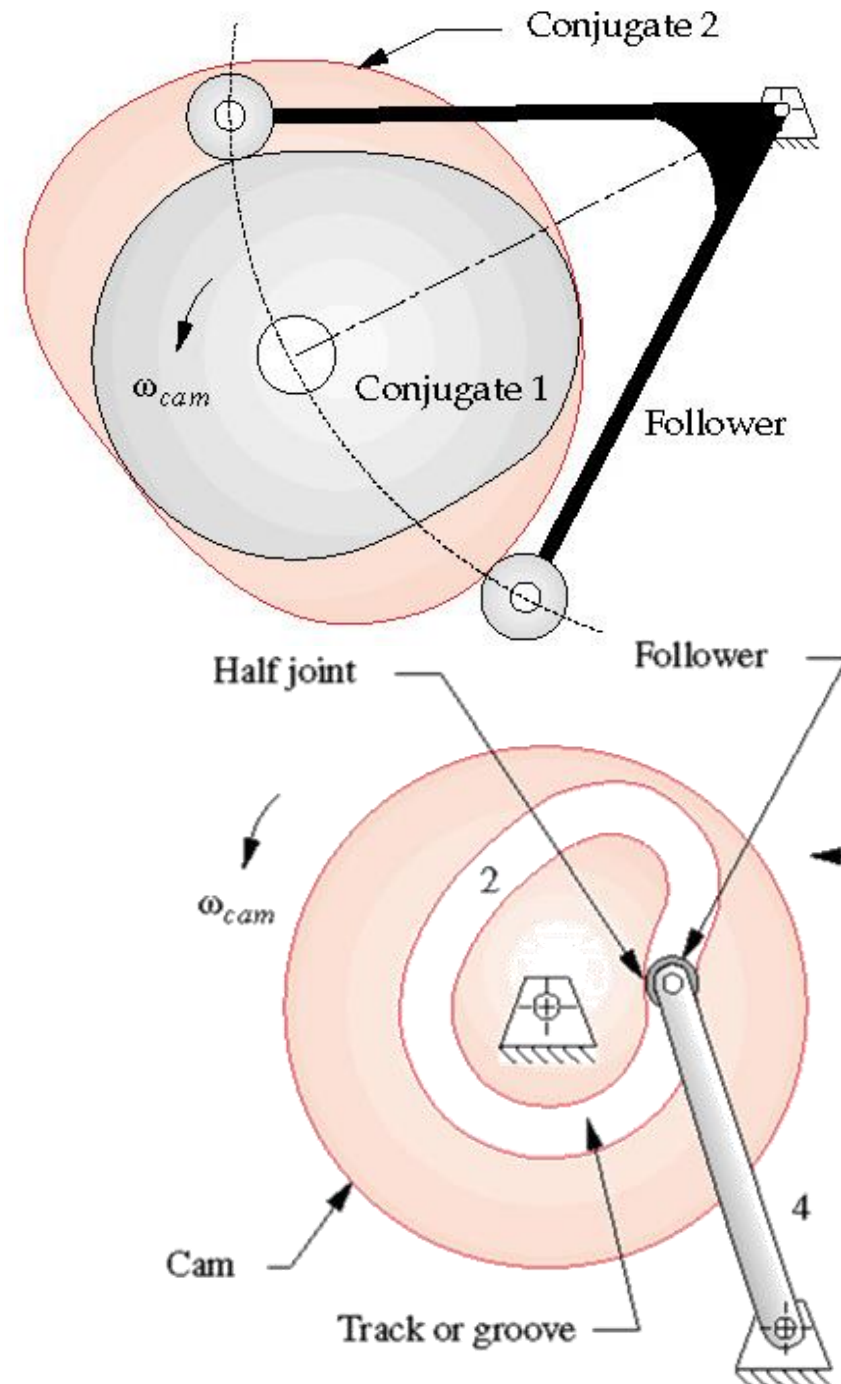
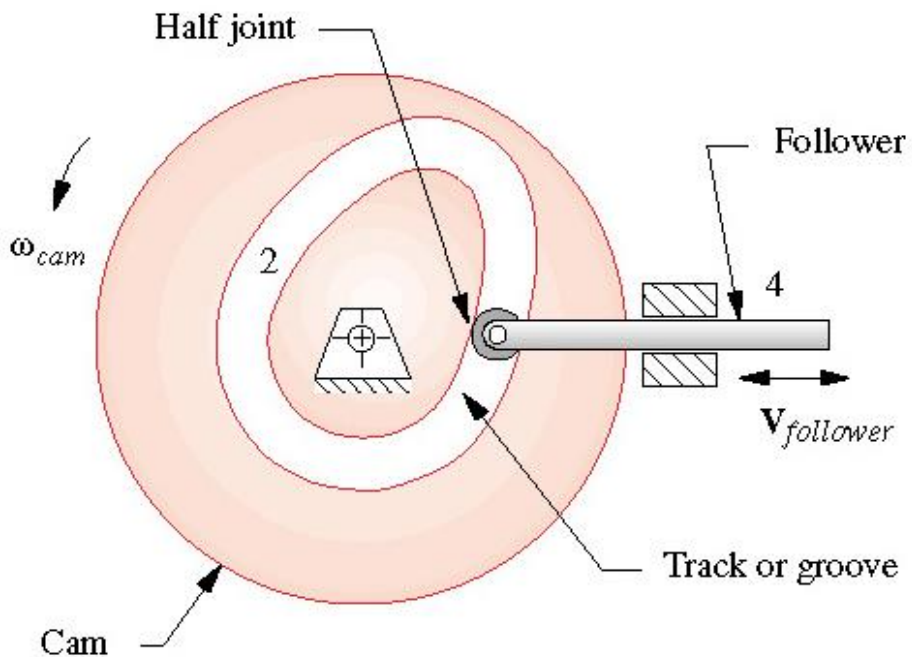
Leva axial



Created for "Design of Machinery, 3rd ed." by R. L. Norton and
"The Multimedia Handbook of Mechanical Devices" by S. Wang
Software copyright 2004 © by The McGraw-Hill Companies, Inc.
All rights reserved.

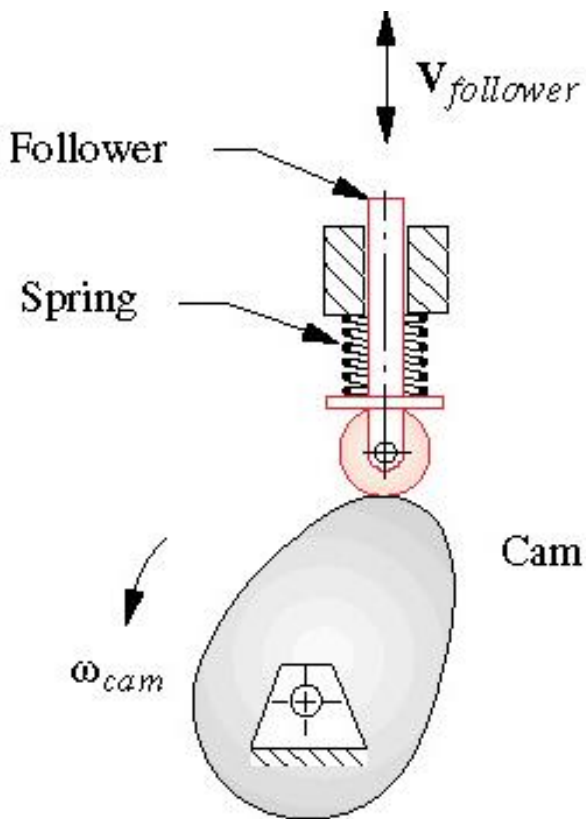
Tipo de cierre de junta

- **Forma** cierra la junta por geometría.
- Ranura fresada de la leva

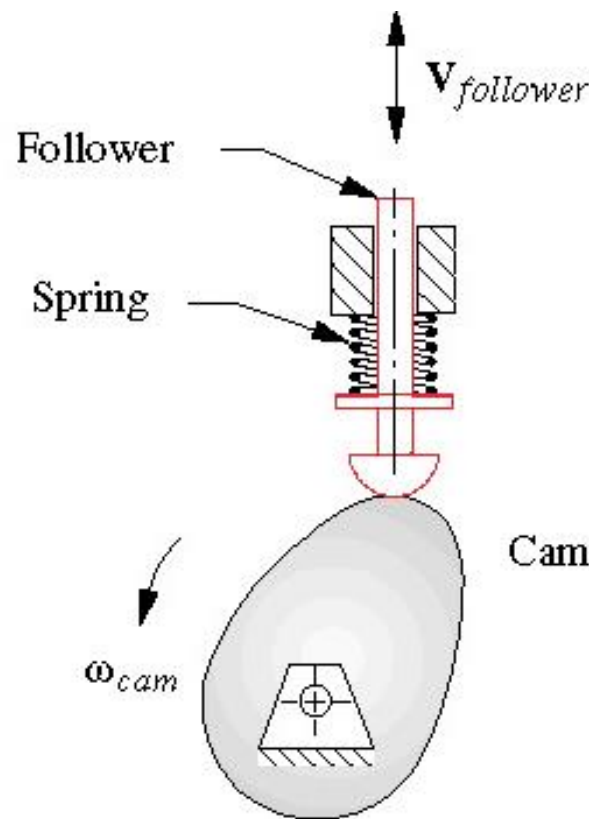


Tipo de seguidor

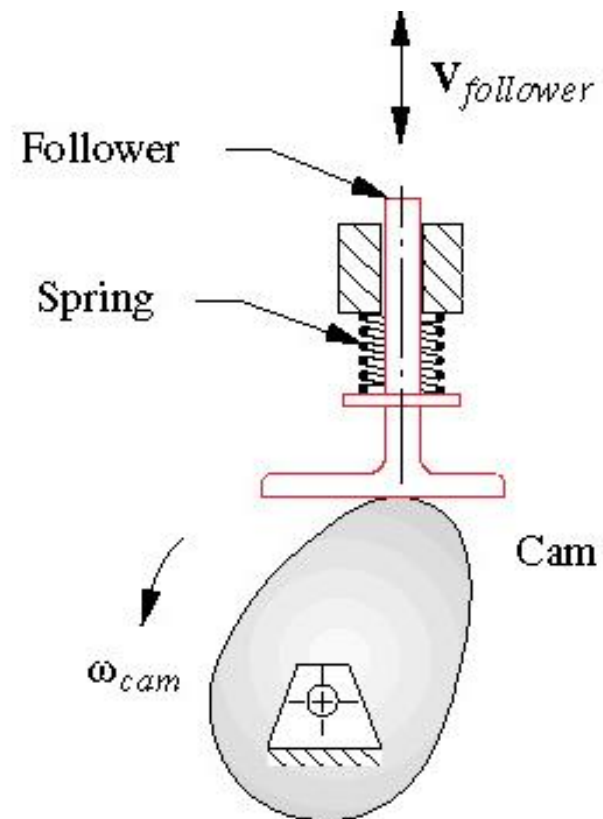
Seguidor de rodillo



Seguidor de hongo

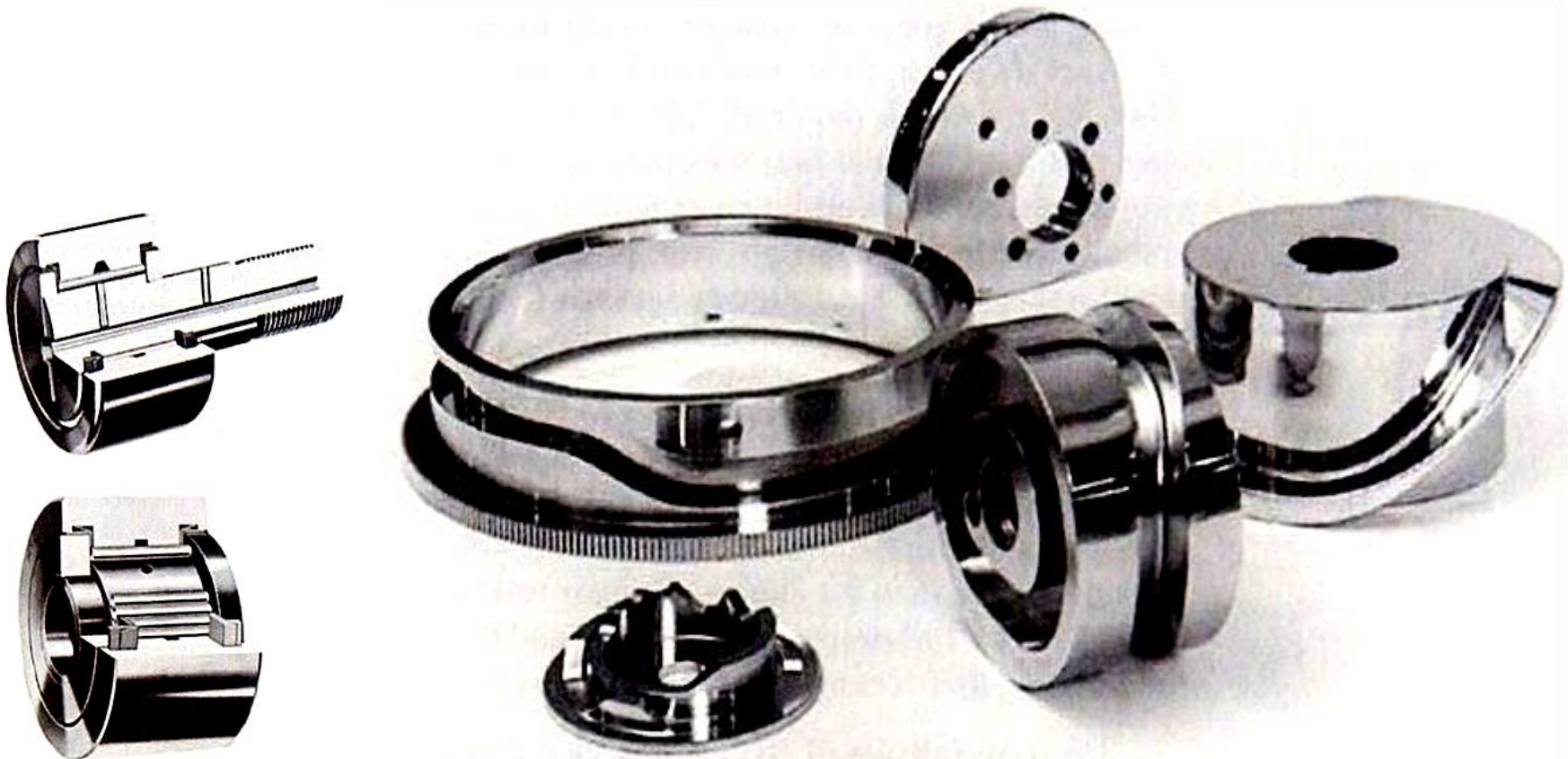


Seguidor de cara plana



Terminología de levas (revisión)

- Tipo de movimiento del seguidor (rotación, traslación)
- Tipo de cierre articular (fuerza, forma)
- Tipo de seguidor (rodillo, seta, plano)
- Dirección del movimiento del seguidor (radial, axial)



Tipo de restricciones de movimiento

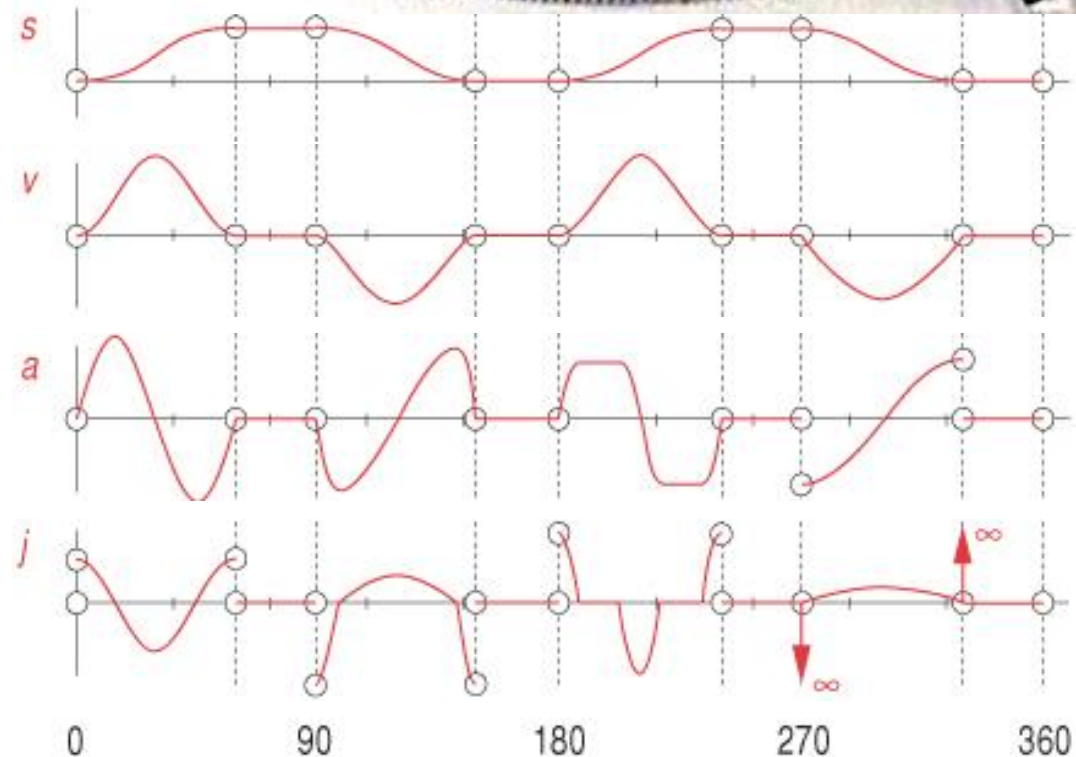
- Posición crítica extrema(CEP) – las posiciones inicial y final se definen, pero no especifican ninguna restricción en el movimiento entre las posiciones extremas
- Movimiento de trayectoria crítica(CPM) – La trayectoria o derivada se define sobre todo o parte de la leva.

Tipo de programa de movimiento

- Desde el perfil de leva CEP
- Detenimiento: período sin movimiento de salida con movimiento de entrada.
- Ninguno detenimiento (RF): sin demora (piense en usar un balancín de manivela)
- Un detenimiento (RFD), subida-bajada-detenimiento
- Más de un detenimiento (RDFD) ,subida-detenimiento-bajada-detenimiento

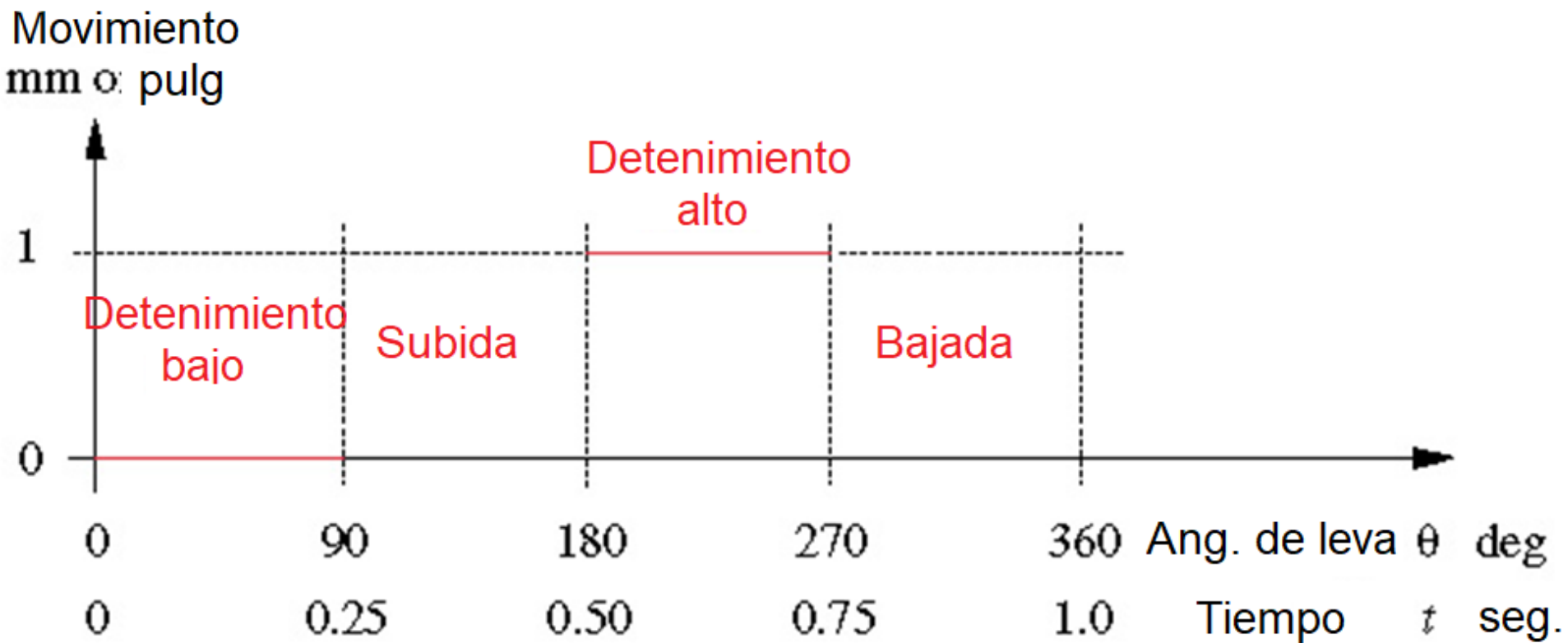
DIAGRAMAS S V A J

- **Desenrollar la leva**
- Grafique la (s) posición (es), la velocidad (v), la aceleración (a) y el sacudimiento (j) versus el ángulo de la leva
- Base para el diseño de levas



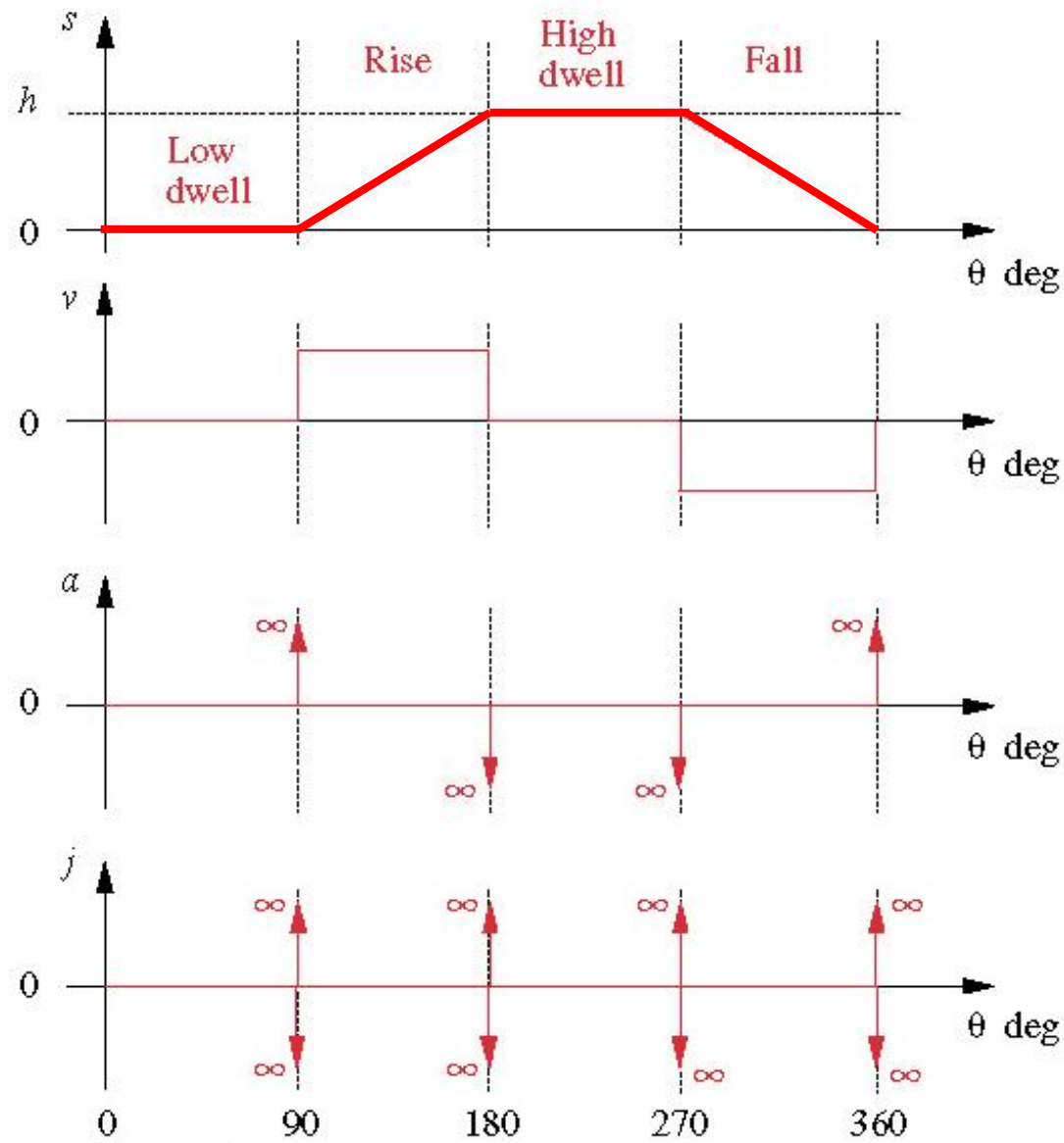
RDFD DISEÑO DE LEVAS

- Movimiento entre dos detenimientos



RDFD, “mal” diseño de leva

- Conecta puntos usando líneas rectas
- Velocidad constante
- ☹ Aceleración y sacudimiento infinitos
- ☹ No es un programa de levas aceptable



Ley fundamental de diseño de levas

Cualquier leva diseñada para funcionar a velocidades que no sean muy bajas debe diseñarse con las siguientes restricciones:

- La función de la leva debe ser continua a través de la primera y segunda derivadas de desplazamiento en todo el intervalo. (360°).

Corolario:

- El sacudimiento debe ser finito en todo el intervalo (360°).

RDFD Diseño de leva inexperto

Movimiento armónico simple

- La función seno tiene derivadas continuas

$$s = \frac{h}{2} \left[1 - \cos\left(\frac{\pi\theta}{\beta}\right) \right]$$

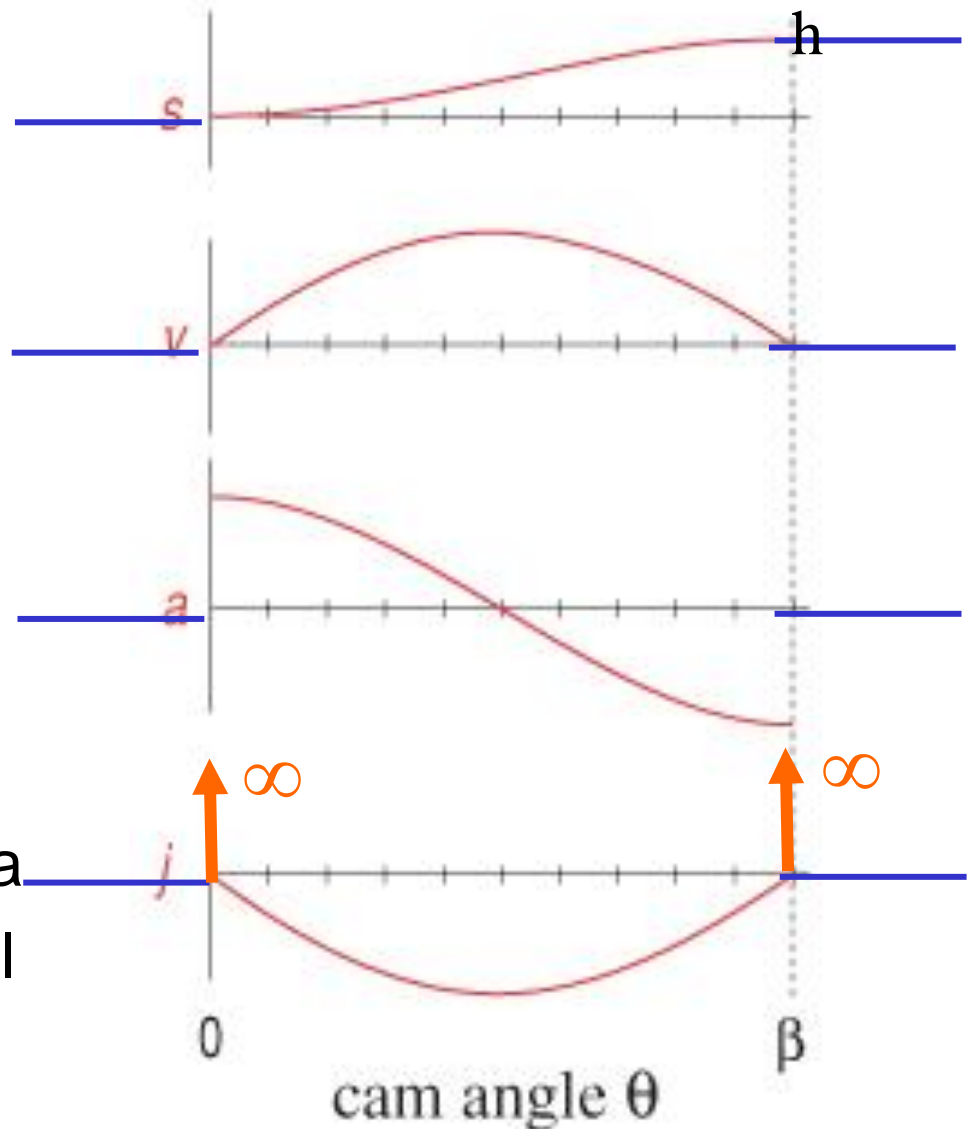
$$v = \frac{ds}{d\theta} = \frac{h\pi}{2\beta} \sin\left(\frac{\pi\theta}{\beta}\right)$$

$$a = \frac{dv}{d\theta} = \frac{h\pi^2}{2\beta^2} \cos\left(\frac{\pi\theta}{\beta}\right)$$

$$j = \frac{da}{d\theta} = \frac{-h\pi^3}{2\beta^3} \sin\left(\frac{\pi\theta}{\beta}\right)$$

☹ La aceleración es discontinua

☹ **Sacudimiento es infinito** (mal diseño de leva)



RDFD Desplazamiento cicloidal

Empieza con aceleración e integra:

$$a = C \sin\left(\frac{2\pi\theta}{\beta}\right)$$

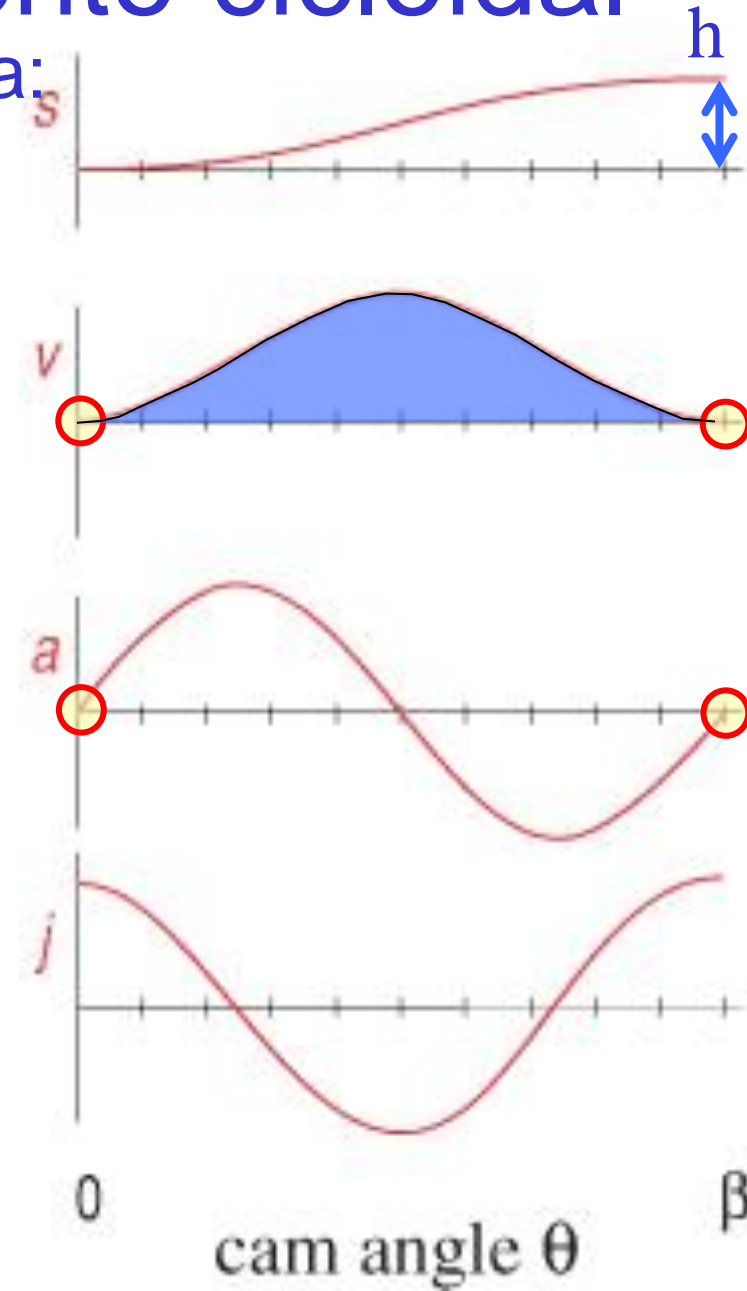
$$v = -\frac{C\beta}{2\pi} \cos\left(\frac{2\pi\theta}{\beta}\right) + k_1$$

Como $v = 0$ en $\theta = 0$ así:

$$k_1 = \frac{C\beta}{2\pi}$$

$$v = \frac{C\beta}{2\pi} \left[1 - \cos\left(\frac{2\pi\theta}{\beta}\right) \right]$$

$$s = \frac{C\beta}{2\pi} \theta - C \left(\frac{\beta}{2\pi} \right)^2 \sin\left(\frac{2\pi\theta}{\beta}\right) + k_2$$

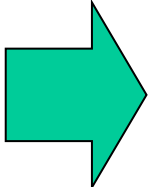


RDFD Desplazamiento cicloidal

$$s = \frac{C\beta}{2\pi}\theta - C\left(\frac{\beta}{2\pi}\right)^2 \sin\left(\frac{2\pi\theta}{\beta}\right) + k_2$$

- Como $s=0$ en $\theta=0$, $k_2=0$
- Como $s=h$ en $\theta=\beta$,

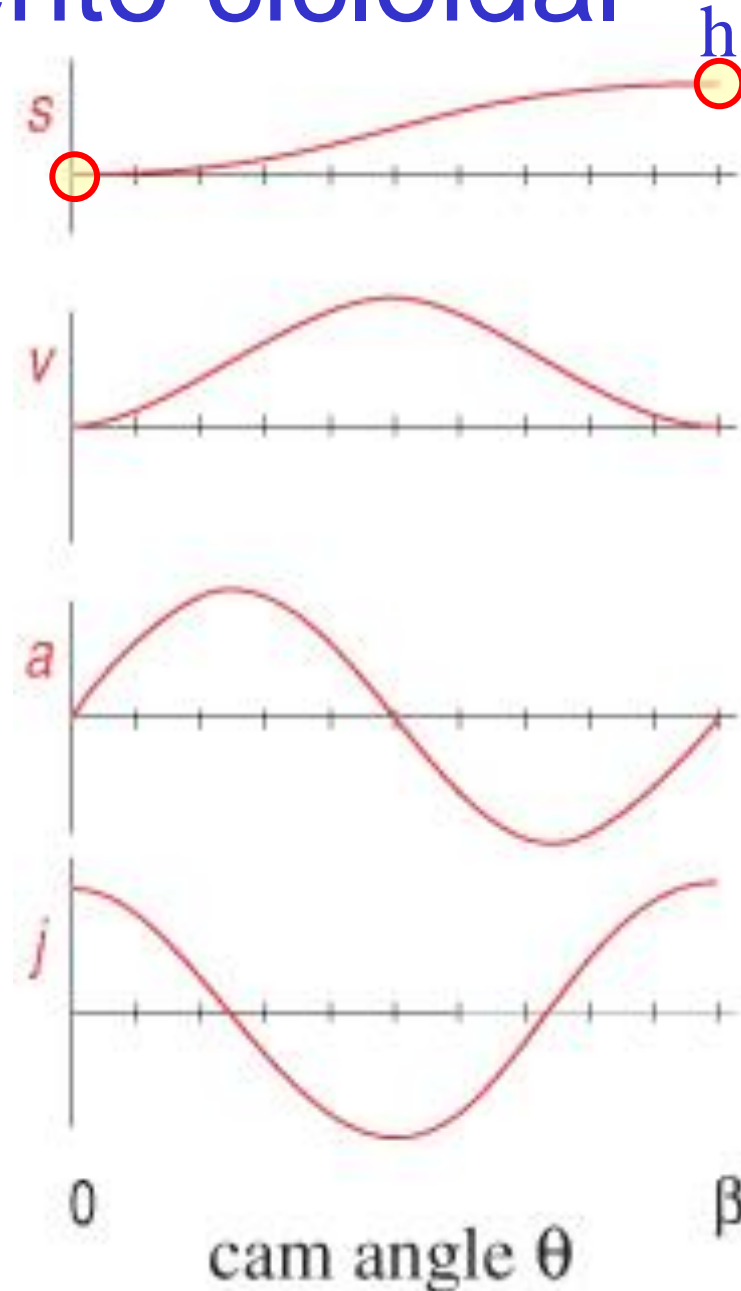
$$h = \left(\frac{C\beta}{2\pi}\right)\beta \Rightarrow C = \frac{2\pi h}{\beta^2}$$


$$s = \frac{h}{\beta}\theta - \frac{h}{2\pi}\sin\left(\frac{2\pi\theta}{\beta}\right)$$

$$v = \frac{h}{\beta}\left(1 - \cos\left(\frac{2\pi\theta}{\beta}\right)\right)$$

$$a = \frac{2\pi h}{\beta^2}\sin\left(\frac{2\pi\theta}{\beta}\right)$$

$$j = \frac{h(2\pi)^2}{\beta^3}\cos\left(\frac{2\pi\theta}{\beta}\right)$$



RDFD Desplazamiento cicloidal

$$s = \frac{h}{\beta} \theta - \frac{h}{2\pi} \sin\left(\frac{2\pi\theta}{\beta}\right)$$

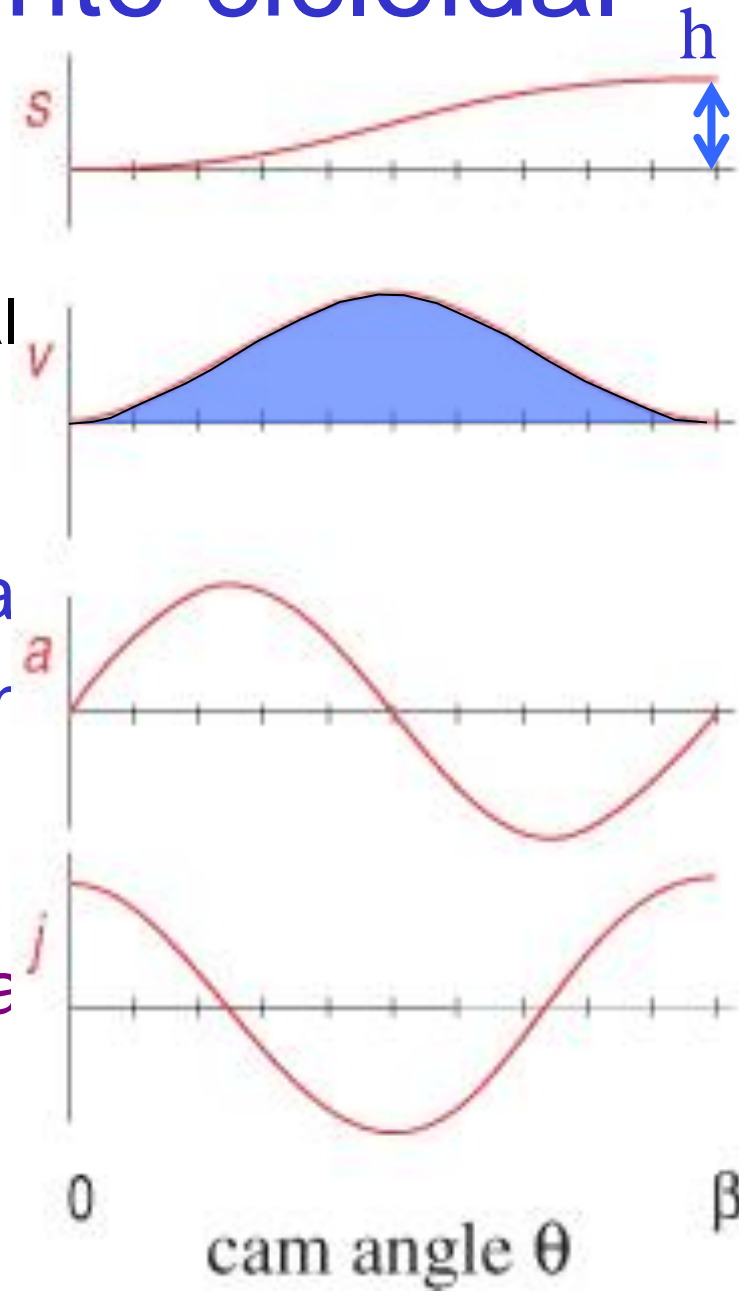
Ecuación para una cicloide.

La leva tiene un desplazamiento cicloidal o una aceleración sinusoidal

☺ Diseño de leva válido (sigue la ley fundamental del diseño de leva)

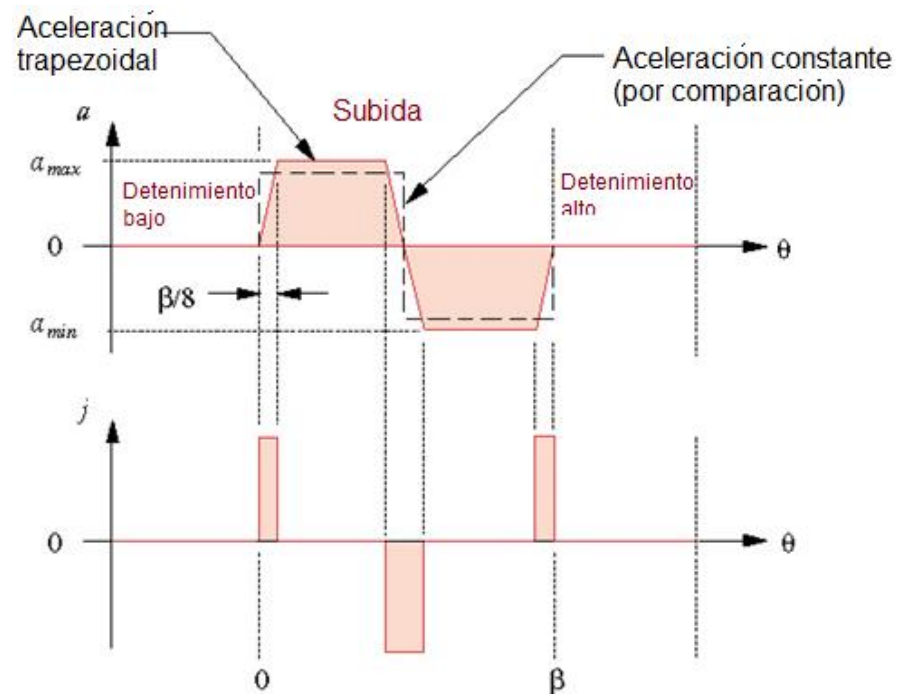
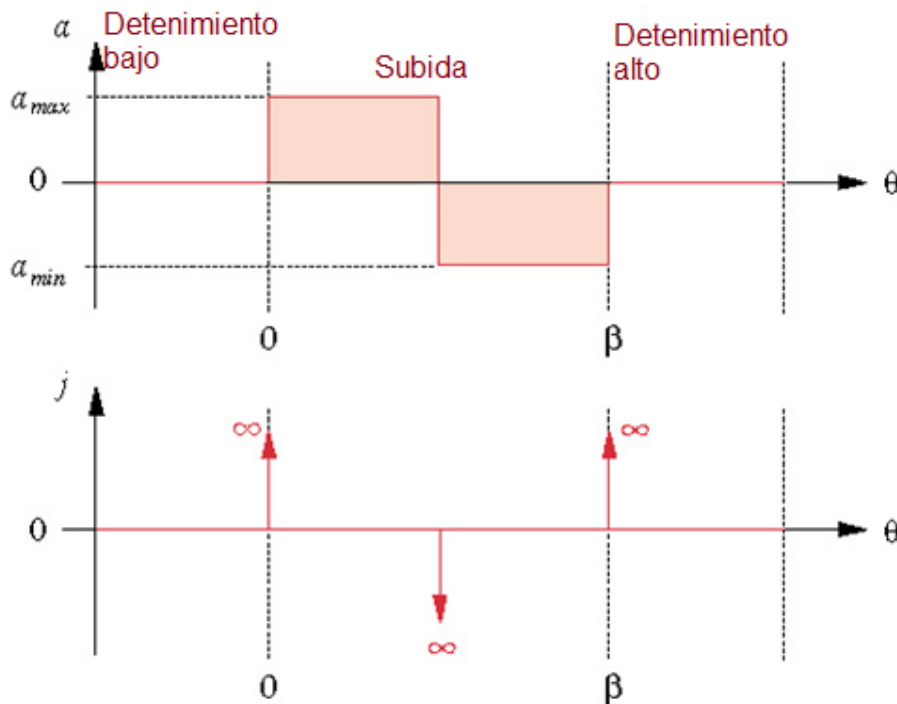
☺ La aceleración y la velocidad son más altas que otras funciones.

El procedimiento general para el diseño es comenzar con una curva continua para la aceleración e integración.



RDFD Leva, Trapezoidal

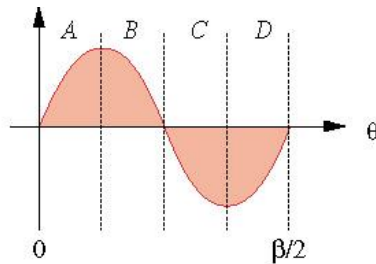
- La aceleración constante da una sacudida infinito.
- La aceleración trapezoidal da una sacudida finita, pero la aceleración es mayor.



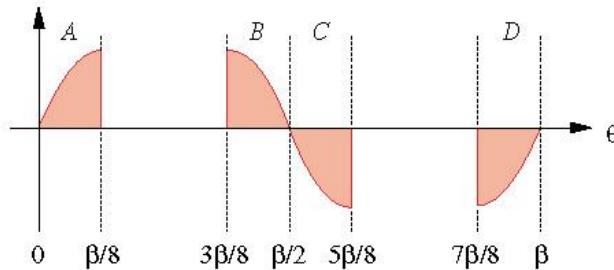
RDFD, Trapezoidal modificada.

- Combinación de aceleración sinusoidal y constante.
- Necesita integrarse para obtener la magnitud.

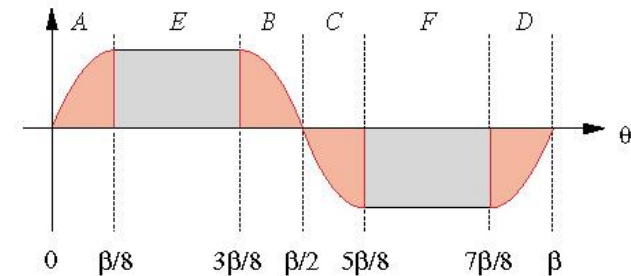
(a) Take a sine wave



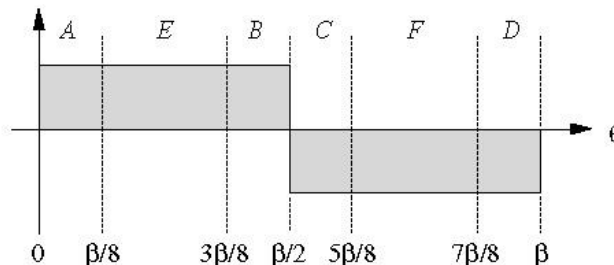
(b) Split the sine wave apart



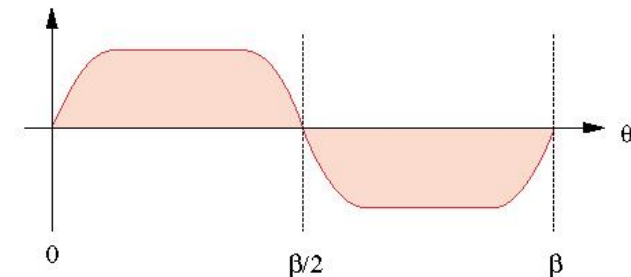
(d) Combine the two



(c) Take a constant acceleration square wave

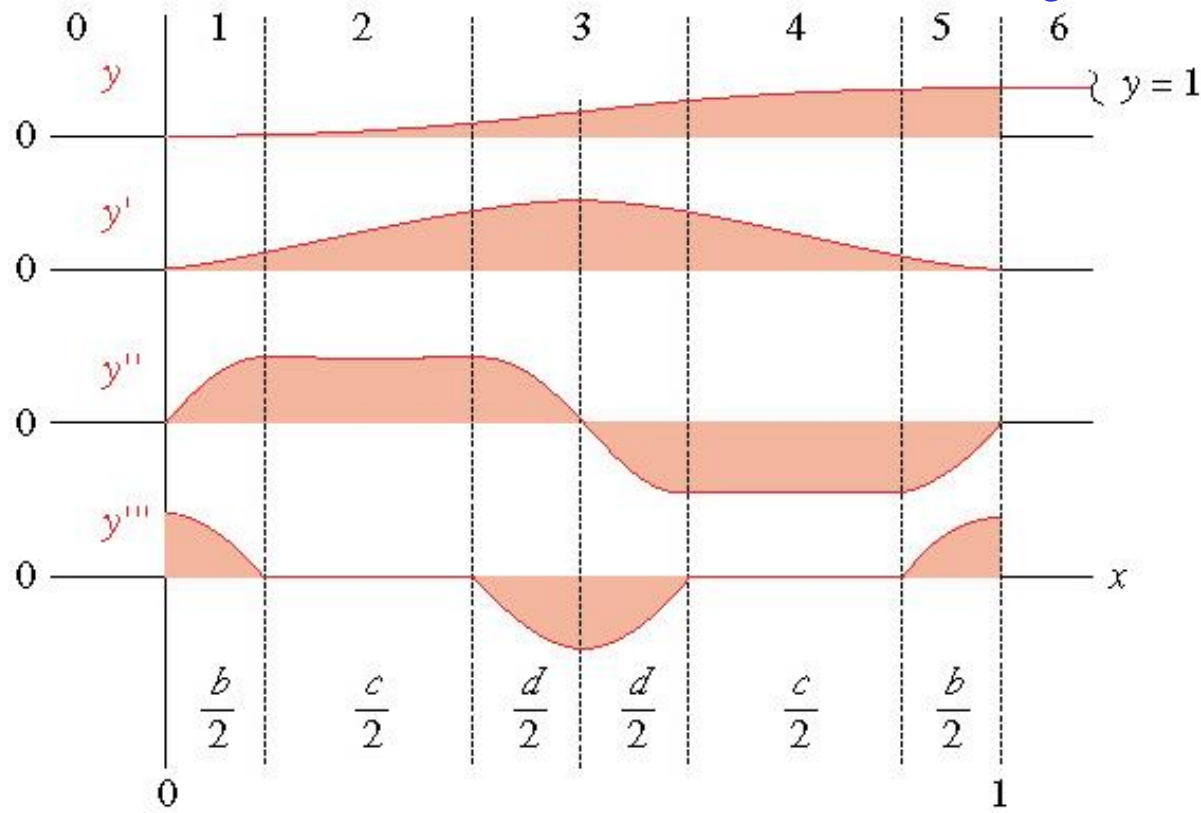


(e) Modified trapezoidal acceleration



RDFD, Trapezoidal modificada

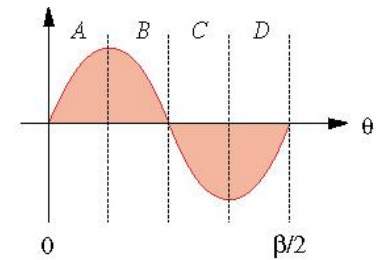
- Después de integrar, obtenemos las siguientes curvas
- Tiene la magnitud más baja de aceleración máxima de las funciones de leva estándar(fuerzas más bajas)



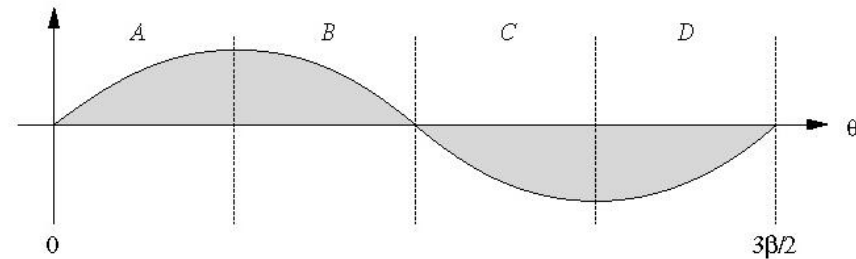
RDFD Senoidal modificada

- Combinación de una función sinusoidal de baja y alta frecuencia
- Tiene la velocidad máxima más baja (energía cinética más baja)

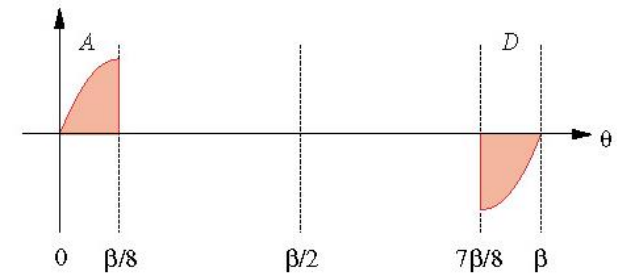
(a) Sine wave #1 of period $\beta/2$



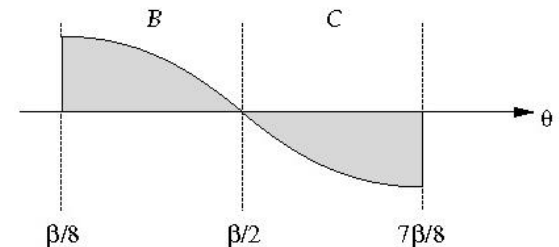
(b) Sine wave #2 of period $3\beta/2$



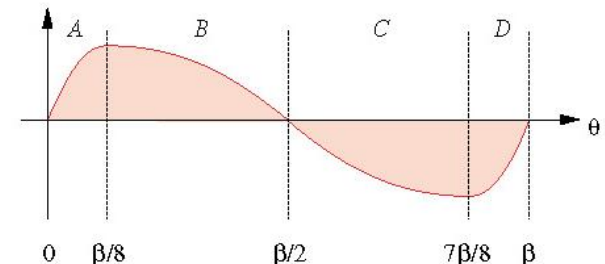
(c) Take 1st and 4th quarters of #1



(d) Take 2nd and 3rd quarters of #2

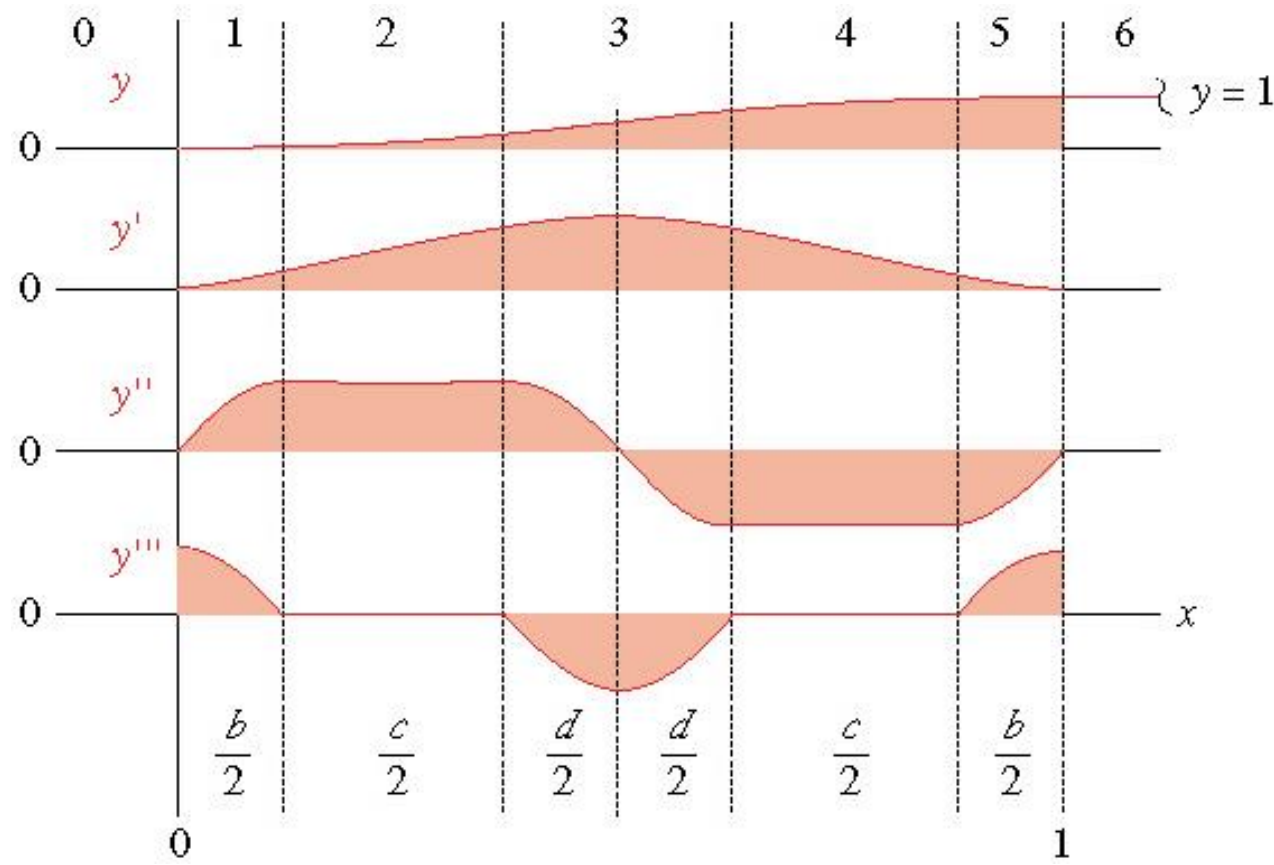


(e) Combine to get modified sine



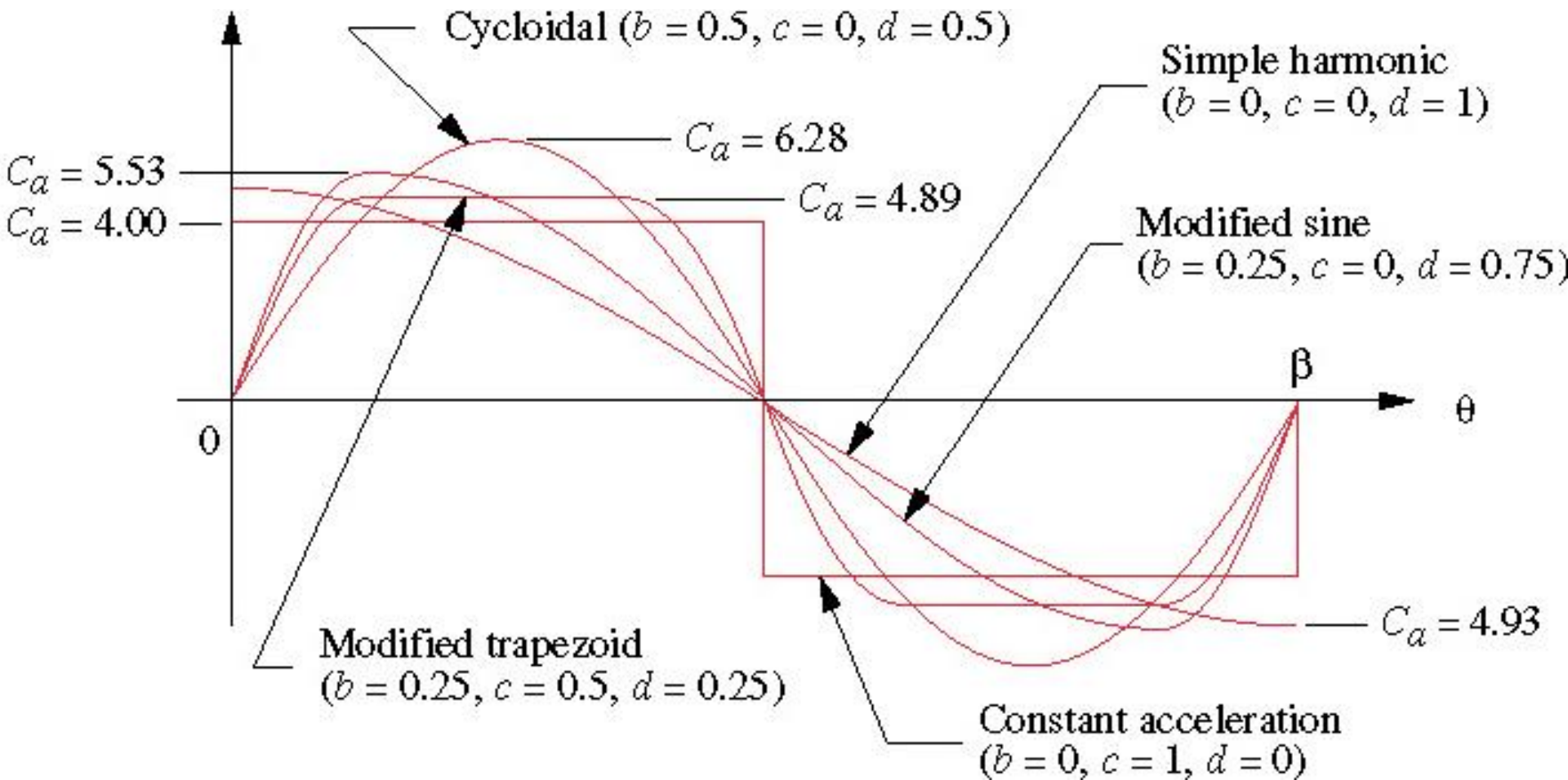
RDFD Familia SCCA de funciones de doble detenimiento

Las funciones de leva discutidas hasta ahora pertenecen a la familia SCCA (Seno-Constante-Coseno-Aceleración)



RDFD Familia SCCA de funciones de doble detenimiento

- Comparación de aceleraciones en la familia SCCA
- Todos son una combinación de seno, constante,



Funciones polinomiales

- También podemos elegir polinomios para funciones de levas.
- Forma general:

$$s = C_0 + C_1x + C_2x^2 + C_3x^3 + C_4x^4 + \cdots + C_nx^n$$

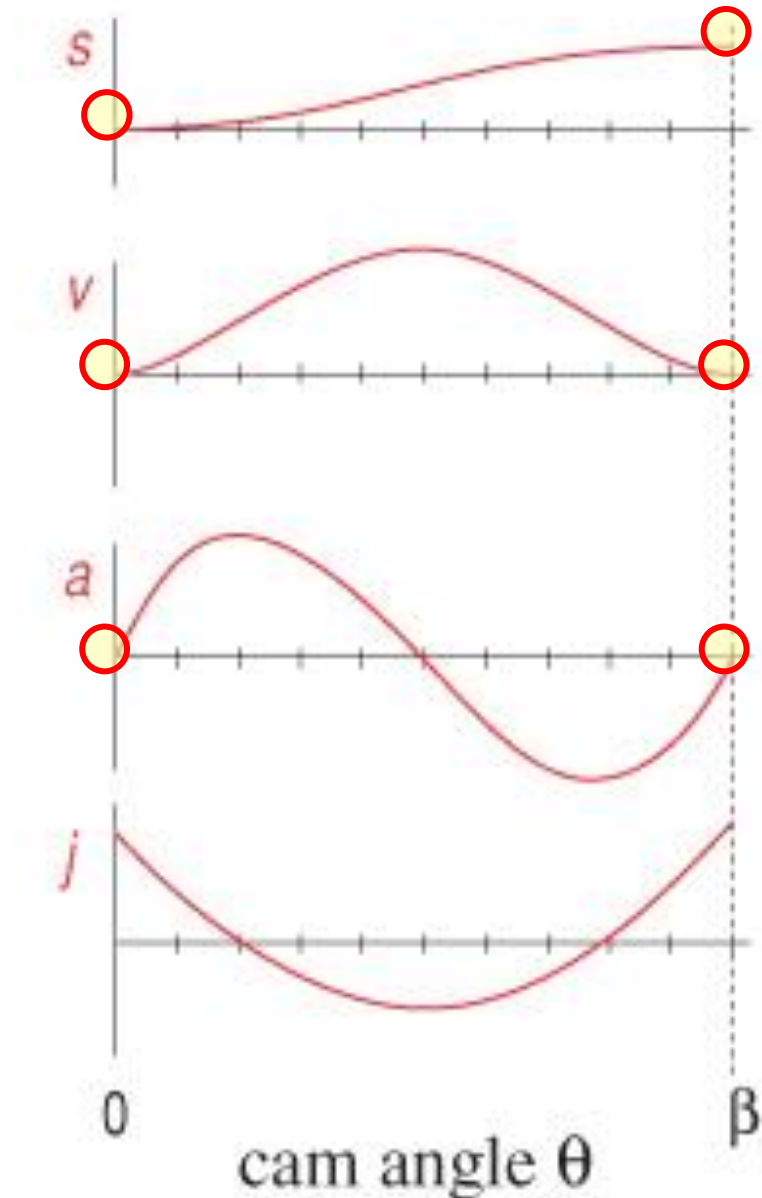
donde $x = \theta/\beta$ o t

- Elija el número de condiciones de frontera (BC) para satisfacer la ley fundamental del diseño de levas

Polinomio 3-4-5

- Condiciones de frontera
 - @ $\theta=0$, $s=0, v=0, a=0$
 - @ $\theta=\beta$, $s=h, v=0, a=0$
- Seis condiciones de frontera, así que ordene 5 términos desde C_0

$$s = C_0 + C_1\left(\frac{\theta}{\beta}\right) + C_2\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^2 + C_3\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^3 + C_4\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^4 + C_5\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^5$$

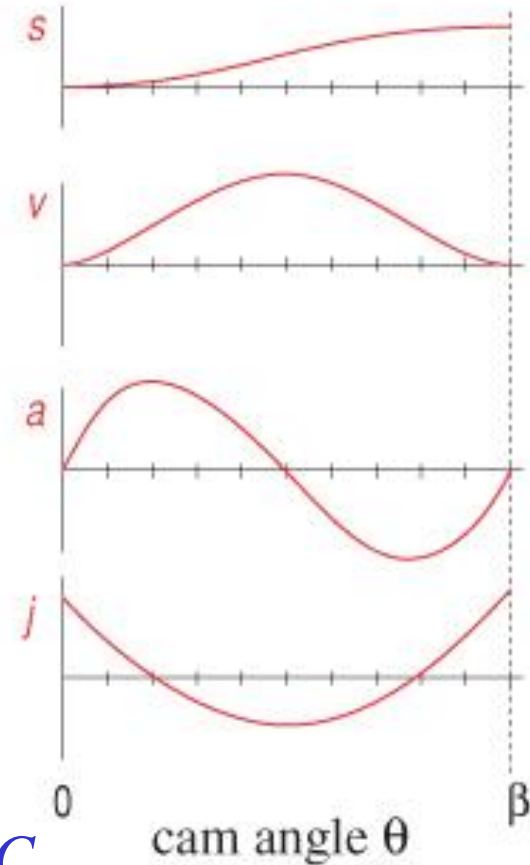


Polinomio 3-4-5

$$s = C_0 + C_1 \left(\frac{\theta}{\beta} \right) + C_2 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 + C_3 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 + C_4 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 + C_5 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^5$$

$$v = \frac{1}{\beta} \left[C_1 + 2C_2 \left(\frac{\theta}{\beta} \right) + 3C_3 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 + 4C_4 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 + 5C_5 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 \right]$$

$$a = \frac{1}{\beta^2} \left[2C_2 + 6C_3 \left(\frac{\theta}{\beta} \right) + 12C_4 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 + 20C_5 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 \right]$$



@ $\theta=0$, $s=0=C_0$ $v=0=C_1/\beta$ $a=0=2C_2/\beta^2$
 $C_0=0$ $C_1=0$ $C_2=0$

@ $\theta=\beta$, $s=h=C_3+C_4+C_5$ $v=0=2C_3+3C_4+5C_5$
 $a=0=6C_3+12C_4+20C_5$

*Resolver las 3 ecuaciones
para obtener*

$$s = h \left[10 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 - 15 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 + 6 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^5 \right]$$

Polinomio 3-4-5 y 4-5-6-7

- Polinomio 3-4-5
 - Similar en forma a cicloidal
 - Sacudida discontinua

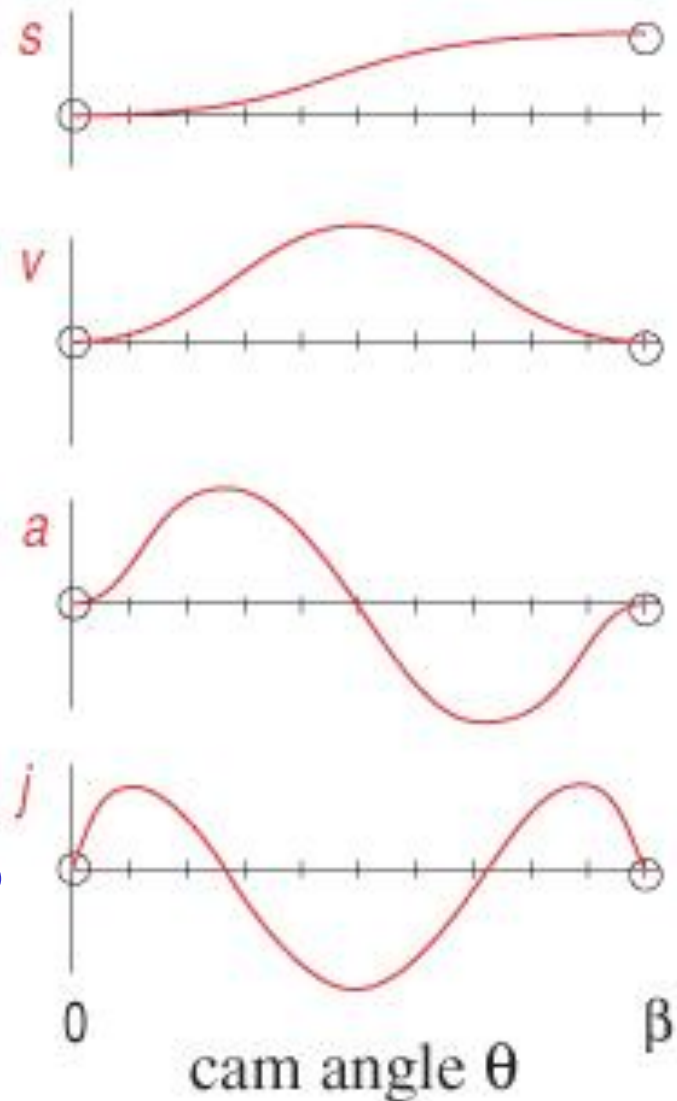
$$s = h \left[10 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 - 15 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 + 6 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^5 \right]$$

- Polinomio 4-5-6-7 : establecer la sacudida en en cero para 0 y β

$$s = h \left[35 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 - 84 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^5 + 70 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^6 - 20 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^7 \right]$$

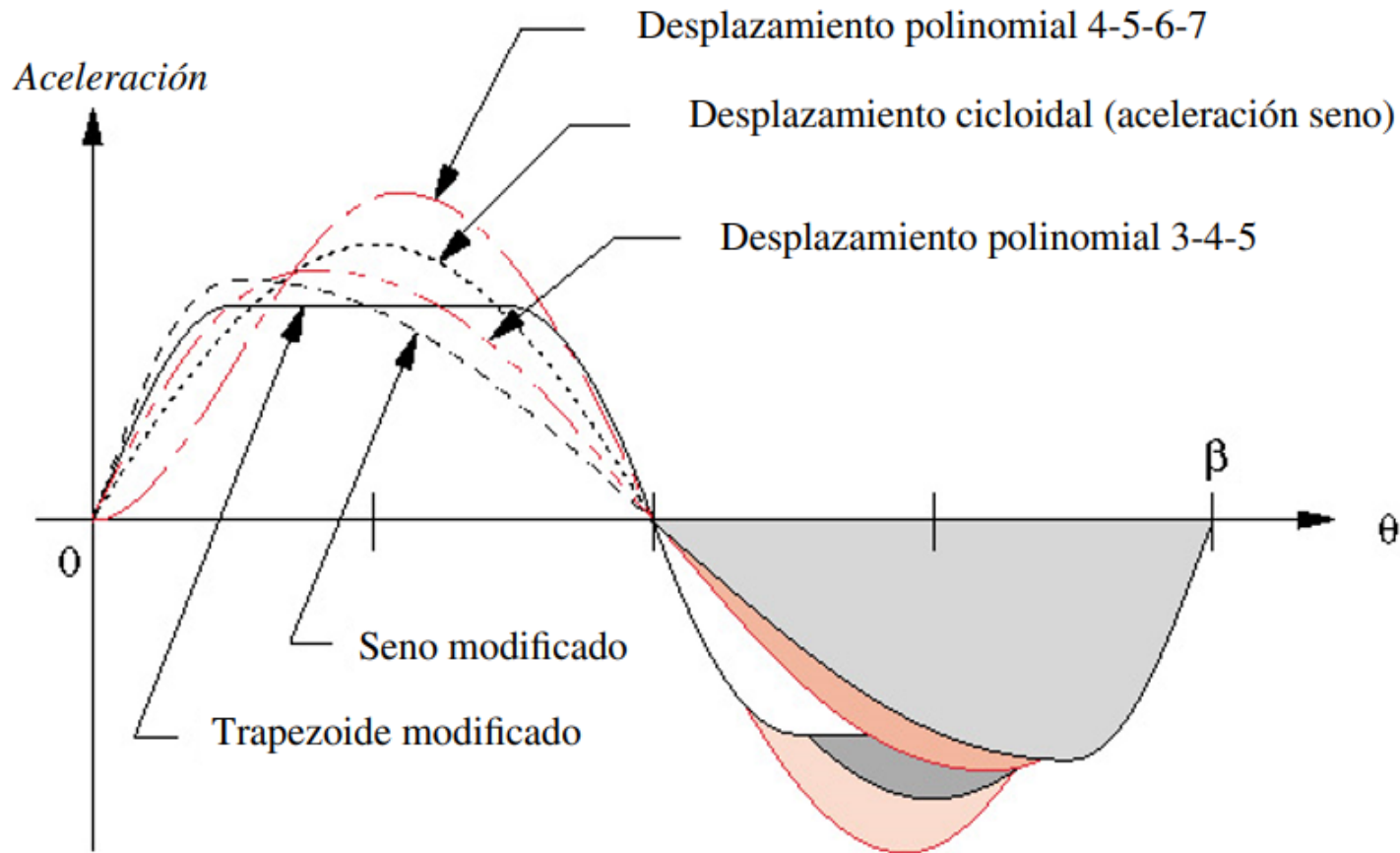
- Tiene sacudidas continuas, pero todo lo demás es más grande

Polinomio 4-5-6-7



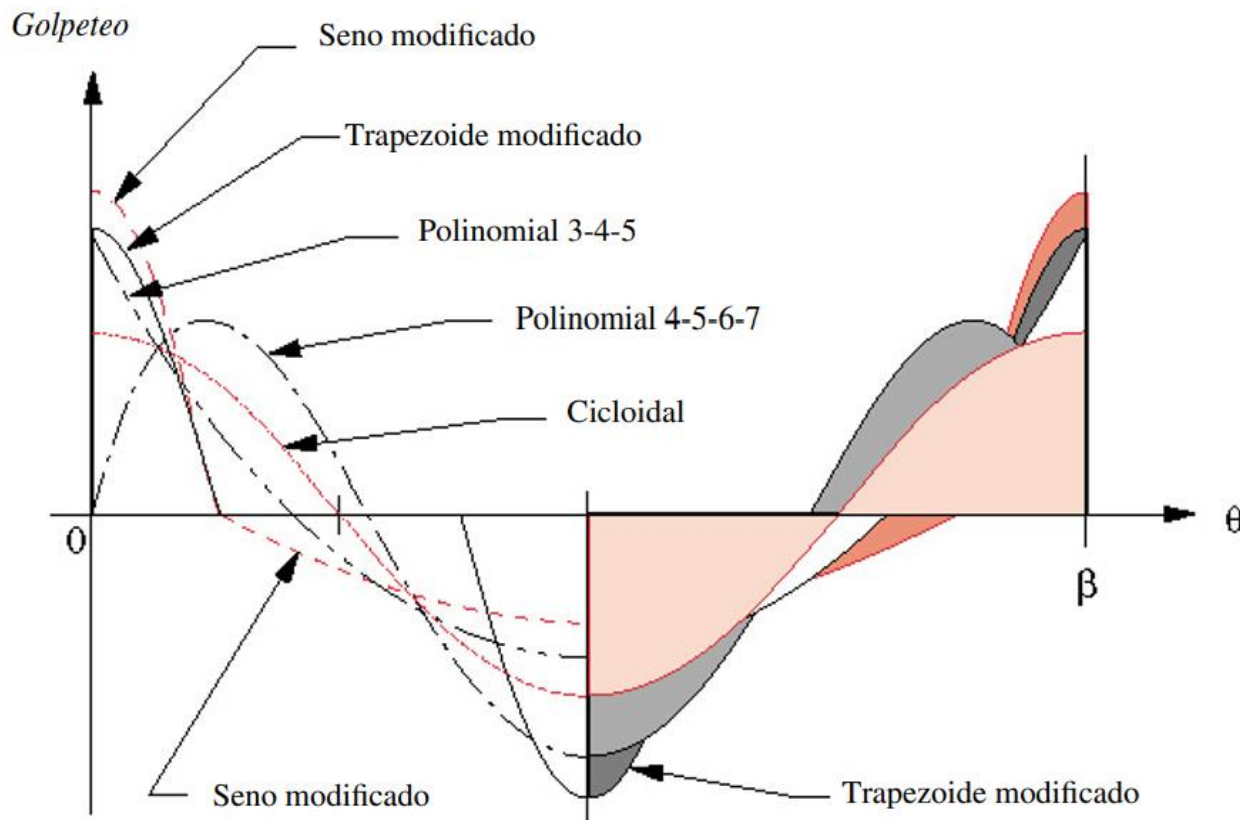
Comparación de aceleración

- Trapezoidal modificado es la mejor, seguido de seno modificado y 3-4-5
- Las bajas aceleraciones implican bajas fuerzas



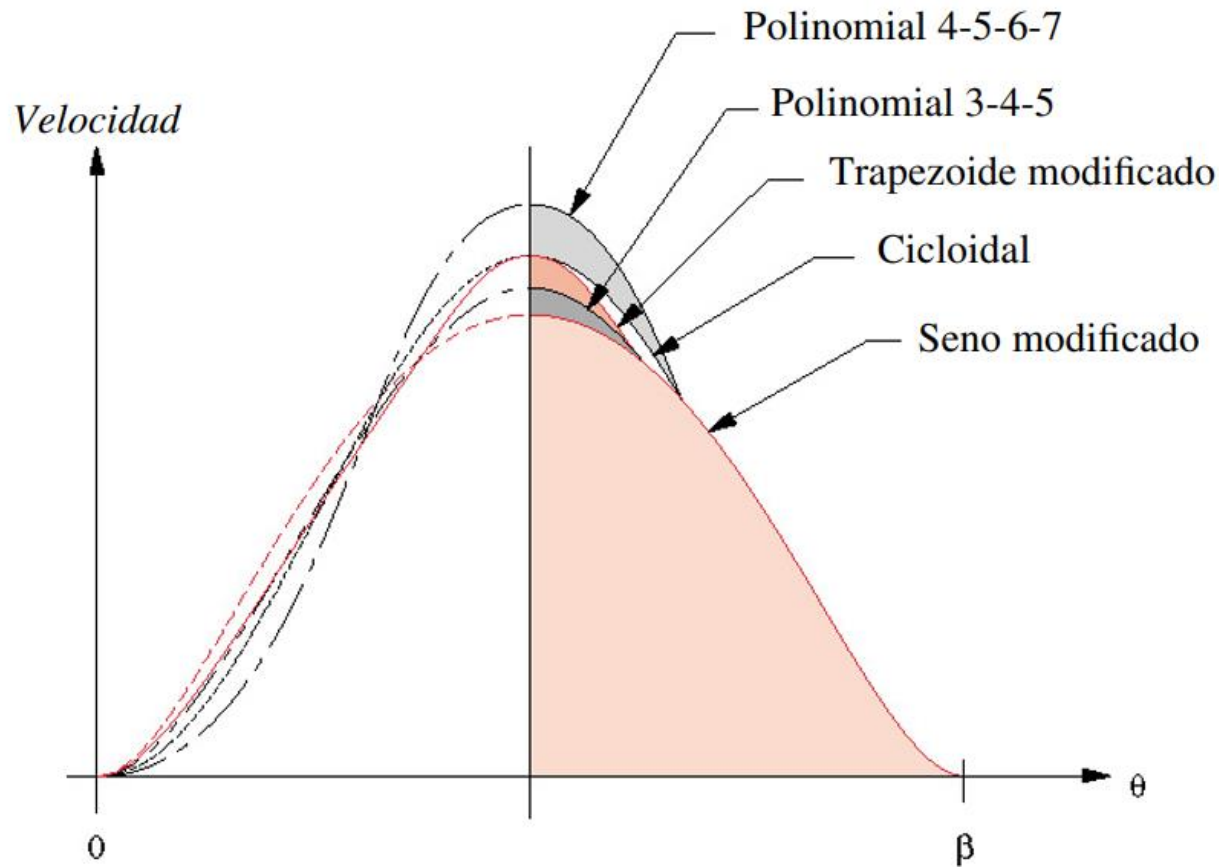
Comparación de sacudida

- El cicloidal es el más bajo, seguido por el polinomio 4-5-6-7 y el polinomio 3-4-5
- La sacudida baja implica vibraciones más bajas



Comparación de Velocidad

- El seno modificado es el mejor, seguido del polinomio 3-4-5
- Baja velocidad significa baja energía cinética



Comparación de Posición

- No hay mucha diferencia en las curvas de posición.
- Los pequeños cambios de posición pueden dar lugar a grandes cambios de aceleración.

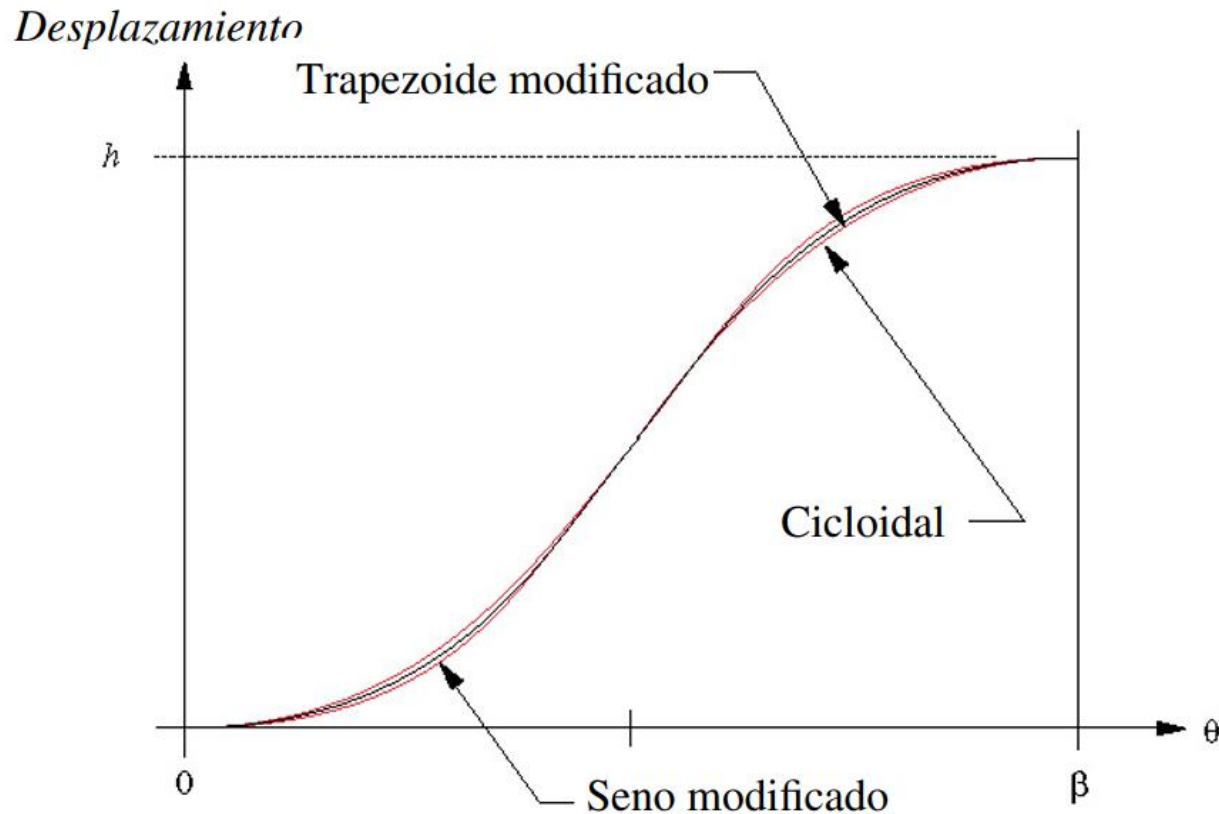


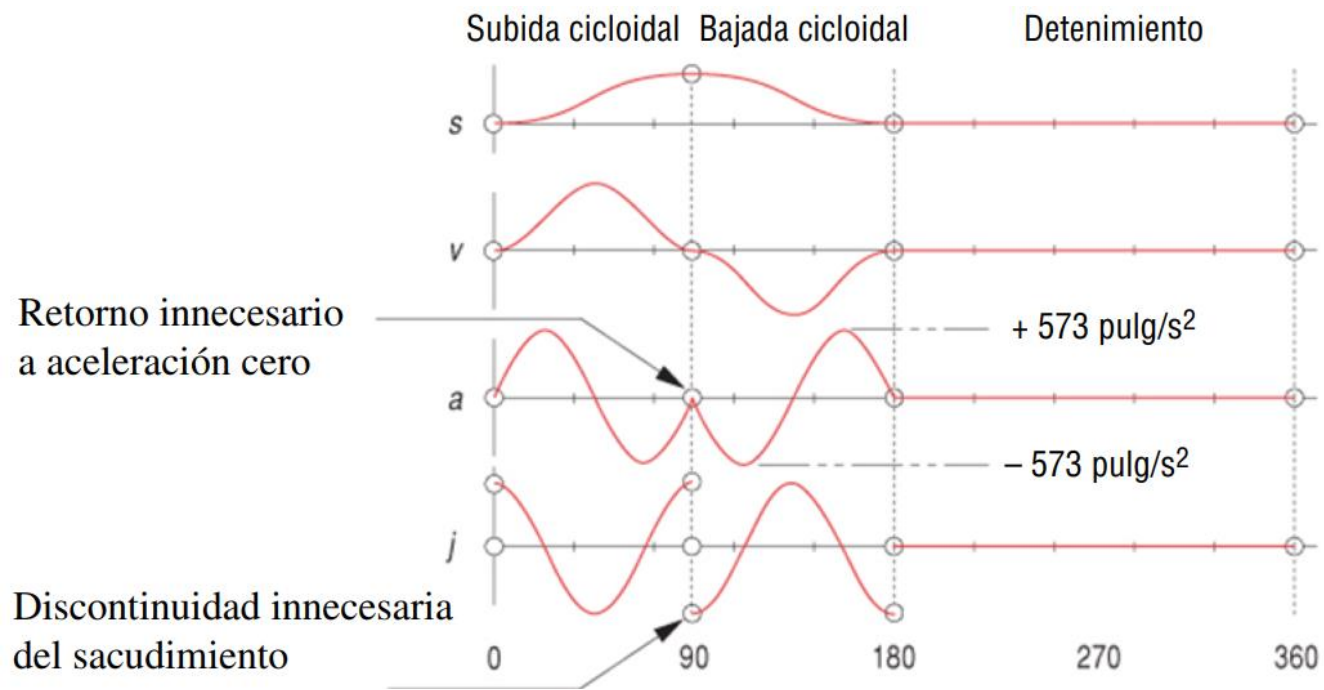
Tabla de Factores para V y A pico de algunas funciones de leva

- La velocidad está en m / rad^2 , la aceleración está en m/rad^2 , la sacudida está en m/rad^3 .

Función	Vel. máx.	Acel. máx.	Golpeteo	Comentarios
Aceleración constante	$2.000 h/\beta$	$4.000 h/\beta^2$	Infinito	Golpeteo ∞ ; no aceptable
Desplazamiento armónico	$1.571 h/\beta$	$4.945 h/\beta^2$	Infinito	Golpeteo ∞ ; no aceptable
Aceleración trapezoidal	$2.000 h/\beta$	$5.300 h/\beta^2$	$44 h/\beta^3$	No es tan buena como la trapezoidal modificada
Aceleración trapezoidal modificada	$2.000 h/\beta$	$4.888 h/\beta^2$	$61 h/\beta^3$	Baja aceleración, pero aceleración brusca
Aceleración seno modificada	$1.760 h/\beta$	$5.528 h/\beta^2$	$69 h/\beta^3$	Baja velocidad, buena aceleración
Desplazamiento polinomial 3-4-5	$1.875 h/\beta$	$5.777 h/\beta^2$	$60 h/\beta^3$	Buena combinación
Desplazamiento cicloidal	$2.000 h/\beta$	$6.283 h/\beta^2$	$40 h/\beta^3$	Aceleración uniforme y golpeteo
Desplazamiento polinomial 4-5-6-7	$2.188 h/\beta$	$7.526 h/\beta^2$	$52 h/\beta^3$	Golpeteo uniforme, alta aceleración

Diseño de leva con detenimiento simple, y funciones con detenimiento doble

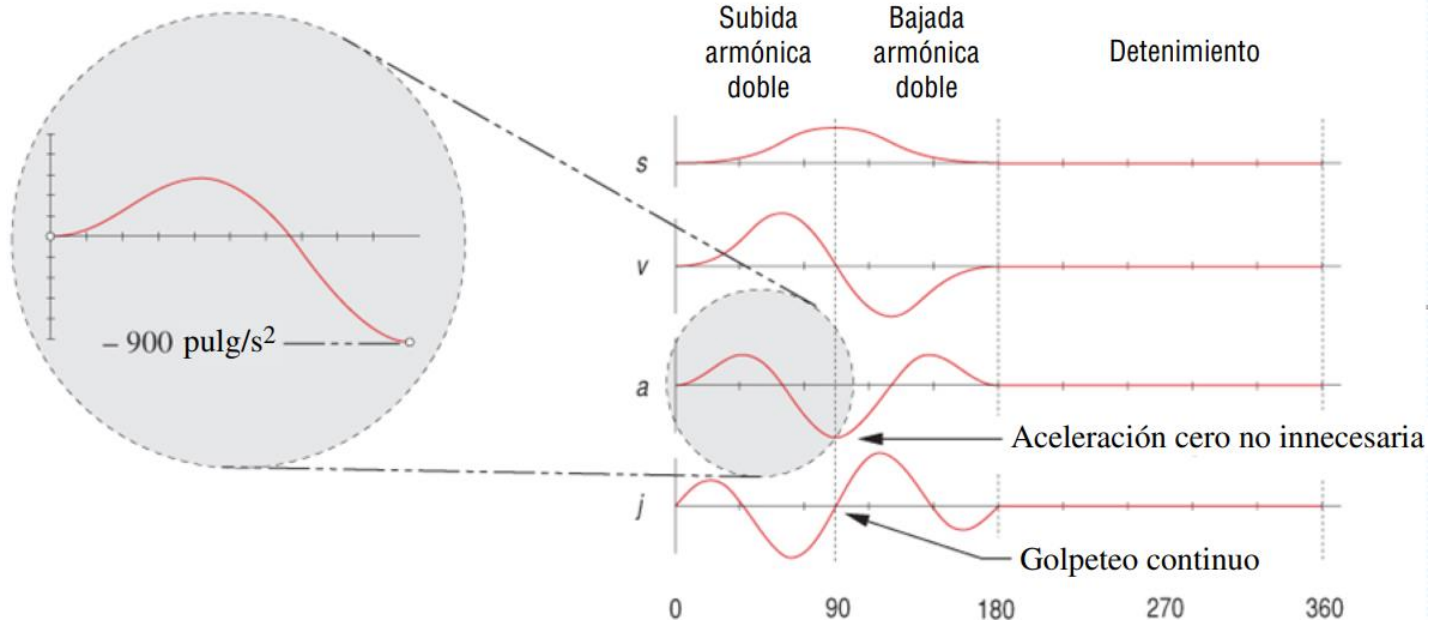
- Las funciones de la leva de doble permanencia tienen un retorno innecesario a cero en la aceleración, lo que hace que la aceleración sea mayor en otros lugares.



Diseño de leva con detenimiento simple, movimiento armónico doble

$$s = \frac{h}{2} \left\{ \left[1 - \cos \left(\pi \frac{\theta}{\beta} \right) \right] - \frac{1}{4} \left[1 - \cos \left(2\pi \frac{\theta}{\beta} \right) \right] \right\} \text{ for rise}$$

$$s = \frac{h}{2} \left\{ \left[1 + \cos \left(\pi \frac{\theta}{\beta} \right) \right] - \frac{1}{4} \left[1 - \cos \left(2\pi \frac{\theta}{\beta} \right) \right] \right\} \text{ for fall}$$



Diseño de leva con detenimiento simple, polinomio 3-4-5-6

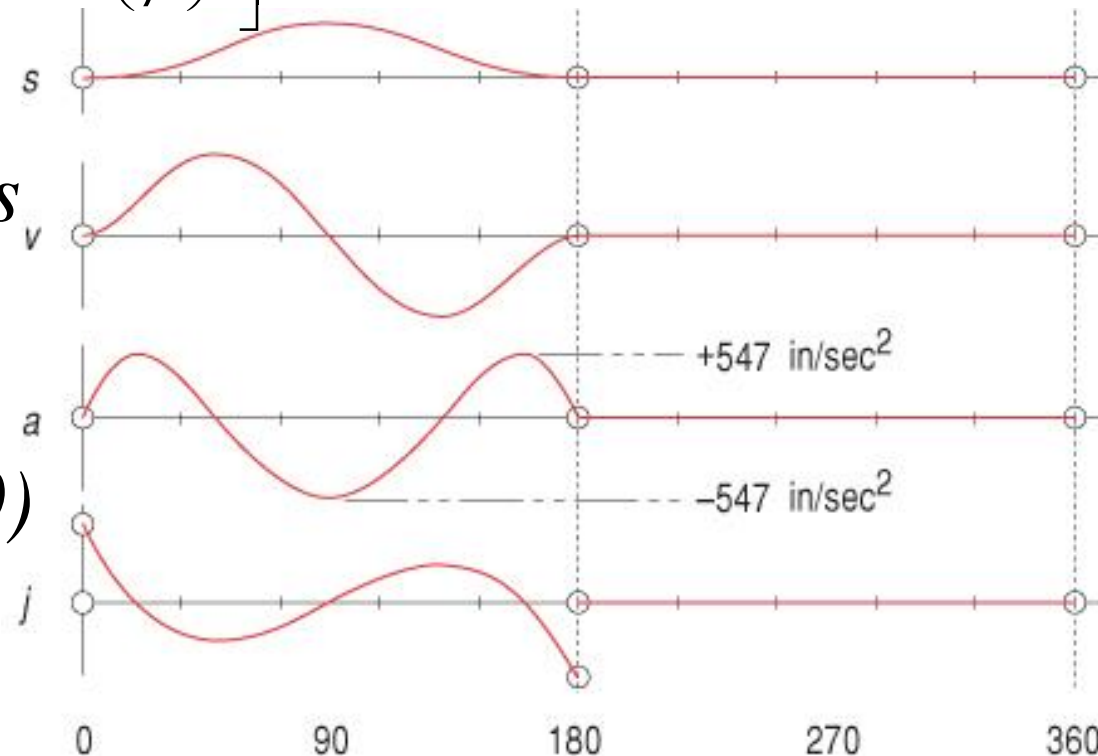
- Condiciones de frontera @ $\theta=0$ $s=v=a=0$

@ $\theta=\beta$ $s=v=a=0$

@ $\theta=\beta/2$ $s=h$

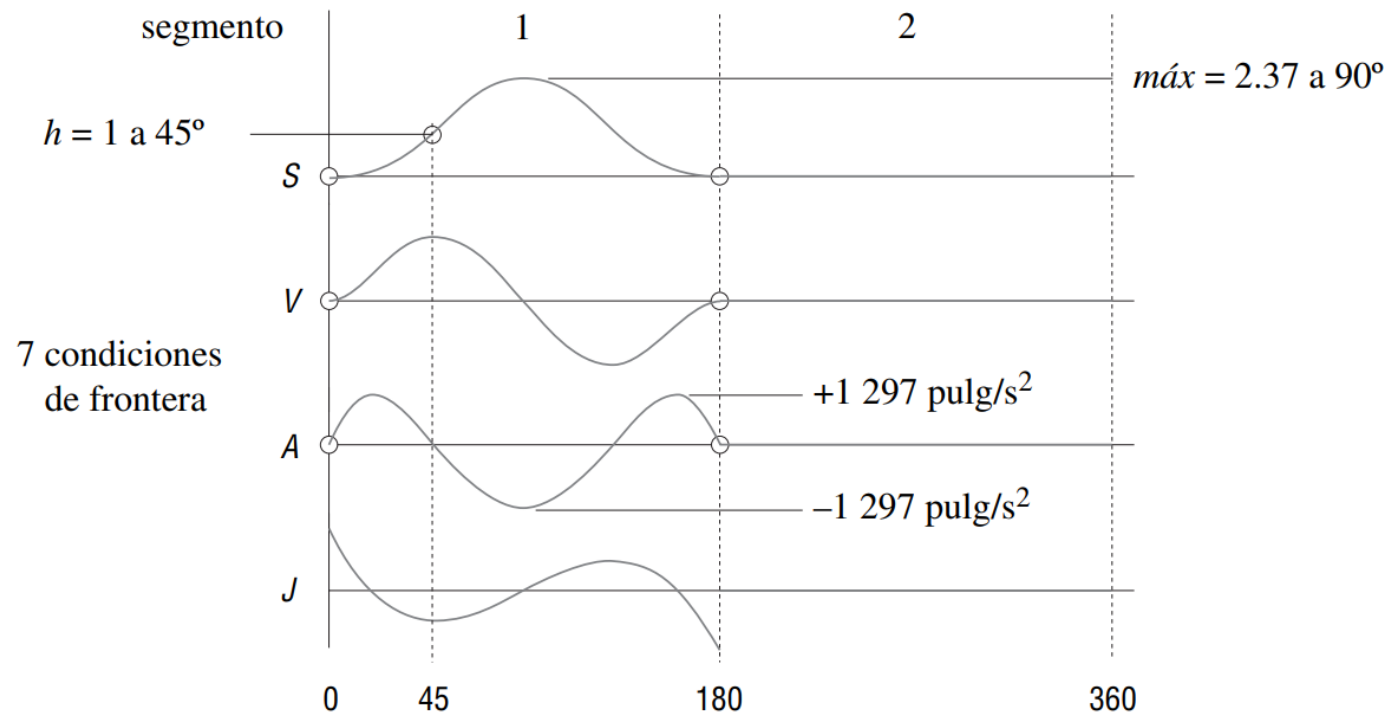
$$s = h \left[64 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 - 192 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 + 192 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^5 - 64 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^6 \right]$$

- Tiene una aceleración pico más baja (547) que cicloidal (573) o doble armónico (900)



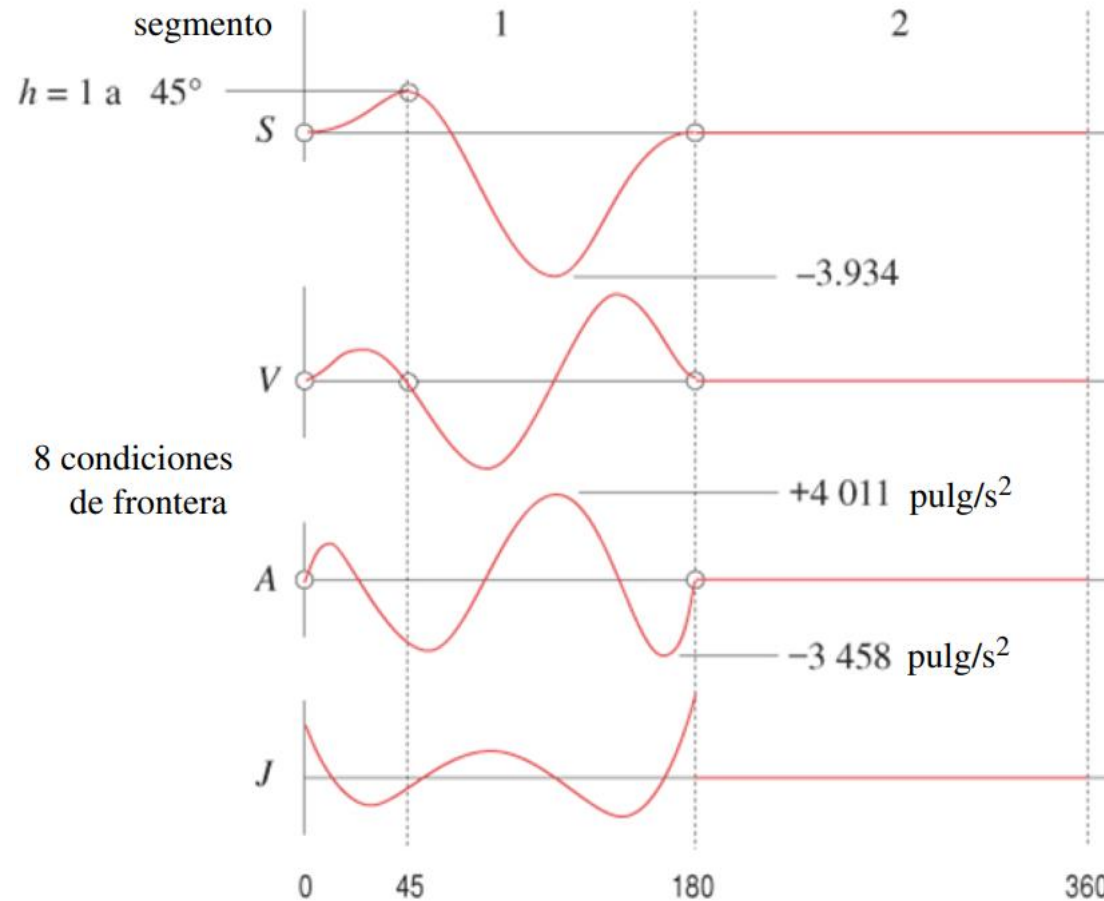
Leva RFD con detenimiento simple de dos segmentos asimétricos

- Si la subida tiene un tiempo diferente al de la caída, se necesitan más condiciones de frontera.
- Con 7 condiciones de frontera



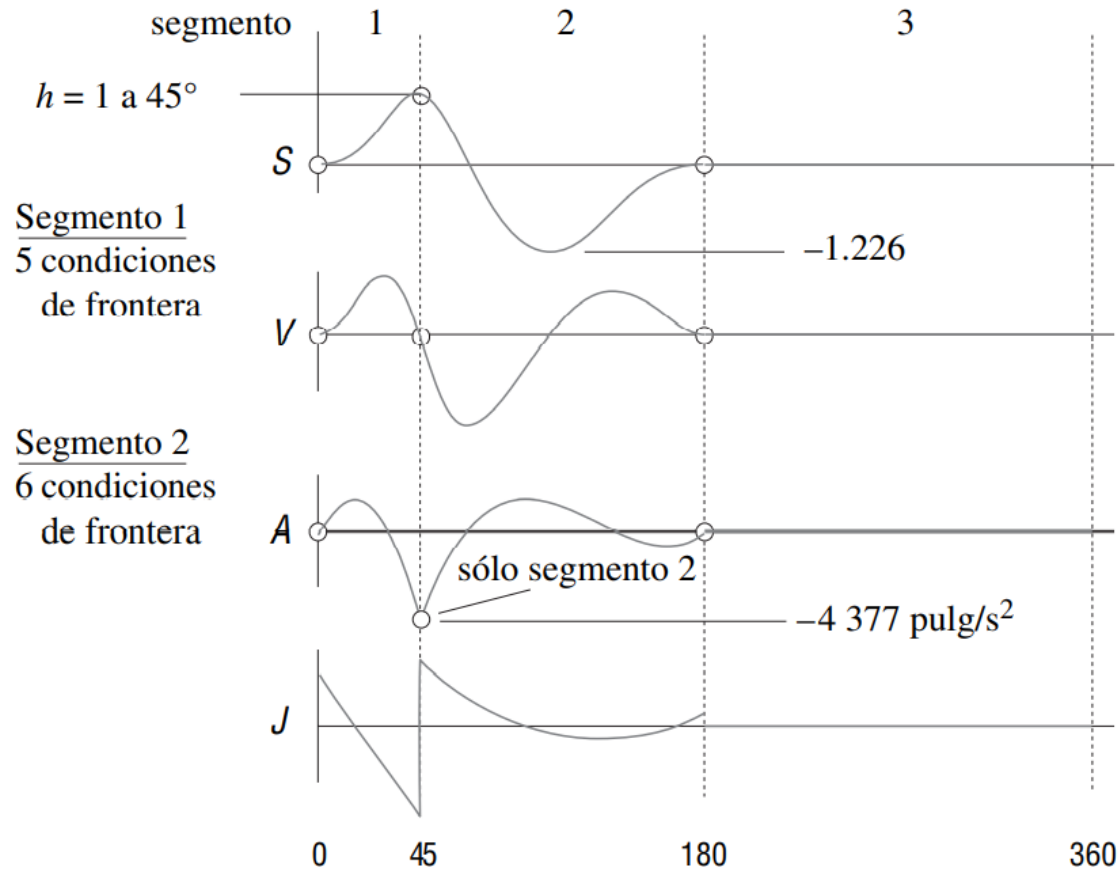
Leva RFD con detenimiento simple de dos segmentos asimétricos

- Si establece la velocidad a cero en el pico:



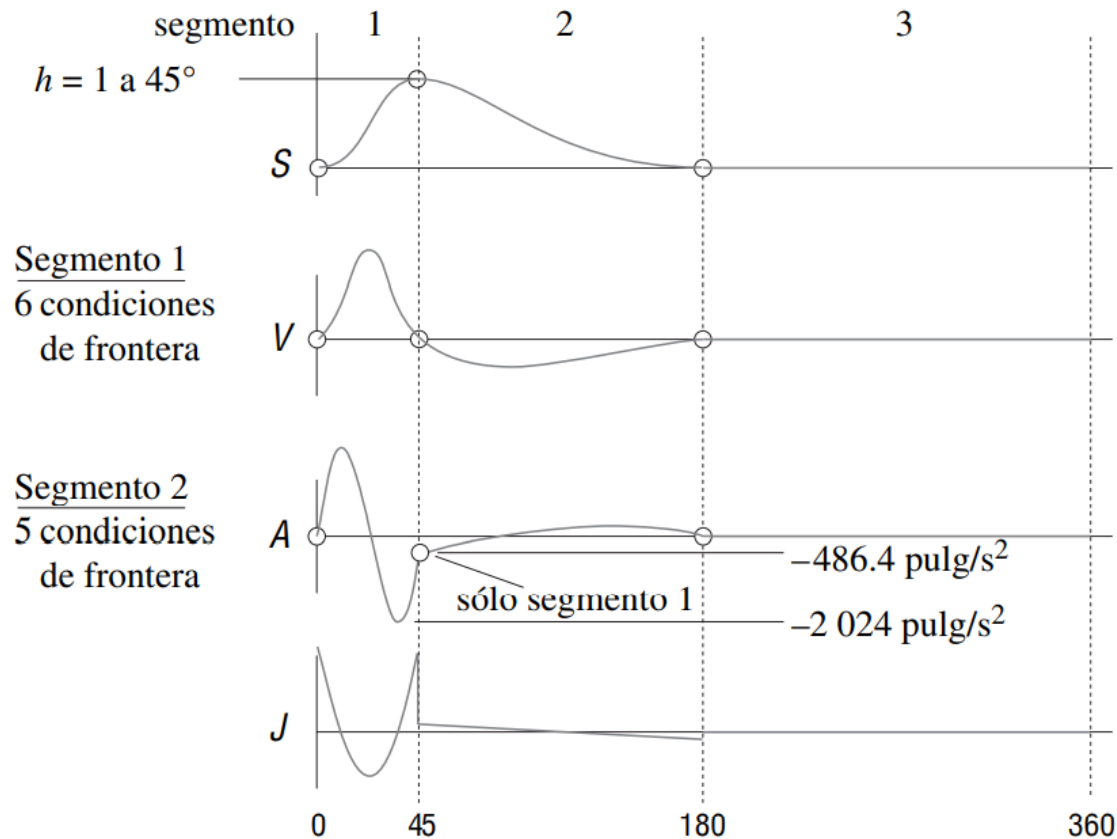
Leva RFD asimétricos

- Con 3 segmentos, el segmento 1 con 5CF y el segmento 2 con 6CF se obtienen una gran aceleración máxima



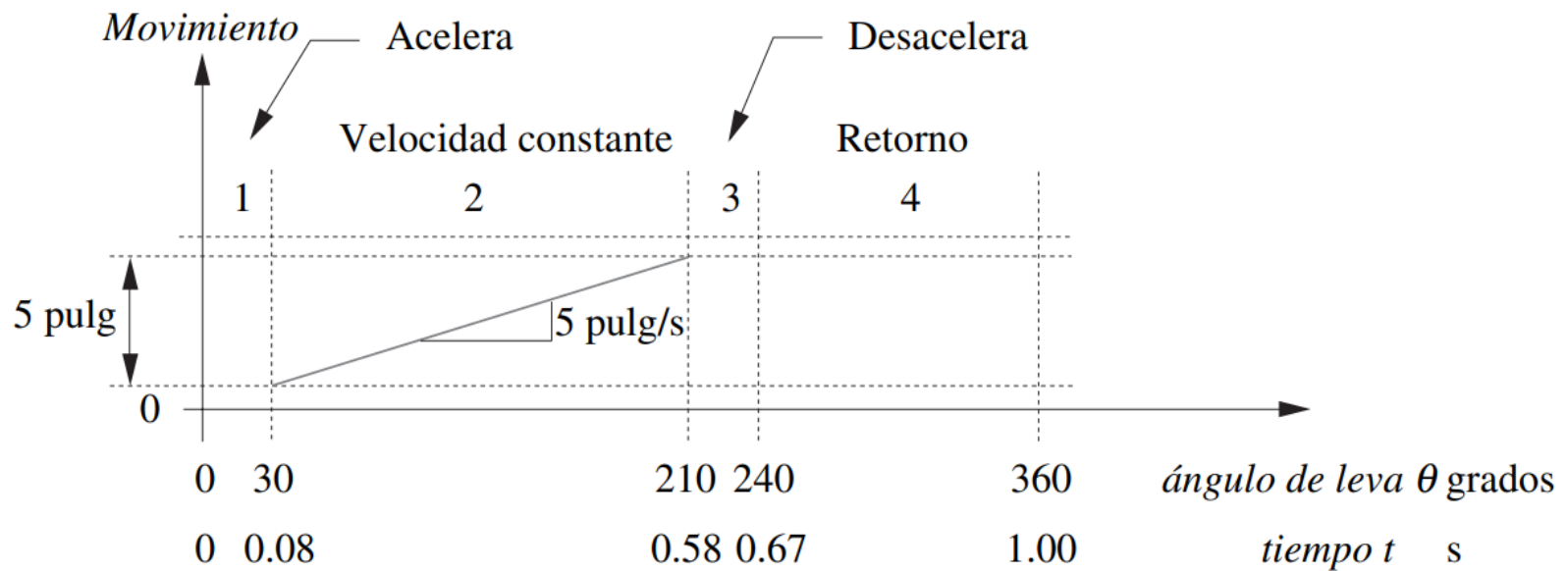
Leva RFD asimétricos

- Es mejor comenzar con el segmento con la aceleración más baja con 5CF y luego hacer el otro segmento con 6CF



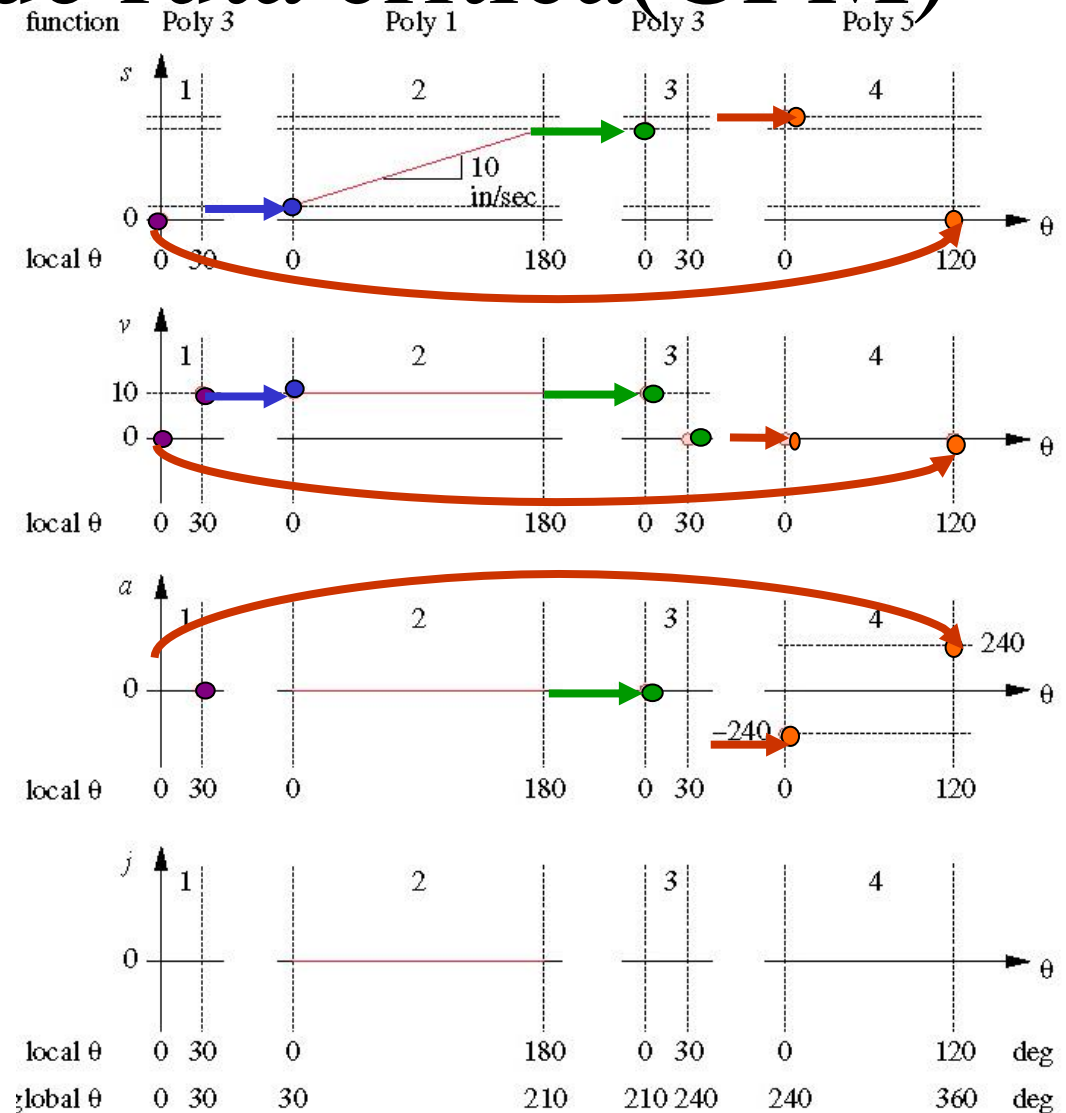
Movimiento de ruta crítica (CPM)

- Se especifica la posición o una de sus derivadas
- Ej: velocidad constante para la mitad de la rotación
- Divida el movimiento en las siguientes partes:

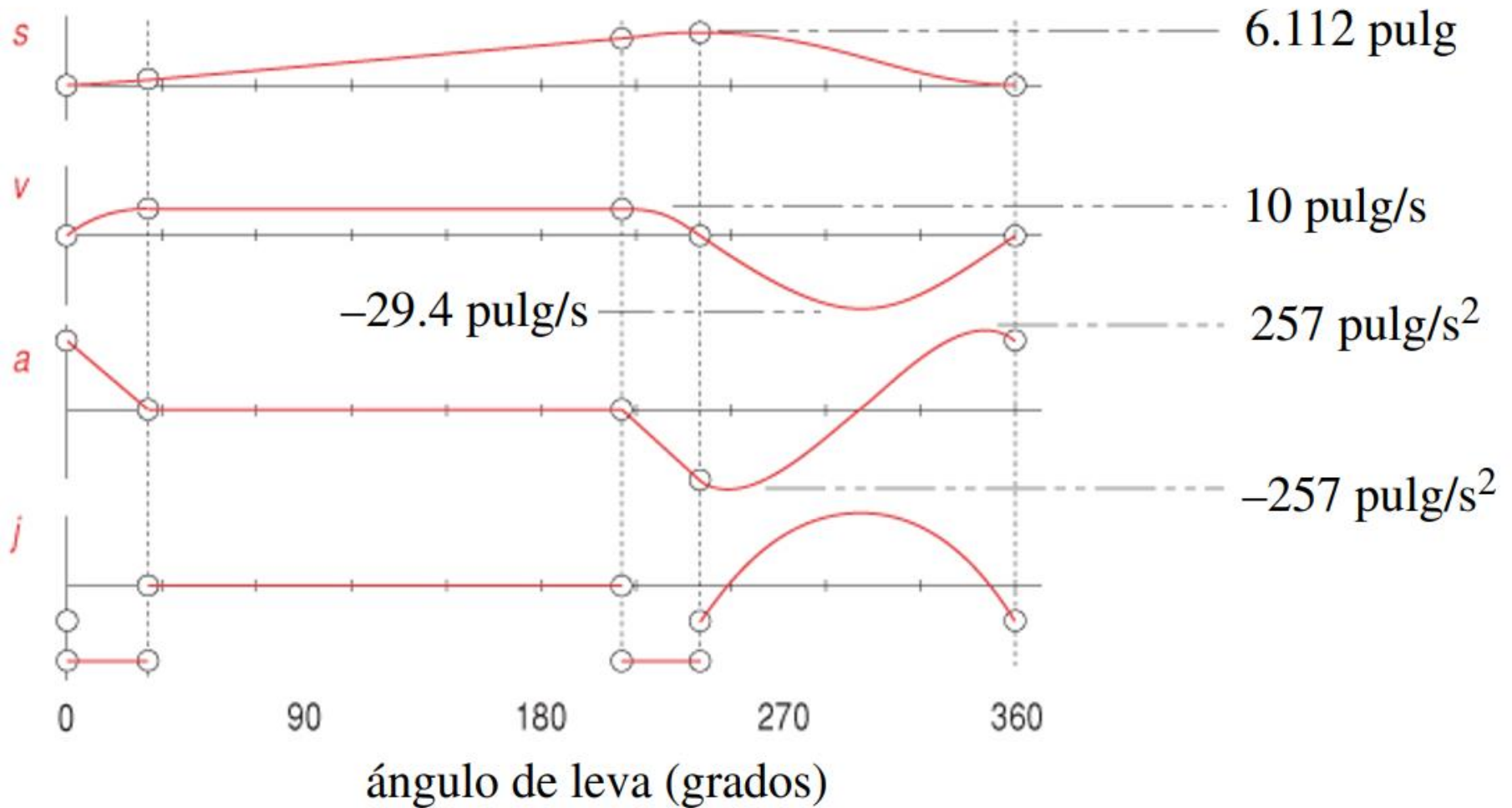


Movimiento de ruta crítica(CPM)

- El segmento 1 tiene 4CF
- El segmento 2 tiene 2CF (V constante)
- El segmento 3 tiene 4CF
- El último segmento tiene 6CF (casi siempre)

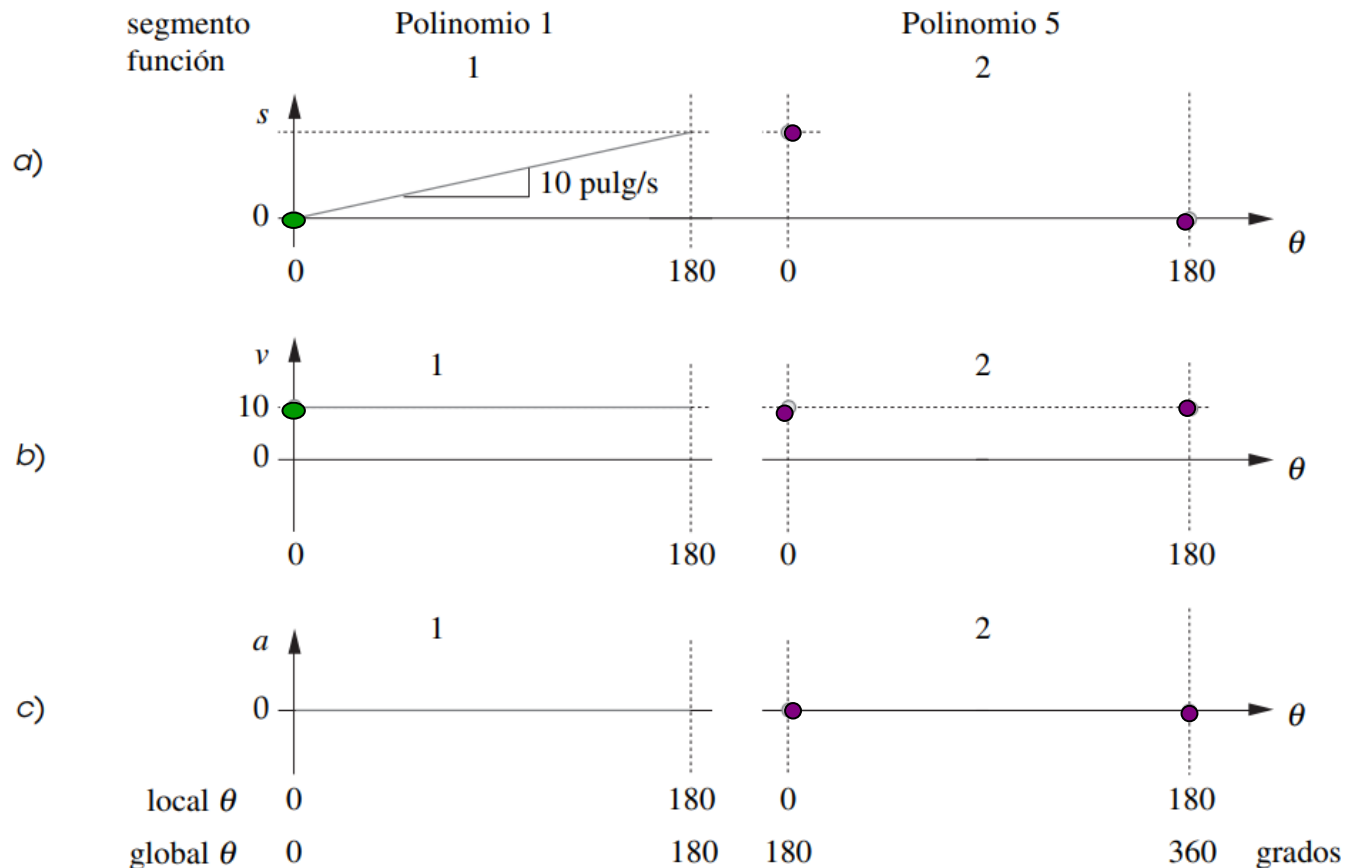


Curvas Resultantes



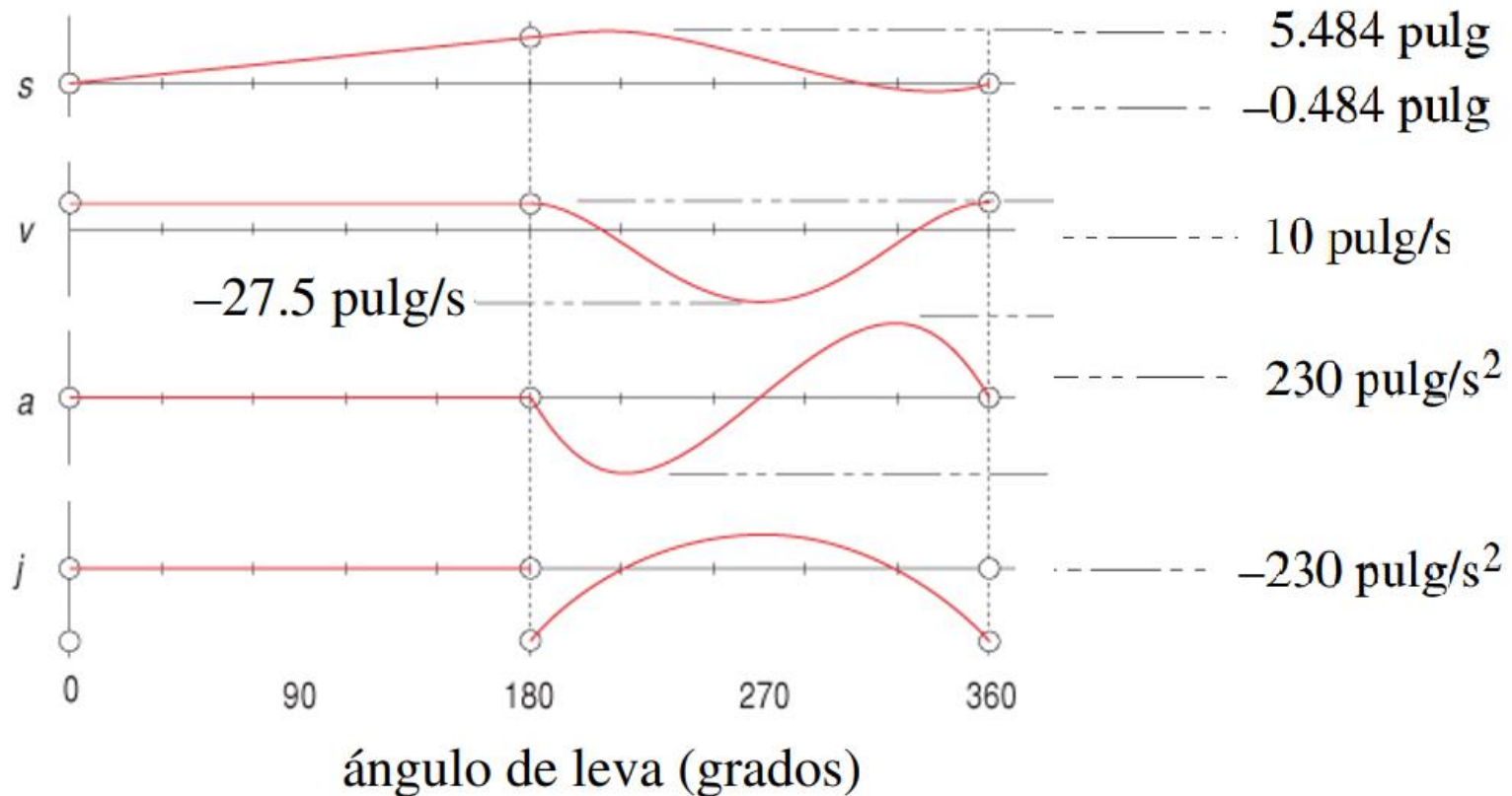
Velocidad Constante, 2 Segmentos

- No se dan las divisiones en el enfoque anterior, solo un segmento de velocidad constante



Resultados del diagrama SVAJ

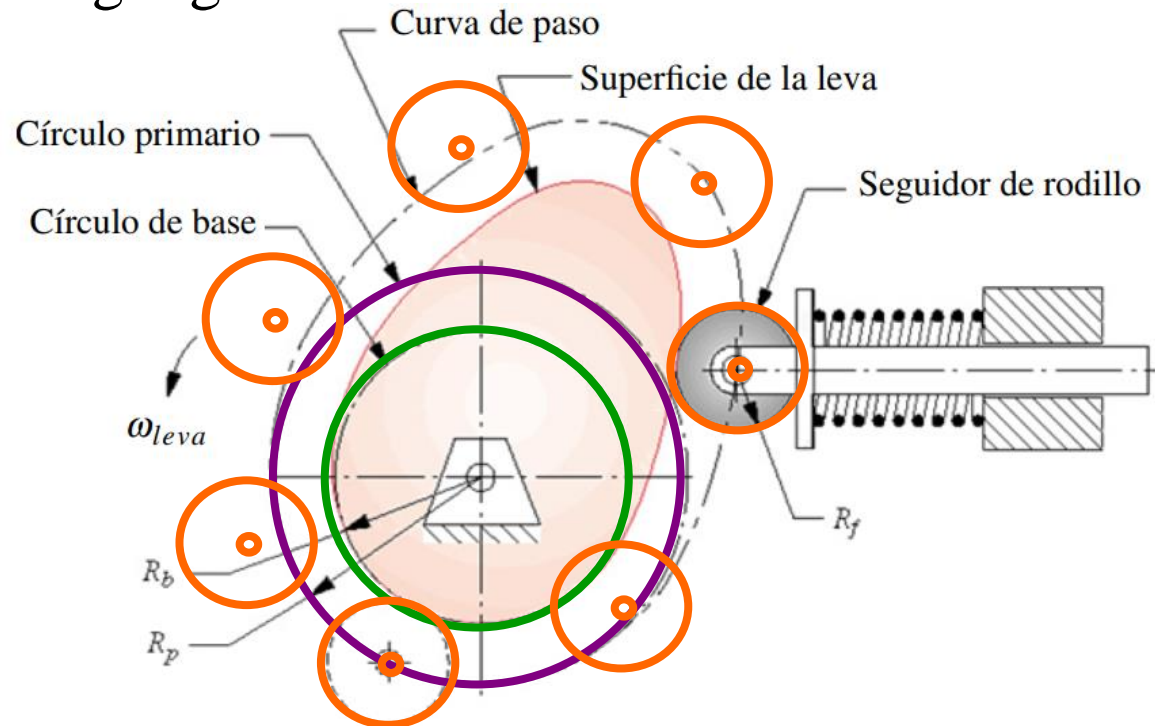
- El diseño de 2 segmentos tiene mejores propiedades
- El diseño de 4 segmentos tenía $\Delta s=6.112$, $v=-29.4$, $a=257$



Dimensionamiento de la leva, terminología

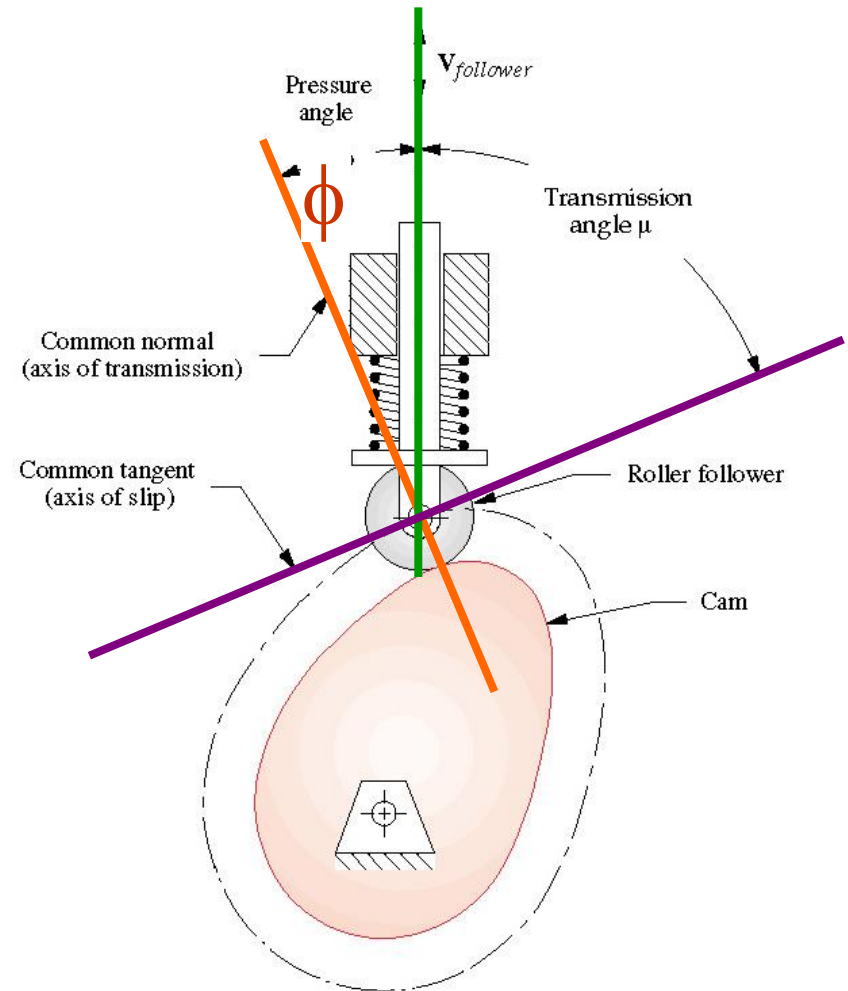
- **Círculo de base** (R_b) – círculo más pequeño que se puede dibujar tangente a la superficie física de la leva
- **Círculo primario** (R_p) – círculo más pequeño que se puede dibujar tangente al lugar geométrico de la línea central del seguidor

- **Curva de paso**—
lugar de la línea
central del
seguidor



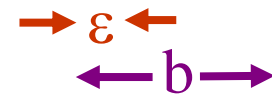
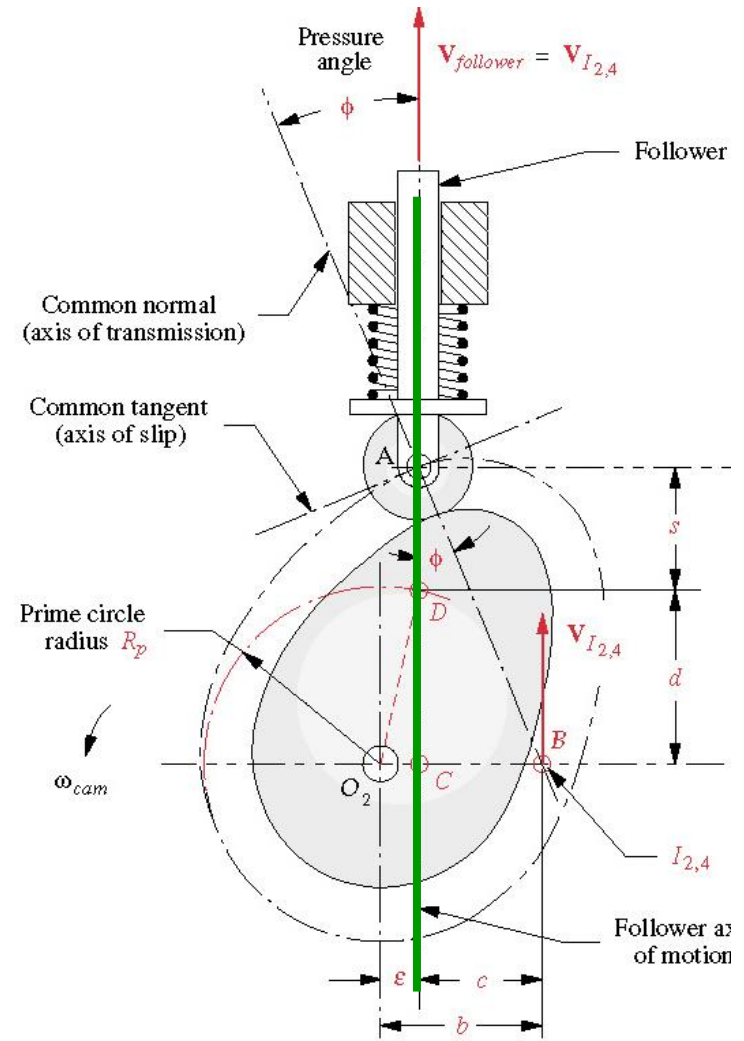
Ángulo de presión de la leva

- Angulo de presión (ϕ)
 - el ángulo entre la dirección del movimiento (velocidad) del seguidor y la dirección del eje de transmisión
- Se quiere $\phi < 30$ para transladante y $\phi < 35$ para seguidor oscilante



Excentricidad de Leva

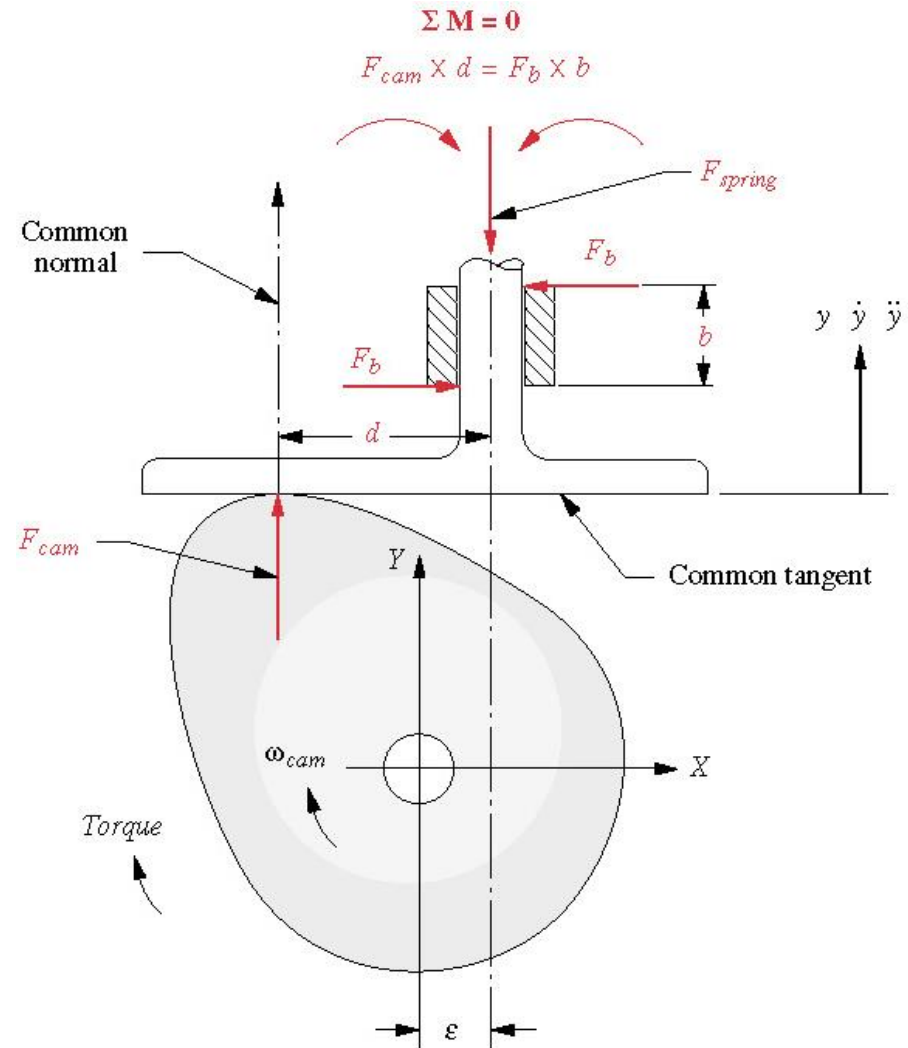
- Excentricidad (ε) – la distancia perpendicular entre el eje de movimiento del seguidor y el centro de la leva
- Seguidor alineado: $\varepsilon=0$



Momento de volteo

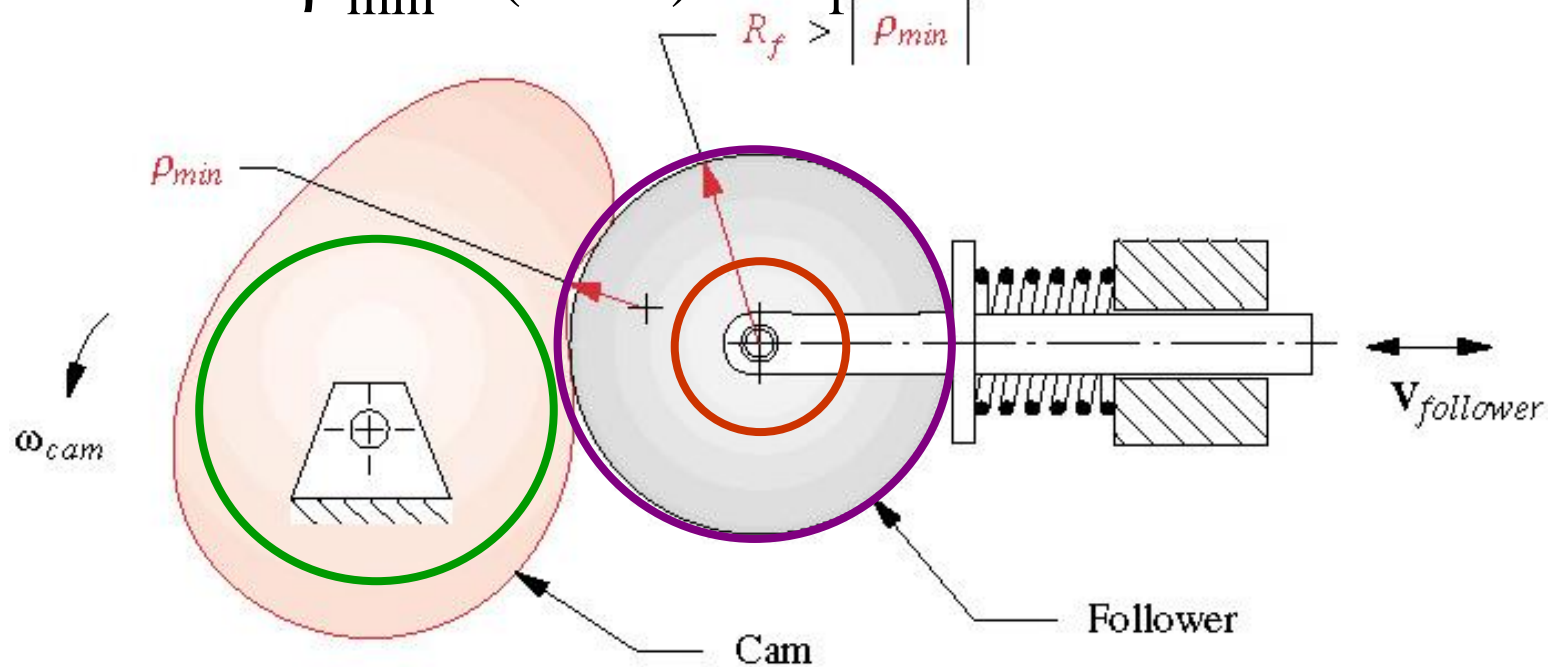
☺ Para el seguidor de cara plana, el ángulo de presión es cero.

☺ Hay un momento en el seguidor porque la fuerza no está alineada con la dirección del movimiento del seguidor. Esto se llama **Momento de volteo**



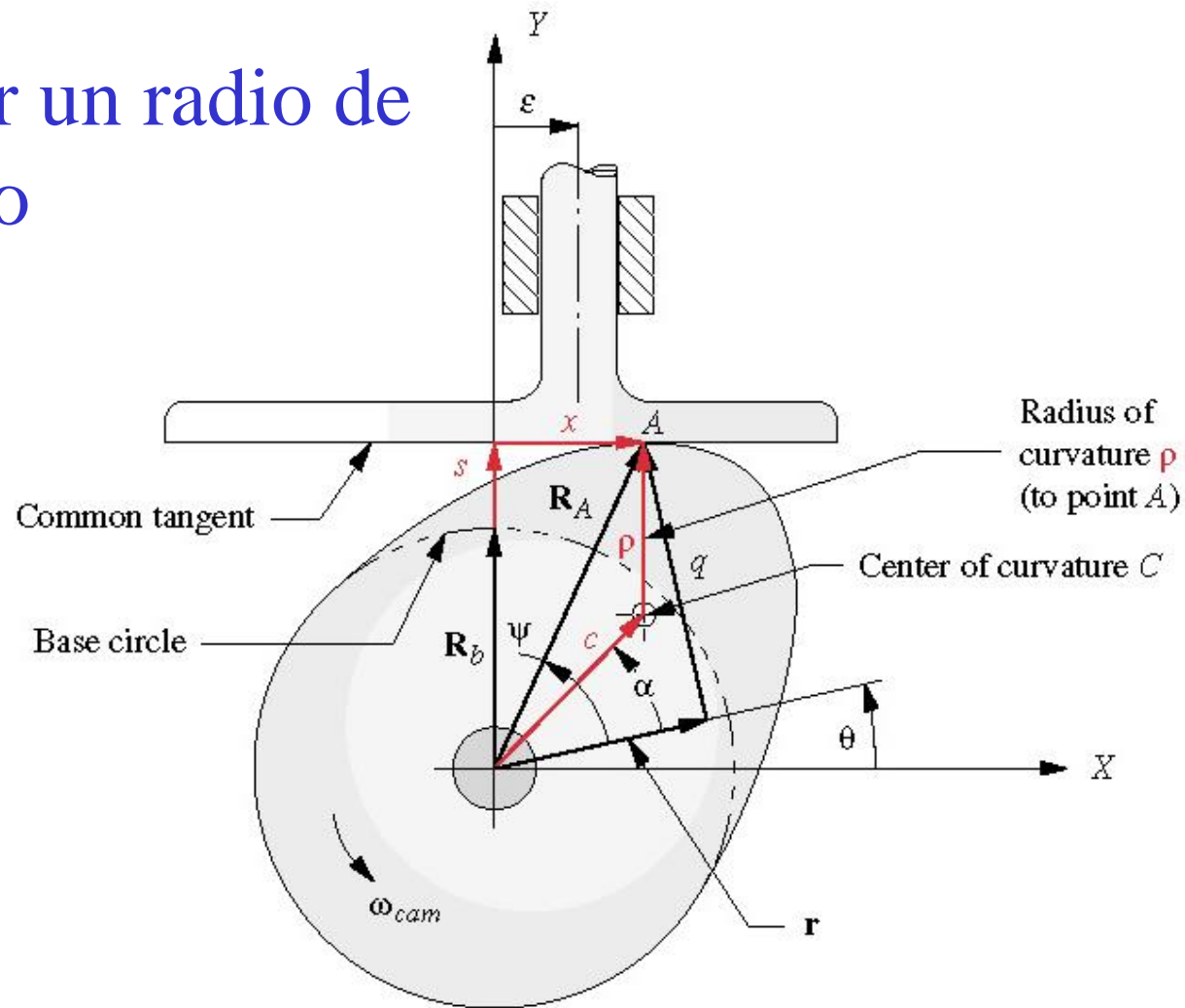
Radio de curvatura

- Cada punto de la leva tiene un radio de curvatura asociado
- Si el radio de curvatura es menor que el radio del seguidor, el seguidor no se mueve correctamente.
- Regla de oro : $\rho_{\min} = (2 \rightarrow 3) \times R_f$



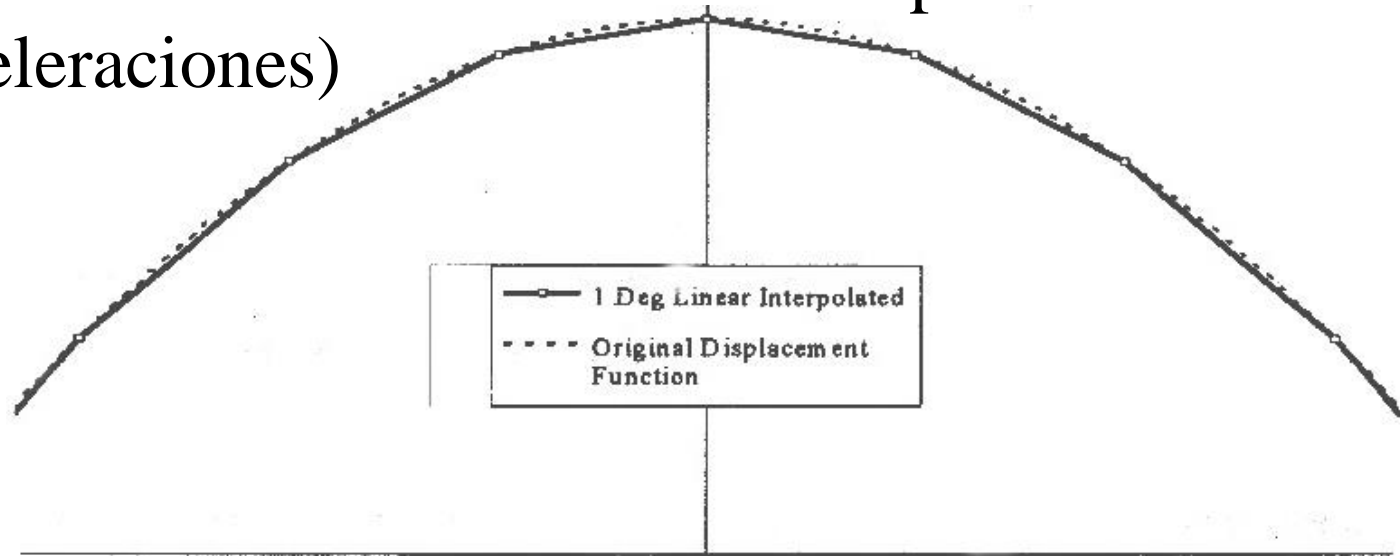
Radio de curvatura– Seguidor de cara plana

- No podemos tener un radio de curvatura negativo



Consideraciones de fabricación de levas

- Aceros de medio a alto contenido de carbono o fundición dúctil
- Molido o molido
- Tratamiento térmico para dureza (Rockwell HRC 50-55)
- Las máquinas CNC a menudo utilizan interpolación lineal (mayores aceleraciones)

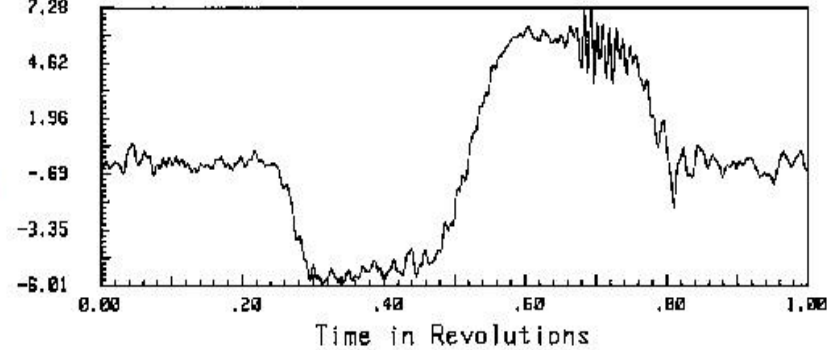


Rendimiento de la leva real frente al teórico

- Mayor aceleración debido a errores de fabricación y vibraciones por sacudimiento

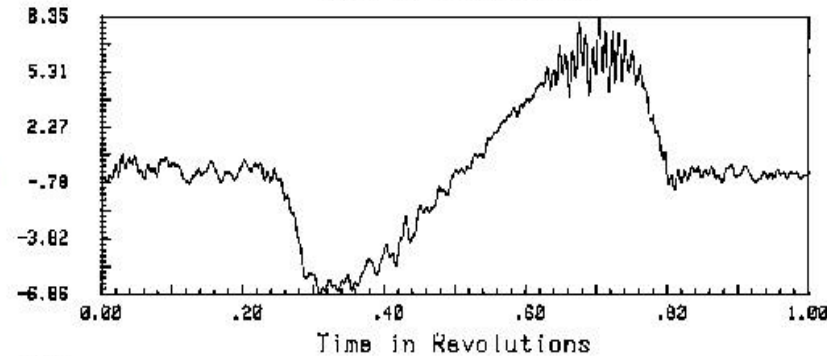
(a)

Modified
trapezoidal
fall
acceleration
(g)



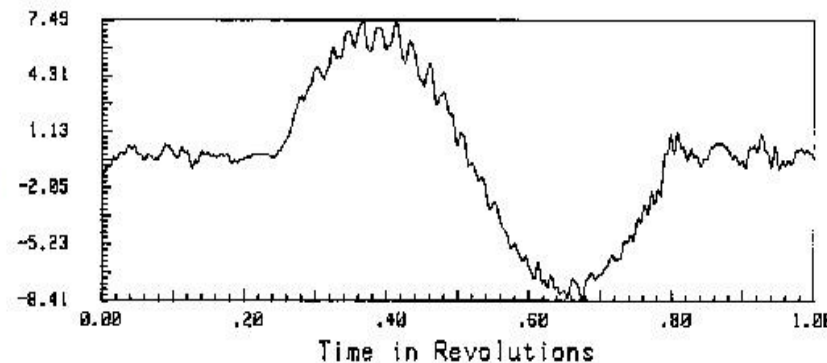
(b)

Modified
sine fall
acceleration
(g)



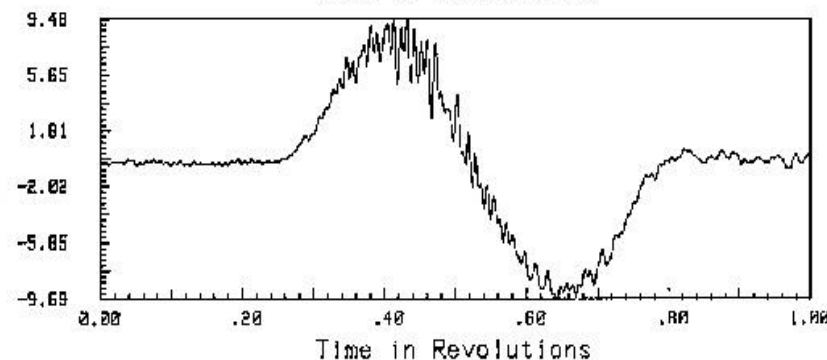
(c)

Cycloidal
rise
acceleration
(g)



(d)

4-5-6-7
polynomial
rise
acceleration
(g)



Consideraciones prácticas de diseño

- ¿Seguidor traductor u oscilante?
- ¿Fuerza o forma cerrada?
 - Salto del seguidor contra choque cruzado
- ¿Cámara radial o axial?
- ¿Rodillo o seguidor de cara plana?
- ¿Con detenimiento o no detenimiento?
- ¿Rectificar o no rectificar?
- ¿Lubricar o no lubricar?