

UA: Análisis de Mecanismos

Año de elaboración: 2018

HORAS TEÓRICAS	3.0
HORAS PRÁCTICAS	1.0
TOTAL DE HORAS	4.0
CRÉDITOS INSTITUCIONALES	7.0
TÍTULO DEL MATERIAL	Diseño de levas
TIPO DE UNIDAD DE APRENDIZAJE	Curso
CARÁCTER DE LA UNIDAD DE APRENDIZAJE	Obligatoria
NÚCLEO DE FORMACIÓN	Integral
PROGRAMA EDUCATIVO	Ingeniería Mecánica
ESPACIO ACADÉMICO	Facultad de Ingeniería
RESPONSABLE DE LA ELABORACIÓN	Juan Carlos Posadas Basurto

Índice

	Página
Presentación	1
Estructura de la unidad de aprendizaje	2
Contenido de la presentación	4
Introducción	6
Tipos de levas	8
Tipos de seguidores	9
Diagrama de desplazamiento	13
Programa de movimiento	15
Ley fundamental del diseño de levas	17
Movimiento del seguidor	18

	página
Ecuaciones cinemáticas	19
Esquemas de movimiento del seguidor	23
Velocidad constante	25
Aceleración constante	27
Movimiento armónico	29
Cicloidal	31
Nomenclatura de las levas	33
Bibliografía	39

Presentación

- La Unidad de Aprendizaje Análisis de Mecanismos es obligatoria y se sugiere cursarla en el sexto período.
- No tiene antecedente seriado pero se da un curso de Síntesis de Mecanismos en el octavo periodo donde el discente obtiene longitudes y ángulos en diferentes posiciones del movimiento propuesto para mecanismos aplicando el software adecuado para su evaluación.
- Se sugiere que el discente tenga conocimientos de dinámica, estática, mecánica clásica y resolución de ecuaciones trigonométricas de segundo grado.

Estructura de la Unidad de Aprendizaje

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. Conceptos generales.

1.2. Terminología.

1.3. Grados de libertad.

1.4. Proceso de diseño de un mecanismo.

2. ANÁLISIS CINEMÁTICO.

2.1. Análisis de desplazamiento.

2.2. Análisis de velocidad

2.3. Análisis de aceleración.



3 DISEÑO DE LEVAS.

3.1. Tipos de levas y seguidores.

3.2. Diagramas de desplazamiento.

4. DISEÑO DE ENGRANES Y TRENES DE ENGRANES.

4.1. Engranés rectos.

4.2. Engranés helicoidales, de gusano y Bevel.

4.3. Trenes de engranes.

5. ANÁLISIS DINÁMICO EN MECANISMOS

5.1. Análisis estático de fuerzas.

5.2. Análisis cinético de fuerzas.

5.3. Volantes de inercia.

5.4. Balanceo de rotores.

Contenido de la presentación

- La presentación comprende el capítulo 3, Diseño de levas, de la Estructura de la Unidad de Aprendizaje.
- En la introducción se da el concepto de leva y sus elementos de análisis, así como los tipos que se han diseñado.
- Se da el diagrama de desplazamiento del seguidor de leva y los programas de movimiento. También se obtienen las ecuaciones cinemáticas del seguidor. Se termina con la nomenclatura general de levas de placa.
- Al final de la presentación se muestra la bibliografía utilizada en la presentación para que tanto los discentes como el docente puedan revisar y profundizar en alguno de los temas.

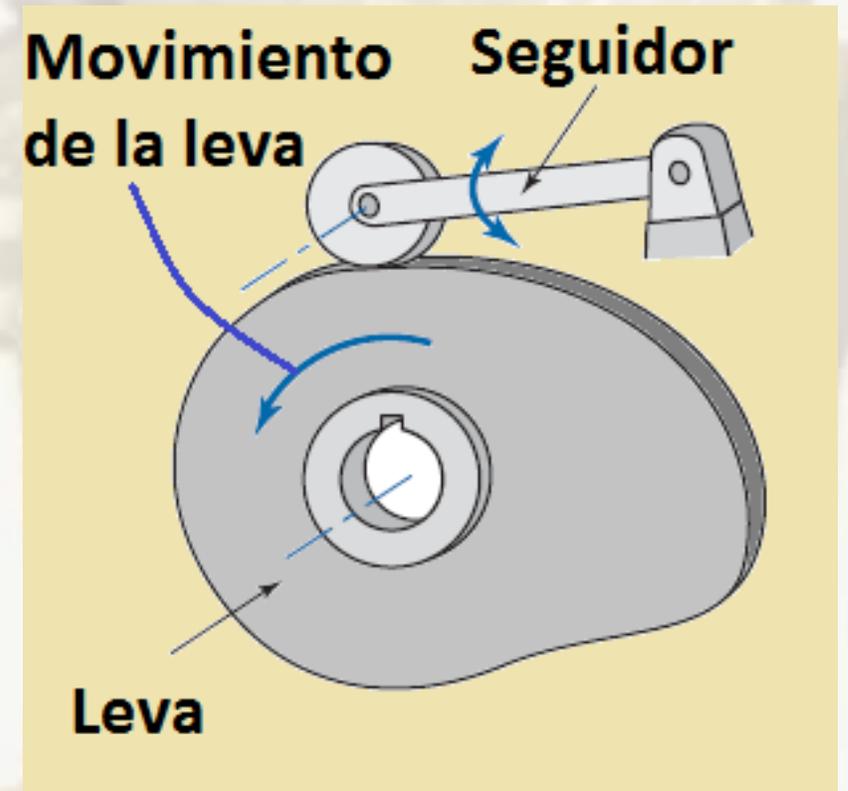


Análisis de mecanismos

Diseño de levas

Introducción

- Una leva es un elemento mecánico que sirve para impulsar a otro elemento, llamado seguidor, para que desarrolle un movimiento especificado, por contacto directo (Shigley, 1988).
- La característica única de la leva es impartir un movimiento muy inusual o irregular a su seguidor, difíciles o imposibles de obtener de otros enlaces (Myszka, 2012).

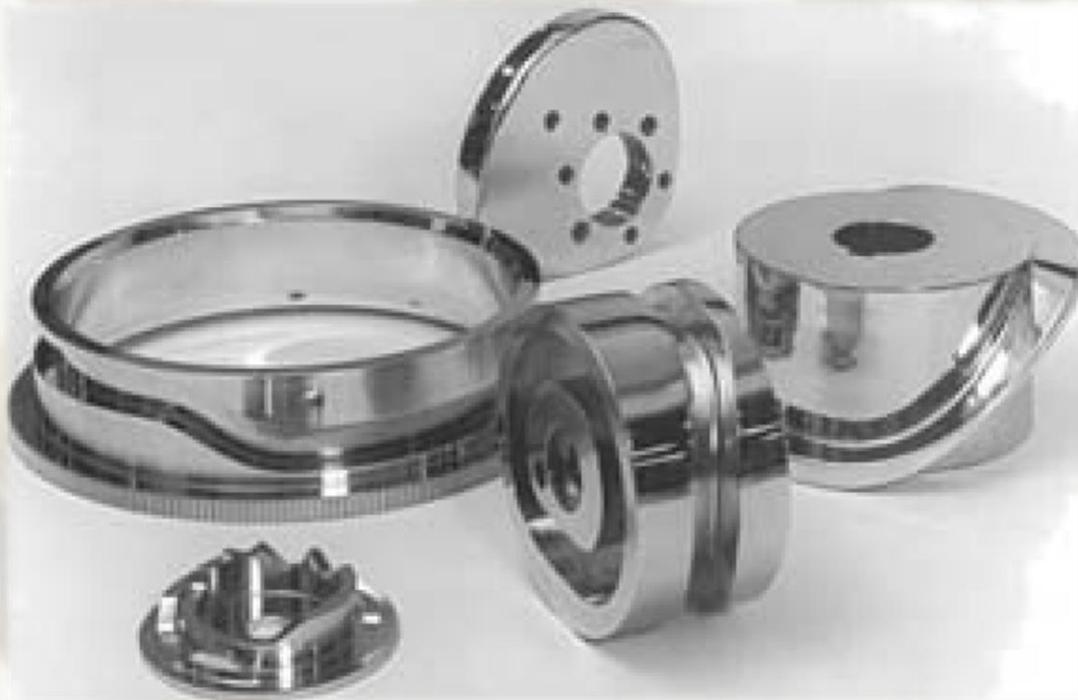


(Myszka, 2012)

- Un seguidor se caracteriza por su movimiento relativo al eslabón fijo y por la geometría de su cara que contacta a la leva (Waldron & Kinzel, 2004).
- El movimiento del mecanismo leva-seguidor puede ser rotacional (oscilatorio) o trasladante (Waldron & Kinzel, 2004).
- Debido a que el movimiento de las levas puede prescribirse, son adecuadas para aplicaciones en las que los desplazamientos y el tiempo son primordiales (Myszka, 2012).
- Las levas se usan a menudo en equipos de automatización de fábrica porque pueden secuenciar desplazamientos (Myszka, 2012).
- Las levas son componentes de máquinas de precisión que generalmente cuestan más que los enlaces convencionales.

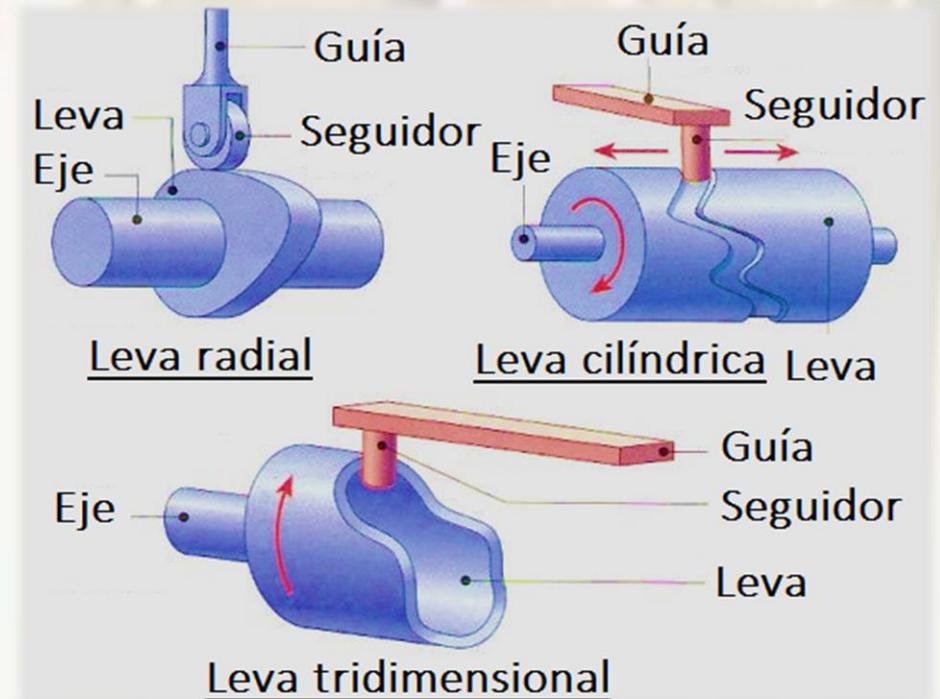
Tipos de levas

- Las levas pueden ser del tipo radial, cilíndrica, tridimensional



(Norton, 2009)

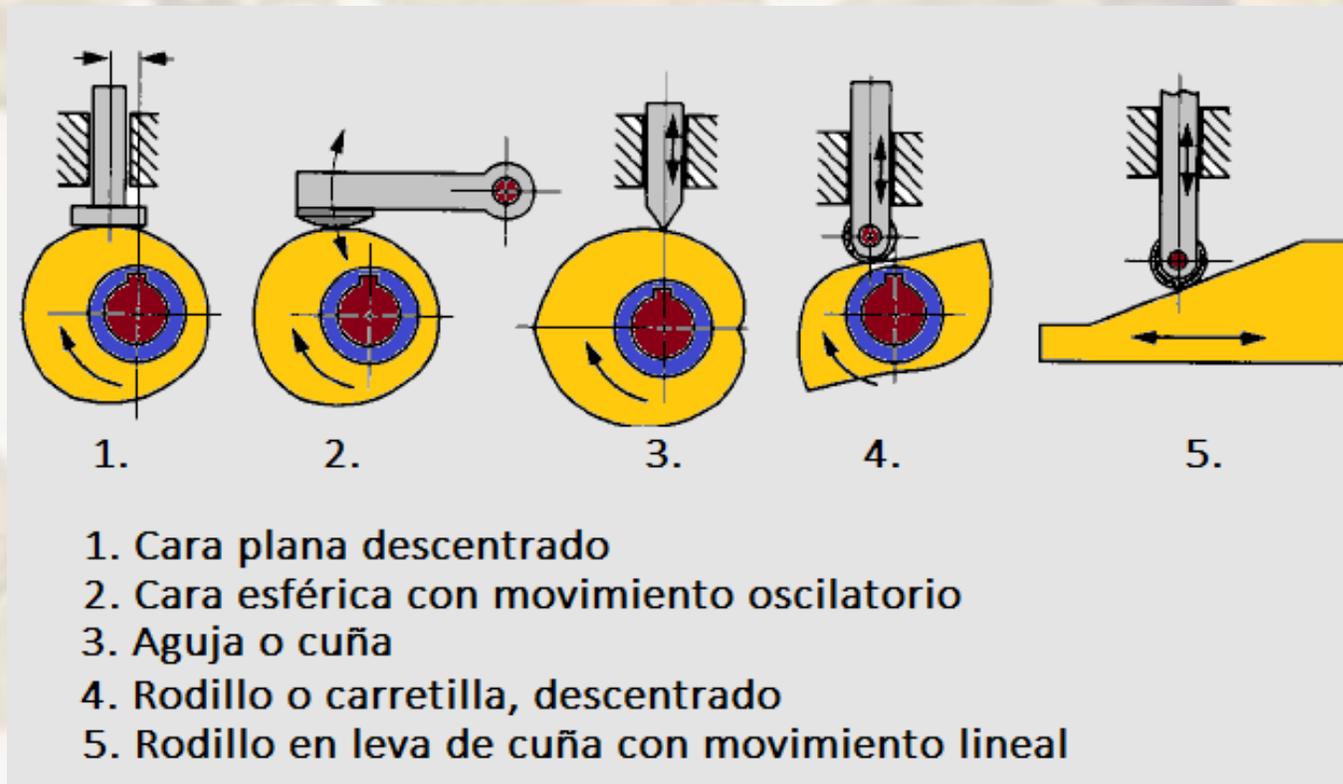
Juan Carlos Posadas Basurto



(Tecnologiapiirineos, 2012)

Tipos de seguidores

- El seguidor de leva puede ser curvo o plano, rodante o deslizante.



(Waldron & Kinzel, 2004)

(Myszka, 2012).

- La posición del seguidor, en relación con el centro de rotación de la leva, está restringida por el espaciado de la máquina.
- La posición de los seguidores de traslación se divide en dos categorías:
 1. Un seguidor en línea muestra un movimiento en línea recta, de modo que la línea de traslación se extiende a través del centro de rotación de la leva.
 2. Un seguidor descentrado muestra un movimiento en línea recta, descentrada del centro de rotación de la leva.
- En el caso de seguidores pivotados, tanto en línea como descentrados, exhiben cinemática idéntica.

(Norton, 2009)

- El seguidor de rodillo es un cojinete de bolas o rodillos y tiene la ventaja de poseer menor fricción (rodante), a diferencia del contacto deslizante de los otros, pero es más costoso.
- Los seguidores de rodillos se utilizan con más frecuencia en maquinaria de producción, donde su facilidad de reemplazo y disponibilidad constituyen sus principales ventajas.



(VXB, 2018)

(Norton, 2009)

- Los seguidores de cara plana son más pequeños que los de rodillo en algunos diseños de leva, por lo que usualmente se prefieren, así como por su menor costo, en trenes para válvulas automotrices.



(Tontuo, 2018)

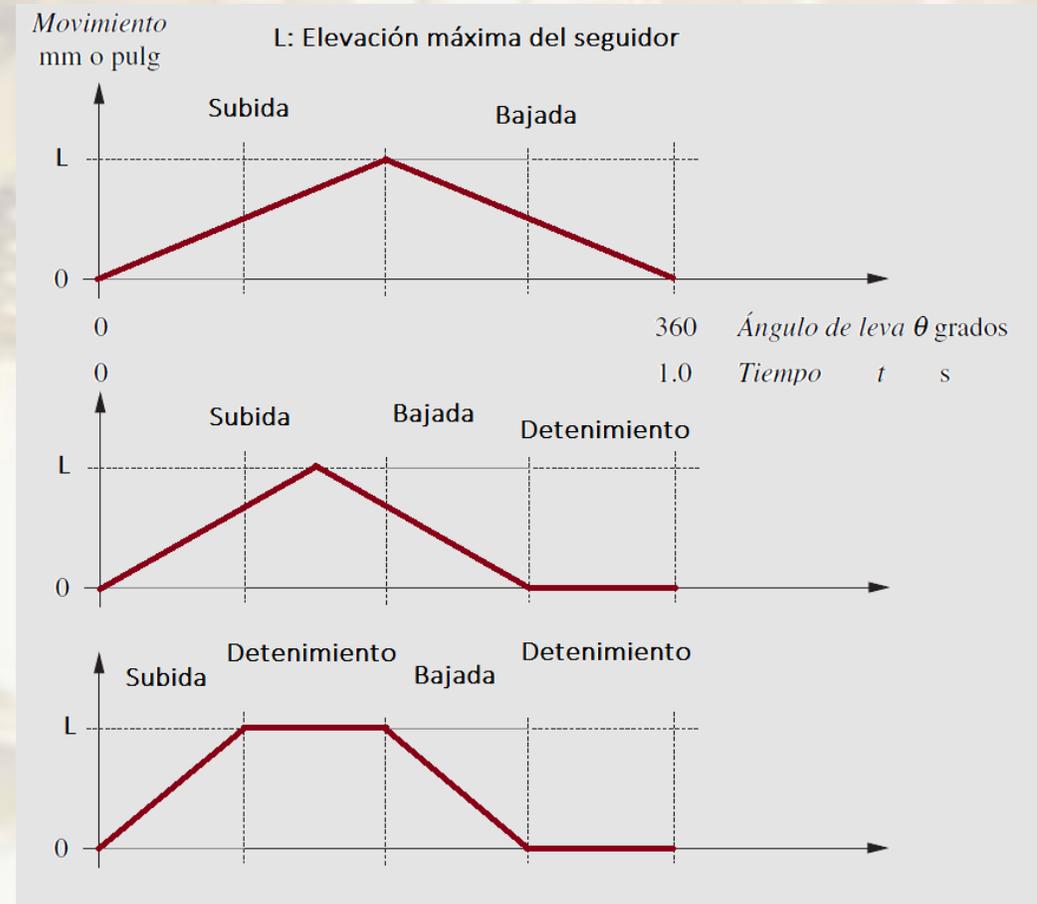
Diagrama de desplazamiento (Myszka, 2012).

- Un mecanismo de leva-seguidor tiene un solo grado de libertad. Es impulsado por el movimiento de un eje que gira a velocidad constante, y se pretende producir un movimiento de salida determinado que se desea para el seguidor (Norton, 2009).
- El movimiento del seguidor puede expresarse en términos de desplazamiento de leva angular en lugar de tiempo.
- Una vez prescrito el movimiento del seguidor, se registra en forma gráfica.
- Una gráfica del desplazamiento del seguidor contra el tiempo, o desplazamiento angular de la leva, se denomina diagrama de desplazamiento del seguidor.

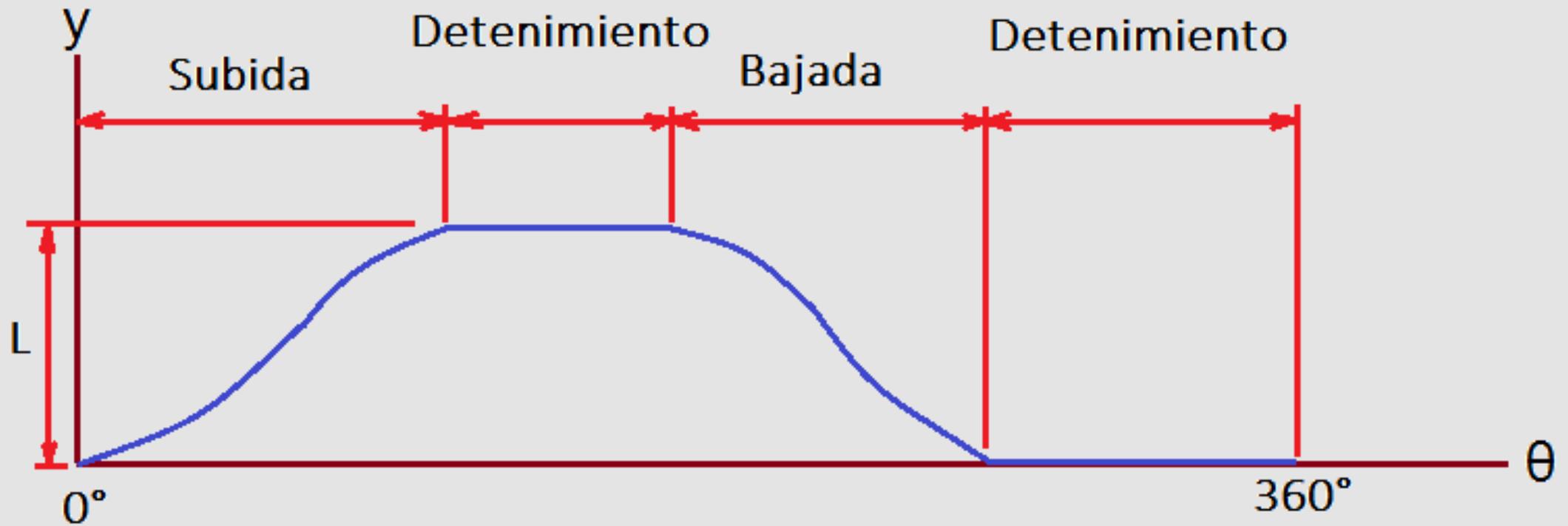
- 
- El eje vertical de este diagrama muestra el desplazamiento lineal del seguidor, expresado en pulgadas o milímetros. El eje horizontal muestra el tiempo, medido en segundos o minutos, o desplazamientos de leva angular, medidos en grados o fracciones de una revolución (Myszka, 2012).

Programa de movimiento (Norton, 2009)

- El movimiento es subida-bajada, subida-bajada-detenimiento y subida-detenimiento-bajada-detenimiento.
- Los detenimientos son nulos movimientos del seguidor.
- Los mecanismos con detenimiento tienden a ser bastante grandes para su movimiento de salida y difíciles de diseñar.



(Norton, 2009)



L: Elevación del seguidor

Establecida la relación exacta entre la entrada θ y la salida y , se construye el diagrama de desplazamiento de la relación funcional $y=y(\theta)$ (Shigley, 1988).

Ley fundamental del diseño de levas (Norton, 2009)

- Cualquier leva que opera a velocidades diferentes de las muy bajas debe diseñarse con las siguientes restricciones:
- La función de leva debe ser continua en la primera y segunda derivadas de desplazamiento a través de todo el intervalo (360 grados).
- Corolario : La función de rapidez de aceleración debe ser finita a través de todo el intervalo (360 grados).
- Las levas se definen por varias funciones distintas que describen el comportamiento del seguidor a través de un segmento de la leva.
- Las funciones deben tener continuidad de tercer grado.

Movimiento del seguidor (Norton, 2009)

- En el diseño de la leva se requiere que el seguidor se desplace a través de una elevación (subida) y descenso (bajada) específico.
- La forma de la curva de desplazamiento definirá las propiedades inerciales (y de impacto) de la leva y el seguidor.
- La velocidad v , la aceleración a y, en algunos casos, las derivadas de mayor orden del desplazamiento del seguidor son importantes para prevenir desgaste prematuro, vibraciones y ruido en el mecanismo leva-seguidor.
- Para el análisis cinemático del mecanismo leva-seguidor se supone que la velocidad angular de la leva ω es constante.

Ecuaciones cinemáticas (Waldron & Kinzel, 2004)

- Sea $y = y(\theta)$ una función del desplazamiento angular de la leva para que el seguidor suba o baje una altura y .
- Al derivar la función anterior respecto al tiempo se obtiene la velocidad con que el seguidor sube o baja.

$$\dot{y} = \frac{dy}{dt} = \frac{dy}{d\theta} \frac{d\theta}{dt} = y' \omega$$

- La segunda derivada de la función de desplazamiento da

$$\ddot{y} = \frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dy}{d\theta} \frac{d\theta}{dt} \right)$$

$$\ddot{y} = \frac{d^2 y}{d\theta^2} \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 + \frac{dy}{d\theta} \frac{d^2 \theta}{dt^2}$$

$$\ddot{y} = \frac{d^2 y}{d\theta^2} (\omega)^2 + \frac{dy}{d\theta} \alpha$$

$$\ddot{y} = y'' \omega^2$$

(Waldron & Kinzel, 2004)

- Nótese que las unidades de velocidad son longitud/(desplazamiento angular) y las de aceleración longitud/(desplazamiento angular)².
- Si la velocidad angular de la leva no es constante, entonces el perfil de la leva se puede diseñar para una sola situación operativa si las derivadas superiores son importantes
- Diferentes funciones pueden usarse para conectar partes del diagrama de desplazamiento donde se requiere un tipo de movimiento específico.
- El perfil de desplazamiento obtenido determina la forma de la leva.

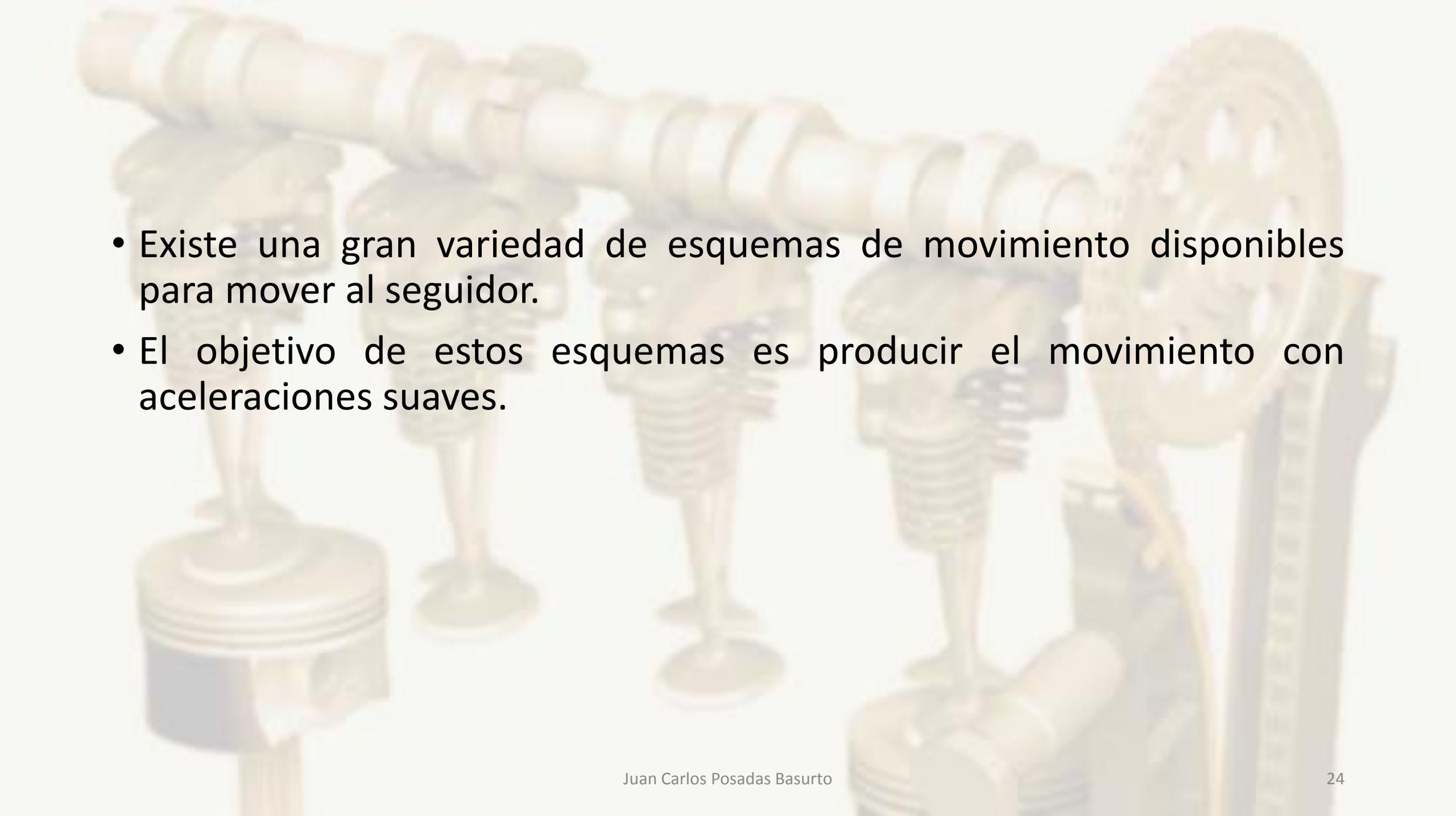
(Waldron & Kinzel, 2004)

- Ambas partes de subida y bajada contienen uno o más puntos de inflexión. Puntos donde se alcanza una pendiente máxima que corresponde a puntos en la superficie de leva con máxima inclinación.
- Se identifican por las ubicaciones donde la curvatura del diagrama cambia de signo.
- En los puntos de inflexión, el radio de curvatura de la curva es infinito.

Esquemas de movimiento del seguidor

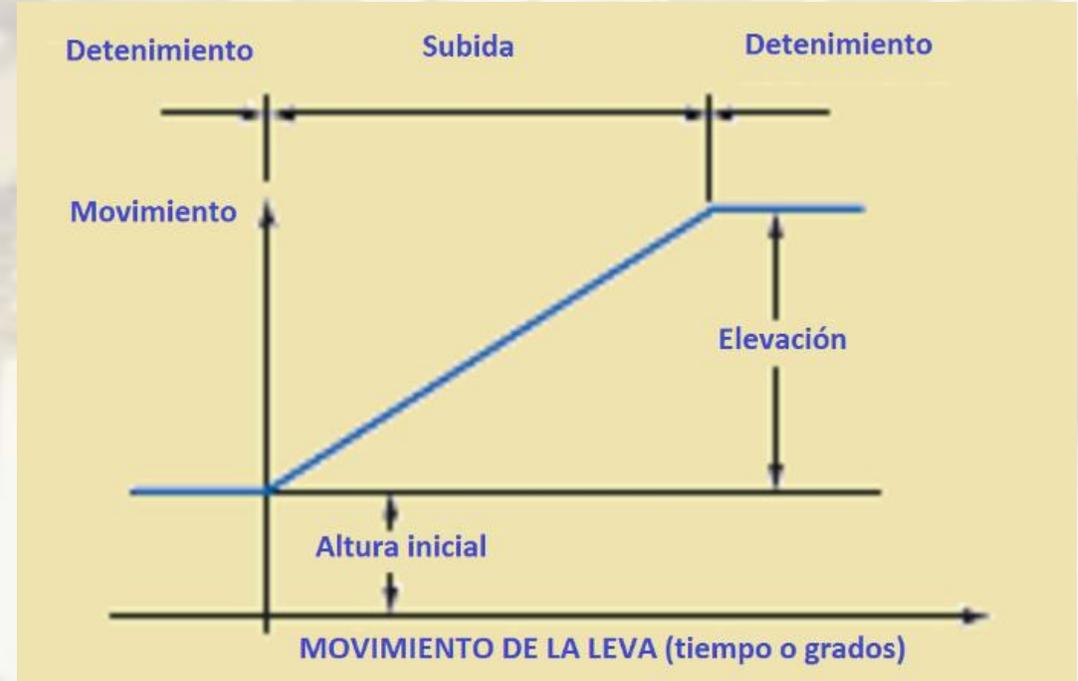
(Myszka, 2012).

- El diseño de una leva contempla su forma adecuada para garantizar que el seguidor logre los movimientos deseados.
- Los movimientos de subida y bajada descritos en el diagrama de desplazamiento son críticos por que las aceleraciones que cambian rápidamente causan vibración y, por consiguiente, ruido.
- Además si son aceleraciones grandes causarán fuerzas grandes y, en consecuencia, altas tracciones.
- Para levas de movimiento lento, altas aceleraciones no son un factor.

- 
- Existe una gran variedad de esquemas de movimiento disponibles para mover al seguidor.
 - El objetivo de estos esquemas es producir el movimiento con aceleraciones suaves.

Velocidad constante

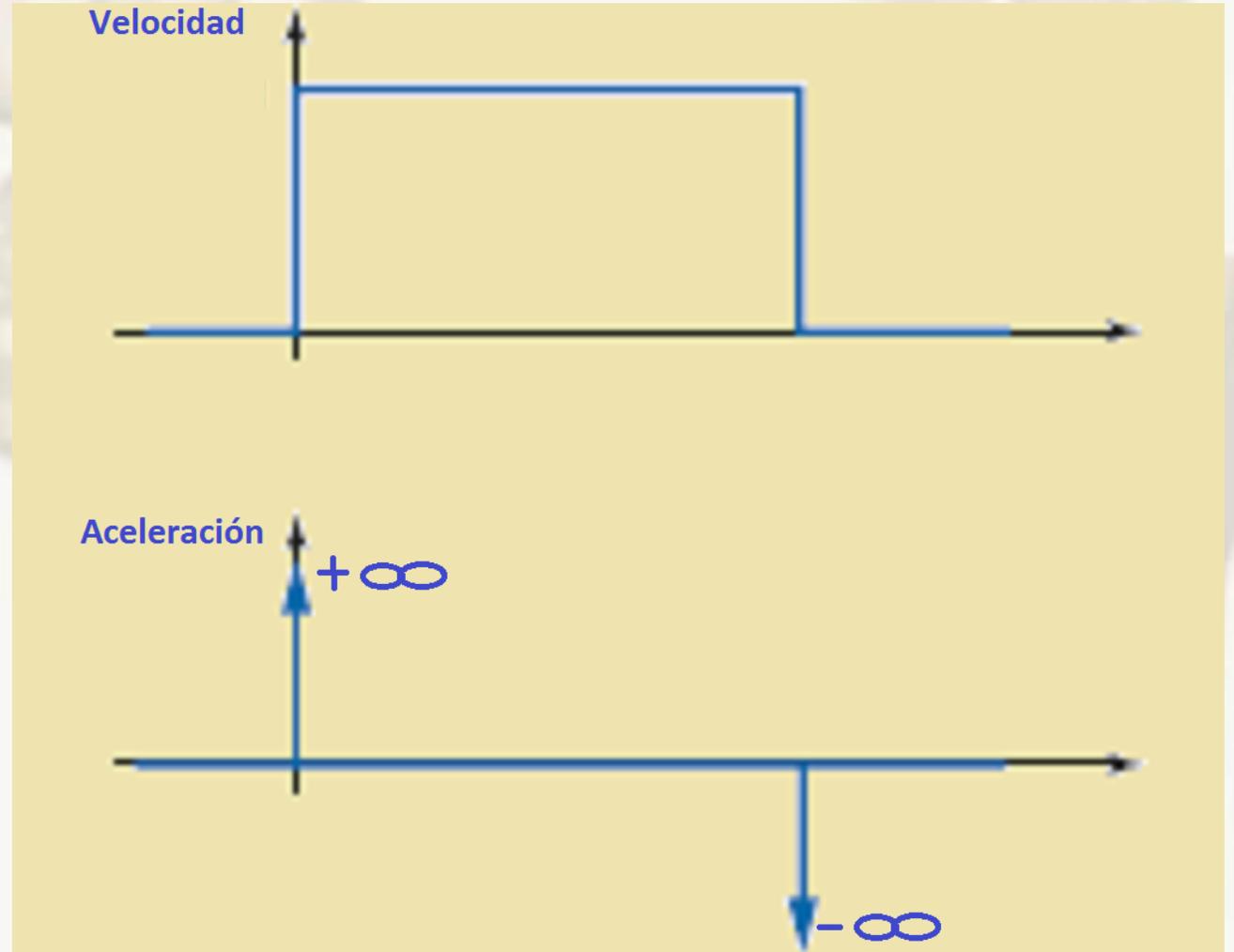
- Es el movimiento del seguidor más simple durante un esquema de subida o bajada.
- Se caracteriza con un diagrama de movimiento en línea recta.
- Los extremos de este esquema de movimiento causan problemas.



Velocidad constante

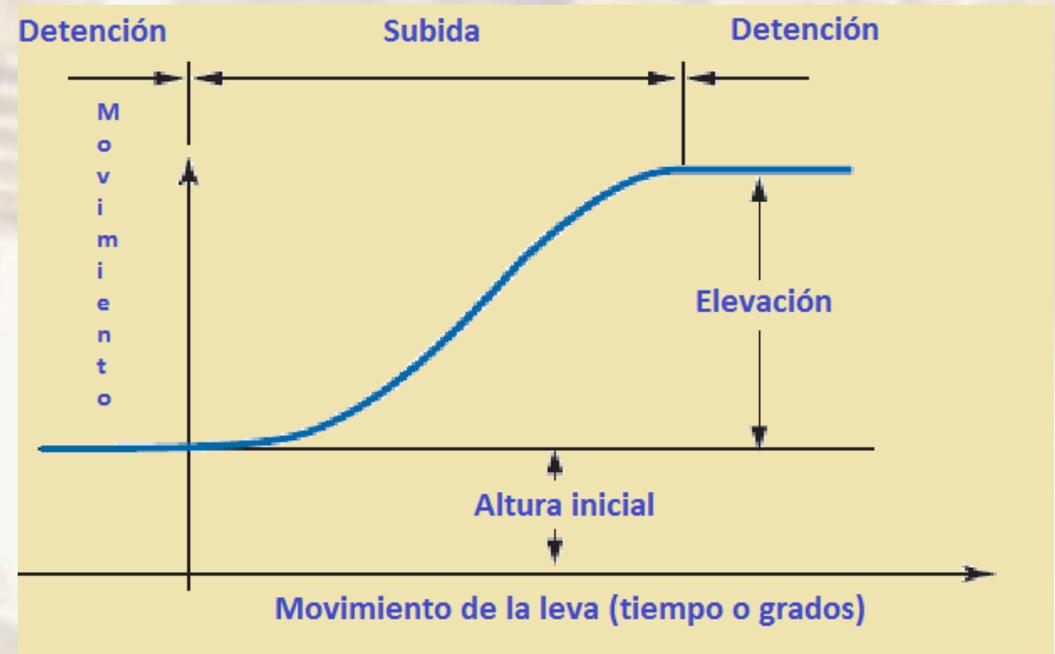
El salto instantáneo de cualquier valor constante de velocidad a otro valor constante de velocidad da aceleración infinita.

Este movimiento en su forma pura no es práctico, excepto para aplicaciones de baja velocidad.



Aceleración constante

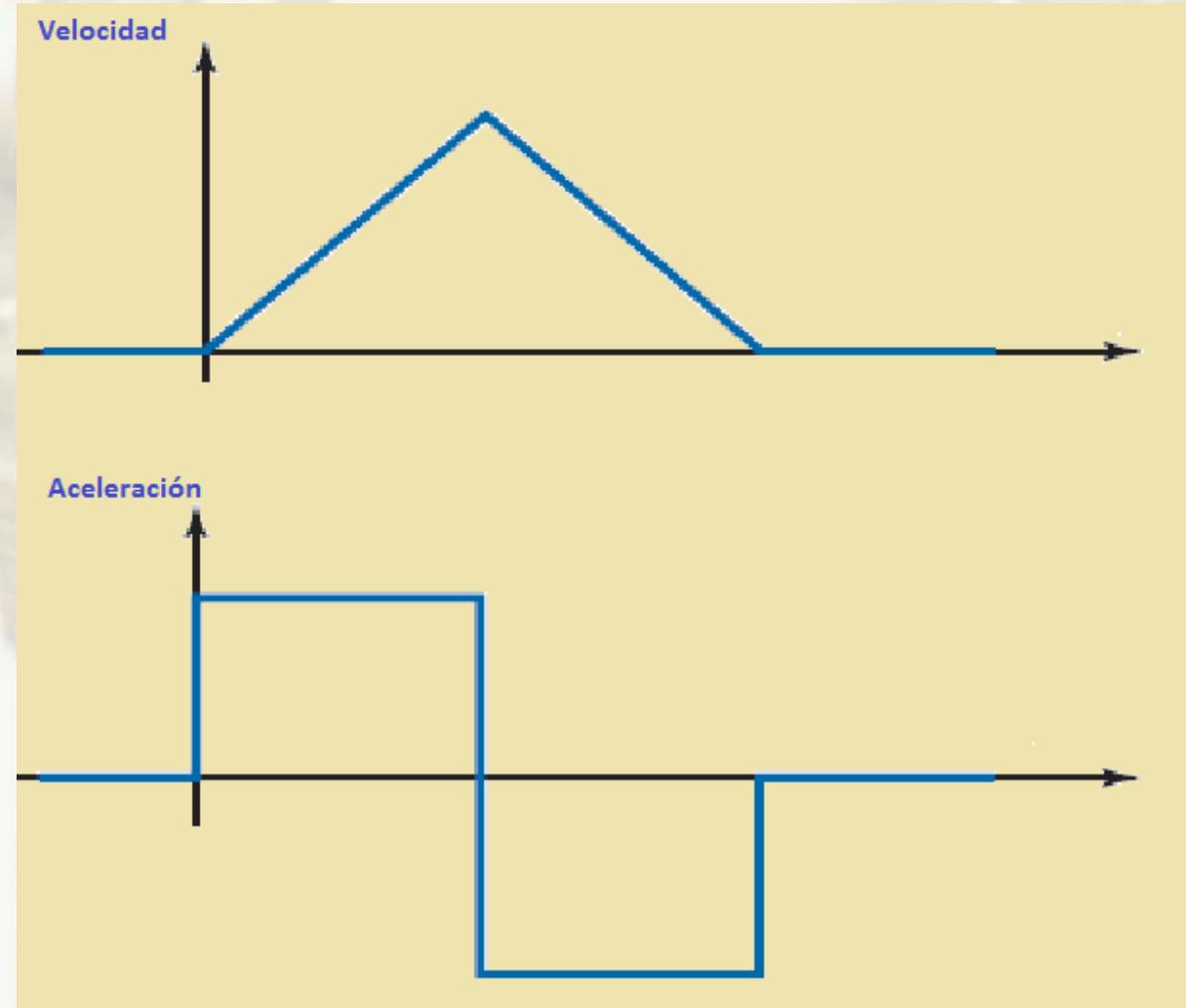
- El movimiento de aceleración constante durante una secuencia ascendente o descendente produce los valores más pequeños posibles para una elevación y un intervalo de tiempo determinados.



Aceleración constante

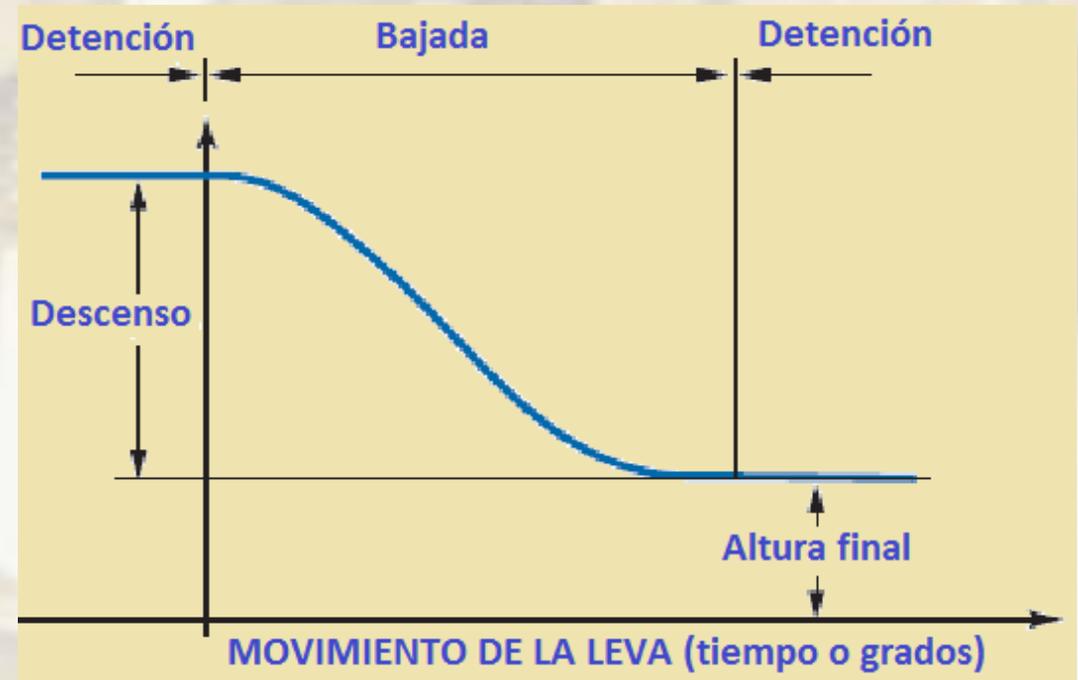
El diagrama de movimiento para subida o bajada se divide en dos mitades, una de aceleración constante y otra de deceleración constante.

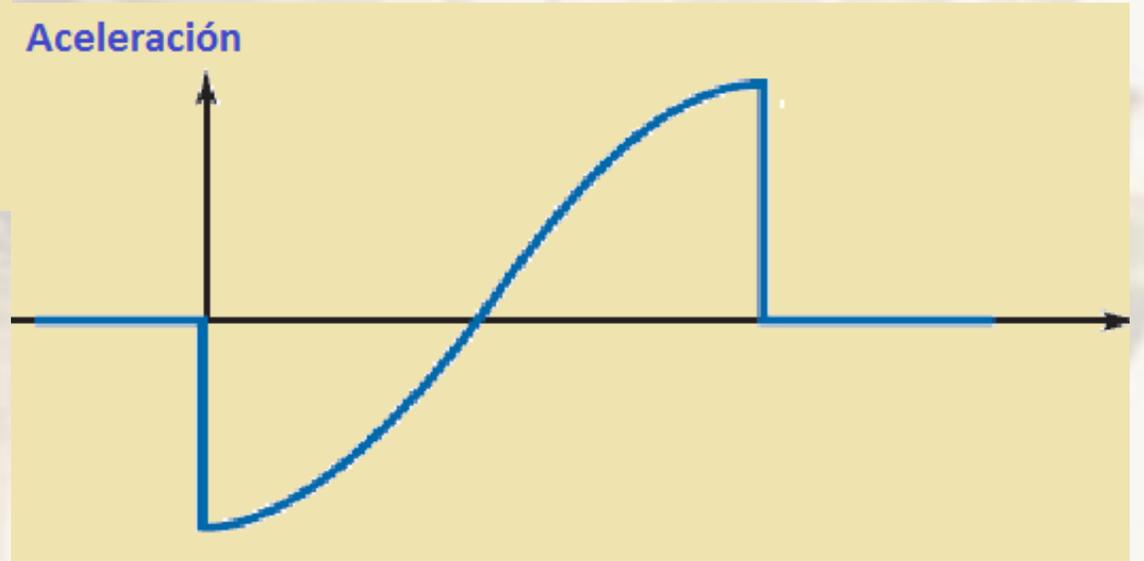
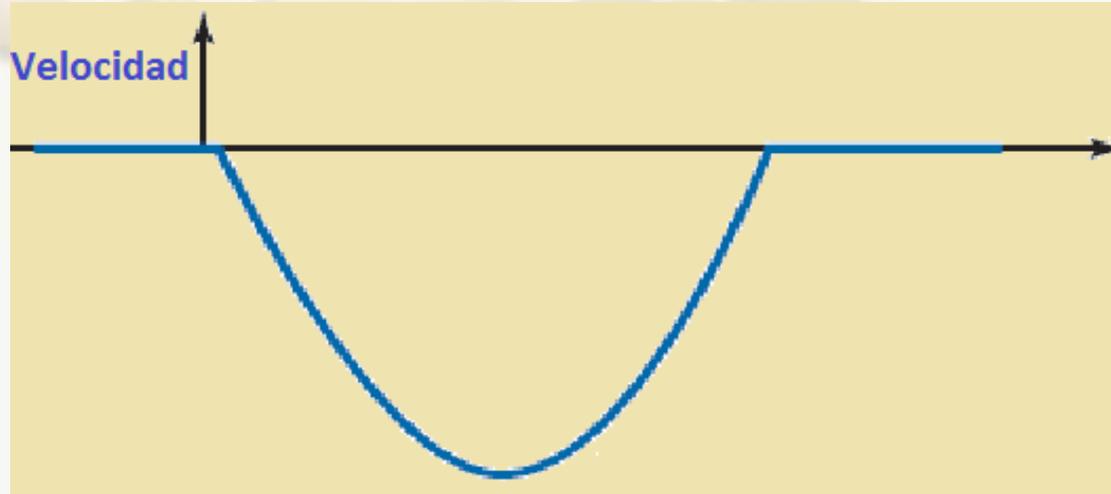
Este esquema de movimiento tiene un cambio abrupto de aceleración al final del movimiento y en el punto de transición entre las mitades de aceleración y desaceleración.



Movimiento armónico

- Para evitar problemas de inercia con discontinuidades en las curvas de movimiento se ha estudiado el movimiento armónico.
- Es el movimiento de proyección de un punto en un disco giratorio proyectado a una línea recta.
- Tiene aceleración continua suave.

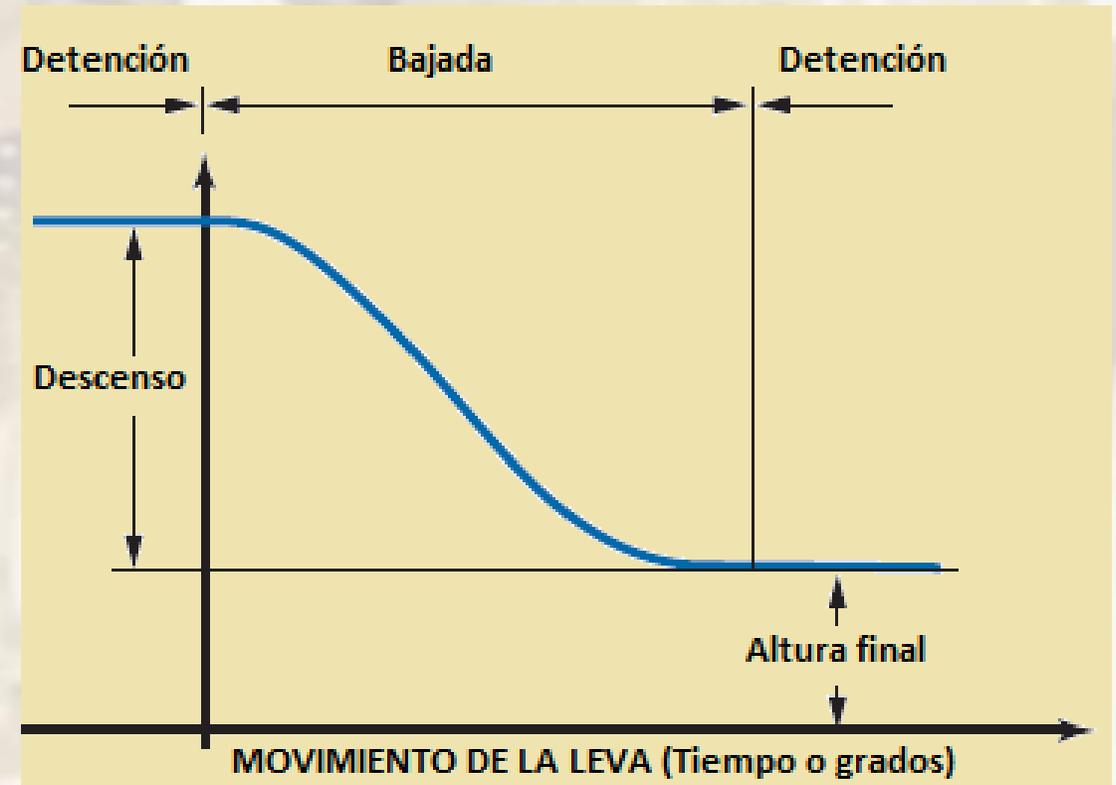


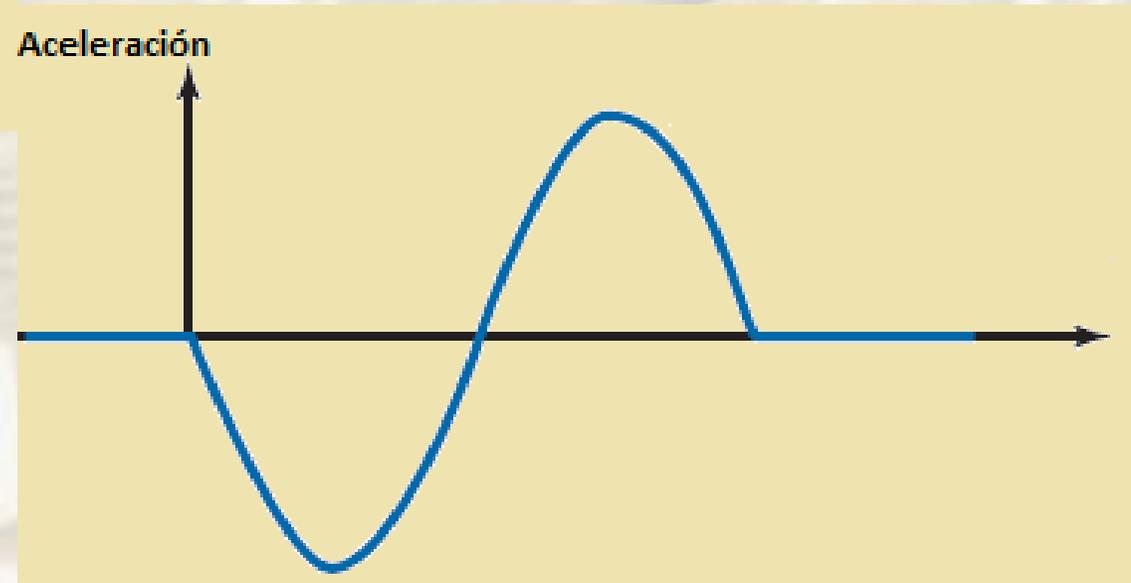
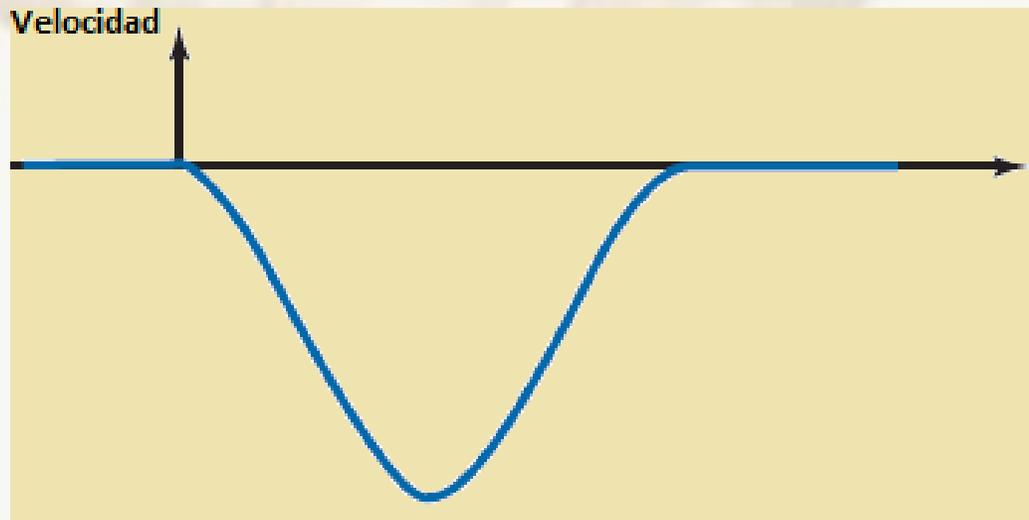


- Sin embargo, tiene un cambio repentino de aceleración en los extremos del movimiento.

Cicloidal

- En el movimiento cicloidal las curvas de movimiento son muy suaves y no tiene el cambio repentino en la aceleración en los extremos del movimiento.
- Este tipo de curva es recomendable para aplicaciones de alta velocidad.





- En un sentido físico, es el movimiento de un punto en un disco rodando en línea recta.

Nomenclatura de las levas (Erdman & Sandor, 1998)

- **Círculo base:** círculo más pequeño que puede dibujarse tangente a la superficie de la leva concéntrica con su eje.
- **Punto trazador:** punto en el centro del seguidor que genera la curva de paso.
- **Ángulo de presión:** ángulo entre la dirección de la trayectoria del seguidor y la normal a la curva de paso que pasa por el centro del seguidor de la leva.
- Es deseable que el ángulo de presión sea de un valor entre 0 y 30° para seguidores trasladantes y así evitar las cargas laterales excesivas en el seguidor deslizante (Norton, 2009).

- Si el seguidor oscila en un brazo pivotado, un ángulo de presión aun de 35° es aceptable (Norton, 2009).
- Círculo primario: menor círculo con centro en el eje de la leva y tangente a la curva de paso, que es la trayectoria trazada por el punto trazador respecto a la leva.
- Excentricidad: distancia perpendicular entre el eje de movimiento del seguidor y el centro de la leva (Norton, 2009)..
- Una expresión para el ángulo de presión ϕ en función del desplazamiento s , la velocidad v , la excentricidad ε y el radio del círculo primario R_p es (Norton, 2009)

$$\phi = \tan^{-1} \frac{v - \varepsilon}{s + \sqrt{R_p^2 - \varepsilon^2}}$$

- v está en unidades de longitud sobre radianes.

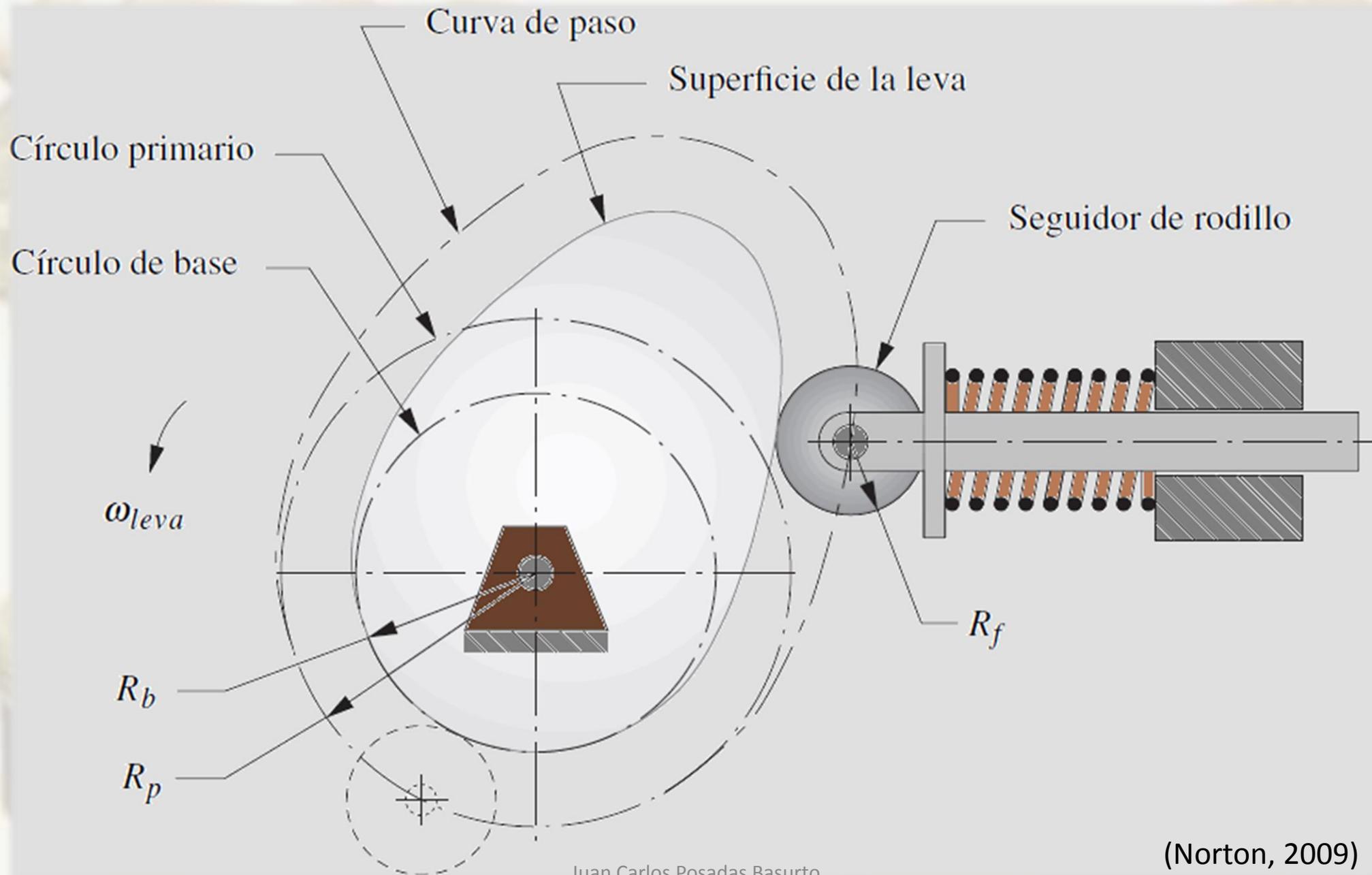
- Si una leva apropiadamente pequeña no cuenta con ángulo de presión aceptable, la excentricidad lo cambiará. Con una velocidad angular w positiva, un valor positivo de excentricidad disminuirá el ángulo de presión en la subida, pero lo incrementará en la bajada. La excentricidad negativa provoca lo contrario (Norton, 2009).
- Si los ajustes de R_p o ε no producen ángulos de presión aceptables, el único recurso será regresar a una etapa anterior del proceso de diseño y volver a definir el problema (Norton, 2009).
- Punto de paso: posición del ángulo de presión máximo a lo largo de la curva de paso.
- Radio de curvatura de la leva: para el caso de un seguidor de rodillo, se puede escribir la ecuación del radio de curvatura de la curva de paso de la leva (Norton, 2009).

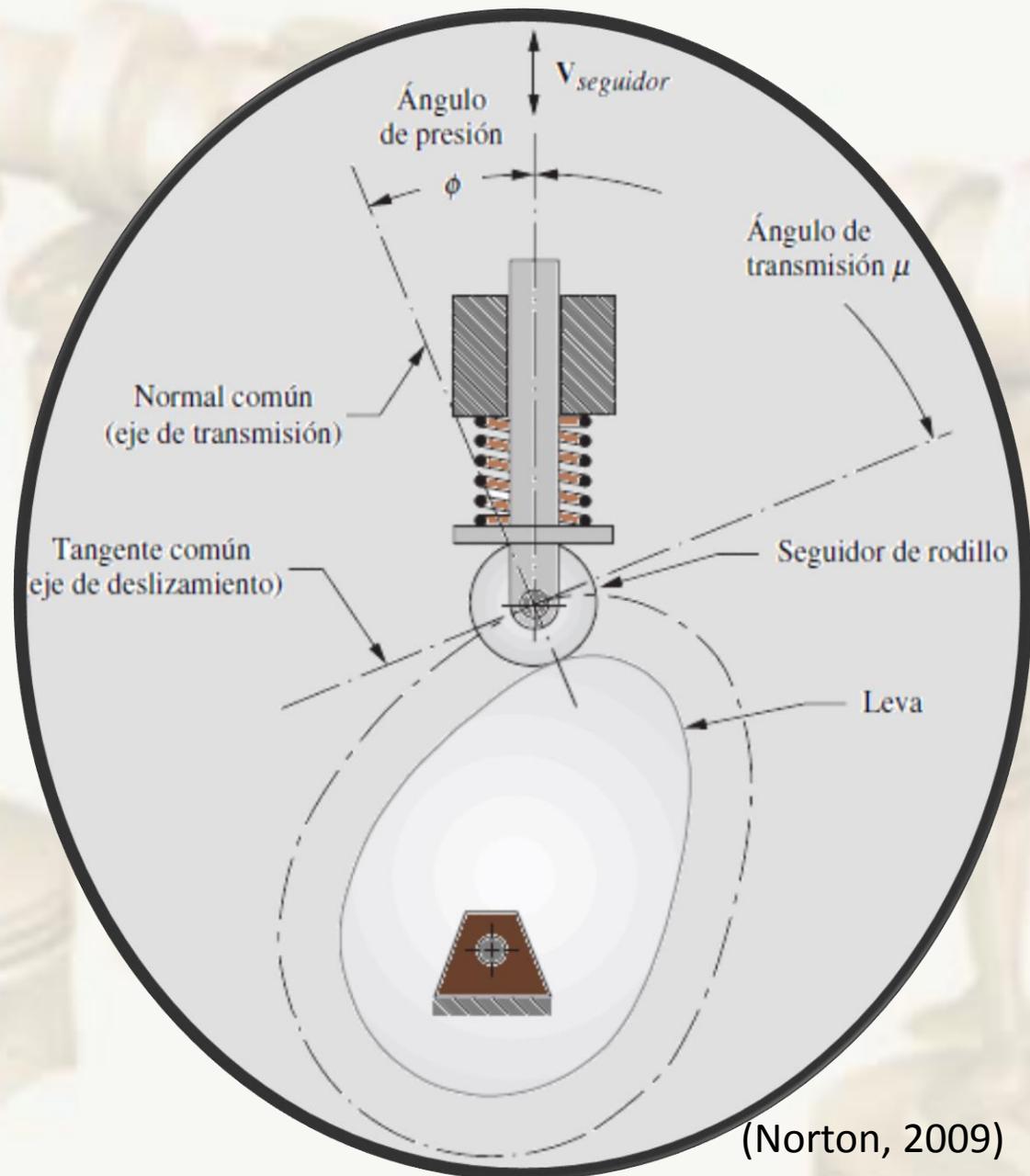
$$\rho_{paso} = \frac{\left[(R_p + s)^2 + v^2 \right]^{3/2}}{(R_p + s)^2 + 2v^2 - a(R_p + s)}$$

- Donde s , v y a son el desplazamiento, la velocidad y la aceleración del programa de leva. Sus unidades son longitud, longitud/rad y longitud/rad², respectivamente (Norton, 2009).
- El radio de curvatura mínimo para un seguidor de cara plana se obtiene con la siguiente ecuación (Norton, 2009).

$$\rho_{mínimo} = R_b + (s + a)_{mínimo}$$

- R_b es el radio del círculo base.





(Norton, 2009)

Bibliografía

- Erdman, A. G. & Sandor, G. N., 1998. *Diseño de mecanismos. Análisis y síntesis..* Tercera ed. México: Pearson.
- Magazynauto.pl, 2013. *Magazynauto.pl*. [En línea] Available at: <http://magazynauto.interia.pl> [Último acceso: 6 Junio 2018].
- Myszka, D. H., 2012. *Machines and mechanisms. Applied kinematics analysis*. New Jersey: Prentice Hall.
- Norton, R. L., 2009. *Diseño de maquinaria. Síntesis y análisis de máquinas y mecanismos*. México: Mc Graw-Hill.

- Shigley, J. E., 1988. *Teoría de máquinas y mecanismos*. México: McGraw-Hill.
- Tecnologiapirineos, 2012. *Tecnología Pirineos*. [En línea] Available at: <http://tecnologiapirineos.blogspot.com/2012/02/levas.html> [Último acceso: 6 Junio 2018].
- Tontuo, 2018. *Hangzhou Tongtuo import and export Co., LTD*. [En línea] Available at: <https://tontuo.en.alibaba.com> [Último acceso: 7 Junio 2018].
- VXB, 2018. *VXB.com ball bearings*. [En línea] Available at: <https://www.vxb.com> [Último acceso: Junio 7 2018].
- Waldron, K. J. & Kinzel, G. L., 2004. *Kinematics, dynamics and design of machinery*. USA: John Wiley & Sons, Inc.