

Departamento de Ingeniería Mecánica
Universidad Carlos III de Madrid



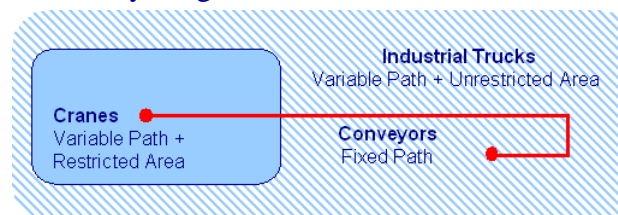
CARRETILLAS INDUSTRIALES

TRANSPORTES

CARRETILLAS INDUSTRIALES

INTRODUCCIÓN

- Utilizadas para mover material sobre caminos variables sin restricción de área.
- Pueden proporcionar movimientos verticales.
- Utilizadas cuando el flujo de material no es suficiente para justificar la utilización de, por ejemplo, cintas transportadoras.
- Proporcionan mayor flexibilidad en movimiento que las cintas transportadoras y las grúas.



Carretillas elevadoras

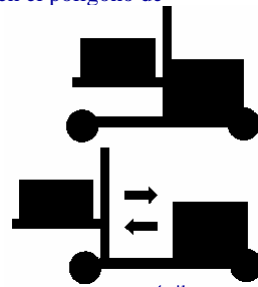
- Son el método más utilizado para el transporte dentro y fuera de los almacenes. Se usan también para cargar y descargar camiones.
- El transporte se realiza con cargas paletizadas. Con esto se consigue que el proceso sea más cómodo y sencillo.
- Clasificación:
 - Contrapesadas: Carga en voladizo fuera del polígono de sustentación
 - Apiladoras: Centro de gravedad de la carga incluido en el polígono de sustentación.
 - Retráctiles: Participan de ambos condicionantes.



contrapesadas



apiladoras



retráctiles

Carretillas elevadoras II

- Características:
 - Cortos recorridos.
 - Continuas aceleraciones y desaceleraciones.
 - La dirección se encuentra en la parte trasera.
 - El eje direccional ofrece un amplio ángulo de giro:
 - Vehículos equipados con ejes pendulares: hasta 85 °.
 - Vehículos tipo triciclo o ejes de dirección tándem: hasta 90 °.
 - Pensados para operar en pasillos de dimensiones reducidas.
 - La velocidad máxima es, comparada con otros vehículos, relativamente baja (≤ 25 km/h).
 - Toma autónoma de cargas.
 - Elevado peso propio con respecto a la carga a transportar:

$$\frac{\text{peso maquina}}{\text{peso carga}} \geq 1.5$$

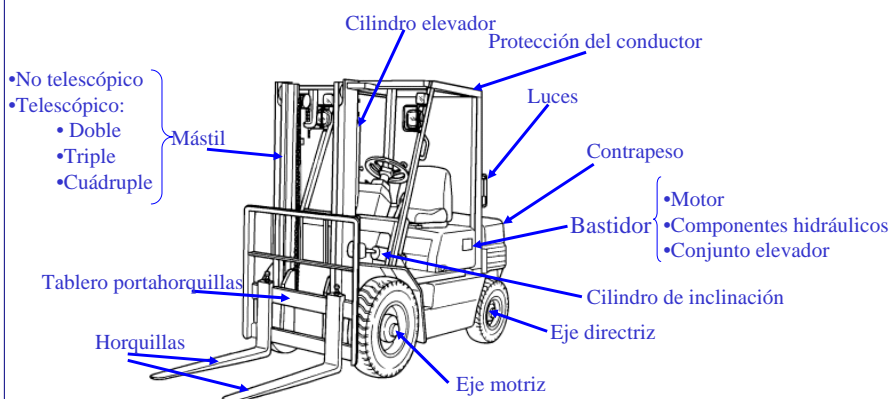
Carretillas elevadoras III

- Reducción de visibilidad:
 - La visibilidad es reducida sobre todo por poseer un poste o mástil de elevación, implementos y la propia carga.
 - En algunos casos el 50 % del trabajo se efectúa hacia atrás.
- Concentración del peso total sobre el eje delantero cuando el vehículo está cargado:
 - En vacío: 50 % eje delantero, 50 % eje trasero.
 - Con carga: 85-90% eje delantero, 10-15% eje trasero.
- Admite amplia gama de implementos.

• Gama:

Tipos de carretillas		c. d. g. carga
De 1000 a 2000 kp	Eléctricas o térmica. Interiores	0.5 m
De 2000 a 3000 kp	Eléctricas o térmica. Interiores	0.5 m
De 3000 a 5000 kp	Térmicas. Exteriores	0.5 m
De 5000 a 10000 kp	Térmicas. Exteriores	0.6 m
A partir de 10000 kp	Máquinas especiales	

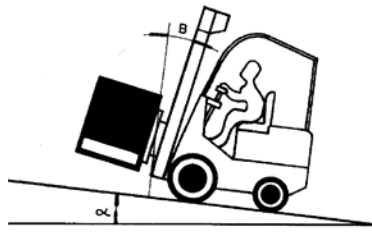
Carretillas elevadoras: elementos



Circulación por rampas

Norma Técnica de Prevención NTP-214 1988

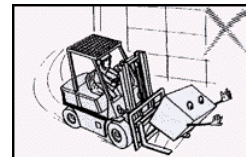
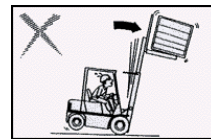
- **Circulación por rampas:**
 - Si la pendiente tiene una inclinación inferior a la máxima de la horquilla ($\alpha < \beta$) se podrá circular de frente en el sentido de descenso, con la precaución de llevar el mástil en su inclinación máxima.
 - Si el descenso se ha de realizar por pendientes superiores a la inclinación máxima de la horquilla ($\alpha > \beta$), el mismo se ha de realizar necesariamente marcha atrás.
 - El ascenso se deberá hacer siempre marcha adelante.



Estabilidad Carretillas elevadoras

Facultad de la carretilla a mantenerse en correcto equilibrio estático y dinámico sobre su tren de rodaje sin perder su carga

- **Factores determinantes para la seguridad:**
 - La distancia entre el eje delantero y trasero
 - La distancia entre las ruedas de un mismo eje (vía)
 - Reparto de cargas.
 - Peso propio del vehículo
 - Superficie de apoyo
 - La posición del contrapeso.
 - La posición del centro de gravedad del vehículo sin carga.
 - La posición del centro de gravedad del vehículo más la carga:
 - Contrapesadas
 - Apiladoras
 - Retráctiles
 - El valor de la carga.
 - Las fuerzas dinámicas.
 - Las operaciones de inclinación.



PRINCIPIO DEL TRIÁNGULO DE ESTABILIDAD

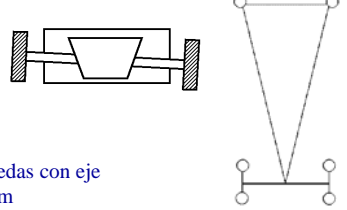
Estabilidad Carretillas elevadoras

SUPERFICIE DE APOYO

Carretilla elevadora de 3 ruedas



Carretilla elevadora de 4 ruedas equipada con eje de dirección pendulante



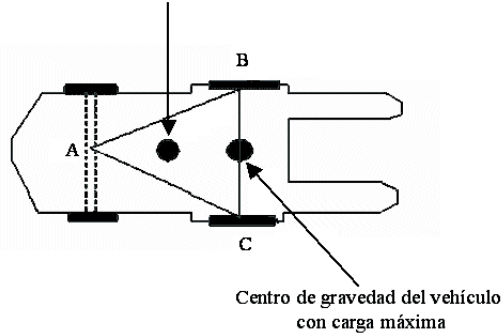
Carretilla elevadora de 4 ruedas con eje direccional tandem



Estabilidad Carretillas elevadoras

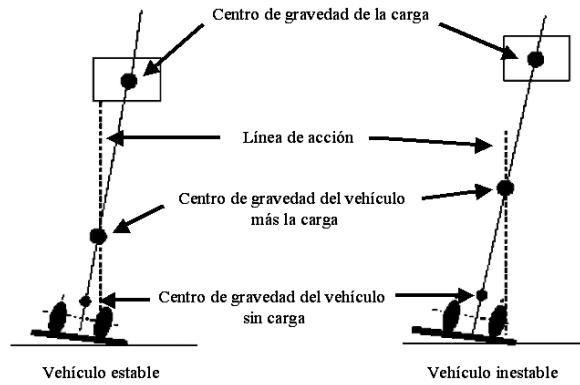
TRIÁNGULO DE ESTABILIDAD

Centro de gravedad del vehículo sin carga



Estabilidad Carretillas elevadoras

LÍNEA DE ACCIÓN

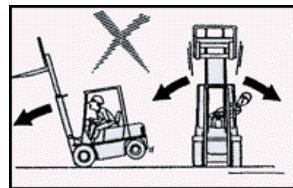


Estabilidad Carretillas elevadoras

- Estabilidad longitudinal
- Estabilidad lateral

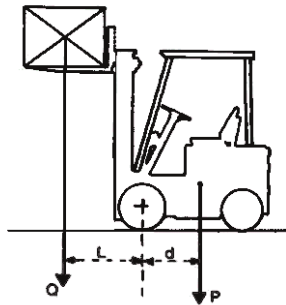


- En el apilado
- Durante el desplazamiento



Estabilidad Carretillas elevadoras

ESTABILIDAD LONGITUDINAL DURANTE EL APILADO



$$\text{Momento máquina} = P \cdot d$$

$$\text{Momento carga} = Q \cdot L$$

Seguridad estática:

$$Q \cdot L = P \cdot d$$

Para garantizar la seguridad dinámica:

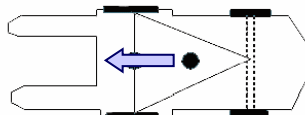
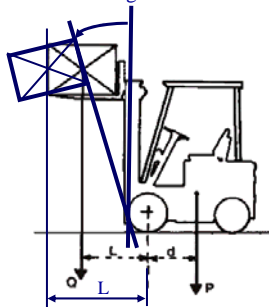
$$\frac{\text{Momento maquina}}{\text{Momento carga}} \geq 1.3$$

Buenas carretillas de 1.4 a 1.7 con carga a alturas de elevación > 5 m

Estabilidad Carretillas elevadoras

ESTABILIDAD LONGITUDINAL DURANTE EL APILADO

- Es independiente de la altura a la que se encuentra la carga.
- Si el mástil se inclina hacia delante:
 - El centro de gravedad de la carga también lo hace.
 - Si el centro de gravedad total se desplaza sitúe fuera del triángulo de equilibrio: el vehículo vuelca longitudinalmente.

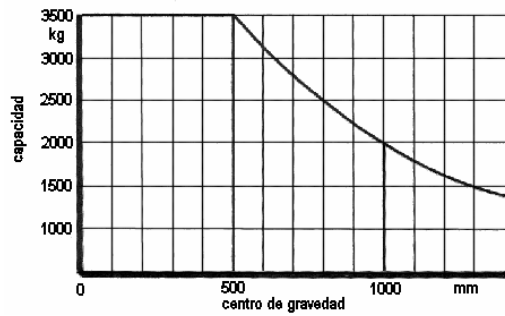


Estabilidad Carretillas elevadoras

- Capacidad nominal:

Capacidad de carga bajo unas condiciones determinadas y un centro de gravedad específico (carga).

Relación entre distancia y capacidad de carga.



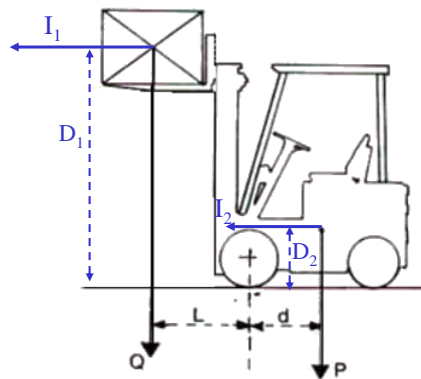
Estabilidad Carretillas elevadoras

ESTABILIDAD LONGITUDINAL DURANTE EL DESPLAZAMIENTO

Si la carretilla:

- se desplaza hacia delante y frena
- Se desplaza hacia detrás y acelera

$$I_1 \cdot D_1 + Q \cdot L + I_2 \cdot D_2 = P \cdot d$$



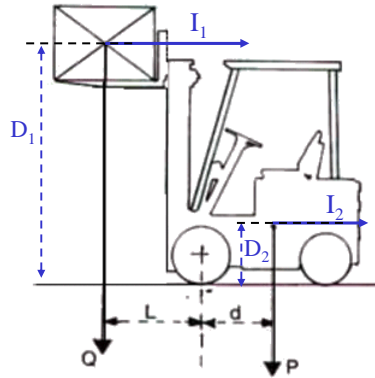
Estabilidad Carretillas elevadoras

ESTABILIDAD LONGITUDINAL DURANTE EL DESPLAZAMIENTO

Si la carretilla:

- se desplaza hacia delante y acelera
- Se desplaza hacia detrás y frena

$$Q \cdot L = P \cdot d + I_1 \cdot D_1 + I_2 \cdot D_2$$

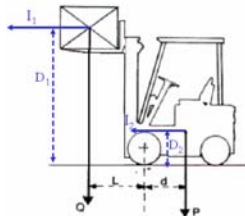


Estabilidad Carretillas elevadoras

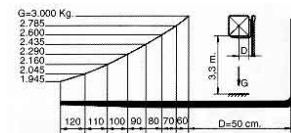
ESTABILIDAD LONGITUDINAL DURANTE EL DESPLAZAMIENTO

•Las situación más desfavorable o más restrictiva:

- La carretilla se desplaza hacia delante y frena
- La carretilla se desplaza hacia detrás y acelera.



$$I_1 \cdot D_1 + Q \cdot L + I_2 \cdot D_2 = P \cdot d$$



•La altura a la que se encuentra la carga influye en su estabilidad:

- Cuanto más alta está la carga, peor es la estabilidad de la carretilla.

Las carretillas cuando se desplazan deben ir con la carga a nivel del piso.

Estabilidad Carretillas elevadoras

ESTABILIDAD LATERAL DURANTE EL APILADO

•Durante las operaciones de apilado, la carretilla no se desplaza o lo hace muy lentamente por lo que las aceleraciones a las que está sometida el vehículo y carga se pueden considerar nulas o despreciables.

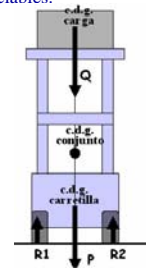
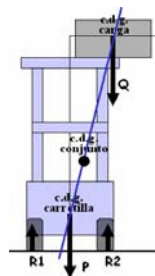
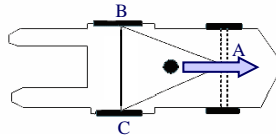
•Las fuerzas que actúan son:

- la fuerza debida al peso de la carga
- la fuerza debida al peso del vehículo sin carga.

Si la carga está centrada y el mástil está en posición horizontal, la carretilla es estable y no vuelca lateralmente.

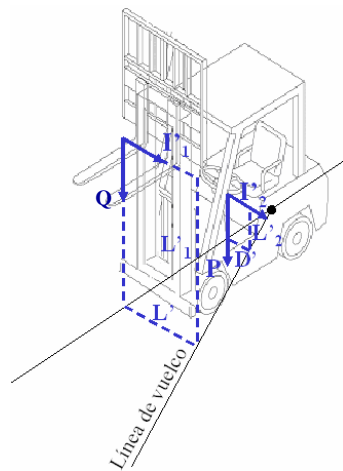
Problemas:

- si se quiere aumentar la estabilidad longitudinal de la carretilla, aumentando el mástil hacia atrás.
- si la carga está descentrada.



Estabilidad Carretillas elevadoras

ESTABILIDAD LATERAL DURANTE EL DESPLAZAMIENTO



$$I_1 \cdot L_1 + I_2 \cdot L_2 = Q \cdot L + P \cdot D$$

Si la carga se inclina hacia delante, la distancia L' aumenta, incrementándose también el momento de equilibrio

Estabilidad Carretillas elevadoras

ESTABILIDAD LATERAL DURANTE EL DESPLAZAMIENTO

• Los parámetros que influyen negativamente en la estabilidad lateral de la carretilla son:

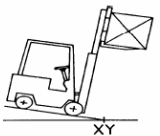
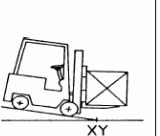
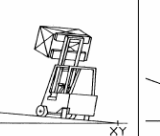
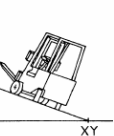
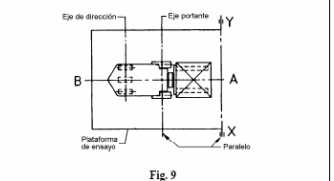
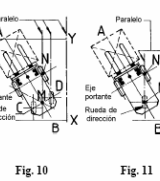


- La velocidad en curvas. Cuanto mayor es la velocidad, mayor es la fuerza centrífuga (I_1') generando un par mayor y, por tanto, la carga que es capaz de soportar la carretilla es menor.
- La altura de la carga. A mayor altura de la carga, mayor es la distancia L_1' , mayor es el par que se genera y, por tanto, la carga que es capaz de soportar la carretilla es menor.

• Estas situaciones se agravan si la carga está descentrada hacia el exterior de la curva porque disminuye la distancia L' , provocando una disminución del par generado por la carga.

$$I_1' \cdot L_1' + I_2' \cdot L_2' = Q \cdot L' + P \cdot D'$$

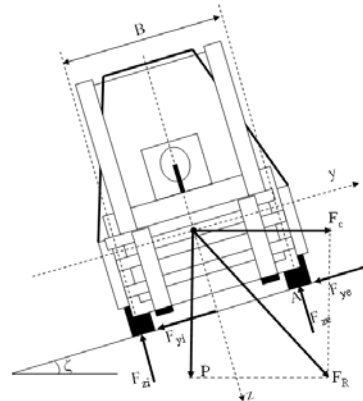
La mayor estabilidad contra el vuelco lateral en curvas se obtiene con el vehículo cargado y la carga en descenso

Estabilidad Carretillas elevadoras

Ensayo n°	1	2	3	4	
Estabilidad	Longitudinal		Lateral		
Utilización	Aplando	Desplazándose	Aplando	Desplazándose	
Carga	Carga de ensayo	Carga de ensayo	Carga de ensayo	Sin carga	
Altura de elevación	Máximas	Baja (véase el apartado 4.3.6)	Máximas	Baja (véase el apartado 4.3.6)	
Posición del mástil	Vertical	Inclinación máxima hacia atrás (para carretillas con mástil inclinable)		Baja (véase el apartado 4.3.6)	
Posición sobre la plataforma de ensayo	Figuras 5 y 9		Figuras 7 y 10, 11 y 12	Figuras 8 y 10, 11 y 12	
Inclinación de la plataforma de ensayo	Capacidad nominal $\leq 4\ 999$ kg	4%	18%	6%	($15 + 1,4v$) %* (50% máx.)
	Capacidad nominal $\leq 50\ 000$ kg	3,5%	18%	6%	($15 + 1,4v$) %* (40% máx.)
Posición de la carretilla sobre la plataforma de ensayo	 Fig. 5	 Fig. 6	 Fig. 7	 Fig. 8	
AB: Plano vertical longitudinal de la carretilla CD: Eje de simetría del eje de dirección MN: Eje de vuelco de la carretilla XY: Eje de inclinación de la plataforma de ensayo.	 Fig. 9		 Fig. 10	 Fig. 11	
			 Fig. 12		

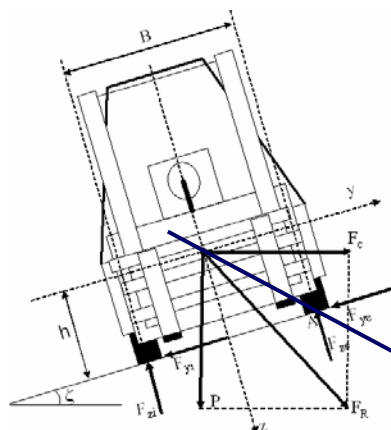
* v = Velocidad máxima de la carretilla sin carga en km/h.

Velocidades límite y de derrape



Velocidades límite de vuelco y de derrape

VELOCIDAD LÍMITE DE VUELCO



la condición límite de vuelco se produce cuando la resultante F_R de las fuerzas que actúan sobre el centro de gravedad del vehículo (peso y fuerza centrífuga) corta a la superficie de rodadura en el punto exterior de la huella de contacto del neumático exterior

$$\frac{F_y}{F_z} = \frac{F_c \cos(\zeta) - P \sin(\zeta)}{P \cos(\zeta) + F_c \sin(\zeta)} = \frac{B/2}{h}$$

$$F_c = \frac{PV^2}{gR}$$

Velocidad límite de vuelco:

$$V_{\text{vuelco}} = \sqrt{gR \frac{B/2h + tg\zeta}{1 - B/2h \cdot tg\zeta}}$$

Sin peralte: ($\zeta=0$)

$$V_{\text{vuelco}(\zeta=0)} = \sqrt{gRB/2h}$$

Velocidades límite de vuelco y de derrape

VELOCIDAD DE DERRAPE

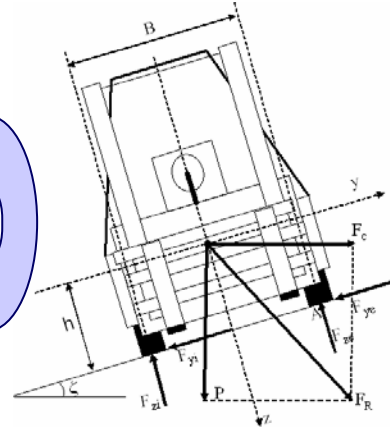
$$F_y = F_{yi} + F_{ye} = -P \operatorname{sen}(\zeta) + F_c \cos(\zeta)$$

$$F_z = F_{zi} + F_{ze} = P \cos(\zeta) + F_c \operatorname{sen}(\zeta)$$

$$F_{ye} + F_{yi} = \mu_y \cdot (F_{ze} + F_{zi})$$

$$F_c = \frac{PV^2}{gR}$$

$$V = \sqrt{gR \frac{\mu_y + tg\zeta}{1 - \mu_y tg\zeta}}$$



Si $\mu_y = \mu_{y\max}$: velocidad de derrape

$$V_{\text{derrape}} = \sqrt{gR \frac{\mu_{y\max} + tg\zeta}{1 - \mu_{y\max} tg\zeta}}$$

Sin peralte: ($\zeta=0$)

$$V_{\text{derrape}(\zeta=0)} = \sqrt{gR \mu_{y\max}}$$