

MAN.GRAL.003
V.1

SGO

Manual operatiu bàsic de Física

Manual operatiu

Control de versions

Versió	
01	Unitat redactora: Unitat redactora
	Data de redacció de la versió: 01/02/2026
	Canvis: Redacció inicial del document

Índex

1. Introducció	5
1.1. Objectiu del manual	5
2. Magnituds i Unitats	5
2.1. Magnituds fonamentals	5
2.2. Magnituds derivades	6
2.3. Altres unitats comunes i equivalències	6
2.4. Multiplicadors i divisors (prefixos del SI)	7
2.5. Conversió d'unitats	8
2.6. Escalars vs Vectors	9
2.6.1. Magnituds escalars	9
2.6.2. Magnituds vectorials	9
2.6.3. Representació de vectors	9
2.6.4. Força i parell de forces	9
3. Geometria i trigonometria	11
3.1. Càlcul d'Àrees i Volums	11
3.2. Teorema de Pitàgores	12
3.3. Trigonometria bàsica	13
4. Mecànica clàssica	14
4.1. Cinemàtica	14
4.1.1. Conceptes bàsics	14
4.1.2. Moviment Rectilini Uniforme (MRU)	15
4.1.3. Moviment Uniformement Accelerat (MUA)	16
4.1.4. Velocitat mitjana	17
4.1.5. Moviment circular	17
4.2. Dinàmica	18
4.2.1. Les tres lleis de Newton	18
4.2.1.1. Llei d'Inèrcia	18
4.2.1.2. Llei fonamental de la Dinàmica	18
4.2.1.3. Llei d'Acció-Reacció	19
4.2.2. Quantitat de moviment	19
4.3. Estàtica	21
4.4. Treball, energia i potència	22
4.4.1. Treball	22
4.4.2. Energia	23
4.4.2.1. Energia cinètica (E_c)	23
4.4.2.2. Energia potencial (E_p):	24
4.4.2.3. Principi de conservació de l'energia	25
4.4.2.4. Forces no conservatives	25
4.4.3. Potència	27
4.4.4. Rendiment i eficiència	28
5. Màquines simples	28
5.1. Palanques	29

5.2. Pla Inclinat.....	31
5.3. Torn.....	33
5.4. Politges (polispast)	34

En aquest text, per a les referències fetes a col·lectius, s'ha utilitzat el masculí amb valor genèric.

1. Introducció

La física és la ciència que estudia les propietats de la matèria, l'energia i les seves interaccions. El seu objectiu és entendre el funcionament de l'Univers a gran i petita escala. Els seus camps d'estudi són amplis i variats:

- **Mecànica:** Analitza el moviment, les forces i l'energia.
- **Termodinàmica:** Estudia la calor i els seus efectes.
- **Electromagnetisme:** Descriu la interacció entre camps elèctrics i magnètics.
- **Física nuclear i quàntica:** S'endinsa en el món de l'àtom i les partícules.

1.1. Objectiu del manual

Alguns d'aquests camps de la física es tracten en altres manuals, i altres s'escapen del seu abast. En aquest manual, ens centrarem en la mecànica clàssica, una branca fonamental de la física que descriu el moviment dels objectes i les forces que els afecten (sense entrar en els efectes de la relativitat ni la mecànica quàntica). Aquesta base teòrica ens permetrà entendre el funcionament d'eines, màquines i sistemes que utilitzem quotidianament els bombers.

2. Magnituds i Unitats

Una **magnitud** és qualsevol propietat d'un cos o fenomen que es pot mesurar, com la massa o la distància. Una **unitat** és la mesura que utilitzem per a aquesta magnitud.

2.1. Magnituds fonamentals

A l'hora de treballar i entendre'ns amb gairebé tot el món, es fa servir el mateix sistema de mesura. En el **Sistema Internacional (SI)**, que és el que utilitza la ciència i la majoria de llocs del món, hi ha 7 unitats fonamentals, que serveixen com a base per definir totes les altres magnituds (derivades):

Sistema internacional

Magnitud Fonamental	Símbol magnitud	Unitat del SI	Símbol unitat
Longitud	l	metre	m
Massa	m	quilogram	kg
Temps	t	segon	s
Temperatura	T	kelvin	K
Intensitat de corrent	I	ampere	A
Quantitat de substància	n	mol	mol
Intensitat lluminosa	I_v	candela	cd

D'aquestes, les 3 primeres (longitud, massa i temps) són les fonamentals de la mecànica clàssica.

2.2. Magnituds derivades

Les **magnituds derivades** són aquelles que s'obtenen combinant les magnituds fonamentals. Aquestes són les més utilitzades per descriure el moviment, les forces i l'energia dels sistemes físics. Les més comunes són:

Magnituds derivades

Magnitud Derivada	Símbol magnitud	Unitat del SI	Símbol unitat
Superfície o Àrea	S o A	metre quadrat	m^2
Volum	V	metre cúbic	m^3
Velocitat	v	metre per segon	m/s
Acceleració	a	metre per segon quadrat	m/s^2
Força	F	newton	N
Pressió	P	pascal	Pa
Treball	W	joule	J
Energia	E	joule	J
Potència	P	watt	W
Angles	α, β	radiants	rad

Per convenció, el nom de la unitat sempre s'escriu en minúscula (per exemple, newton, joule), mentre que el seu símbol s'escriu amb majúscula si la unitat deu el seu nom a un personatge històric (per exemple, N de Newton, J de Joule). Per a la resta d'unitats, el símbol s'escriu en minúscula (per exemple, m de metre, s de segon).

2.3. Altres unitats comunes i equivalències

Hi ha altres unitats que no son del SI però que estan molt interioritzades i són d'ús molt habitual, per exemple:

Altres unitats comunes i equivalències

Magnitud	Unitat	Símbol unitat	Equivalència
Temps	Minut	min	1 min = 60 s
	Hora	h	1h = 3600 s
Temperatura	Grau Celsius	°C	$T(K) = T(^{\circ}C) + 273$
Superfície	Hectàrea	Ha	1 Ha = 10000 m^2
Volum	Litres	l o L	1 L = 0,001 m^3
			1 L = 1000 cm^3
Velocitat	Quilòmetres per hora	Km/h	1 m/s = 3,6 km/h

	Bars	bar	1 bar = 100000 Pa
Pressió	Quilogram per centímetre quadrat	kg/cm ²	1,02 kg/cm ² = 1 bar
	Metres de columna d'aigua	mca o mH ₂ O	10,2 mca = 1 bar
Força	Quilogram de força	kgf	1 kgf = 9,8 N
Potència	Cavall de vapor	CV	1 CV = 735,5 W
Angle	Grau sexagesimal	°	1 rad = 57,3°
Velocitat angular	Revolucions per minut	rpm	1 rad/s = 9,55 rpm

A la pràctica es fa l'equivalència aproximada d'1 bar $\approx$ 1 kg/cm² $\approx$ 10 mca.

Quan es parla de força, col·loquialment es fan servir quilograms (kg) que és una unitat de massa. Estrictament hauríem de dir quilograms de força (kgf) que és la força amb què atrau la gravetat a la Terra un quilogram de massa. A la pràctica es diu quilogram a seques i es fa l'equivalència aproximada d'1 kgf $\approx$ 10 N.

Els anglosaxons fan servir les seves unitats fora del SI, com les polzades (*inches*), les lliures per polzada quadrada (*psi*), els peus (*feet*), les milles (*mi*), graus fahrenheit (°F), galons per minut (*gpm*), etc. Aquestes unitats són d'ús habitual en països com els Estats Units i el Regne Unit, i ens les podem trobar en catàlegs i documentació tècnica.

2.4. Multiplicadors i divisors (prefixos del SI)

Per treballar amb unitats, sovint ens trobem amb valors molt grans o molt petits, i s'han de manejar moltes xifres. Els prefixos del Sistema Internacional ens ajuden a simplificar aquests números. S'afegeixen al principi de la unitat per indicar que s'ha de multiplicar o dividir per una potència de 10.

Prefixos del SI més utilitzats (Multiplicadors i divisors)

	Prefix	Símbol	Factor de multiplicació
Multiplicadors	Giga	G	1.000.000.000 (x10 ⁹)
	Mega	M	1.000.000 (x10 ⁶)
	Kilo	k	1.000 (x10 ³)
	Hecto	h	100 (x10 ²)
	Deca	da	10 (x10 ¹)
Divisors	deci	d	0,1 (x10 ⁻¹)
	centi	c	0,01 (x10 ⁻²)
	mili	m	0,001 (x10 ⁻³)
	micro	μ	0,000001 (x10 ⁻⁶)
	nano	n	0,000000001 (x10 ⁻⁹)

Exemples d'ús:

- **Kilòmetre (km)**: $1 \text{ km} = 1 \times 1.000 \text{ m} = 1.000 \text{ m}$
- **Centímetre (cm)**: $1 \text{ cm} = 1 \times 0,01 \text{ m} = 0,01 \text{ m}$
- **Mil·lilitre (mL)**: $1 \text{ mL} = 1 \times 0,001 \text{ L} = 0,001 \text{ L}$
- **Megawatt (MW)**: $1 \text{ MW} = 1 \times 1.000.000 \text{ W} = 1.000.000 \text{ W} = 1.000 \text{ kW}$
- **Decanewton (daN)**: $1 \text{ daN} = 1 \times 10 \text{ N} = 10 \text{ N} \approx 1 \text{ kgf}$

2.5. Conversió d'unitats

La conversió d'unitats és el procés de transformar el valor d'una magnitud d'una unitat de mesura a una altra. Aquesta habilitat és essencial per assegurar que tots els càlculs i comunicacions es facin de manera coherent i precisa.

En l'aplicació de qualsevol fórmula física, no es poden barrejar unitats. Totes les magnituds han de ser en unitats coherents entre sí. Per exemple, si la distància és en metres (m) i el temps en segons (s), la velocitat ha de ser en metres per segon (m/s). Si es fa servir el Sistema Internacional (SI), s'eviten errors comuns.

Per realitzar una conversió, fem servir el **factor de conversió**, que és un quocient o fracció que equival a 1, el que hi ha al numerador és igual al que hi ha al denominador però expressat en una altra unitat o múltiple. Aquesta raó expressa la relació entre dues unitats diferents. Per exemple, sabem que 1 metre equival a 100 centímetres. Per tant, el factor de conversió entre metres i centímetres pot ser:

$$\frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \text{ o bé } \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}}$$

Per convertir una unitat, hem de multiplicar el valor original pels factors de conversió de manera que la unitat que volem eliminar quedi al denominador i la unitat resultant al numerador. Els termes iguals que queden al numerador i al denominador s'eliminen mútuament. Exemples pràctics:

- Convertir 5 km a metres: Sabem que $1 \text{ km} = 1.000 \text{ m}$.

$$5 \text{ km} \cdot \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} = 5 \cdot 1000 \text{ m}$$

- Convertir 36 km/h a m/s: Aquesta conversió és especialment útil, apliquem diversos factors de conversió que coneixem fins a aconseguir les unitats que ens interessin.

$$36 \frac{\cancel{\text{km}}}{\cancel{\text{h}}} \cdot \frac{1000 \text{ m}}{1 \cancel{\text{km}}} \cdot \frac{1 \cancel{\text{h}}}{60 \cancel{\text{min}}} \cdot \frac{1 \cancel{\text{min}}}{60 \text{ s}} = \frac{36 \cdot 1000}{60 \cdot 60} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

2.6. Escalars vs Vectors

Per descriure completament una magnitud física, de vegades no n'hi ha prou amb el seu valor numèric. Les magnituds es classifiquen en dos tipus: escalars i vectorials.

2.6.1. Magnituds escalars

Una **magnitud escalar** es defineix completament amb un número i la unitat corresponent. Només tenen un valor o mòdul. No tenen ni direcció ni sentit.

Per exemple: La massa d'un objecte (10 kg), la temperatura de l'ambient (25 °C), el temps transcorregut (30 s), el volum d'un dipòsit (3500 L).

2.6.2. Magnituds vectorials

Una **magnitud vectorial** requereix més informació per ser definida. A més del seu valor (o mòdul), també tenen una **direcció** i un **sentit**. La força és un exemple perfecte per il·lustrar aquest concepte. Per exemple, no és el mateix aplicar una força de 10 N cap a l'esquerra que cap a la dreta, no és el mateix empènyer un cotxe cap endavant que de costat.

Per exemple: La força (10 N amb una inclinació de 30°), la velocitat (100 km/h cap a l'est).

2.6.3. Representació de vectors

Els vectors es representen gràficament amb una fletxa. Les parts que la formen representen els seus elements:

- **Mòdul (magnitud, valor o intensitat):** La longitud de la fletxa representa el valor numèric de la magnitud. Com més gran és la força, més llarga és la fletxa.
- **Direcció:** La línia sobre la qual actua la fletxa (horitzontal, vertical, nord-sud...)
- **Sentit:** La punta de la fletxa indica cap a on es dirigeix la força (cap a la dreta, nord...)
- **Punt d'aplicació:** L'origen de la fletxa indica el lloc exacte on s'aplica la magnitud.

Els vectors també els podem representar analíticament mitjançant les seves components (x, y, z) referenciades en un sistema de coordenades cartesià, així és més senzill establir equacions i fer càlculs aritmètics.

2.6.4. Força i parell de forces

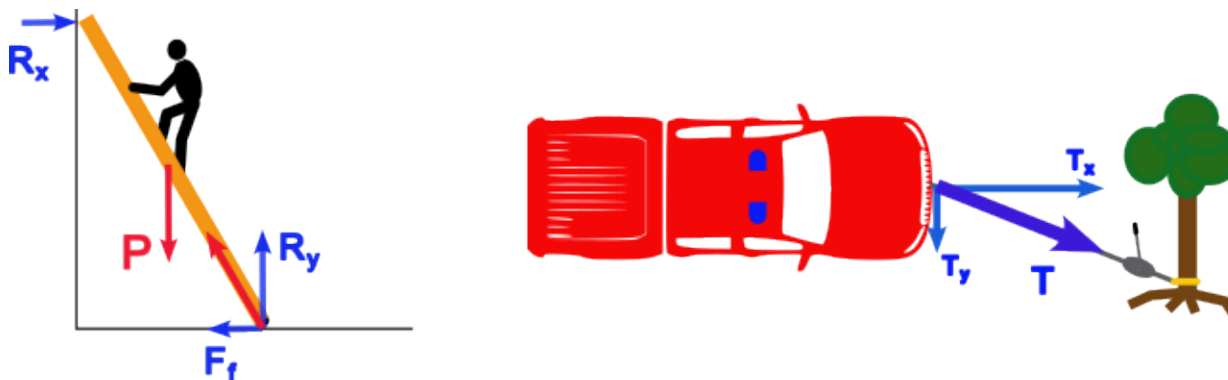
Com hem vist a l'apartat anterior, la força és una magnitud vectorial, ja que es defineix pel seu mòdul, direcció, sentit i punt d'aplicació.

Força

Una **força** és qualsevol acció que pot canviar l'estat de moviment d'un objecte, és a dir, posar-lo en moviment si està aturat, aturar-lo si es mou, o canviar-ne la direcció i la velocitat. Una força també pot provocar una deformació en un objecte.

El seu efecte principal és la **translació** de l'objecte en la direcció en què s'aplica. La força es representa amb un vector i la lletra F , es mesura en **newtons (N)**, i es pot exercir per contacte o a distància (la força de la gravetat, magnetisme).

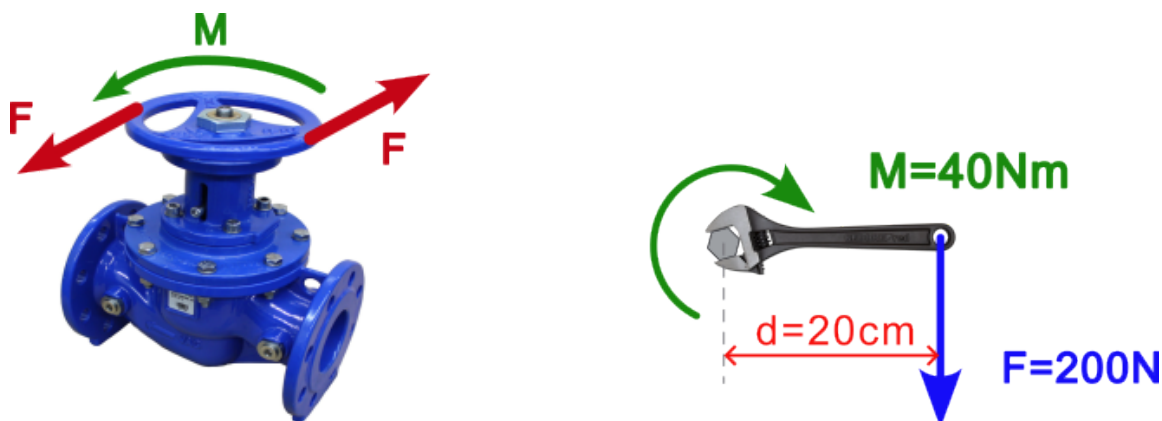
Sovint, per analitzar i fer càlculs, és útil descompondre el vector força en les seves components, F_x i F_y , sobre uns eixos cartesianes. Les components són dues forces perpendiculars que produeixen el mateix efecte que la força F .



Parell de Forces

Un **parell de forces** és un sistema de dues forces iguals en mòdul i direcció, però de sentit contrari, que actuen sobre un mateix objecte en punts d'aplicació diferents. Aquestes dues forces tenen un efecte de rotació, però no de translació.

El parell de forces o **moment de força** es representa amb una fletxa circular (indicant el sentit de gir i les lletres M o T (de *torque* en anglès)). Es mesura en **newton-metre (Nm)**, i es calcula multiplicant el valor d'una de les forces per la distància que separa els seus punts d'aplicació.



El seu efecte és crucial per a l'ús d'eines com ara les claus angleses o per entendre el funcionament d'una palanca. Per exemple, quan girem el volant d'un cotxe estem aplicant un parell de forces, el motor d'un vehicle transmet un parell de forces a les rodes a través de la transmissió per fer-les girar, les sabates de fre per frenar, els pedals de la bicicleta...

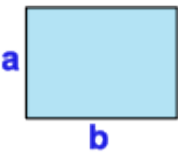
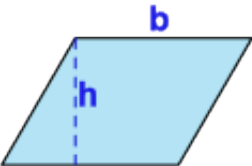
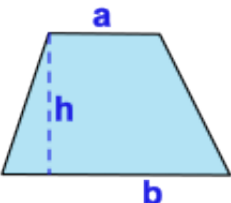
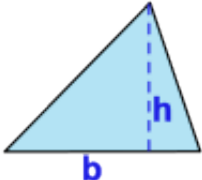
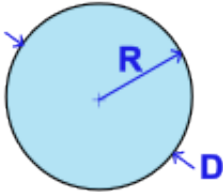
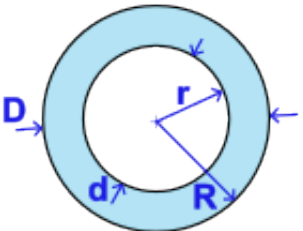
3. Geometria i trigonometria

La geometria i la trigonometria són branques de les matemàtiques que, tot i no ser física en sí mateixes, són eines fonamentals per a la física. Ens permeten analitzar les formes dels objectes, calcular distàncies, àrees i volums, i entendre les relacions entre angles i costats, eines imprescindibles per a moltes tasques.

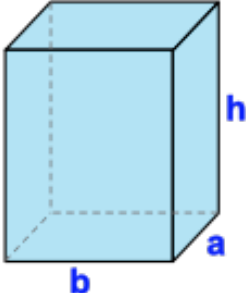
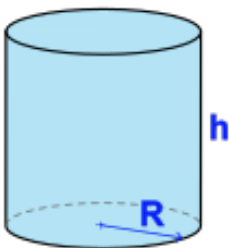
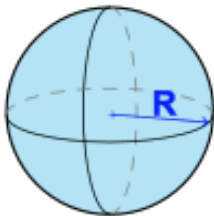
3.1. Càlcul d'Àrees i Volums

El coneixement de les fórmules per a figures geomètriques bàsiques ens permet fer càlculs ràpids i estimar quantitats de materials, espais o pesos. En el cas de figures o polígons més complexos, sovint es poden descompondre en formes més simples (com rectangles i triangles) per calcular-ne la superfície total, per unió o sostracció.

Àrees de figures planes (2D):

Rectangle  $S = a \cdot b$	Paralelogram  $S = b \cdot h$	Trapezi  $S = \frac{a+b}{2} \cdot h$
Triangle  $S = \frac{b \cdot h}{2}$	Cercle  $S = \pi \cdot R^2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$	Corona  $S = \pi \cdot (R^2 - r^2) = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4}$

Volums de cossos geomètrics (3D):

Ortoedre	Cilindre	Esfera
		
$V = S \cdot h = a \cdot b \cdot h$	$V = S \cdot h = \pi \cdot R^2 \cdot h$	$V = \frac{4}{3} \pi \cdot R^3$

Exemple pràctic: Per estimar el pes de l'aigua en un dipòsit de base rectangular d'1 m per 2 m de costat, i 1,5 m d'alt. Primer calculem el seu volum:

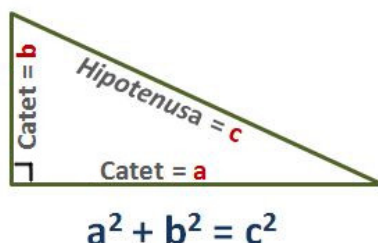
$$V = 1 \cdot 2 \cdot 1,5 = 3 \text{ m}^3$$

Sabent que la densitat de l'aigua és de 1000 kg/m^3 , el pes de l'aigua serà de $3 \cdot 1000 = 3000 \text{ kg}$.

3.2. Teorema de Pitàgores

El **Teorema de Pitàgores** és una de les eines més poderoses de la geometria. S'aplica només a triangles rectangles (aquells que tenen un angle de 90°).

El teorema estableix que el quadrat de la hipotenusa (el costat més llarg del triangle, c) és igual a la suma dels quadrats dels altres dos costats (els catets, a i b).



El teorema de Pitàgores és la base de molts càlculs, ja que figures més complexes i polígons es poden descompondre i projectar en triangles rectangles per facilitar la resolució.

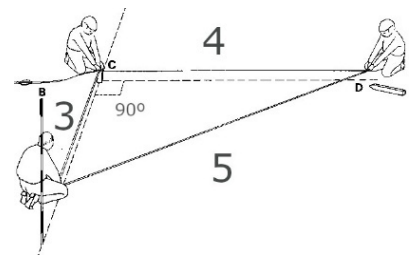
Exemple pràctic: Per arribar a una finestra situada a 6 m d'alçada, si la base de l'escala ha d'estar a 3 m de la paret, en tenim prou amb una escala extensible de màxim 7 m de llarg? Fem servir el teorema:

$$l^2 = h^2 + b^2 = 6^2 + 3^2 = 36 + 9 = 45$$

$$l = \sqrt{45} \approx 6,7 \text{ m}$$

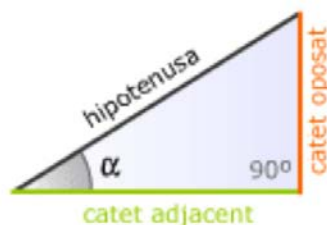
Sí, amb l'escala extensible de 7 m hi arribarem.

Una altra aplicació molt útil d'aquest teorema és la **regla del 3-4-5**, que permet construir o verificar un angle recte amb gran precisió. Si un triangle té costats amb una proporció de 3, 4 i 5, o qualsevol dels seus múltiples, com 6-8-10, 9-12-15, etc. (triangles semblants), sabem que l'angle oposat al costat més llarg (la hipotenusa) serà exactament de 90°.



3.3. Trigonometria bàsica

La trigonometria s'ocupa de les relacions entre els costats i els angles dels triangles. Les funcions bàsiques són el sinus (sin), el cosinus (cos) i la tangent (tan). Ens permeten calcular angles o costats de triangles rectangles quan no els podem mesurar directament.



$$\text{sen } \alpha = \frac{\text{catet oposat}}{\text{hipotenusa}}$$

$$\text{cos } \alpha = \frac{\text{catet adjacent}}{\text{hipotenusa}}$$

$$\text{tg } \alpha = \frac{\text{catet oposat}}{\text{catet adjacent}} = \frac{\text{sen } \alpha}{\text{cos } \alpha}$$

Per a la majoria de càlculs haurem de fer servir una calculadora, però hi ha alguns angles que es poden recordar fàcilment, com ara els de 30°, 45° i 60°:

Trigonometria bàsica

Angle	0°	30°	45°	60°	90°
sin α	0	$\frac{\sqrt{1}}{2} = 0,5$	$\frac{\sqrt{2}}{2} \approx 0,7$	$\frac{\sqrt{3}}{2} = 0,866$	1
cos α	1	$\frac{\sqrt{3}}{2} = 0,866$	$\frac{\sqrt{2}}{2} \approx 0,7$	$\frac{\sqrt{1}}{2} = 0,5$	0
tg α	0	$\frac{\sqrt{3}}{3} \approx 0,57$	1	$\sqrt{3} \approx 1,7$	∞

Exemple pràctic (Autoescala): Una autoescala de bombers té el braç de 30 metres de llarg i està situada amb un angle de 60° respecte al terra horitzontal. A quina alçada arribarem i a quina distància de la façana l'hem de situar?

1. Càlcul de l'alçada (costat oposat):

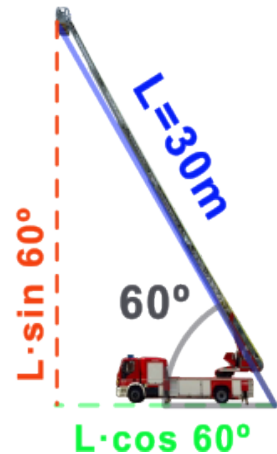
Utilitzem el sinus, ja que relaciona el costat oposat (alçada) amb la hipotenusa (braç de l'escala).

$$\sin(60^\circ) = \frac{\text{alçada}}{30}$$
$$\text{alçada} = 30 \cdot \sin(60^\circ) = 30 \cdot 0,866 \approx 26 \text{ m}$$

2. Càlcul de la distància a la façana (costat adjacent):

Utilitzem el cosinus, ja que relaciona el costat adjacent (distància) amb la hipotenusa (braç de l'escala).

$$\cos(60^\circ) = \frac{\text{distància}}{30}$$
$$\text{distància} = 30 \cdot \cos(60^\circ) = 30 \cdot 0,5 = 15 \text{ m}$$



4. Mecànica clàssica

La mecànica clàssica és la branca de la física que descriu el moviment dels cossos, les forces que actuen sobre ells i l'energia. Les seves bases es troben en les lleis que va formular Isaac Newton al segle XVII, que han permès entendre i predir el comportament d'objectes des de l'escala macroscòpica fins a la planetària. Aquestes lleis són fonamentals per a l'estudi de la física i tenen una gran rellevància en moltes aplicacions pràctiques.

4.1. Cinemàtica

La cinemàtica estudia el moviment d'un cos sense tenir en compte les causes (forces) que el provoquen. Es centra a descriure com es mou.

4.1.1. Conceptes bàsics

- **Posició (x):** És la ubicació en l'espai d'un objecte en un instant de temps concret. En qualsevol moviment que es vulgui estudiar, sempre hi ha una posició inicial i una posició final.
- **Temps (t):** És la durada del moviment. El temps transcorregut entre l'instant d'inici del moviment i l'instant final.
- **Distància (d):** És distància recorreguda, entre la posició inicial i la final.
- **Velocitat (v):** És la rapidesa del canvi de posició, com de ràpid varia de posició.

- **Acceleració (a):** És indicador de com canvia la velocitat. Una acceleració gran vol dir que la velocitat augmenta ràpidament a cada instant que passa.

Per simplificar-ne l'estudi, es fan servir models com el Moviment Rectilini Uniforme (MRU) i el Moviment Uniformement Accelerat (MUA):

4.1.2. Moviment Rectilini Uniforme (MRU)

És el model més senzill de moviment en què un cos es mou en línia recta a velocitat constant, és a dir ni accelera ni desaccelera ($a=0$).

La formula bàsica és:

$$v = \frac{d}{t} = \frac{x_f - x_i}{t},$$

i altres equacions que es deriven de l'anterior:

$$x_f = x_i + v \cdot t$$

$$t = \frac{d}{v}$$

$$d = v \cdot t$$

x_i, x_f són les posicions inicial i final respectivament

v és la velocitat (constant)

t és el temps transcorregut

Per exemple, entre Barcelona i Girona hi ha 100 km. Un cotxe que vagi amb el control de creuer a 120 km/h tota l'estona, quan trigarà a arribar?

$$t = \frac{100 \text{ km}}{120 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 0,83 \text{ h}$$

que són

$$0,83 \text{ h} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 50 \text{ min}$$

Si un camió triga 1 h i 15 minuts (1,25 h), aleshores a quina velocitat va?

$$v = \frac{100 \text{ km}}{1,25 \text{ h}} = 80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

4.1.3. Moviment Uniformement Accelerat (MUA)

És un model senzill on un cos experimenta una acceleració constant, és a dir la seva velocitat canvia de manera uniforme al llarg del temps.

La formula bàsica de l'acceleració és:

$$a = \frac{\Delta v}{t} = \frac{v_f - v_i}{t}$$

a és l'acceleració constant.

Δv és la variació de la velocitat, velocitat final (v_f) - velocitat inicial (v_i)

t el temps transcorregut

D'aquesta formula, i les que hem vist anteriorment, se'n deriven:

Velocitat final: $v_f = v_i + a \cdot t$

Distància: $d = v_i \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$

$$d = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2 \cdot a}$$

Per exemple, la frenada d'un cotxe o la caiguda d'un objecte (la gravetat és l'acceleració constant).

Exemple 1: Un vehicle circula a 72 km/h i comença a frenar amb una desacceleració de -5 m/s^2 (en negatiu perquè l'acceleració és en sentit contrari al moviment). Quan temps triga a aturar-se i quina distància recorre?

$$v_i = 72 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \quad v_f = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$t = \frac{v_f - v_i}{a} = \frac{0 - 20}{-5} = 4 \text{ s}$$

$$d = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2 \cdot a} = \frac{0^2 - 20^2}{2 \cdot (-5)} = \frac{-400}{-10} = 40 \text{ m}$$

o bé

$$d = v_i \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = 20 \cdot 4 + \frac{1}{2} \cdot (-5) \cdot 4^2 = 80 - 40 = 40 \text{ m}$$

Exemple 2: A un bomber li cau el martell des d'una alçada de 20 m. A quina velocitat arribarà a terra? (Acceleració de la gravetat $g = 9,8 \text{ m/s}^2$) (velocitat inicial = 0)

$$v_f^2 = v_i^2 + 2 \cdot a \cdot d = 0^2 + 2 \cdot 9,8 \cdot 20 = 392$$

$$v_f = \sqrt{392} \approx 19,8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 71 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Recordar que les unitats han de ser coherents. A les fórmules no podem barrejar distàncies en m, velocitats en km/h i acceleracions en m/s^2 .

4.1.4. Velocitat mitjana

Com ja hem vist, si hi ha acceleració, la velocitat varia al llarg del temps. Per això es pot definir la velocitat mitjana (v_m) com aquella velocitat que, si fos constant, faria que el cos recorregués la mateixa distància en el mateix temps. I es pot calcular com:

$$v_m = \frac{d}{t} = \frac{v_i + v_f}{2}$$

4.1.5. Moviment circular

En els models anteriors hem simplificat suposant que el cos es mou sempre en línia perfectament recta, però en el món real, després d'una recta sempre ve una corba. En el moviment circular, també per fer-ho senzill, suposem que el cos es mou per una trajectòria circular de radi constant. Podem parlar de moviment circular uniforme (velocitat constant, acceleració=0) i moviment circular uniformement accelerat (la velocitat varia, l'acceleració és constant).

Per exemple, la pala del rotor d'un helicòpter, o un camió fent una rotonda.

Per descriure el moviment circular, utilitzem magnituds que tenen la seva analogia amb el moviment rectilini, i d'altres que són pròpies d'aquest moviment.

Magnituds pròpies del moviment circular:

Velocitat angular (ω): Ens indica la rapidesa amb què l'objecte gira. En un gir complet, l'objecte recorre 360° (o 2π radians). La velocitat angular ens diu quants d'aquests radians recorre per segon.

$$\omega = \frac{\text{angle recorregut (rad)}}{\text{temps (s)}}$$

Acceleració angular (α): Indica com canvia la velocitat angular al llarg del temps. Existeix només en el moviment circular uniformement accelerat (MCUA).

$$\alpha = \frac{\omega_f - \omega_i}{t}$$

Acceleració centrípeta (a_c): Aquesta és l'acceleració més important del moviment circular. Tot i que en el moviment circular uniforme la velocitat tangencial no canvia, la seva direcció sí que ho fa. Aquesta acceleració, que sempre apunta cap al centre de la circumferència, és la responsable d'aquest canvi de direcció.

$$a_c = \omega^2 \cdot r = \frac{v_t^2}{r}$$

r és el radi de la trajectòria circular.

Per girar, canviar de direcció, és necessària l'existència d'una **força centrípeta**, que està associada a l'acceleració centrípeta. És la mal anomenada força centrífuga, que percebem com que ens empeny cap a l'exterior de la corba, però en realitat la força és cap al centre i nosaltres percebem la reacció.

En l'exemple d'un vehicle agafant una corba, la força centrípeta és el fregament dels pneumàtics amb l'asfalt. Sense aquesta força, el vehicle no podria girar.

4.2. Dinàmica

La dinàmica és la branca de la mecànica que estudia el moviment dels cossos a partir de les forces que el causen. Les bases de la dinàmica es troben en les tres lleis de Newton, que ens ajuden a entendre per què els objectes es mouen, s'aturen o canvien de direcció.

4.2.1. Les tres lleis de Newton

4.2.1.1. Llei d'Inèrcia

Un cos en repòs continuarà en repòs, i un cos en moviment continuarà en moviment rectilini uniforme, a menys que una força externa actuï sobre ell.

Per exemple: Quan un vehicle de bombers frena de cop, les eines mal subjectades a l'interior continuen el seu moviment cap endavant a causa de la inèrcia. Quan agafa una corba, les eines que es deixen anar segueixen en línia recta en la direcció tangencial a la trajectòria.

4.2.1.2. Llei fonamental de la Dinàmica

Aquesta llei descriu la relació entre la força, la massa i l'acceleració d'un cos. La força neta que actua sobre un cos és directament proporcional a l'acceleració que experimenta i a la seva massa. La fórmula és: $F = m \cdot a$

F és la força neta o resultant (en N),
 m és la massa (en kg),
 a és l'acceleració (en m/s^2)

Per exemple: Si una persona sola empeny una moto per engegar-la, la seva acceleració serà molt més gran que si empeny un cotxe amb la mateixa força, ja que la massa de la moto és inferior. Per assolir la mateixa acceleració que amb la moto, necessitarem diverses persones empenyent el cotxe, per augmentar la força total.

Si la força neta o resultant és nul·la, és a dir, la força amb què empenyem és igual a la resistència que s'oposa a avançar, el cotxe o no es mou o no accelera (manté la velocitat constant).

4.2.1.3. Llei d'Acció-Reacció

Aquesta llei afirma que per a cada força d'acció, hi ha una força de reacció que és igual en magnitud i oposada en direcció.

Per exemple: El terra exerceix sobre nosaltres una força de reacció, igual i en sentit contrari al nostre pes, per evitar que ens hi enfonsem.

Quan un vehicle avança, les rodes empenyen el terra cap enrere amb la força de fricció (acció). El terra reacciona empenyent les rodes cap endavant, que és la força que fa que el vehicle avanci.

4.2.2. Quantitat de moviment

La quantitat de moviment és una magnitud física vectorial que descriu "quant" moviment té un objecte. L'entenem com la inèrcia que té. Es defineix com el producte de la massa per la velocitat: $p=m \cdot v$

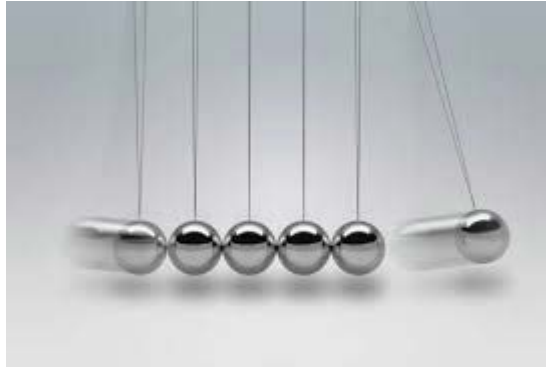
p és la quantitat de moviment (en $kg \cdot m/s$)
 m és la massa del cos (en kg)
 v és la seva velocitat (en m/s)

Com que la velocitat és un vector (té mòdul, direcció i sentit) la quantitat de moviment també, amb la mateixa direcció i sentit que la velocitat.

Conservació de la quantitat de moviment

Un principi fonamental de la física és la **conservació de la quantitat de moviment**. Aquest principi estableix que, en un sistema aïllat (on no hi ha forces externes que hi actuïn), la quantitat de moviment total del sistema es manté constant abans i després d'un esdeveniment, com un xoc.

Per exemple: El pèndol de Newton és un dispositiu que demostra de manera visual la conservació de la quantitat de moviment i de l'energia. Consisteix en una sèrie de boles de la mateixa massa penjades i en contacte.



- **Quan s'aixeca i es deixa caure una sola bola** d'un extrem, aquesta xoca amb la següent bola, transferint-li la seva quantitat de moviment, que es transmet a través de les boles del centre sense que es moguin, fins a la darrera bola. Com a resultat, l'última bola surt disparada amb la mateixa velocitat que tenia la primera bola en el moment de l'impacte.
- **Quan s'aixequen i es deixen caure dues boles** des d'un extrem, la quantitat de moviment és el doble que la d'una sola bola. Quan impacten amb la resta, aquesta quantitat de moviment es transmet de bola a bola i són dues boles les que surten disparades per l'altre extrem amb la mateixa velocitat inicial.

Per exemple: Xoc frontal entre un camió de 10.000 kg que avança a 10 m/s (36 km/h) cap a la dreta contra un cotxe de 2.000 kg que va a 20 m/s (72 km/h) cap a l'esquerra. Prenem el sentit positiu el del moviment d'avanç del camió (positiu cap a la dreta), és a dir, la velocitat del cotxe que va en contra és negativa. Suposem que en el xoc no hi ha deformació dels vehicles ni forces externes (fregaments, frens).

Quantitat de moviment inicial:

$$p_i = m_1 \cdot v_{1_i} + m_2 \cdot v_{2_i} = 10.000 \cdot 10 + 2.000 \cdot (-20) = 60.000 \text{ kg } \frac{m}{s}$$

Després del xoc, els dos vehicles queden “enganxats” i es mouen junts. Cap a quin costat i amb quina velocitat? Tenim una massa total del conjunt de 12.000 kg, i sabem que la quantitat de moviment ha de ser la mateixa, doncs:

$$60.000 \text{ kg } \frac{m}{s} = 12.000 \cdot v_f$$

$$v_f = \frac{60.000 \text{ kg } \frac{m}{s}}{12.000 \text{ kg}} = 5 \frac{m}{s}$$

El resultat final serà que el camió arrossegirà el cotxe cap a la dreta (velocitat positiva) a 5 m/s. Això s'explica perquè inicialment la quantitat de moviment del camió (inèrcia) és més gran que la del cotxe, tot i que aquest va el doble de ràpid (té molta menys massa).

4.3. Estàtica

L'estàtica és un cas particular de la dinàmica, ja que estudia els cossos en **equilibri**, és a dir, quan l'acceleració és zero. Perquè un cos estigui en equilibri, la suma de totes les forces que actuen sobre ell ha de ser igual a zero.

- **Força Resultant:** La resultant d'un conjunt de forces és aquella força única que les substitueix a totes amb el mateix efecte.

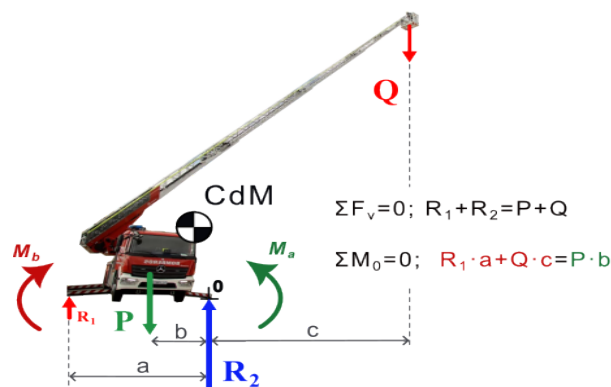
Perquè un cos estigui en equilibri, la força resultant ha de ser zero. Això significa que les forces que empenyen en una direcció han de ser iguals a les que empenyen en la direcció contrària. Més concretament, perquè un cos estigui en equilibri, s'han de complir dues condicions:

1. **Equilibri de forces:** La suma de les forces en qualsevol direcció ha de ser zero. Això vol dir que la força resultant és nul·la.
2. **Equilibri de moments:** La suma de tots els moments (o parells de forces) que actuen sobre el cos respecte a qualsevol punt ha de ser zero. Això vol dir que el parell o moment resultant és nul i no hi haurà rotació.

El **centre de masses** (o centre de gravetat) és el punt on es pot considerar concentrada tota la massa d'un cos, de manera que l'efecte de les forces externes és el mateix que en el cos real. La posició del centre de masses és crucial per a l'**estabilitat** d'un cos.

Per exemple: En una autoescala de bombers, l'estabilitat és crítica. La força vertical del pes del vehicle i la càrrega es compensa amb la reacció del terra als estabilitzadors.

En desplegar una escala i allunyar la cistella o en carregar-la, el centre de masses del conjunt es desplaça, i les forces que actuen sobre el vehicle canvien: els estabilitzadors del costat de treball fan més força, mentre que els estabilitzadors del costat contrari es descarreguen, la qual cosa pot comprometre la seva estabilitat.



Per tal que l'autoescala estigui en equilibri s'ha de complir que la suma de forces verticals sigui igual a zero (i les horitzontals, en aquest cas ja no n'hi ha), és a dir, que la càrrega a la cistella més el pes propi de tot el vehicle ($P+Q$) és compensat per les forces de reacció que fa el terra als estabilitzadors (R_1+R_2). Quan, treballant al costat, la R_1 es fa molt petita, hem de tenir en compte que la R_2 pot ser tant o més gran que tot el pes de vehicle, i el terra ha de ser capaç de suportar-ho, sinó es perd l'equilibri, el terra cedeix i l'autoescala es mou (bolca).

Igualment s'ha de complir que la suma de moments respecte un punt sigui zero, és a dir, en la figura respecte el punt **0**, el moment que fan les forces que volen bolcar l'autoescala (R_1 i Q , en sentit horari) s'han d'igualar amb el moment que fan les forces que eviten la bolcada (P , sentit antihorari) (R_2 passa pel punt 0 i no fa moment). Si la càrrega a la cistella augmenta o s'allunya massa, el pes propi del vehicle ja no serà suficient per contrarestar el moment de bolcada i tombarà.

Podem dir que l'autoescala no bolcarà mentre:

- La vertical del Centre de Masses (CdM) caigui dins la base de recolzament (entre els estabilitzadors).
- Els estabilitzadors del costat contrari de la cistella no es descarreguin completament ($R_1=0$).
- El moment de bolcada (M_b) no sigui superior al moment d'antibolcada (M_a).
- El terra no cedeixi i sigui capaç de suportar la força de reacció (R_2).

4.4. Treball, energia i potència

Una altra manera d'entendre la física és a través dels conceptes d'**energia** i els seus canvis. La mecànica clàssica es pot abordar des del punt de vista de les forces (dinàmica, que hem vist anteriorment) o des de la perspectiva de l'energia i com aquesta es transfereix i es transforma. Aquests conceptes, interrelacionats, ens permeten analitzar i descriure el moviment d'objectes i el funcionament de sistemes d'una manera diferent i molt potent.

4.4.1. Treball

El treball és una magnitud física que descriu la transferència d'energia que es produeix quan actua una força sobre un cos i el desplaça.

Es defineix i calcula com el producte escalar de la força aplicada pel desplaçament del cos en la direcció de la força.

$$W = F \cdot d$$

W és el treball, en joules (J)

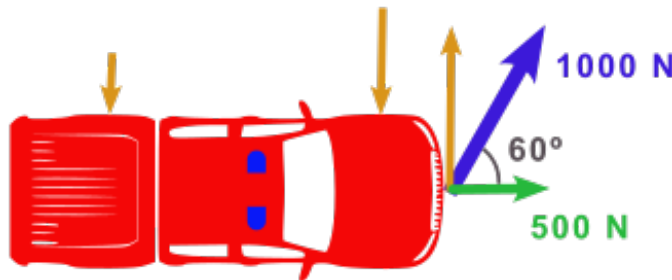
F és l'aplicada, en newtons (N)

d és la distància recorreguda, en metres (m)

En el cas que les direccions de la força i el desplaçament no coincideixin, només la component de la força projectada en la direcció del moviment és la que realitza treball, ja que és la causant del moviment. Si no hi ha força però hi ha desplaçament, o hi ha força però no hi ha desplaçament, no hi ha treball.

Si el sentit de la força és contrari al sentit del moviment, el treball és negatiu. És a dir, li estem traient energia al sistema, per exemple, quan frenem.

Exemple, remolquem un cotxe amb una eslinga que tiba de costat en un angle de 60° . Si l'esforç de tracció a l'eslinga és de 1000 N, la component en la direcció del desplaçament del cotxe remolcat és només de: $F_x = 1000 \cdot \cos(60^\circ) = 1000 \cdot 0,5 = 500 \text{ N}$.



Si el desplaçament 10 m haurem realitzat un treball de $W = 500 \cdot 10 = 5.000 \text{ J} = 5 \text{ kJ}$. La component transversal de la força existeix i és contrarestada pel fregament de les rodes, per evitar que el cotxe es desvii de la trajectòria recta endavant, però no realitza treball útil.

4.4.2. Energia

L'**energia** (E) és la capacitat que té un objecte o sistema de realitzar treball. És una magnitud escalar, la qual cosa vol dir que només té valor i no té direcció ni sentit. L'energia pot existir en diverses formes (química, elèctrica, calor...), però en mecànica clàssica ens centrem en dues principals: l'energia cinètica i l'energia potencial. La unitat del SI per a l'energia és el **joule (J)**.

4.4.2.1. Energia cinètica (Ec)

És l'energia que té un cos a causa del seu moviment. Per un moviment de translació, es calcula de la següent manera:

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

m és la massa de l'objecte i **v** la seva velocitat. Les unitats d'energia són Joules (J) com el treball, ja que com hem dit energia és la capacitat de fer treball.

Els cossos en moviment de rotació també tenen energia cinètica pel fet d'estar girant, i es calcula de manera semblant:

$$E_r = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2$$

I és el moment d'inèrcia (en $\text{kg}\cdot\text{m}^2$) i ω és la velocitat angular de rotació (en rad/s).

El moment d'inèrcia és l'anàleg rotacional de la massa. Mentre que la massa dona idea de la resistència d'un cos a canviar la seva velocitat lineal, el moment d'inèrcia mesura la resistència d'un cos a modificar la seva velocitat de rotació. Depèn de la massa del cos i, sobretot, de com aquesta massa està distribuïda respecte a l'eix de gir.

Per exemple, a igual pes total i velocitat de rotació, una roda de bicicleta de muntanya té més energia cinètica de rotació que un corró d'acer. O, a igual diàmetre, una roda de bicicleta de muntanya té més inèrcia de rotació que una roda de bicicleta de carretera, ja que té molta més massa a la perifèria. La roda de bicicleta de muntanya costa més d'accelerar i frenar.

Així doncs, més enllà de les fórmules, hem d'entendre que un cos té una energia cinètica total, suma de l'energia que té pel fet de desplaçar-se i la que té per estar girant.

Per exemple, una roda de camió que es deixa anar té molta més energia cinètica total, que la roda de recanvi que es desplaça a la mateixa velocitat però no té moviment de rotació.

4.4.2.2. Energia potencial (E_p):

És l'energia emmagatzemada en un objecte a causa de la seva posició. L'energia potencial gravitacional és l'energia que té un objecte a causa de la seva alçada. La seva fórmula és:

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

m és la massa (en kg).

g és l'acceleració de la gravetat terrestre, $9,8 \text{ m/s}^2$.

h és l'alçada (en m).

L'alçada (h) es mesura respecte a un nivell de referència que nosaltres mateixos escollim.

El que importa en física és la diferència d'energia potencial entre el punt on es troba l'objecte i la referència triada.

Per exemple, si estem treballant a la cistella de l'autoescala, quina serà l'energia potencial d'un martell?

- Si només hi ha la possibilitat que ens caigui dins de la cistella, l'alçada és poc més d'un metre, l'energia potencial serà petita.
- Però si estem treballant per fora la cistella i el martell pot caure al carrer, la referència serà el carrer, l'alçada de desenes de metres, l'energia potencial del martell serà molt més gran.

Hi ha altres formes d'energia potencial, per exemple, una molla, per estar estirada o comprimida, també emmagatzema energia potencial elàstica.

4.4.2.3. Principi de conservació de l'energia

El **principi de conservació de l'energia** és una de les lleis més importants de la física. Estableix que en un sistema aïllat (sense forces externes), l'energia total es manté constant, ja que l'energia no es crea ni es destrueix, sinó que només es transforma d'una forma a una altra.

En un sistema ideal sense fregament ni altres forces dissipatives, la suma de l'energia cinètica i l'energia potencial, coneguda com a **energia mecànica total** (E_{total}), es manté constant.

$$E_{total} = E_c + E_p = \text{constant}$$

Això vol dir que l'energia cinètica i l'energia potencial es poden intercanviar entre elles. Quan una augmenta, l'altra disminueix en la mateixa quantitat.

Per exemple, una bola rodolant pendent avall (en un món ideal sense fricció).

1. A dalt de tot de la rampa, la bola està aturada ($v=0$) per tant no té energia cinètica. La seva energia total és únicament la seva energia potencial, pel fet que està en un punt elevat i pot baixar.
2. Durant la baixada, l'alçada va disminuir i va perdre energia potencial, però alhora va augmentant la velocitat, empenya per la gravetat. L'energia cinètica guanyada és igual a l'energia potencial perduda. Podem calcular la velocitat assolida en qualsevol punt igualant les fórmules que hem vist abans.
3. En el punt més baix de la rampa, l'alçada és la mínima (cota de referència zero), per tant l'energia potencial és zero i la cinètica és la màxima que assolirà (i igual a la que teníem a dalt de tot). Podem calcular la velocitat màxima.
4. Si a continuació la bola es troba una pujada, comença a guanyar alçada i la seva velocitat va disminuint. S'està bescanviant la mateixa quantitat d'energia cinètica en energia potencial. En un món ideal (sense fregaments) la bola s'acabarà aturant a la mateixa alçada que la del punt d'on ha sortit.

Així funcionen les muntanyes russes, han de partir d'un punt prou elevat per tenir prou energia potencial per fer tot el recorregut, amb pujades i baixades, sense aturar-se.

4.4.2.4. Forces no conservatives

Malauradament (o no) a la realitat hi ha forces, com el fregament o la resistència aerodinàmica, que realitzen treball negatiu (treuen energia al sistema) que es transforma en altres formes d'energia, majoritàriament en calor.

Se'n diuen forces no conservatives perquè fan que l'energia mecànica del sistema no es conservi. Ho podem expressar amb l'equació:

$$E_{inicial} + W_{nc} = E_{final}$$

W_{nc} és el treball realitzat per les forces no conservatives, que sempre serà negatiu ja que són en sentit contrari al moviment.

Per això, a la realitat la bola de l'exemple anterior mai no arribarà a la mateixa alçada que el punt d'on ha sortit. I les muntanyes russes han de sortir d'un punt molt elevat.

Són forces conservatives la gravetat o la força elàstica d'una molla, l'energia que se'ls dona, la retornen íntegrament.

Són forces no conservatives el fregament, la resistència aerodinàmica, el fregament en líquids (pèrdua de càrrega en una mànega, amortidors del cotxe).

Fregament i adherència

El **fregament** és una força no conservativa que apareix quan dos cossos estan en contacte i es mouen l'un respecte a l'altre. Aquesta força actua sempre en sentit contrari al moviment i tendeix a frenar-lo. Hi ha dos tipus de fregament:

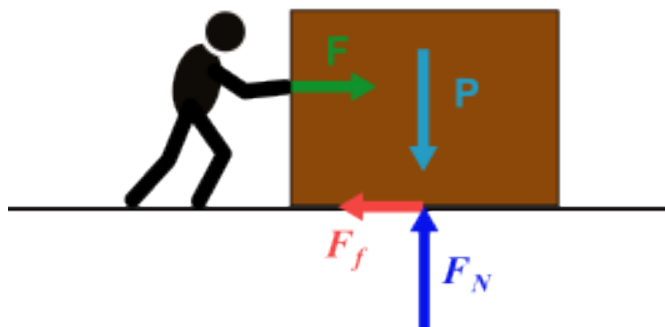
- **Fregament estàtic:** Actua quan els cossos estan en repòs i s'oposa a l'inici del moviment.
- **Fregament dinàmic:** Actua quan els cossos ja estan en moviment. El seu valor és generalment inferior a l'estàtic.

De manera simplificada, la força de fregament (F_f) és el producte de la força normal pel coeficient de fregament, segons la fórmula:

$$F_f = \mu \cdot F_N$$

On la **força normal** (F_N) és la força que exerceix l'objecte contra la superfície perpendicularment a aquesta.

El **coeficient de fregament** (μ) és un valor adimensional (sense unitats). Com més gran és el seu valor, més fregament hi ha. Hi ha un coeficient de fregament estàtic (μ_s) i un de dinàmic (μ_d), sent normalment $\mu_s > \mu_d$ (costa arrancar, un cop en moviment fa falta menys força).



L'**adherència** és la capacitat de dues superfícies en contacte de resistir el lliscament relatiu entre elles gràcies a les forces de fricció. Està relacionada amb la **força de fricció màxima** que es pot generar abans que es produeixi el lliscament, és a dir, mentre la força que actua sobre l'objecte per intentar moure'l sigui més petita que la força de fregament estàtica, hi haurà adherència. Quan la superi, hi haurà lliscament.

Per una banda, el fregament és una força que ens interessa disminuir o eliminar tant com sigui possible, ja que s'oposa al moviment i treu energia.

Per exemple, en la maquinària, el fregament redueix el rendiment de la màquina perquè dissipa energia en forma de calor. Per això, s'utilitzen lubricants per minimitzar-lo.

Per altra banda, la fricció i l'adherència són del tot necessàries. I molts aparells funcionen gràcies a què existeix. Per exemple, els frens, els pneumàtics i els nusos de les cordes.

Resistència aerodinàmica

Una altra força no conservativa, amb què ens topem cada dia, és la que oposa l'aire quan un objecte vol avançar travessant-lo.

La resistència aerodinàmica depèn de la forma de l'objecte (el seu coeficient aerodinàmic, C_x), de la superfície frontal enfrontada al moviment, de la densitat de l'aire, i sobretot, a la velocitat de l'objecte, ja que augmenta amb el quadrat de la velocitat. És a dir, si doblem la velocitat, quadruplicuem la força de resistència.

4.4.3. Potència

La **potència (P)** és la rapidesa amb què es realitza un treball o amb què es transfereix l'energia. Per fer un mateix treball, per exemple pujar la caixa d'eines a un segon pis, com més ràpid anem més potència desenvoluparem.

La potència es pot calcular de dues maneres:

$$P = \frac{W}{t} = F \cdot v$$

Com el treball (J) realitzat dividit pel temps (s), o com la força (N) per la velocitat (m/s). La potència es mesura en watts (W).

Podem dir que per fer un treball determinat, tant el podem fer amb una màquina poc potent com amb una molt potent, però amb la primera trigarem més temps.

Per exemple, un cotxe estimbat en un talús que volem estirar amb un aparell de tracció manual (Tràctel). Nosaltres a mà fem poca força i necessitarem moltes braçades de la palanca i molta estona per treure el cotxe. En canvi si disposem d'un cabestrant elèctric al vehicle, més potent que el nostre braç, farem el mateix treball (pujar el cotxe) en poc temps.

4.4.4. Rendiment i eficiència

L'**eficiència** o **rendiment** és la proporció entre l'energia o potència que obtenim d'un sistema (potència o energia útil) i la que hi hem introduït (potència o energia consumida), i normalment s'expressa en %.

$$\eta = \frac{\text{energia o potència util}}{\text{energia o potència consumida}} \cdot 100$$

L'eficiència sempre és inferior al 100% perquè les forces no conservatives, com el fregament i la resistència aerodinàmica, transformen una part de l'energia en calor o turbulències de l'aire, que no podem aprofitar per fer la tasca que volem.

En el context de la mecànica clàssica, ens centrem en el **rendiment mecànic**, que considera les pèrdues degudes al fregament i a la resistència de l'aire. Per exemple, la potència que arriba a les rodes d'un vehicle sempre és inferior a la que produeix el motor, ja que una part es perd en els engranatges i coixinets. Per anar d'un punt A a un punt B més alt, el treball estrictament necessari és la massa per la diferència d'alçada (increment d'energia potencial), però l'energia que necessitem gastar és més gran ja que haurem de vèncer fregaments i resistències.

Cal tenir en compte que un sistema complet, com un vehicle, hi ha altres tipus de rendiment a tenir en compte. Un **rendiment global** és el producte de tots els rendiments parcials del sistema. Per exemple, en un motor de combustió, no només hi ha pèrdues mecàniques, sinó també pèrdues tèrmiques (calor) en la conversió de l'energia química del combustible en treball mecànic.

5. Màquines simples

Fins ara hem analitzat com les forces produeixen moviment i com l'energia es conserva i es transforma. Però, com podem aplicar tot aquest coneixement en el nostre dia a dia per facilitar tasques que requereixen molta força?

Les **màquines simples** són dispositius mecànics que ens permeten aplicar una força petita per vèncer una força gran. El seu principi es basa en la **conservació de l'energia**: la quantitat de treball que es realitza amb una màquina simple és pràcticament la mateixa que la que es faria sense ella (descomptant el fregament). L'avantatge no és que facin menys treball, sinó que ens permeten intercanviar força per distància.

En una màquina simple, una força que apliquem a l'entrada (F_{in}), la força que fem nosaltres, es converteix en una força de sortida (F_{out}), la força que fa la màquina. L'objectiu és que F_{out} sigui més gran que F_{in} . Aquest augment de la força es produeix a canvi de moure la força d'entrada una distància més gran que la que es mourà la força de sortida.

En algunes aplicacions, el que ens interessa és multiplicar el recorregut, a canvi d'haver de realitzar una força a l'entrada major que la que tindrem a la sortida.

Avantatge Mecànic

L'**avantatge mecànic (AM)** és un valor que ens indica quantes vegades la màquina simple ha multiplicat la força que hem aplicat. Es defineix com la relació entre la força de sortida i la força aplicada:

$$AM = \frac{\text{Força de sortida}}{\text{Força d'entrada}} = \frac{F_{out}}{F_{in}}$$

Si l'avantatge mecànic és més gran que 1, la màquina ens està ajudant a multiplicar la força que apliquem. En canvi, si és inferior a 1, hem de realitzar una força més gran per vèncer la resistència però obtenim més desplaçament a la sortida.

Com hem vist que el treball es conserva idealment, si es negligem el fregament, l'avantatge mecànic també es pot calcular a partir de les distàncies recorregudes:

$$AM = \frac{\text{Recorregut } F \text{ d'entrada}}{\text{Recorregut } F \text{ de sortida}} = \frac{d_{in}}{d_{out}}$$

5.1. Palanques

Una **palanca** és la màquina simple més bàsica. Consisteix en una barra rígida que gira al voltant d'un punt de suport fix, anomenat **fulcre**. L'objectiu primer d'una palanca és utilitzar una força relativament petita (la força aplicada) per vèncer una força més gran (la resistència), però en algunes aplicacions també ens pot interessar el contrari, com veurem.

Principi de funcionament

El funcionament d'una palanca es basa en el principi del **moment d'una força** (o parell). Perquè una palanca estigui en equilibri, els moments que giren en un sentit han de ser iguals als que giren en sentit contrari.

La **lleï de la palanca** estableix la relació entre les forces i les distàncies:

$$F_{in} \cdot d_{in} = F_{out} \cdot d_{out}$$

F_{in} és la força aplicada.

d_{in} és la distància de la força aplicada al fulcre (el braç de la força).

F_{out} és la força de sortida o resistència.

d_{out} és la distància de la força de sortida al fulcre (el braç de la resistència).

A partir d'aquesta fórmula, podem veure que si augmentem el braç de la força aplicada (d_{in}) i/o disminuïm la distància de la de sortida (d_{out}), podrem vèncer una gran resistència (F_{out}) amb una força aplicada (F_{in}) molt petita.

Tipus de palanques

Les palanques es classifiquen en tres gèneres segons la posició relativa del fulcre, la força aplicada (F_{in}) i la força de sortida (F_{out}).

1. **Palanques de primer gènere:** El fulcre es troba entre la força aplicada i la força de sortida. Aquestes palanques poden tenir un avantatge mecànic (AM) superior, inferior o igual a 1, depenent de la posició del fulcre:
 - o Si el fulcre està més a prop de la resistència, l'avantatge mecànic és més gran que 1.
 - o Si el fulcre està més a prop de la força aplicada, l'avantatge mecànic és més petit que 1.
 - o Si el fulcre es troba exactament al centre, l'avantatge mecànic és igual a 1.

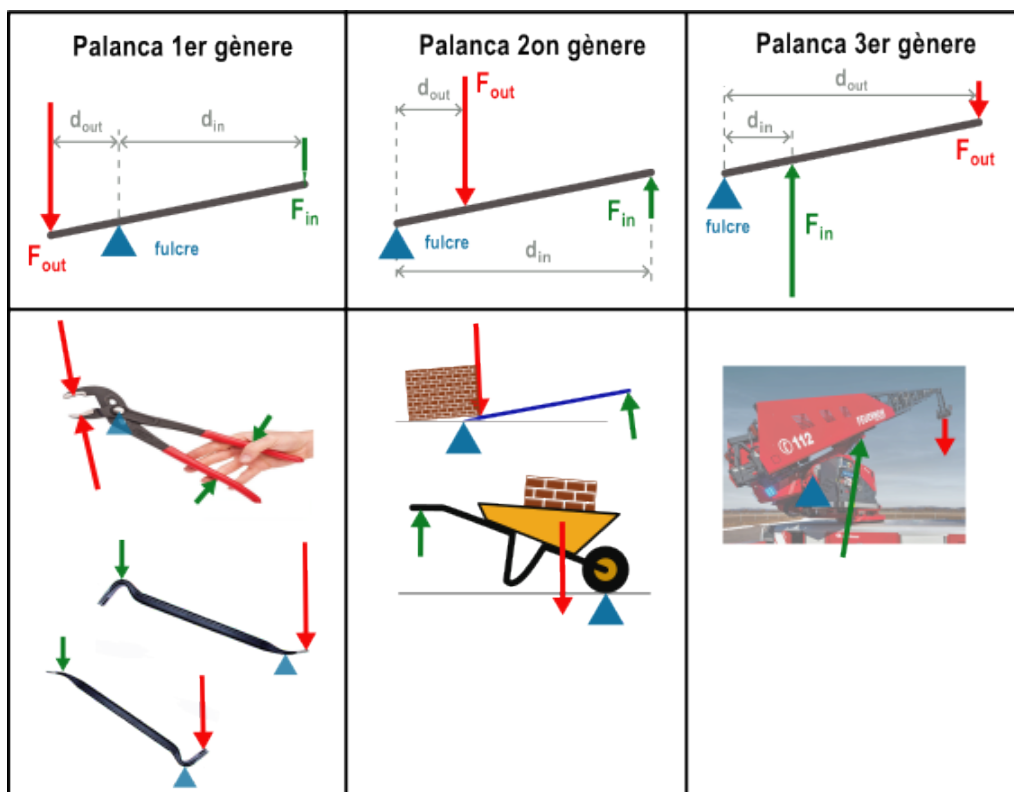
Per exemple: Unes alicates o una pota de cabra.

2. **Palanques de segon gènere:** En aquest cas, la força de sortida (la resistència) es troba entre el fulcre i la força aplicada. Aquestes palanques sempre proporcionen un avantatge mecànic superior a 1.

Per exemple: Una perpalina, un obreampolles, un carretó de mà o un trencaous.

3. **Palanques de tercer gènere:** Aquí, la força aplicada es troba entre el fulcre i la força de sortida. En aquestes palanques, l'avantatge mecànic és sempre inferior a 1, ja que es guanya en distància o velocitat a costa de la força.

Per exemples: Autoescala, braç retroexcavadora, canya de pescar, pala del kayak.



5.2. Pla Inclinat

El **pla inclinat** és una superfície plana que forma un angle amb l'horitzontal, per entendre'ns, una rampa. És una de les màquines simples més antigues i útils, ja que permet moure objectes pesants cap a una alçada superior amb menys força del que caldria per aixecar-los verticalment.

El seu funcionament es basa en el principi de la conservació de l'energia. Recordem que treball (energia) és força per distància. Per aixecar un objecte pel camí més curt és aixecar-lo verticalment, per tant serà quan farem la màxima força (el seu pes). Si no volem fer tanta força, hem de fer el mateix treball en més distància. Amb el pla inclinat bescanviem força per recorregut.

La relació entre la força aplicada i el pes de l'objecte es pot expressar de la següent manera:

$$F = P \cdot \sin \alpha = P \cdot \frac{h}{L}$$

F és la força necessària per moure l'objecte (sense fricció).

P és el pes de l'objecte ($P=m \cdot g$).

h és l'alçada a la qual s'ha d'eleva l'objecte.

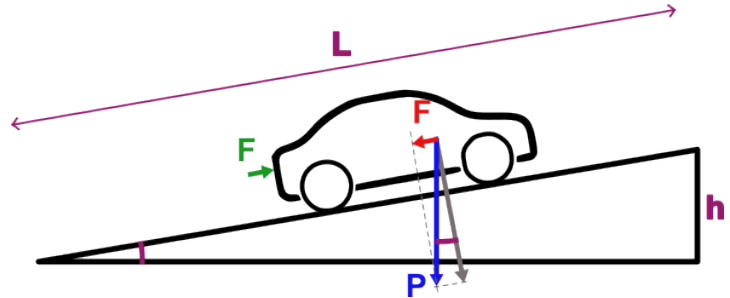
L és la longitud del pla inclinat (hipotenusa).

α és l'angle del pla inclinat respecte l'horitzontal.

Com que L sempre és més gran que h , la fracció h/L és menor que 1, i per tant, la força necessària (F) és menor que el pes de l'objecte (P).

L'**avantatge mecànic (AM)** d'un pla inclinat és la relació entre la força que hauríem de fer per aixecar-lo (el pes de l'objecte) i la força que fem realment per moure'l.

$$AM = \frac{\text{Força resistent}}{\text{Força aplicada}} = \frac{P}{P \cdot \frac{h}{L}} = \frac{L}{h}$$



Això significa que com més llarg és el pla inclinat respecte a la seva alçada, més gran és l'avantatge mecànic i menys força s'ha d'aplicar.

Tot això en el món ideal sense fregaments ni altres forces no conservatives. En el món real que hi ha fregament, la força necessària per fer pujar l'objecte pel pla inclinat és la força necessària per vèncer el pes més la necessària per vèncer el fregament.

No serà habitual, però en algun cas extrem, si hi ha molt fregament, pot ser necessària una força pròxima o superior al pes.

Per exemple, arrossegar un cotxe embarrancat.

Aplicacions Pràctiques

- **Rampes:** La utilització de rampes per pujar objectes a camions, vehicles o edificis és l'exemple més comú. Permet pujar equipament pesant sense la necessitat de grues o maquinària complexa.
- **Vis o cargol:** Un vis és un pla inclinat enrotllat al voltant d'un eix, que converteix un moviment circular en un de lineal.

Per exemple: Suposem que hem de treure un cotxe de 2000 kg que s'ha estibat per un talús de 45° , amb el tràctel de 1500 kgf (15.000 N). En dos supòsits:

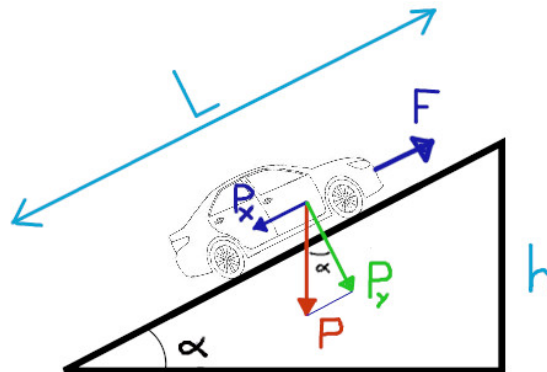
- a) El cotxe està obert i el podem desfrenar, puja rodolant sobre les seves 4 rodes. La resistència al rodolament és negligible, només hem de vèncer la component del pes.

$$P = m \cdot g = 2.000 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2 = 20.000 \text{ N}$$

$$\sin(45^\circ) = \frac{\sqrt{2}}{2} \approx 0.7$$

$$F = P \cdot \sin(45^\circ) = 20.000 \cdot 0.7 = 14.000 \text{ N}$$

La força de tracció necessària no supera els 15.000 N que podem fer amb el tràctel, tot i que va just.



- b) El cotxe està destrossat, té pneumàtics rebentats i les rodes no giren (puja arrossegant per terra). El fregament serà notable, suposem $\mu=0.8$. La força per vèncer el pes és la mateixa que abans, però ara hem de sumar el fregament.

$$\begin{aligned} N &= P \cdot \cos(45^\circ) = 20.000 \cdot 0.7 = 14.000 \text{ N} \\ F_{frec} &= \mu \cdot N = 0.8 \cdot 14.000 \text{ N} = 11.200 \text{ N} \\ F_{tot} &= F + F_{frec} = 25.200 \text{ N} \end{aligned}$$

Observem que, en aquest cas la força és superior al pes, el pla inclinat ja no ens aporta cap avantatge. Farem menys força aixecant-lo a pes amb una grua, o necessitarem un cabestrant més capaç.

5.3. Torn

El torn consisteix en un cilindre de radi r , anomenat tambor, amb una corda o cable enrotllada al seu voltant. Aquest cilindre petit es fa girar amb una manovella o volant, de radi R (normalment $R > r$). És com una palanca giratòria, el radi de la manovella (R) és el braç de la força aplicada i el del tambor (r) és el braç de la resistència.

Aplicant les fórmules que coneixem de la palanca:

$$F_{in} \cdot R = F_{out} \cdot r \qquad AM = \frac{R}{r}$$

Un cabestrant (*winch*) és un torn motoritzat, en què el parell de força el fa un motor elèctric.



En el cas que la corda o cable s'enrotlli en vàries capes, com en el cabestrant, s'ha de tenir en compte que el radi del tambor és diferent per a cada capa. Així, quan el cable està gairebé estirat del tot, el radi del tambor és el més petit possible i, per la mateixa força (parell) d'entrada, la força de sortida (en el cable) és màxima. La capacitat de tracció nominal dels cabestrants es refereix a la màxima amb la primera capa, cal saber que a mesura que es van enrotllant capes la força de tracció disminueix i molt, a canvi augmenta la velocitat.

5.4. Politges (polispast)

Les **politges** són màquines simples que consisteixen en una roda acanalada per on passa una corda o cable, i pot girar lliurement. El seu objectiu principal és canviar la direcció d'una força o, en combinació, reduir la força necessària per aixecar una càrrega.

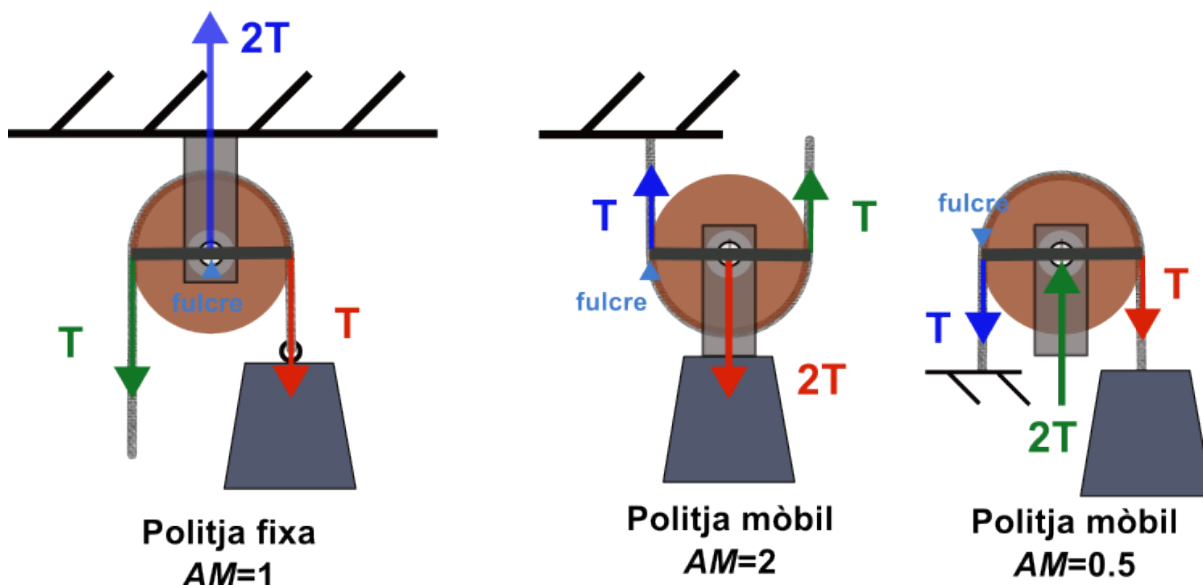
Considerant el fregament com a negligible, la tensió a la corda és la mateixa en tota la seva llargada. Per facilitar l'anàlisi diferenciem dos tipus de politges:

1. **Politja fixa:** no es desplaça respecte al terra, només canvia la direcció de la corda, no ofereix cap avantatge mecànic ($AM=1$). La força d'entrada és la tensió de la corda a un costat, i la de sortida és la tensió de la corda a l'altre costat, que són iguals. Podem imaginar-la com una palanca de primer gènere de braços iguals ($AM=1$).
2. **Politja mòbil:** es desplaça respecte al terra. Normalment, la força d'entrada és la tensió de la corda del costat que estirem, i la força de sortida és a l'eix de la politja. Ens duplica la força ($AM=2$).

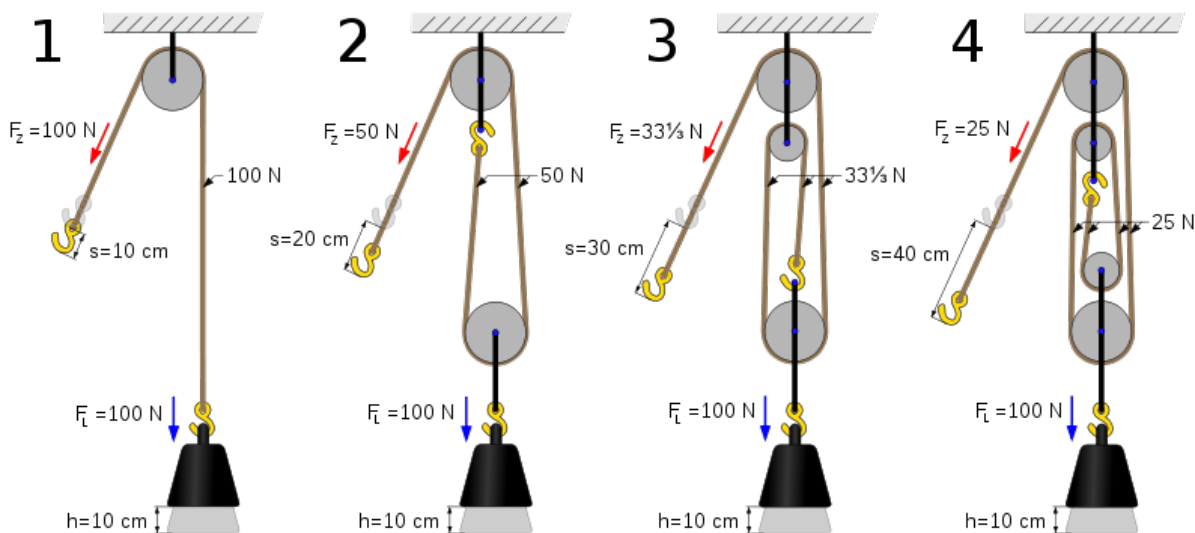
Podem imaginar-la com:

- a) Una palanca de segon gènere.
- b) Però és més fàcil veure-ho amb l'equilibri de forces sobre la politja. La suma de forces que van amunt ha de ser igual a la suma de forces que van avall.

Però també podem fer servir la politja mòbil per duplicar el recorregut de sortida, a canvi de fer el doble de força per desplaçar la politja ($AM=0,5$). Per exemple, els ascensors hidràulics, o el mecanisme d'extensió telescòpic de l'autoescala.



Si combinem politges fixes i mòbils, tenim un **sistema de politges** o **polispast**, amb què podem multiplicar diverses vegades la força d'entrada. Tantes vegades augmentem la força a la sortida, tantes vegades s'augmenta el recorregut de la corda a l'entrada.



En polispastos simples, sabent que la tensió a la corda és la mateixa per tota la corda, és fàcil veure la força resultant mirant de quants trams de corda penja la càrrega.