

Presentació

Des de l'equip de govern de la Universitat d'Alacant valorem la docència en valencià com un component molt positiu en la formació universitària dels futurs professionals que han estudiat en aquesta Universitat. És una obligació de la Universitat formar bons professionals que en un futur coneguen bé la realitat que els envolta i hi prestin amb normalitat els seus serveis. Per això, el domini del valencià propi de la seua especialitat tècnica o científica és fonamental per a entendre i per a gestionar el procés de desenvolupament de la societat valenciana —i també per a integrar-s'hi amb total normalitat.

Aquest material docent que ara presentem és un resultat més d'aquesta filosofia, que impregna l'actual equip de govern, de preparar bons professionals que puguin fer un servei en la societat que ha creat i que manté la Universitat d'Alacant. Per a fer possible que els alumnes actuals i futurs de la Universitat puguin exercir competentment la seua professió en valencià, hem d'estimular un procés previ d'una certa complexitat que, per les seues característiques, ha de ser lent de necessitat: preparar bons professors que puguin impartir la docència en valencià i disposar de materials de suport adequats.

Per a ajudar a aconseguir això, en els darrers anys hem fet convocatòries d'ajudes per a elaborar materials docents en valencià. L'objectiu que hi ha darrere d'això és començar a publicar, a poc a poc, els materials que tinguen la qualitat suficient. Aquestes iniciatives de suport a l'ús del valencià com a llengua de creació i de comunicació científica són possibles gràcies a l'ajuda de la Generalitat Valenciana (Conselleria d'Educació), a través del conveni per a la promoció de l'ús del valencià.

Ignasi Jiménez Raneda
Rector

Pròleg

El contingut d'aquest volum correspon a la matèria que els autors han impartit durant els últims dotze anys als alumnes d'Arquitectura Tècnica i Arquitectura en les assignatures Física (Arquitectura Tècnica, Pla 1977), Ampliació de Física (Arquitectura Tècnica, Pla 1996) i Fonaments Físics I (Arquitectura, Pla 1996).

Aquesta matèria, que correspon a una part de la mecànica, s'ha estructurat en tres grans blocs: vectors lliscants, geometria de masses i estàtica. En el primer, a més de fer una introducció general a les unitats, els sistemes d'unitats i la dimensionalitat de les magnituds físiques, es repassa l'àlgebra dels vectors, les aplicacions geomètriques més interessants d'aquesta i les propietats dels sistemes de vectors lliscants.

En el segon bloc, dedicat a la geometria de masses, s'estableix la metodologia sistemàtica per a obtenir els centres de gravetat i els moments d'inèrcia de seccions planes, principalment, a la vista de l'interès que aquestes tenen per a alguns problemes d'estàtica (equilibri intern en bigues), i es dedica una atenció especial als moments d'inèrcia principals.

El tercer bloc, el més important i extens pel que fa a contingut, es refereix a l'estàtica, és a dir, a les situacions d'equilibri que es poden presentar en sistemes físics sotmesos a forces, amb un tractament especial de les aplicacions relacionades amb les construccions arquitectòniques. S'hi tracten els problemes d'equilibri estàtic amb eines analítiques i gràfiques, i es dedica una atenció especial a l'equilibri dels entramats articulats plans i les bigues isostàtiques.

Cada capítol es completa amb una col·lecció de problemes resolts, on la major part han sigut proposats pels autors en els exàmens de les assignatures esmentades durant tots aquests últims anys, i també amb una col·lecció de problemes proposats, perquè els alumnes tinguin prou exercicis per a practicar l'aplicació dels conceptes que s'exposen en el desenvolupament teòric de cadascun dels capítols.

Al final del volum s'ofereix una col·lecció de problemes complementaris sobre els temes exposats, problemes que es van proposar en la seua totalitat en exàmens parcials o finals.

L'objectiu principal d'aquest volum és mostrar una visió d'alguns temes de mecànica, en els quals es presta una atenció especial als problemes més directament relacionats amb les construccions arquitectòniques, bo i deixant un poc de banda els problemes o les qüestions que poden interessar més a un alumne d'enginyeria mecànica.

Capítol 1. INTRODUCCIÓ I GENERALITATS

1.1 Magnituds físiques

Una definició de **magnitud** és “tot el que es pot mesurar”, o dit d’una altra manera, atribut que posseeix un ens de la naturalesa i que és susceptible de ser mesurat. La massa d’un cos, la seua longitud, la durada d’un succés, la intensitat d’un camp elèctric, la temperatura d’un recinte... són magnituds físiques perquè es poden **mesurar** amb l’ajuda de la instrumentació adequada (balances, regles, cronòmetres, voltímetres, termòmetres...). El procés de mesurar és expressar mitjançant un nombre (mesura) la relació que hi ha entre una magnitud donada i una altra de la mateixa classe, convencionalment adoptada com a unitat (patró) D’altra banda, conceptes com la bondat, la bellesa, la santedat... són atributs no quantificables numèricament, ja que pertanyen a l’àmbit no científic de l’ètica, de l’estètica o de la religió.

Axiomàticament, les magnituds físiques es poden definir dient que “**són un conjunt {B} que es defineix mitjançant una propietat comuna als elements d’un altre conjunt {A}, i tal que en aquest es puga definir la igualtat i la suma**”.

Això vol dir que, perquè una magnitud siga tal, es requereix un criteri que permeta afirmar quan dues magnituds de la classe considerada són iguals (**criteri d’igualtat**) i quan una és la suma d’altres dues (**criteri de suma**).

El que acabem d’exposar es pot aclarir amb els exemples següents:

1. Siga $\{ A \} / \{ \text{Conjunt dels cossos materials} \}$; i $\{ B \} / \{ \text{Conjunt de les grandàries d’aquests cossos} \}$. Magnitud definida: **longitud**.
2. Siga $\{ A \} / \{ \text{Conjunt dels cossos materials} \}$; i $\{ B \} / \{ \text{Conjunt de les superfícies dels cossos materials} \}$. Magnitud definida: **àrea**.
3. Siga $\{ A \} / \{ \text{Conjunt dels cossos materials} \}$; i $\{ B \} / \{ \text{Conjunt de l’espai ocupat pels cossos materials} \}$. Magnitud definida: **volum**.
4. Siga $\{ A \} / \{ \text{Conjunt dels cossos materials} \}$; i $\{ B \} / \{ \text{Conjunt de la rapidesa que posseeix cada cos material} \}$. Magnitud definida: **velocitat**.
5. Siga $\{ A \} / \{ \text{Conjunt de successos de qualsevol tipus que s’esdevenen} \}$; i $\{ B \} / \{ \text{Conjunt de la seua durada} \}$. Magnitud definida: **temps**.

1.2 Magnituds escalars i magnituds vectorials

Les magnituds físiques es classifiquen en **escalars**, **vectorials** i **tensorials**, depenent del nombre de paràmetres necessaris per a definir-les unívocament.

En el cas de les **magnituds escalars** basta un sol nombre o paràmetre per a especificar-les. En són exemples: la massa, la temperatura, l'energia, el temps...

Les **magnituds vectorials** necessiten dos o tres nombres per a definir-les sense ambigüitat, nombres que poden correspondre als components cartesianes del vector o a l'expressió del seu mòdul, de la seua direcció i del seu sentit (el nombre concret depèn del fet que la magnitud s'expressi en el pla o en l'espai de tres dimensions). A més, mentre que les magnituds escalars segueixen en la seua composició les regles de l'àlgebra ordinària, les magnituds vectorials requereixen una àlgebra diferent, l'anomenada **àlgebra vectorial**. Exemples de magnituds vectorials són: la velocitat $\mathbf{v}$, l'acceleració $\mathbf{a}$, la força $\mathbf{F}$, el vector de posició $\mathbf{r}$, el camp elèctric $\mathbf{E}$...

Finalment, és interessant assenyalar que hi ha magnituds (les anomenades **magnituds tensorials**) amb un grau de complexitat que requereix un nombre de quantitats igual a 3^N ($N = 0, 1, 2, 3, \dots$ és l'ordre del tensor; la magnitud tensorial d'ordre 0 rep el nom particular d'*escalar*, i la d'ordre 1 es denomina *vector*) i la seua àlgebra és, òbviament, més general que les esmentades anteriorment per a escalars i vectors. D'exemples d'aquest tipus de magnituds se'n poden trobar en diferents camps de la física: mecànica (moment d'inèrcia), dinàmica de medis continus (tensor de tensions), electromagnetisme (permitivitat del medi), etc.

En resum, es pot dir que el conjunt de les magnituds escalars és un subconjunt de les magnituds vectorials, i aquestes últimes, un subconjunt de les magnituds tensorials.

1.3 Unitats de mesura. Sistema internacional d'unitats

Tal com hem indicat anteriorment, una mesura és un resultat numèric que expressa la relació entre el valor de la magnitud i el valor de la unitat, que es denomina *patró*. Històricament s'han utilitzat molts sistemes d'unitats, la major part dels quals té una validesa purament localista. En el segle XVIII sorgeix, dins l'impuls racionalista de la Il·lustració, el més important de tots, el denominat sistema mètric decimal. Hereu d'aquest, i amb la pretensió d'englobar totes les magnituds físiques i no tan sols les de la mecànica, és el sistema internacional d'unitats o SI. El seu ús està regulat legalment als països de la Unió Europea i en molts altres. A Espanya, el seu ús el regula el Reial Decret 1317/1989, de 27 d'octubre, que estableix les unitats legals de mesura (BOE del 3/11/1989). Els principals països anglosaxons (Regne Unit, Estats Units d'Amèrica), tot i tenir sistemes propis de forta tradició, sobretot en el camp de la tècnica, utilitzen cada vegada més sovint el SI. En aquest sistema d'unitats es defineixen unes unitats bàsiques i unes unitats derivades. Les unitats bàsiques, que formen una base coherent i completa, són set, tal com s'indica en la **taula 1.1**, a les quals se'n poden afegir dues més, denominades suplementàries (**taula 1.2**), que permeten definir magnituds angulars. Totes les unitats derivades que apareixen en física es poden definir a partir de les bàsiques. En la **taula 1.3** es mostren alguns exemples d'aquest tipus d'unitats.

En la **taula 1.4** s'indiquen algunes unitats derivades amb noms especials, les quals resulta pràctic conèixer. Cal remarcar que els símbols de les unitats amb un nom proposat per a honrar algun físic eminent s'escriuen amb majúscula, encara que el nom

complet de la unitat s'escriu amb minúscula. En un cas –la unitat de resistència elèctrica *ohm*–, la unitat s'expressa mitjançant la lletra grega omega majúscula.

TAULA 1.1
UNITATS BÀSIQUES DE SISTEMA INTERNACIONAL D'UNITATS (SI)

Magnitud	Unitat	
	Nom	Símbol
Longitud	metre	m
Massa	quilogram	kg
Temps	segon	s
Intensitat de corrent elèctric	ampere o amper	A
Temperatura termodinàmica	Kelvin	K
Quantitat de substància	mol	mol
Intensitat lluminosa	candela	cd

TAULA 1.2
UNITATS SUPLEMENTÀRIES DEL SISTEMA INTERNACIONAL D'UNITATS (SI)

Magnitud	Unitat	
	Nom	Símbol
Angle pla	radian	rad
Angle sòlid	estereoradian	sr

TAULA 1.3
EXEMPLES D'UNITATS DERIVADES DEL SISTEMA INTERNACIONAL D'UNITATS (SI)

Magnitud	Unitat	
	Nom	Símbol
Superfície	metre quadrat	m^2
Volum	metre cúbic	m^3
Velocitat	metre per segon	m/s o $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
Acceleració	metre per segon al quadrat	m/s^2 o $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
Massa en volum (densitat volumètrica)	quilogram per metre cúbic	kg/m^3 o $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
Cabal en volum (despesa)	metre cúbic per segon	m^3/s o $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
Cabal màssic	quilogram per segon	kg/s o $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$
Moment d'una força	newton per metre	$\text{N}\cdot\text{m}$
Moment d'inèrcia geomètric	metre a la quarta	m^4
Moment d'inèrcia màssic	quilogram per metre quadrat	$\text{kg}\cdot\text{m}^2$

TAULA 1.4
**EXEMPLES D'UNITATS DERIVADES DEL SISTEMA INTERNACIONAL (SI)
 AMB NOMS ESPECIALS**

Magnitud	Unitat			
	Nom	Símbol	Expressió en altres unitats SI	Expressió en unitats SI bàsiques
Força	newton	N	–	$\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
Pressió, tensió, esforç	pascal	Pa	$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$	$\text{m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
Energia, treball, quantitat de calor	joule	J	$\text{N} \cdot \text{m}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
Potència. Flux radiant	watt	W	$\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$
Quantitat d'electricitat, càrrega elèctrica	coulomb	C	–	$\text{A} \cdot \text{s}$
Tensió elèctrica, potencial elèctric, força electromotriu	volt	V	$\text{W} \cdot \text{A}^{-1}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-1}$
Resistència elèctrica	ohm	Ω	$\text{V} \cdot \text{A}^{-1}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-2}$
Flux magnètic, densitat de flux magnètic	weber	Wb	$\text{V} \cdot \text{s}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$
Inducció magnètica, densitat de flux magnètic	tesla	T	$\text{Wb} \cdot \text{m}^{-2}$	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$
Flux lluminós	lumen	lm	–	$\text{cd} \cdot \text{sr}$
Il·luminació	lux	lx	$\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$	$\text{m}^{-2} \cdot \text{cd} \cdot \text{sr}$

TAULA 1.5
PREFIXOS EN EL SI

Prefixos a utilitzar en el SI

Factor	Prefix	Símbol
10^{18}	exa	E
10^{15}	peta	P
10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	kilo	k
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a

Els múltiples i submúltiples de les unitats es poden expressar mitjançant una sèrie de prefixos, el símbol i el valor dels quals s'indica en la taula 1.5. Així, una energia de $1,28 \cdot 10^{12}$ J es pot escriure abreujadament 1,28 TJ. El símbol d'un prefix es considera combinat amb el símbol de la unitat a la qual està lligat, sense espai intermedi, formant així el símbol d'una nova unitat, que pot estar afectada d'un exponent positiu o negatiu i que es pot combinar amb altres símbols d'unitats per a formar símbols d'unitats compostes. Exemple: $1 \text{ cm}^3 = (10^{-2} \text{ m})^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$.

No s'admeten els prefixos compostos, formats per la juxtaposició de diversos prefixos SI. Exemple: cal escriure nm (nanòmetre) i no mμm. Cal advertir que en la taula 1.5 no s'han incorporat alguns prefixos que encara mantenen un cert ús. Són els següents: