

## OBJECTIUS D'APRENTATGE

### Objectiu general

Integrar les Vibracions Mecàniques dins dels estudis del Màster Universitari d'Enginyeria Industrial, utilitzant els coneixements adquirits en el Grau d'Enginyeria de Tecnologies Industrials i en el Grau d'Enginyeria Mecànica, treballant les capacitats que són pròpies de l'enginyeria i fent-la atractiva i útil, en particular per a l'alumnat que opta per un perfil mecànic.

### Objectius específics

- Proporcionar els conceptes i les eines necessaris per a la comprensió, el càlcul, l'anàlisi i la valoració de les vibracions dels sistemes mecànics.
- Analitzar les causes usuals que provoquen vibracions mecàniques.
- Aprendre com disminuir les vibracions mecàniques o aïllar-ne els efectes, quan no desitjades.
- Presentar la instrumentació bàsica per a l'estudi experimental de les vibracions mecàniques.
- Mostrar algunes utilitats d'anàlisi de les vibracions, com el monitoritzat de l'estat de màquines.
- Introduir la normativa bàsica de mesura i de valoració de les vibracions mecàniques.
- Presentar la relació entre la vibració i el soroll.
- Sensibilitzar l'alumnat sobre els efectes de les vibracions i el soroll en persones i artefactes i sobre la contaminació que representen.

## CONTINGUTS

### 1 INTRODUCCIÓ (16h 30min)

Classificació de les vibracions.

Determinació de les equacions del moviment. Linealització de les equacions del moviment per a pertorbacions d'un estat d'equilibri.

Descripció temporal del senyals. Escales.

Funcions harmòniques. Representació complexa de les funcions harmòniques. Anàlisi harmònica.

### 2 VIBRACIONS D'UN GRAU DE LLIBERTAT (40h)

Vibracions lliures. Freqüència pròpia i raó d'esmoreïment. Resposta Impulsional.

Vibracions forçades sinusoidalment. Factor d'amplificació i ressonància. Resposta a una excitació periòdica. Distorsió harmònica.

Vibracions amb excitació arbitrària. Règim transitori, règim estacionari. Transformades de Laplace i de Fourier.

Funció de transferència, funció de resposta freqüencial. Impedància. Admitància. Integral de convolució.

Relació entre la resposta freqüencial i la resposta impulsional.

Temes complementaris: excitació per moviment de la base, transmissió i aïllament de vibracions, excitació per desequilibri, esmoreïment equivalent, esmoreïment d'histèresi.

### 3 VIBRACIONS D'N GRAUS DE LLIBERTAT (38h)

Equacions de Lagrange. Matrius d'inèrcia, de rigidesa i d'esmoreïment. Vector d'excitació.

Anàlisi modal. Modes propis i freqüències pròpies.

Matrius de resposta impulsional i de resposta freqüencial.

Formulació d'estat. Vector d'estat. Matriu d'estat.

Temes complementaris: acoblament de sistemes, absorbents dinàmics.

### 4 TEMES MONOGRÀFICS (18h)

Rotodinàmica. Vibracions torsionals. Velocitats crítiques. Equilibratge de rotors.

Vibracions paramètriques. Sistemes lineals amb paràmetres periòdics.

Vibracions autoexcitades. Balanç energètic i cicle límit. Estudi a partir de la linealització a l'entorn d'un estat d'equilibri.

Vibracions en sistemes no lineals. Sistema lliure d'un grau de llibertat. Espai d'estats, atractors.

## METODOLOGIA

La càrrega docent de l'assignatura és de 4,5 ECTS: 3,5 s'imparteixen en classes de pissarra, teoria i problemes, i el restant es dedica a pràctiques de laboratori.

A les classes de pissarra (teoria i problemes), dues per setmana d'1,5h, s'exposen els aspectes bàsics de la teoria amb suport de material docent i d'un bon nombre d'exemples. Es presenten, s'analitzen i es resolen exercicis inspirats en situacions reals i se'n proposen per realitzar com a treball personal.

A les classes de laboratori, quatre al llarg del quadrimestre d'1h 30min, es realitzen les pràctiques amb el material disponible al Laboratori de Vibracions. Les setmanes en les quals hi ha classes de laboratori només hi ha una classe de pissarra.

La dedicació personal addicional a les classes de pissarra i de laboratori es preveu de 72h repartida aproximadament de manera uniforme durant el curs però amb un lleuger escaix cap al final.

### Pràctiques

Les pràctiques es realitzen en el Pavelló G Planta -1.

- P1 Cadena de mesura. Vibracions lliures d'un grau de llibertat. Identificació de paràmetres vibratori.
- P2 Cadena d'excitació. Vibracions forçades d'un grau de llibertat. Identificació de paràmetres vibratori.
- P3 Vibracions d' $n$  graus de llibertat. Anàlisi modal.
- P4 Mesura i anàlisi de vibracions. Valoració.

## AVALUACIÓ

Durant el curs l'alumnat ha de treballar, en base al contingut de l'assignatura, la seva capacitat per:

- Interpretar situacions i artefactes relacionats amb vibracions mecàniques, descrits amb l'ajut de fotografies, dibuixos, esquemes, etc.
- Plantejar i resoldre els procediments per assolir els objectius proposats en els exercicis.
- Interpretar i valorar els resultats, en funció de la situació o de l'artefacte analitzat i dels objectius plantejats.
- Comunicar les seves conclusions de manera pulcra, concisa i precisa.

L'assoliment d'aquestes capacitats permetrà l'alumnat superar els exercicis de les proves, previstos en base als punts mencionats. Addicionalment, amb els exercicis en grup l'alumnat ha de treballar les capacitats de:

- Plantejar-se la necessitat d'estudiar amb profunditat algun fet real relacionat amb el tema de les vibracions.
- Entendre el fet i fer les hipòtesis adequades per obtenir un model realista i estudiable amb els coneixements i eines del curs.
- Simular, si escau, el model amb ordinador i interpretar els resultats.
- Escriure i presentar un informe tècnic dels exercicis utilitzant els recursos adients.
- Treballar en equip.

### Sistema de qualificació

La nota final,  $N_{\text{final}}$ , arrodonida a la dècima, és la màxima de les mitjanes ponderades:

$$N_{\text{final}} = 0,3 N_{\text{parcial}} + 0,2 N_{\text{test}} + 0,5 N_{\text{prob}}$$

$$N_{\text{final}} = 0,35 N_{\text{test}} + 0,65 N_{\text{prob}}, \text{ on:}$$

$N_{\text{final}}$  Nota final de l'assignatura

$N_{\text{parcial}}$  Nota de l'examen parcial

$N_{\text{test}}$  Nota del test de l'examen final

$N_{\text{prob}}$  Nota dels problemes de l'examen final

- L'examen parcial consta d'un conjunt d'exercicis de valoració semblant sobre els dos primers capítols. Es fa en una de les classes i per a la seva realització es disposa d'1h 30min: **17 d'abril a les 12.30h.**
- L'examen final consta de dues parts: la primera, d'1h de durada, per a la resolució d'un conjunt de qüestions multiresposta teòriques i pràctiques, que dóna lloc a la qualificació  $N_{\text{test}}$ , i la segona de 2h per a la resolució de problemes, que dóna lloc a la qualificació  $N_{\text{prob}}$ : **17 de juny a les 17h.**

- En cas de reavaluació, la nota obtinguda en aquest examen,  $N_{\text{reavaluació}}$ , substitueix la nota de l'examen final. S'aplicarà el punt 3.1.3 de la NAGRAMA. L'examen de reavaluació serà tipus test amb preguntes teòriques i pràctiques. **6 de juliol a les 17h.**

### Normes generals per a la realització de les proves escrites

- Es pot disposar únicament d'un full A4 manuscrit, original amb el contingut que es cregui oportú.
- Es pot disposar de calculadora i de les eines bàsiques d'escriptura i dibuix que facilitin la pulcritud en la presentació.
- No està permès disposar de cap artefacte d'emmagatzemament o transmissió d'informació, telèfon mòbil o d'altres.
- Les preguntes al professorat només poden fer referència a la comprensió de l'enunciat.
- Es valoren la pulcritud, concisió i precisió en la realització dels exercicis.
- Per obtenir la màxima qualificació en un exercici cal, on sigui aplicable, trobar els valors numèrics i indicar-ne les unitats.

### BIBLIOGRAFIA

Bàsica:

- Cardona, S.; Jordi, L. *Vibracions Mecàniques. Problemes. Temes monogràfics*. 2003. ISBN: 8495355515.
- Cardona, S.; Jordi, L. *Vibracions Mecàniques. Descripció i anàlisi de magnituds en l'estudi de vibracions*. 2006. ISBN: 8468997285.
- Cardona, S.; Jordi, L. *Vibracions Mecàniques. Determinació de les equacions del moviment. Linealització*. 2010. ISBN: 9788469357958.
- Thomson, W. T. *Theory of Vibration with Applications*. England: Nelson Thomes, 2003.

Complementària:

- Rao, S. S. *Mechanical Vibrations*. USA: Addison-Wesley Company, 1995.
- Inman, D. J. *Engineering Vibration*. USA: Prentice-Hall, 2001.
- Dimarogomas, A. D., Haddad, S. *Vibration for Engineers*. USA: Prentice-Hall, 1992.
- Benson, H. T. *Principles of vibration*. New York: Oxford University Press, 1996.
- Newland, D. E. *Mechanical Vibration. Analysis and Computation*. England: Ed. Logman, 1989.
- de Silva, C. W. *Vibrations Fundamentals and Practice*. USA: CRC Press, 2000. ISBN: 0849318184.

Altres recursos:

- Atenea – Campus Virtual
- Pàgina web de l'assignatura: <https://em.upc.edu/ca/docencia/pagines-docents/etseib-vibracions>

### PROFESSORAT I HORARI D'ATENCIÓ

Professorat		dilluns	dimarts	dimecres	dijous	divendres
Lluïsa Jordi lluïsa.jordi@upc.edu	Pav. D Pl. 0		15 – 16.30	12 – 13.30		
Eduard Lores eduard.lores@upc.edu	Pav. D Pl. 0					14 – 15.30

Altres hores de consulta cal convenir-les amb el professorat.

## PROGRAMACIÓ DEL CURS

Set.		Teoria	Problemes	Pràctiques
1	Feb. 17 – 21	Classificació. Equacions de moviment. Linealització	Funcions harmòniques. Anàlisi harmònica	
2	Feb. 24 – 28	Vibracions lliures d'1 gl	Vibracions lliures	
3	Març 2 – 6	Vibracions forçades d'1 gl	Vibracions forçades	
4	Març 9 – 13			P1
5	Març 16 – 20		Vibracions forçades	
6	Març 23 – 27	Transmissió i aïllament		P2
	Març 30 – Abril 3	Exàmens parcials de les assignatures troncal		
	Abril 6 – 10	SETMANA SANTA		
7	Abril 13 – 17	Excitació per desequilibri	Examen Parcial	
8	Abril 20 – 24	Vibracions d'n gl	Vibracions d'n gl	
9	Abril 27 – Maig 1			
10	Maig 4 – 8			P3
11	Maig 11 – 15		Vibracions d'n gl	
12	Maig 18 – 22	Temes monogràfics		P4
13	Maig 25 – 29		Vibracions d'n gl	

### Horari de les classes, grups, aules i professorat

Grup	Dia	Hora	Aula	Professorat
10	dt / dv	12.30 – 14	4.1	L. Jordi

Grup	Dia	Hora	Aula	Professorat
11	dilluns	15 – 16.30	Lab. Maq. Vibracions	E. Lores
12	dilluns	16.30 – 18	Lab. Maq. Vibracions	E. Lores
13	divendres	15 – 16.30	Lab. Maq. Vibracions	E. Lores
14	divendres	16.30 – 18	Lab. Maq. Vibracions	E. Lores
15	divendres	11 – 12.30	Lab. Maq. Vibracions	L. Jordi
16	divendres	12.30 – 14	Lab. Maq. Vibracions	L. Jordi