

Asignatura: **Vibraciones Mecánicas y Dinámica de Máquinas**

Código: 10-09157

RTF

8

Semestre: 9no

Carga Horaria

72

Bloque: Tecnologías Aplicadas

Horas de Práctica

17

Departamento: Estructuras

Correlativas:

- Cálculo Estructural 2

Contenido Sintético:

1. Elementos de la Dinámica Estructural
2. Cálculo de Respuesta de Sistemas Dinámicos
3. Vibraciones Aleatorias
4. Vibraciones de Sistemas no Lineales
5. Vibraciones del Continuo
6. Dinámica de Máquinas
7. Medición y Control de Vibraciones
8. Aspectos Normativos

Competencias Genéricas:

- CG1. Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.
- CG2. Concebir, diseñar y desarrollar proyectos de ingeniería (sistemas, componentes, productos o procesos).
- CG4. Utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de aplicación en la ingeniería.

Aprobado por HCD: 846-HCD-2023

RES: Fecha: 2/11/2023

Competencias Específicas:

- CE3.3 Interpretar los fenómenos vibratorios en general y la respuesta dinámica de máquinas funcionando en estado de régimen y durante transitorios.

## Presentación

Los Problemas Dinámicos, especialmente los problemas con Vibraciones, tienen un rol cada vez más preponderante en la construcción de equipos, máquinas y medios de transporte terrestre, marítimo y aéreo. Diseños con potencias más elevadas, incremento en las velocidades, materiales y secciones más livianas para mejorar el rendimiento, exigencias mayores en los materiales y materiales especiales traen aparejada la necesidad de un análisis cada vez más detallado de los fenómenos vibratorios que, por otro lado, aparecen con más frecuencia. Las vibraciones pueden también generar efectos no deseados y dañinos en seres humanos, edificios y equipos técnicos de medición y control. Sin embargo, también sirven beneficiosamente en procesos tecnológicos e industriales. Para la solución de los problemas que tienen que ver con esta temática, el Ingeniero Mecánico debe estar en condiciones de entender las causas de los fenómenos vibratorios y calcular adecuadamente la respuesta de los sistemas dinámicos a que se enfrenta. Los medios para este fin incluyen el desarrollo del Modelo de Cálculo, los Métodos de Análisis y la Interpretación de los Resultados con auxilio de Recomendaciones y Normas. Sin dejar de abarcar estos tres aspectos, el estudio de las Vibraciones Mecánicas se basa fundamentalmente en el Cálculo y en los Métodos de Análisis. Por las razones expuestas, el Ingeniero Mecánico que pretenda solucionar problemas concretos de Vibraciones necesita conocimientos sólidos respecto del área de Vibraciones Mecánicas y Dinámica de Máquinas, por lo que la Materia en cuestión debe entonces satisfacer estas necesidades, tomando como base los conocimientos de Mecánica Técnica, Cálculo Estructural 1, Cálculo Estructural 2 y Máquinas.

Vibraciones Mecánicas y Dinámica de Máquinas, como espacio curricular del 9º semestre de la Carrera de Ingeniería Mecánica, se propone contribuir a la formación del futuro ingeniero en lo que respecta a su capacidad de analizar, modelar y calcular sistemas mecánicos sometidos a cargas dinámicas, utilizando conocimientos conceptuales y herramientas de cálculo necesarias para realizar modificaciones estructurales, tendientes a solucionar problemas de carácter dinámico, basándose en datos provenientes de cálculo y mediciones experimentales.

Los objetivos de la asignatura son que el alumno logre:

- Interpretar los fenómenos vibratorios en general y la respuesta dinámica de máquinas funcionando en estado de régimen y durante transitorios.
- Reconstruir mediante modelos y el análisis inverso, la respuesta dinámica vibratoria de sistemas mecánicos. Definir modelos y parámetros para el cálculo, determinar el rango de validez de las hipótesis utilizadas, interpretar y valorar los resultados.
- Diseñar y modificar sistemas mecánicos teniendo en cuenta los fenómenos vibratorios, tanto si la dinámica resulta un medio favorable utilizado para lograr un objetivo, o aparece como una consecuencia del diseño a sobrellevar. Solucionar problemas de vibraciones mecánicas.

- Desarrollar la capacidad de utilizar herramientas tecnológicas modernas para prever la respuesta y la capacidad de tomar medidas correctivas adecuadas a cada caso, también en tareas de mantenimiento.

## Contenidos

### **Unidad 1. Elementos de la Dinámica**

Ondas, vibraciones armónicas, representación real y compleja. Superposición. Modulación en amplitud y frecuencia. Análisis armónico, Fourier. Representación en el dominio de la frecuencia. Vibraciones no periódicas. Cinemática de la partícula y de los cuerpos rígidos. Dinámica de las partículas y de los cuerpos rígidos. Modelado de Sistemas Vibratorios. Elementos de masa lineal y angular, elementos de rigidez lineal y angular, Rigidez no lineal, rigidez tangente, elementos disipadores. Amortiguamiento equivalente. Energía disipada.

### **Unidad 2. Cálculo de la Respuesta de Sistemas Dinámicos**

Ecuaciones diferenciales de movimiento, formulación: Newton, Lagrange. Linealización. Vibraciones libres no amortiguadas y amortiguadas. Amortiguamiento. Excitación periódica e impulsiva. Transformación de Laplace. Función de transferencia y respuesta a impulso. Vibraciones forzadas estacionarias y no estacionarias. Métodos numéricos. Vibraciones periódicas de sistemas débilmente no lineales.

### **Unidad 3. Vibraciones Aleatorias**

Vibraciones estocásticas. Densidad de Probabilidad. Funciones de densidad de probabilidad. Densidad espectral, procesos ergódicos. Densidad espectral de potencia. Procesos de banda estrecha y ancha. Correlación entre procesos estocásticos. Correlación cruzada entre excitación y respuesta, densidad espectral cruzada. Densidad espectral de respuesta. Coherencia. Estimadores de funciones de respuesta.

### **Unidad 4. Control de Vibraciones**

Balanceo de máquinas rotantes. Tipos de desbalance. Técnicas de corrección. Control de frecuencias naturales. Velocidades críticas de rotores. Introducción de amortiguamiento como técnica de control. Absorbedor de vibraciones, optimización. Vibraciones torsionales. Vibraciones libres y forzadas. Absorbedor centrífugo pendular, concepto, diseño. Transmisibilidad de vibraciones. Aislamiento. Dinámica de cuerpos rígidos, cálculo de fuerzas y momentos excitatrices. Fundaciones de máquinas. Cálculo de fundaciones elásticas. Vibraciones inducidas por flujo de fluidos. Excitación por turbulencias.

### **Unidad 5. Mediciones de Vibraciones, Interpretación de Registros**

Principios de medición. Mediciones libres de distorsión. Sensores, tipos y características. Cadena de medición. Acondicionamiento. Determinación de propiedades dinámicas a partir de mediciones. Calibración de modelos numéricos. Sensibilidad. Modificación estructural y de parámetros.

## **Unidad 6: Análisis de vibraciones en el Diagnóstico de Máquinas. Normas.**

Evaluación del estado de las máquinas en función del nivel vibratorio. Normativas, reglamentos y criterios. Severidad de Vibración en máquinas. Vibraciones en el cuerpo humano. Gestión del mantenimiento predictivo por medio de vibraciones. Rodamientos y cojinetes. Vibraciones en equipos fluido-dinámicos, Vibraciones en cajas de engranajes, Vibraciones en equipos eléctricos. Vibraciones en álabes y palas. Correas de transmisión. Velocidades nominales y críticas de ejes. Modo o forma de operación. Desequilibrio, falta de alineamiento, falta de apriete, desgaste. Identificación mediante vibraciones.

## **Metodología de enseñanza**

Las clases son de carácter teórico-prácticas. En temáticas específicas, que incluyen a las introductorias y las de refuerzo de conocimientos se utiliza primariamente aula invertida. El resto de las exposiciones teóricas son dialogadas, con exposición oral del docente a cargo, uso de pizarrón y en algunos casos, uso de presentaciones con proyector y participación de los alumnos. Para una mejor comprensión de la temática abordada, se realiza una constante asociación con ejemplos concretos, en donde se pone especial atención en la correspondencia entre el modelo de cálculo y el sistema real, para evaluar sus diferencias.

Se propone la ejecución por parte del alumno de trabajos prácticos en forma continua durante el cursado; los que se refieren a problemas prácticos con asociación real a temas de la ingeniería mecánica, de alguna manera simplificados o aislados del sistema real complejo, con el fin de posibilitar su interpretación y mejorar la didáctica. Estos prácticos se consideran no sólo fundamentales para la comprensión del problema y el afianzamiento de los conocimientos desarrollados, sino como medio para la incorporación de conocimientos adicionales. Los trabajos prácticos son realizados directamente en medios digitales (o bien escritos en papel y escaneados), con ayuda de programas informáticos. Se propende al uso de software de cálculo matemático y procesamiento simbólico.

En las clases de laboratorio se realizan distintos trabajos prácticos sobre el tema mediciones de vibraciones, análisis modal, y modificación estructural, mediante el apoyo de equipamiento de mediciones y algunos dispositivos como excitadores, péndulos, etc. Los alumnos informan en base a requerimientos guiados, las actividades y experiencias realizadas en el laboratorio.

Finalmente, los alumnos desarrollan un proyecto integrador durante la segunda mitad del cuatrimestre, que resulta beneficioso para la comprensión de los problemas, el afianzamiento de los conocimientos teóricos, y como medio para la incorporación de habilidades adicionales.

## **Evaluación**

Las metodologías y estrategias de evaluación que se emplearán, considerando los resultados de aprendizaje y los diferentes temas de las unidades desarrolladas en clases y laboratorio, son:

- Dos parciales de evaluación combinada integrando conceptos teórico-prácticos. Los parciales incluyen: elección entre alternativas múltiples, preguntas cortas, desarrollos y resolución de casos prácticos.
- Un proyecto integrador, informe técnico y posterior defensa de acuerdo con pautas preestablecidas

- Rúbrica de competencias.
- Informes semanales de resolución de trabajos prácticos durante el cursado. Incluye informe de Clases de Laboratorio (actividad p/ rúbrica).

## Condiciones de aprobación

### Promoción

- 1.- Asistencia: acreditar el 80% de la asistencia.
- 2.- Trabajos Prácticos: acreditar el 80% de los prácticos entregados en tiempo y forma.
- 3.- Tres parciales aprobados.

### Regularización

- 1.- Asistencia: acreditar el 80% de la asistencia.
- 2.- Trabajos Prácticos: acreditar el 80% de los prácticos entregados en tiempo y forma.
- 3.- Dos parciales aprobados.

### Criterios de evaluación

- Calidad de la formulación de la producción
- Escritura académica-profesional, claridad conceptual.
- Puntualidad
- Vinculación teórico-práctica

### Calificación

La calificación se obtiene a través del siguiente polinomio:

$$\text{Calificación} = 0,5 \times P1 + 0,3 \times P2 + 0,2 \times P3$$

donde:

P1: es el promedio de las calificaciones de los parciales teórico-prácticos.

P2: es el promedio de la calificación de las actividades prácticas.

P3: es la valoración numérica obtenida de la rúbrica.

## Actividades prácticas y de laboratorio

Durante el desarrollo del curso, el alumno completa actividades prácticas referentes a distintas unidades, tales como: Elementos de la Dinámica, Ondas, Vibraciones armónicas, Formulación de ecuaciones diferenciales de movimiento, Métodos numéricos, Linealización, Vibraciones forzadas con excitación periódica, impulsiva y estocástica, Vibraciones Aleatorias, Estimadores de funciones de respuesta, Vibraciones de Sistemas Continuos, Control de Vibraciones, Balanceo de máquinas rotantes, Control de frecuencias naturales, Velocidades críticas de rotores, Introducción de amortiguamiento como técnica de control, Absorbedor de vibraciones, Transmisibilidad de vibraciones y Aislamiento.

Se realizan Clases de Laboratorio sobre los siguientes aspectos: Mediciones de Vibraciones, Interpretación de Registros de Vibraciones, Determinación de propiedades dinámicas a partir de mediciones, Modificación estructural y de parámetros. Además, en el Laboratorio se exploran técnicas Análisis de Vibraciones en el Diagnóstico de Máquinas y Normas, Evaluación del estado de máquinas en función del nivel vibratorio. Normativas, reglamentos y criterios.

# Competencias y resultados de aprendizaje

## Competencias tecnológicas

**CG1.** Competencia para identificar, formular y resolver problemas de ingeniería .

Esta competencia está relacionada con los Resultados de Aprendizaje R1 y R2.

**CG2.** Competencia para concebir, diseñar y desarrollar proyectos de ingeniería (sistemas, componentes, productos o procesos)

Esta competencia está relacionada con los Resultados de Aprendizaje R3 y R4.

**CG4.** Competencia para utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de aplicación en la ingeniería

Esta competencia está relacionada con el Resultado de Aprendizaje R4

## Competencias específicas

**CE3.3** Interpretar los fenómenos vibratorios en general y la respuesta dinámica de máquinas funcionando en estado de régimen y durante transitorios.

Esta competencia está relacionada con el Resultado de Aprendizaje R3.

## Resultados de aprendizaje

**R1.** Formular sistemáticamente problemas físicos modelados matemáticamente.

- Entender los fenómenos que rigen la propagación de ondas en los medios.
- Representar vibraciones en forma matemática en el dominio del tiempo y la frecuencia.
- Diferenciar distintos tipos de vibraciones y reconocer hipótesis de modelación.
- Reconocer las características y propiedades de los elementos de masa, rigidez y amortiguamiento.
- Formular modelos de sistemas vibratorios mediante sus elementos componentes.

**R2.** Resolver problemas de diseño estructural, aplicando métodos numéricos de análisis estructural, empleando computadoras.

- Plantear ecuaciones de movimiento por medio del equilibrio y por métodos energéticos de distintos tipos de sistemas mecánicos.
- Resolver las ecuaciones para obtener la respuesta dinámica de sistemas vibratorios.
- Utilizar distintos métodos de cálculo en función de las características de los sistemas.
- Reconocer e Interpretar las respuestas dinámicas de sistemas lineales y no-lineales en aplicación directa a las máquinas.
- Comprender y aplicar métodos de la vibración de sistemas continuos para modelar sistemas e interpretar y contrastar mediciones.

**R3.** Identificar y aplicar parámetros y criterios de diseño en la ejecución de un proyecto de ingeniería para el desarrollo de soluciones funcionales de acuerdo a la especialidad.

- Aplicar distintas técnicas de Control de Vibraciones para mejorar la respuesta y la performance de máquinas y equipos.
- Proponer una cadena de medición de vibraciones utilizando hardware y componentes adecuados a los objetivos.
- Comprender y aplicar técnicas de Procesamiento de Señales Digitales para mediciones de vibraciones.
- Determinar y examinar el estado vibratorio de un sistema a partir de técnicas experimentales.
- Evaluar el estado vibratorio y realizar mantenimiento en distinto tipo de máquinas en base a registros experimentales y normativas.
- Detectar fallas en sistemas a partir de mediciones experimentales.
- Identificar las propiedades dinámicas de estructuras y sistemas mediante técnicas de vibraciones aleatorias y métodos inversos.

**R4.** Realizar proyectos, cálculos y construcción de instalaciones industriales, mediante la utilización de criterios de aplicación de elementos, equipos y sistemas adecuados.

- Resolver proyectos seleccionando y aplicando distintas técnicas y procedimientos.
- Elaborar un informe técnico.

### Rúbricas de competencias genéricas

Competencias evaluadas	Actividad durante la que se evalúa	Resultado del aprendizaje	Mínimo esperado
CG1.	Actividad 4	Resultado <b>R1</b>	4
CG2.	Actividad 1	Resultado <b>R4</b>	4
CG4.	Actividad 3	Resultado <b>R2</b>	4
CE3.3	Actividad 2	Resultado <b>R3</b>	4

**Actividad 1:** Proyecto integrador

**Actividad 2:** Defensa del proyecto integrador.

**Actividad 3:** Informe de clase de Laboratorio.

**Actividad 4:** Estudio de casos. Estudio de proyectos y papers relacionados con temas de la materia.

## Bibliografía

- Vibraciones, Balakumar Balachandran, 2005, 970-686-495-4, 582 p.
- Mechanical Vibrations, Singiresu S. Rao, 4th Edition, 0-13-048987-5, 1082 p.
- Conceptos sobre choque y vibración en el Diseño de Ingeniería, Charles E. Crede, 1970, 174 p.
- Methods of analytical dynamics, Meirovitch, Leonard, Dover, 2003, Mineola, NY.
- Analytical methods in vibrations, Meirovitch, Leonard, Macmillan, 1967, NY.
- Teoría de Vibraciones, William Thompson, 1981, 0-13-914523-0, 492 p.
- Computational Dynamics, Ahmed A. Shabana, 2001, 0-471-37144-0, 504 p.
- Machinery Vibration and Rotordynamics, John Vance, 2010, 978-0-471-46213-2, 402p.
- The Vibration Analysis Handbook, John Taylor, 978-0964051720, 305p.
- Vibration of Structures and Machines, Giancarlo Genta, 978-0-387-98506-0, 591 p.
- Dynamics of Machinery, Hans Dresig, 978-3-540-89939-6, 544 p.