

 <p><b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA</b> Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales República Argentina</p>	<p>Programa de:</p> <h2 style="text-align: center;">Vibraciones Mecánicas y Dinámica de Máquinas</h2> <p>Código:</p>										
<p>Carrera: <i>Ingeniería Mecánica.</i> Escuela: <i>Ingeniería Mecánica Electricista</i> Departamento: <i>Estructuras.</i> Materia No.</p>	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td>Plan: <i>2005</i></td> <td>Puntos: <i>3</i></td> </tr> <tr> <td>Carga Horaria: <i>72</i></td> <td>Hs. Semanales: <i>4,5</i></td> </tr> <tr> <td>Semestre: <i>9º.</i></td> <td>Año: <i>5º.</i></td> </tr> <tr> <td>Carácter: <i>Obligatoria</i></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Bloque: <i>Tecnologías Aplicadas</i></td> <td></td> </tr> </table>	Plan: <i>2005</i>	Puntos: <i>3</i>	Carga Horaria: <i>72</i>	Hs. Semanales: <i>4,5</i>	Semestre: <i>9º.</i>	Año: <i>5º.</i>	Carácter: <i>Obligatoria</i>		Bloque: <i>Tecnologías Aplicadas</i>	
Plan: <i>2005</i>	Puntos: <i>3</i>										
Carga Horaria: <i>72</i>	Hs. Semanales: <i>4,5</i>										
Semestre: <i>9º.</i>	Año: <i>5º.</i>										
Carácter: <i>Obligatoria</i>											
Bloque: <i>Tecnologías Aplicadas</i>											
<p>Objetivos:</p> <p><i>Formativo en el aspecto teórico a través del análisis de las vibraciones inducidas en sistemas mecánicos y de fenómenos transitorios en conducciones de líquidos y gases.</i></p> <p><i>Formativo en el aspecto de la enseñanza de métodos y técnicas para la resolución de problemas de carácter general y específico.</i></p>											
<p>Programa Sintético:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li><i>1. Descripción de las vibraciones mecánicas</i></li> <li><i>2. Vibraciones Aleatorias</i></li> <li><i>3. Cálculo de Respuesta de Sistemas Dinámicos</i></li> <li><i>4. Vibraciones de Sistemas no Lineales</i></li> <li><i>5. Vibraciones del Continuo</i></li> <li><i>6. Dinámica de Máquinas</i></li> <li><i>7. Medición de Vibraciones, Aislamiento</i></li> <li><i>8. Aspectos Normativos</i></li> </ol>											
<p>Programa Analítico: de foja 4 a foja 5.</p>											
<p>Programa Combinado de Examen : (no corresponde)</p>											
<p>Bibliografía: de foja 7 a foja 7.</p>											
<p>Correlativas Obligatorias:      <i>Diseño y Proyectos Mecánicos I</i>   <i>Cálculo Estructural II</i></p>											
<p>Correlativas Aconsejadas:</p>											
<p>Rige: <i>2005</i></p>											
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td>Aprobado HCD, Res.:</td> <td>Modificado / Anulado / Sust. HCD Res.:</td> </tr> <tr> <td>Fecha:</td> <td>Fecha:</td> </tr> </table>		Aprobado HCD, Res.:	Modificado / Anulado / Sust. HCD Res.:	Fecha:	Fecha:						
Aprobado HCD, Res.:	Modificado / Anulado / Sust. HCD Res.:										
Fecha:	Fecha:										
<p>El Secretario Académico de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (UNC) certifica que el programa está aprobado por el (los) número(s) y fecha(s) que anteceden. Córdoba,    /    /    .</p>											
<p>Carece de validez sin la certificación de la Secretaría Académica:</p>											

## **PROGRAMA ANALÍTICO**

### **LINEAMIENTOS GENERALES**

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. Esto incluye 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 I, Cálculo Estructural II y Máquinas.

El enfoque del dictado se orienta a proveer al alumno de la capacidad de analizar, modelar y calcular sistemas mecánicos sometidos a cargas dinámicas, proveyendo 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.

### **METODOLOGIA DE ENSEÑANZA**

Durante la exposición de los temas teóricos, y para una mejor comprensión de los problemas, se realiza una constante asociación de los problemas con ejemplos concretos 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 desarrollo del cuatrimestre, 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 teóricos, sino como medio para la incorporación de conocimientos adicionales. Los trabajos prácticos se realizan en forma manual con lápiz y papel y generalmente con ayuda de programas informáticos. Se propende al uso de software de cálculo matemático y procesamiento simbólico.

En resumen, los aspectos teóricos del curso, los ejemplos y ejercicios en clase y los trabajos prácticos para resolución individual del alumno, constituyen la base de trabajo para el aprendizaje.

Más allá de los conocimientos aportados por la materia, ésta pretende en el 9º. cuatrimestre del plan de estudios afianzar en el futuro ingeniero una concepción ágil y moderna de la solución de los problemas; mediante la utilización de herramientas adecuadas al propósito, logrando celeridad y exactitud en la propuesta técnica y considerando tanto los métodos aproximados como los más exactos, pero valorando el costo y tiempo de solución. Estos aspectos son importantes en la construcción de máquinas que operan bajo cargas dinámicas elevadas y propensas a problemas de vibraciones. El objetivo es poder predecir el comportamiento dinámico de un sistema, los problemas de vibraciones y la efectividad de los dispositivos mecánicos agregados para efectuar correcciones con anterioridad a la ejecución de costosos y detalladas modelizaciones y procesos de cálculo, o con anterioridad a la ejecución de prototipos. A pesar que hoy en día existen programas de cálculo para todos los problemas, la tarea del ingeniero sigue siendo, la definición de los modelos y los parámetros para el cálculo, la determinación del rango de validez de las hipótesis utilizadas, la interpretación de los resultados y su valoración en función de los resultados a priori esperados. Es importante remarcar, que el propósito del curso no es propender siempre hacia el resultado más exacto, sino hacia una comprensión acabada de los fenómenos físicos involucrados en el sistema, la capacidad de utilizar herramientas modernas para prever la respuesta y la habilidad para tomar medidas correctivas adecuadas a cada caso. Se considera muy importante propender a un seguimiento continuo de la materia por parte del alumno, ya que los nuevos temas se van apoyando sobre los conceptos ya dictados, lo que facilita la comprensión.

Las clases impartidas son teóricas y prácticas. Las clases teóricas se desarrollan en aula, con exposición oral del docente a cargo, uso de pizarrón y en casos, uso de presentaciones con proyector.

En las clases prácticas se procede de forma similar, teniendo como objetivo la aplicación de los conocimientos teóricos en casos de interés didáctico o técnico.

Por otra parte, 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.

## EVALUACIÓN

### **Condiciones para la promoción de la materia**

- 1.- Asistencia: acreditar el 80% de la asistencia.
- 2.- Trabajos Prácticos: 80% de los prácticos entregados en tiempo y forma y aprobados.
- 3.- Todos los parciales teórico-prácticos (cantidad 2) durante el cuatrimestre: aprobados.
- 4.- Recuperatorio: en caso de inasistencia o nota menor que 4 de un parcial. La nota del recuperatorio reemplazará la nota anterior que le precede.
- 5.- Parcial -Coloquio- Integrador: aprobado. Se podrá rendir dentro del período normal de clases en la fecha fijada en el calendario, o en los dos turnos de examen correspondientes a la finalización del cuatrimestre. La condición de promoción debe lograrse dentro del cuatrimestre y sus turnos de examen correspondientes, en caso contrario el alumno pasa a la categoría de alumno regular. En el momento de rendir el alumno deberá presentar su carpeta de Trabajos Prácticos.

## **Condiciones para la regularización de la materia**

- 1.- Asistencia: acreditar el 80% de la asistencia.
- 2.- Trabajos Prácticos: acreditar el 80% de los prácticos entregados en tiempo y forma y aprobados.
- 3.- Parciales durante el cuatrimestre: un parcial aprobado.
- 4.- Recuperatorio: en caso de inasistencia o nota menor que 4 de un parcial. La nota del recuperatorio reemplazará la nota anterior que le precede.
- 5.- Para rendir la materia en condición de regular el alumno debe estar inscripto en un turno de examen, presentar su carpeta de Trabajos Prácticos completa y aprobar el examen, que incluye toda la materia y es de carácter combinado teórico-práctico.

## **CONTENIDOS TEMATICOS**

### **Unidad 1. Descripción de las Vibraciones Mecánicas**

Ondas, Vibraciones armónicas, representación real y compleja. Superposición. Fourier. Representación en el dominio de la frecuencia. Vibraciones no periódicas.

### **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.

### **Unidad 3. Vibraciones de Sistemas no Lineales**

Sistemas de un grado de libertad dinámico. Vibraciones libres en sistemas conservativos. Solución exacta y soluciones aproximadas. Linealización. Técnica de perturbación. Sistemas amortiguados. Vibraciones autoexcitadas. Vibraciones forzadas con excitación periódica, impulsiva y estocástica. Vibraciones excitadas paramétricamente.

Múltiples grados de libertad dinámicos. Vibraciones periódicas de sistemas débilmente no lineales. Linealización equivalente. Vibraciones no periódicas de sistemas débilmente no lineales. Oscilaciones forzadas. Sub- y Sobrearmónicas. Vibraciones excitadas paramétricamente.

### **Unidad 4. Vibraciones Aleatorias**

Vibraciones estocásticas. Densidad de Probabilidad. Funciones de densidad de probabilidad. Densidad espectral, procesos ergódicos. Procesos de banda estrecha y ancha. Correlación entre procesos estocásticos.

### **Unidad 5. Vibraciones de Sistemas Continuos**

Vibraciones de cuerdas, vigas de reticulado, vigas de pórtico, placas rectangulares y circulares. Ecuaciones diferenciales, condiciones de contorno y condiciones iniciales. Vibraciones libres y forzadas. Estabilidad de las vibraciones. Concepto, definición. Ecuaciones diferenciales.

## **Unidad 6. Dinámica de Máquinas**

Determinación de parámetros dinámicos; masa, rigidez, amortiguamiento. Determinación experimental. Dinámica de cuerpos rígidos, cálculo de fuerzas y momentos excitatrices. Fundaciones de máquinas. Fundaciones rígidas y elásticas, cálculo. Equilibrado. Normas.

Vibraciones torsionales. Vibraciones libres y forzadas. Excitaciones periódicas y transitorias. Vibraciones excitadas paramétricamente. Estabilidad. Absorbedores sintonizados y amortiguadores.

Vibraciones flexionales. Eje rotante simétrico con desequilibrio. Velocidades críticas. Matrices de transferencia. Modelización de rotores.

Vibraciones inducidas por flujo de fluidos. Masa agregada y acoplamiento. Offshore. Vórtices. Excitación por turbulencias.

## **Unidad 7. Mediciones de Vibraciones, Interpretación de Resultados.**

Principios de medición. Sensores, tipos y características. Cadena de medición. Determinación de propiedades dinámicas a partir de mediciones. Calibración de modelos numéricos. Sensibilidad. Modificación estructural y de parámetros. Ejemplos. Monitoreo de máquinas. Aislamiento de Vibraciones. Aisladores. Efectividad.

## **Unidad 8. Aspectos normativos**

Entes normalizadores. Normas de vibraciones para distinto tipo de máquinas. Severidad de vibración. Tipología de máquinas. Efectos de golpes y vibraciones sobre el cuerpo humano.

# **1. LISTADO DE ACTIVIDADES PRACTICAS Y/O DE LABORATORIO**

## **Actividades Prácticas**

### **1.- Resolución de Problemas referentes a:**

Modelado de Sistemas Vibratorios, obtención de ecuaciones rectoras de movimiento, solución a la respuesta y características de la respuesta libre de sistemas de 1 Grado de Libertad. Diseño de sistemas mecánicos. Estabilidad. Sistemas no lineales, Linealización. Solución y diseño de sistemas sujetos a excitaciones periódicas. Sistemas con masa rotatoria desbalanceada, sistemas con excitación de base. Transformada discreta de Fourier, Transformada Rápida. Aislamiento de vibraciones en máquinas y equipos, transmisibilidad, protección de equipos sensibles. Fundaciones elásticas. Respuesta a impulsos de distinta forma.

Sistemas de múltiples grados de libertad. Obtención de ecuaciones rectoras. Respuesta libre, forzada. Respuesta no lineal. Funciones de Transferencia. Funciones de respuesta en frecuencia. Absorbedores de vibraciones, cálculo y diseño. Aislamiento de Vibraciones, transmisibilidad de vibraciones.

Determinación de frecuencias propias y respuesta de sistemas continuos. Efecto de las condiciones de frontera. Tablas.

Respuesta de sistemas de 1 grado de libertad a excitación aleatoria estacionaria. Valor medio, correlación, densidad espectral de potencia, valor medio cuadrático. Respuesta de sistemas de múltiples grados de libertad, valor medio cuadrático.

Uso de normas, criterios prácticos de evaluación de las vibraciones.

## 2.- Actividades de Proyecto y diseño

Prácticos referidos a los temas tratados.

## 3. Actividades de Laboratorio

- 1.- Mediciones de vibraciones en distintos dispositivos mecánicos. Mediciones libres de distorsiones, frecuencia de corte, aliasing, uso de filtros.
- 2.- Interpretación de registros y resultados, también de acuerdo con normas.
- 3.- Análisis Modal, Modificación Estructural.

## 2. DISTRIBUCION DE LA CARGA HORARIA

ACTIVIDAD		HORAS
TEÓRICA		31
FORMACIÓN PRACTICA:		
	○ FORMACIÓN EXPERIMENTAL	6
	○ RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS	18
	○ ACTIVIDADES DE PROYECTO Y DISEÑO	17
	○ PPS	
	<b>TOTAL DE LA CARGA HORARIA</b>	<b>72</b>

## DEDICADAS POR EL ALUMNO FUERA DE CLASE

ACTIVIDAD		HORAS
PREPARACION TEÓRICA		45
PREPARACION PRACTICA		
	○ EXPERIMENTAL DE LABORATORIO	5
	○ EXPERIMENTAL DE CAMPO	
	○ RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS	20
	○ PROYECTO Y DISEÑO	20
	<b>TOTAL DE LA CARGA HORARIA</b>	<b>90</b>

### 3. BIBLIOGRAFIA

**Nombre, Autor, Edición, ISBN, nro. pág.**

- 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.
- Introducción al Estudio de las Vibraciones Mecánicas, Robert F. Steidel, 1981, 968-26-0244-0, 414 p.
- Analysis and Design of Dynamic Systems, Ira Cochran, 1980, 0-700-22531-5, 796 p.
- Principles and Techniques of Vibrations, Leonard Meirovitch, 1977, 0-02-380141-7, 694 p.
- Dynamics and Control, Leonard Meirovitch, 1985, 0-471-87074-9, 384 p.
- Analytical Methods in Vibrations, Leonard Meirovitch, 1967, 556 p.
- Elements of Vibration Analysis, Leonard Meirovitch, 1975, 0-07-041340-1, 482 p.
- Teoría de Vibraciones, William Thompson, 1981, 0-13-914523-0, 492 p.
- Computational Dynamics, Ahmed A. Shabana, 2001, 0-471-37144-0, 504 p.
- Vibraciones Mecánicas, William W. Seto, 1970, 200 p.
- Dinámica de Sistemas Estructurales y Mecánicos, Luis Suárez, 1990, Dto. Estructuras, U.N.C., 217 p.
- Vibraciones Aleatorias, Parte 1: Probabilidades, Variables Aleatorias, Procesos Aleatorios, Luis E. Suárez, 1990, Dpto. de Estructuras, U.N.C., 100 p.
- Vibraciones Aleatorias, Parte 2: Respuesta de sistemas discretos a excitaciones aleatorias, Luis E. Suárez, 1990, Dpto. de Estructuras, U.N.C., 70 p.
- The Fundamentals of Signal Analysis, Application Note 243, Hewlett Packard, 1994, 5952-8898E, 67 p.
- Diagnóstico de Fallas mediante el análisis de vibraciones, Bianchi, Falcinelli, 1986, 950-9088-15-3, 103 p.
- Ruidos y Vibraciones, Control y efectos, Paz, Garay, Davi, Andino, 1998, 950-9792-21-7, 512 p.
- Vibration am Arbeitsplatz, Christ, Brusl, Donati, Griffin et. al., 1989, 50 p.

- Theoretical and Experimental Modal Analysis, Maia, Silva, et. al., 1997, 0-86380-208-7, 468 p.
- Modal Testing: Theory and Practice, D. J. Ewins, 1986, 0-86380-036-X, 269 p.
- Mechanical Vibrations, J. P. den Hartog, 1984, 0-486-64785-4, 436 p.
- Maschinendynamik, H. Dresig, F. Holzweissig, 2005, 3-540-22546-3, 526 p.
- Mechanical and Structural Vibrations, Jerry H. Ginsberg, 2001, 0-471-12808-2, 692 p.
- Vibration of Structures and Machines, Giancarlo Genta, 1999, 0-387-98506-9, 591 p.
- Harris' Shock and Vibration Handbook, Harris C., Piersol A., 2002, 0-07-137081-1, 1500 p.