

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
SECRETARÍA ACADÉMICA  
DIRECCIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES**

|   |   |  |
|---|---|--|
| <b>ESCUELA: UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN INGENIERÍA Y<br/>TECNOLOGÍAS AVANZADAS<br/>CARRERA: INGENIERÍA MECATRÓNICA<br/>ESPECIALIDAD:<br/>COORDINACIÓN: ACADEMIA DE MECATRÓNICA<br/>DEPARTAMENTO:</b>   | <b>ASIGNATURA: MECATRÓNICA III (VIBRACIONES<br/>MECÁNICAS)<br/>CLAVE: IMMEC30754 SEMESTRE: SEPTIMO<br/>CREDITOS: 10 VIGENTE: AGOSTO 1999<br/>TIPO DE ASIGNATURA: TEÓRICO-PRÁCTICA<br/>MODALIDAD: ESCOLARIZADA</b> |  |
| <p><b>FUNDAMENTACIÓN DE LA ASIGNATURA</b></p> <p>La discusión de cualquier problema en la ciencia como en la ingeniería tiene dos aspectos: la parte física, con la descripción de los fundamentos en el lenguaje cotidiano y los resultados que pueden ser verificados experimentalmente; la parte matemática, que permite la descripción del fenómeno mediante los símbolos y la lógica del cálculo.</p> <p>Al estudio de las vibraciones conciernen los movimientos oscilatorios de los cuerpos y las fuerzas asociadas con los mismos, todos los cuerpos son susceptibles de oscilar, especialmente cuando hablamos de máquinas y estructuras, que son sometidas permanentemente a movimientos oscilatorios, por lo que su diseño requiere de consideraciones cada vez más sofisticada en cuanto a su comportamiento oscilatorio.</p> <p>El presente curso desarrolla en primer lugar los fundamentos del estudio de las vibraciones, analiza sistemas elementales de uno y dos grados de libertad de sistemas libres y forzados. Se incluye asimismo el modelado, amortiguamiento, resonancia, transmisión de fuerzas y análisis modal de sistemas continuos.</p> <p>Enfatizando la solución de problemas prácticos de vibraciones en diferentes campos de la ingeniería, auxiliándose para ello de instrumentación, de medición especializada y del análisis y solución mediante el empleo de computadoras y paquetes de programación especializados.</p> <p>Esta asignatura requiere como cursos antecedentes los de Física I y Dinámica, Matemáticas III (Ecuaciones Diferenciales), Matemáticas IV (Cálculo Vectorial y Variable Compleja), Matemáticas II (Álgebra Lineal) y tiene como asignaturas consecuentes a Mecatrónica VII (Elementos de Máquinas), Mecatrónica VIII (Diseño y Construcción de Dispositivos Mecatrónicos), Mecatrónica IX (Robótica II) y a Mecatrónica XI (Diseño de Sistemas Mecatrónicos).</p> <p style="text-align: center;"><b>OBJETIVO DE LA ASIGNATURA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El alumno distinguirá los fundamentos que le permitan analizar y resolver problemas complejos de vibraciones y estabilidad en maquinarias y estructuras y evaluará los alcances y limitaciones al usar los métodos de simulación computacionales asociados con el diseño y análisis dinámico de estructuras y sistemas mecánicos.</li> </ul> |   |  |
| <b>TIEMPOS TOTALES ASIGNADOS:<br/>HRS/SEMESTRE: 90 HRS/SEMANA : 6<br/>HRS/TEORÍA/SEMESTRE: 60<br/>HRS/PRÁCTICA/SEMESTRE: 30</b>   | <b>PROGRAMA ELABORADO O ACTUALIZADO POR:<br/>ACADEMIA DE MECATRÓNICA<br/>REVISADO POR: SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA<br/>APROBADO POR: C.T.C.E. / 5 DE NOVIEMBRE<br/>1998</b>  | <b>AUTORIZADO POR: LA COMISIÓN DE<br/>PLANES Y PROGRAMAS DE ESTUDIO<br/>DEL C.G.C. / 19 DE NOVIEMBRE DE 1998</b> |

No. UNIDAD: I

NOMBRE: FUNDAMENTOS DE VIBRACIONES.

## OBJETIVOS PARTICULARES DE LA UNIDAD

- El alumno evaluará la importancia de las vibraciones en el análisis y diseño de máquinas y estructuras.
- El alumno identificará y utilizará los conceptos básicos de los sistemas oscilatorios y su clasificación.

| # DE TEMA | TEMAS   | INSTRUMENTACIÓN DIDÁCTICA                               | H/T | H/P | E.C. | CLAVE      |
|-----------|---|---|-----|-----|------|------------|
| 1.1       | <b>Introducción.</b>                                  | Exposición del profesor utilizando pizarrón y acetatos. | 0.5 |     | 0.5  | 1B, 2B, 3B |
| 1.2       | <b>Importancia del estudio de las vibraciones.</b>    |   | 0.5 |     | 0.5  |            |
| 1.3       | <b>Conceptos básicos de vibraciones.</b>              | Presentación de ejemplos por parte del profesor.        | 1.5 |     | 1.5  |            |
|           | 1.3.1 Vibración.                                      |   |     |     |      |            |
|           | 1.3.2 Partes fundamentales de un sistema oscilatorio. | Ejercicios de tarea                                     |     |     |      |            |
|           | 1.3.3 Grados de libertad.                             |   |     |     |      |            |
| 1.4       | <b>Clasificación de las vibraciones.</b>              |   | 2   |     | 2    |            |
|           | 1.4.1 Vibraciones libres y forzadas.                  |   |     |     |      |            |
|           | 1.4.2 Vibraciones amortiguadas y no amortiguadas.     |   |     |     |      |            |
|           | 1.4.3 Vibraciones lineales y no lineales.             |   |     |     |      |            |
|           | 1.4.4 Vibraciones determinísticas y aleatorias.       |   |     |     |      |            |
| 1.5       | <b>Análisis de vibraciones.</b>                       |   | 2   |     | 2    |            |
|           | 1.5.1 Elementos de masa e inercia.                    |   |     |     |      |            |
|           | 1.5.2 Resortes y sus combinaciones.                   |   |     |     |      |            |
|           | 1.5.3 Elementos amortiguadores.                       |   |     |     |      |            |
| 1.6       | <b>Movimiento armónico.</b>                           |   | 0.5 |     | 0.5  |            |
|           |   | SUBTOTAL  | 6   | 0   | 6    |            |

No. UNIDAD: II

NOMBRE: VIBRACIONES LIBRES EN SISTEMAS DE UN GRADO DE LIBERTAD.

## OBJETIVOS PARTICULARES DE LA UNIDAD

- El alumno analizará el comportamiento oscilatorio de los sistemas libres de un grado de libertad.
- El alumno analizará el comportamiento oscilatorio de los sistemas forzados de un grado de libertad.

| # DE TEMA | TEMAS  | INSTRUMENTACIÓN DIDÁCTICA   | H/T | H/P | E.C. | CLAVE             |
|-----------|--|---|-----|-----|------|-------------------|
| 2.1       | <b>Vibraciones libres de un sistema no amortiguado.</b><br>2.1.1 Ecuaciones de movimiento y sus soluciones.<br>2.1.2 Condición de estabilidad.<br>2.1.3 Método de energía. | Exposición del profesor utilizando pizarrón y acetatos.<br><br>Presentación de ejemplos por parte del profesor. | 2.5 | 3   | 2.5  | 1B, 2B, 3B,<br>7C |
| 2.2       | <b>Vibraciones libres con amortiguamiento.</b><br>2.2.1 Vibraciones libres con amortiguamiento viscoso.<br>2.2.2 Vibraciones libres con amortiguamiento por fricción.      | Realización de prácticas de laboratorio.  | 2.5 | 3   | 2.5  |                   |
| 2.3       | <b>Vibraciones excitadas armónicamente.</b><br>2.3.1 Respuesta de sistemas no amortiguados.<br>2.3.2 Respuestas de sistemas amortiguados.                                  | Ejercicios de tarea e investigación bibliográfica..   | 2.5 | 4   | 2.5  |                   |
| 2.4       | <b>Vibraciones bajo diferentes condiciones de fuerza.</b><br>2.4.1 Respuesta a una fuerza periódica.<br>2.4.2 Respuesta a una fuerza no periódica.                         |   | 2.5 |     | 2.5  |                   |
| 2.5       | <b>Integral de convolución.</b><br>2.5.1 Respuesta a un impulso.<br>2.5.2 Respuesta a una excitación arbitraria.   |   | 2.5 |     | 2.5  |                   |
| 2.6       | <b>Espectro en frecuencia.</b>   |   | 1.5 |     | 1.5  |                   |
|           |  | SUBTOTAL  | 14  | 10  | 14   |                   |

No. UNIDAD: **III**NOMBRE: **SISTEMAS CON DOS Y CON VARIOS GRADOS DE LIBERTAD.****OBJETIVOS PARTICULARES DE LA UNIDAD**

- El alumno analizará el comportamiento oscilatorio de los sistemas libres y forzados con dos grados de libertad.
- El alumno analizará el comportamiento oscilatorio de los sistemas con varios grados de libertad.

| # DE TEMA | TEMAS   | INSTRUMENTACIÓN DIDÁCTICA                               | H/T       | H/P      | E.C.      | CLAVE                     |
|-----------|---|---|-----------|----------|-----------|---------------------------|
| 3.1       | <b>Vibraciones libres de dos grados de libertad.</b>                              | Exposición del profesor utilizando pizarrón y acetatos. | 1         |          | 1         | 1B, 2B, 3B,<br>5C, 6C, 7C |
| 3.1.1     | Modos normales de vibraciones.  |   |           |          |           |                           |
| 3.2       | <b>Coordenadas acopladas y coordenadas principales.</b>                           | Presentación de ejemplos por parte del profesor.        | 1         |          | 1         |                           |
| 3.3       | <b>Análisis de vibraciones forzadas.</b>  |   |           |          |           |                           |
| 3.3.1     | Vibraciones armónicamente forzadas.   |   |           |          |           |                           |
| 3.4       | <b>Autoexcitación y análisis de estabilidad.</b>                                  | Realización de prácticas de laboratorio.                | 0.5       |          | 0.5       |                           |
| 3.5       | <b>Absorción de vibraciones.</b>  |   | 0.5       | 2        | 0.5       |                           |
| 3.6       | <b>Amortiguación de vibraciones.</b>  |   | 0.5       | 2        | 0.5       |                           |
| 3.7       | <b>Sistemas de varios grados de libertad.</b>                                     | Ejercicios de tarea e investigación bibliográfica.      | 0.5       | 1        | 0.5       |                           |
| 3.8       | <b>Ecuaciones de movimiento.</b>  |   | 0.5       |          | 0.5       |                           |
| 3.9       | <b>Modelado de sistemas continuos como sistemas de varios grados de libertad.</b> |   | 0.5       | 1        | 0.5       |                           |
| 3.10      | <b>Expresiones de energía potencial y cinética en forma matricial.</b>            |   | 0.5       |          | 0.5       |                           |
| 3.11      | <b>Coordenadas generalizadas y fuerzas generalizadas.</b>                         |   | 1         |          | 1         |                           |
| 3.12      | <b>Valores característicos.</b>   |   | 2.5       |          | 2.5       |                           |
| 3.12.1    | Solución del polinomio característico.  |   |           |          |           |                           |
| 3.12.2    | Ortogonalidad de modos normales.  |   |           |          |           |                           |
| 3.12.3    | Valores característicos repetidos.  |   |           |          |           |                           |
| 3.12.4    | Aplicación de paquetes de computación.  |   |           |          |           |                           |
| 3.12.5    | Generación del polinomio característico a partir de la matriz.                    |   |           |          |           |                           |
| 3.12.6    | Raíces del polinomio de n-ésimo orden con coeficientes complejos.                 |   |           |          |           |                           |
| 3.12.7    | Análisis modal de sistemas de varios grados de libertad.                          |   |           |          |           |                           |
| 3.12.8    | Solución de ecuaciones lineales simultáneas.                                      |   |           |          |           |                           |
|           |   | <b>SUBTOTAL</b>   | <b>10</b> | <b>6</b> | <b>10</b> |                           |

No. UNIDAD: IV

NOMBRE: MEDICIÓN DE VIBRACIONES MECÁNICAS Y APLICACIONES.

## OBJETIVOS PARTICULARES DE LA UNIDAD

- El alumno analizará los sensores y transductores más empleados en la medición de las vibraciones mecánicas y los utilizará en el planteamiento de problemas.
- El alumno aplicará los métodos de análisis de señales y evaluará su importancia en el tratamiento de maquinarias y estructuras.

| # DE TEMA | TEMAS  | INSTRUMENTACIÓN DIDÁCTICA   | H/T | H/P | E.C. | CLAVE          |
|-----------|--|---|-----|-----|------|----------------|
| 4.1       | <b>Transductores.</b><br>4.1.1 De resistencia variable.<br>4.1.2 Piezoeléctricos.<br>4.1.3 Electrodinámicos<br>4.1.4 Transformador diferencial variable.               | Exposición del profesor utilizando pizarrón y acetatos.<br><br>Presentación de ejemplos por parte del profesor. | 2   |     | 2    | 1B, 2B, 3B, 6C |
| 4.2       | <b>Sensores de vibraciones.</b><br>4.2.1 Vibrómetros.<br>4.2.2 Acelerómetros.<br>4.2.3 De velocidad.<br>4.2.4 De fase.   | Realización de prácticas de laboratorio.<br><br>Ejercicios de tarea e investigación bibliográfica.              | 2   | 1   | 2    |                |
| 4.3       | <b>Excitadores de vibración.</b>   |   | 1   | 1   | 1    |                |
| 4.4       | <b>Análisis de señales.</b><br>4.4.1 Analizadores de señales.<br>4.4.2 Filtros pasa-banda.<br>4.4.3 Analizadores de banda ancha y porcentaje de banda ancha constante. |   | 2   | 2   | 2    |                |
| 4.5       | <b>Pruebas dinámicas de maquinas y estructuras.</b>  |   | 1   |     | 1    |                |
| 4.6       | <b>Análisis modal experimental.</b>  |   | 1   | 2   | 1    |                |
| 4.7       | <b>Monitoreo y diagnostico de maquinaria.</b>  |   | 1   |     | 1    |                |
|           |  | SUBTOTAL  | 10  | 6   | 10   |                |

No. UNIDAD: V

NOMBRE: MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS.

## OBJETIVOS PARTICULARES DE LA UNIDAD

- El alumno valorará la utilidad que representa el método de elementos finitos en el análisis de estructuras.

| # DE TEMA | TEMAS   | INSTRUMENTACIÓN DIDÁCTICA                               | H/T | H/P | E.C. | CLAVE             |
|-----------|---|---|-----|-----|------|-------------------|
| 5.1       | <b>Ecuaciones de movimiento de un elemento.</b>   | Exposición del profesor utilizando pizarrón y acetatos. | 1   |     | 1    | 1B, 2B, 4C,<br>7C |
| 5.2       | <b>Matriz de masa, matriz de rigidez y matriz de fuerza.</b><br>5.2.1 Barras.<br>5.2.2 Torsión.<br>5.2.3 Vigas. | Presentación de ejemplos por parte del profesor.        | 2   |     | 2    |                   |
| 5.3       | <b>Transformación de matrices de elementos y vectores.</b>  | Realización de prácticas de laboratorio.                | 1   |     | 1    |                   |
| 5.4       | <b>Ecuación de movimiento del sistema completo de elementos finitos.</b>  | Ejercicios de tarea.                                    | 2   | 2   | 2    |                   |
| 5.5       | <b>Condiciones de frontera.</b>   |   | 2   |     | 2    |                   |
|           |   | SUBTOTAL  | 8   | 2   | 8    |                   |

No. UNIDAD: VI

NOMBRE: SISTEMAS NO LINEALES Y VIBRACIONES ALEATORIAS.

## OBJETIVOS PARTICULARES DE LA UNIDAD

- El alumno analizará y resolverá expresiones que describan sistemas lineales y vibraciones aleatorias.
- El alumno utilizará el análisis de Fourier y sus aplicaciones como una herramienta para la solución de problemas con señales complejas.

| # DE TEMA | TEMAS   | INSTRUMENTACIÓN DIDÁCTICA   | H/T | H/P | E.C. | CLAVE             |
|-----------|---|---|-----|-----|------|-------------------|
| 6.1       | <b>Introducción a las vibraciones en sistemas no lineales.</b>  | Exposición del profesor utilizando pizarrón y acetatos.<br><br>Presentación de ejemplos por parte del profesor.<br><br>Realización de prácticas de laboratorio.<br><br>Ejercicios de tarea. | 1   |     | 1    | 1B, 3B, 4C,<br>6C |
| 6.1.1     | Ejemplos de problemas de vibraciones en sistemas no lineales.   |   |     |     |      |                   |
| 6.2       | <b>El plano de la fase.</b>                                     |   | 1   |     | 1    |                   |
| 6.3       | <b>Sistemas conservativos.</b>                                  |   | 1   |     | 1    |                   |
| 6.4       | <b>Estados de estabilidad y equilibrio.</b>                     |   | 1   |     | 1    |                   |
| 6.5       | <b>Métodos analíticos.</b>                                      |   | 1   |     | 1    |                   |
| 6.5.1     | De perturbación.  |   |     |     |      |                   |
| 6.5.2     | Interactivo.  |   |     |     |      |                   |
| 6.6       | <b>Métodos gráficos.</b>  |   | 1   |     | 1    |                   |
| 6.6.1     | De las isoclinas.   |   |     |     |      |                   |
| 6.6.2     | Delta.  |   |     |     |      |                   |
| 6.7       | <b>Fenómenos aleatorios.</b>                                    |   | 1   |     | 1    |                   |
| 6.8       | <b>Distribución de probabilidad.</b>                            | 1   |     | 1   |      |                   |
| 6.9       | <b>Correlación.</b>   | 1   |     | 1   |      |                   |
| 6.10      | <b>Análisis de Fourier.</b>                                     | 1   | 2   | 1   |      |                   |
| 6.11      | <b>Espectro de potencia y espectro de densidad de potencia.</b> | 1   | 2   | 1   |      |                   |
| 6.12      | <b>Función de respuesta la frecuencia.</b>                      | 1   | 2   | 1   |      |                   |
|           |   | SUBTOTAL  | 12  | 6   | 12   |                   |

| # PRAC. | NOMBRE DE LA PRÁCTICA                              | RELACIONES DE U. TEMÁTICAS | HORAS PRAC. | LUGAR DE REALIZACIÓN                 |
|---------|--|----------------------------|-------------|--------------------------------------|
| 1       | Simulación de sistemas mecánicos libres.           | II                         | 4           | LABORATORIO DE VIBRACIONES MECANICAS |
| 2       | Simulación de sistemas mecánicos amortiguados.     | II                         | 4           |                                      |
| 3       | Simulación de vibraciones excitadas armónicamente. | II                         | 2           |                                      |
| 4       | Aplicaciones de la absorción de vibraciones.       | III                        | 2           |                                      |
| 5       | Aplicaciones de la amortiguación de vibraciones.   | III                        | 2           |                                      |
| 6       | Modelado de sistemas de varios grados de libertad. | III                        | 2           |                                      |
| 7       | Medición de vibraciones I                          | IV                         | 2           |                                      |
| 8       | Análisis de señales.                               | IV                         | 2           |                                      |
| 9       | Análisis modal                                     | IV                         | 2           |                                      |
| 10      | Elementos finitos.                                 | V                          | 2           |                                      |
| 11      | Análisis de Fourier I.                             | VI                         | 2           |                                      |
| 12      | Análisis de Fourier II                             | VI                         | 2           |                                      |
| 13      | Análisis de Fourier III                            | VI                         | 2           |                                      |

| PERIODO | UNIDADES TEMÁTICAS |   | PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN  |
|---------|--------------------|---|---|
| 1°      | I, II              |   | 70% EXAMEN ESCRITO + 20% DE PRACTICAS DE LABORATORIO + 10% DE TAREAS Y PARTICIPACIONES.   |
| 2°      | III, IV            |   | 70% EXAMEN ESCRITO + 20% DE PRACTICAS DE LABORATORIO + 10% DE TAREAS Y PARTICIPACIONES.   |
| 3°      | V, VI              |   | 70% EXAMEN ESCRITO + 20% DE PRACTICAS DE LABORATORIO + 10% DE TAREAS Y PARTICIPACIONES.   |
| CLAVE   | B                  | C | BIBLIOGRAFÍA  |
| 1       | X                  |   | THOMSON, WILLIAM T., <u><i>THEORY OF VIBRATION WITH APPLICATIONS</i></u> , 4 <sup>TH</sup> EDITION, ED. PRENTICE HALL, NEW JERSEY, 1939 |
| 2       | X                  |   | INMAN, DANIEL J., <u><i>ENGINEERING VIBRATION</i></u> , 1° EDICION, ED. PRENTICE HALL, NEW JERSEY, 1996                                 |
| 3       | X                  |   | DIMAROGONAS, ANDREW D., <u><i>VIBRATION FOR ENGINEERS</i></u> , 2° EDICION. ED. PRENTICE HALL, NEW JERSEY, 1996                         |
| 4       |                    | X | GRAHAM KELLY , S., <u><i>FUNDAMENTALS OF MECHANICAL VIBRATION</i></u> , ED. MC GRAW-HILL, 1993  |
| 5       |                    | X | HUTTON, DAVID V., <u><i>APPLIED MECHANICAL VIBRATION</i></u> , 1° EDICION, ED. MC GRAW-HILL, NEW YORK, 1981                             |
| 6       |                    | X | VIERCK, ROBERT K., <u><i>VIBRATION ANALYSIS</i></u> , 2° EDITION, ED. HARPER & ROW PUBLISHERS, PHILADELPHIA, 1979                       |
| 7       |                    | X | CANNON, ROBERT H., JR., <u><i>DYNAMICS OF PHYSICAL SYSTEMS</i></u> , 1° EDICION, ED. MC. GRAW-HILL, NEW YORK, 1967                      |
|         |                    |   |   |
|         |                    |   |   |
|         |                    |   |   |

