

## 1.- DATOS DE LA ASIGNATURA

Nombre de la asignatura: **Fundamentos de Vibraciones**

Carrera: **Ingeniería Naval**

Clave de la asignatura: NVE-1021

(Créditos) SATCA<sup>1</sup>: **3-1-4**

## 2.- PRESENTACIÓN

### Caracterización de la asignatura.

Esta asignatura aporta un elemento de competencia al perfil profesional del Ingeniero Naval para adquirir las capacidades y habilidades en una competencia profesional:

- Diseñar y evaluar vehículos y artefactos marinos mediante procesos de diseño e ingeniería naval así como las normas, reglamentos y códigos correspondientes.

Este elemento de competencia se integra con otros en las unidades de competencia siguientes:

- ✓ Modelar y simular procesos y sistemas de acuerdo con los requerimientos de la arquitectura y de la ingeniería de los productos navales.

El elemento de competencia consiste en el siguiente desempeño específico:

- Analizar las vibraciones de sistemas dinámicos y continuos en base a modelación matemática.

Su importancia es relevante en el área de desempeño de ingeniería ya que es una herramienta básica para el análisis y diseño de todas las máquinas y estructuras.

La asignatura consiste en un curso de fundamentos de vibraciones de sistemas dinámicos y continuos donde el énfasis se centra en los métodos de análisis mediante modelación matemática y su solución mediante software.

Tiene como pre-requisito Ecuaciones Diferenciales, está relacionada hacia atrás con Álgebra Lineal, Computación, Dinámica, y hacia adelante con Dinámica de Vehículos Marinos y Proyecto de Diseño de Vehículos Marinos.

---

<sup>1</sup> Sistema de asignación y transferencia de créditos académicos

## **Intención didáctica.**

Se organiza el temario en cinco unidades, delimitando claramente los procedimientos de análisis de sistemas dinámicos y continuos.

La primera unidad se subdivide en cuatro subtemas. El primer subtema aborda el estudio de las vibraciones, la modelación matemática, las coordenadas generalizadas, un breve repaso de los principios de dinámica, la clasificación de la vibración, los resortes, los amortiguadores viscosos y, los cuerpos flotantes y sumergidos. El segundo subtema describe el método del diagrama de cuerpo libre, el método de sistemas equivalentes, las vibraciones libres de sistemas no amortiguados de un grado de libertad, vibraciones libres de sistemas de un grado de libertad con amortiguamiento viscoso, el amortiguamiento de Coulomb, el amortiguamiento de histéresis y, otras formas de amortiguamiento. El tercer subtema trata las ecuaciones diferenciales que rigen las vibraciones forzadas, la respuesta forzada de un sistema sin amortiguamiento debido a una sola excitación de frecuencia, la respuesta forzada de un sistema con amortiguamiento viscoso sujeto a una sola excitación armónica de frecuencia, las excitaciones de frecuencia al cuadrado, la respuesta debido a excitación armónica de soporte, los sistemas con amortiguamiento de Coulomb y de histéresis, las excitaciones de múltiple frecuencia, representación con series de Fourier de funciones periódicas, los instrumentos de medición de vibración sísmica y, la representación compleja. El cuarto subtema discute la derivación de la integral de convolución, las excitaciones cuyas formas cambian en tiempos discretos, el modo transitorio debido a una base de excitación, las soluciones con transformada de Laplace, el espectro de choque y, los métodos numéricos.

La segunda unidad se subdivide en tres subtemas. El primer subtema aborda la derivación de las ecuaciones diferenciales usando los principios básicos de dinámica, las ecuaciones de Lagrange, la formulación matricial de las ecuaciones diferenciales para sistemas lineales, los coeficientes de influencia de rigidez, los coeficientes de influencia de flexibilidad y, la modelación de masa globalizada de sistemas continuos. El segundo subtema describe la solución del modo normal, las frecuencias naturales y las formas de modo, la solución general, los casos especiales, los productos escalares de energía, las propiedades de las frecuencias naturales y las formas de modo, las formas normalizadas de modo, el cociente de Rayleigh, las coordenadas principales, la determinación de las frecuencias naturales y las formas de modo, el amortiguamiento proporcional y, el amortiguamiento general viscoso. El tercer subtema trata las excitaciones armónicas, las soluciones de transformada de Laplace, el análisis modal para sistemas sin amortiguamiento y sistemas con amortiguamiento proporcional, el análisis modal para sistemas con amortiguamiento general y, las soluciones numéricas.

La tercera unidad se subdivide en seis subtemas. El primer subtema aborda las formas en que se puede controlar la vibración y se analizan las dos clases de problemas para aislar la vibración. El segundo subtema describe la teoría general la

excitación de frecuencia al cuadrado y, las excitaciones de múltiple frecuencia y periódica general. El tercer subtema trata los aspectos prácticos en el aislamiento de la vibración. El cuarto subtema discute los pulsos de duración corta y de duración larga. El quinto subtema examina los absorbedores sin amortiguamiento, los absorbedores de vibración amortiguada y, los sistemas de múltiples grados de libertad. El sexto subtema trata el sistema auxiliar llamado amortiguador de vibración.

La cuarta unidad se subdivide en cinco subtemas. El primer subtema aborda el método general de análisis y las partes del método, la formulación del problema (parte 1), la solución de vibración libre (parte 2) y, la solución de vibración forzada (parte 3). El segundo subtema describe la aplicación del método general de análisis aplicado a las oscilaciones torsionales de un eje circular. El tercer subtema describe la aplicación del método general de análisis aplicado a vibraciones de una viga transversal. El cuarto subtema examina el método de Rayleigh-Ritz. El quinto subtema discute el método del elemento finito, el procedimiento de modos asumidos, el procedimiento general, el elemento de barra, el elemento de viga y, las matrices globales.

La quinta unidad se subdivide en seis subtemas. El primer subtema aborda el análisis de las fuentes de no linealidad. El segundo subtema describe el análisis cualitativo de sistemas no lineales. El tercer subtema trata los métodos cuantitativos de análisis. El cuarto subtema proporciona el análisis de vibraciones libres de sistemas de un grado de libertad. El quinto subtema discute el análisis de vibraciones forzadas de sistemas de un grado de libertad con no linealidades cúbicas. El sexto subtema examina el análisis de sistemas de múltiples grados de libertad para vibración libre y vibración forzada. El séptimo subtema discute los sistemas continuos.

El enfoque sugerido para la materia requiere que las actividades prácticas promuevan el desarrollo de habilidades para la experimentación, tales como: identificación, manejo y control de variables y datos relevantes; planteamiento de hipótesis; trabajo en equipo; asimismo, propicien procesos intelectuales como inducción-deducción y análisis-síntesis con la intención de generar una actividad intelectual compleja; por esta razón varias de las actividades prácticas se han descrito como actividades previas al tratamiento teórico de los temas, de manera que no sean una mera corroboración de lo visto previamente en clase, sino una oportunidad para conceptualizar a partir de lo observado. En las actividades prácticas sugeridas, es conveniente que el profesor busque sólo guiar a sus alumnos para que ellos hagan la elección de las variables a controlar y registrar. Para que aprendan a planificar, que no planifique el profesor todo por ellos, sino involucrarlos en el proceso de planeación.

La lista de actividades de aprendizaje no es exhaustiva, se sugieren sobre todo las necesarias para hacer más significativo y efectivo el aprendizaje. Algunas de las actividades sugeridas pueden hacerse como actividad extra clase y comenzar el tratamiento en clase a partir de la discusión de los resultados de las observaciones.

Se busca partir de experiencias concretas, cotidianas, para que el estudiante se acostumbre a reconocer los fenómenos físicos en su alrededor y no sólo se hable de ellos en el aula. Es importante ofrecer escenarios distintos, ya sean contruidos, artificiales, virtuales o naturales

En las actividades de aprendizaje sugeridas, generalmente se propone la formalización de los conceptos a partir de experiencias concretas; se busca que el alumno tenga el primer contacto con el concepto en forma concreta y sea a través de la observación, la reflexión y la discusión que se dé la formalización; la resolución de problemas se hará después de este proceso. Esta resolución de problemas no se especifica en la descripción de actividades, por ser más familiar en el desarrollo de cualquier curso. Pero se sugiere que se diseñen problemas con datos faltantes o sobrantes de manera que el alumno se ejercite en la identificación de datos relevantes y elaboración de supuestos.

En el transcurso de las actividades programadas es muy importante que el estudiante aprenda a valorar las actividades que lleva a cabo y entienda que está construyendo su hacer futuro y en consecuencia actúe de una manera profesional; de igual manera, aprecie la importancia del conocimiento y los hábitos de trabajo; desarrolle la precisión y la curiosidad, la puntualidad, el entusiasmo y el interés, la tenacidad, la flexibilidad y la autonomía.

Es necesario que el profesor ponga atención y cuidado en estos aspectos en el desarrollo de las actividades de aprendizaje de esta asignatura

### 3.- COMPETENCIAS A DESARROLLAR

#### **Competencias específicas:**

Analizar las vibraciones de sistemas dinámicos y continuos en base a modelación matemática.

#### **Competencias genéricas**

##### *Competencias instrumentales*

- Capacidad de análisis y síntesis
- Capacidad de organizar y planificar
- Conocimientos generales básicos
- Conocimientos básicos de la carrera
- Comunicación oral y escrita en su propia lengua
- Conocimiento de una segunda lengua
- Habilidades básicas de manejo de la computadora
- Habilidades de gestión de información (habilidad para buscar y analizar información proveniente de fuentes diversas)

- Solución de problemas
- Toma de decisiones.

*Competencias interpersonales*

- Capacidad crítica y autocrítica
- Trabajo en equipo
- Habilidades interpersonales
- Capacidad de trabajar en equipo interdisciplinario
- Capacidad de comunicarse con profesionales de otras áreas
- Apreciación de la diversidad y multiculturalidad
- Habilidad para trabajar en un ambiente laboral
- Compromiso ético

*Competencias sistémicas*

- Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica
- Habilidades de investigación
- Capacidad de aprender
- Capacidad de adaptarse a nuevas situaciones
- Capacidad de generar nuevas ideas (creatividad)
- Liderazgo
- Conocimiento de culturas y costumbres de otros países
- Habilidad para trabajar en forma autónoma
- Capacidad para diseñar y gestionar proyectos
- Iniciativa y espíritu emprendedor
- Preocupación por la calidad
- Búsqueda del logro

#### 4.- HISTORIA DEL PROGRAMA

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Observaciones (cambios y justificación)
Instituto Tecnológico de: Boca del Río y Mazatlán del 30 de noviembre del 2009 al 23 de abril del 2010	Representantes de la academia de ingeniería naval	Análisis y enriquecimiento

#### 5.- OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DEL CURSO (competencias específicas a desarrollar en el curso)

Analizar las vibraciones de sistemas dinámicos y continuos por medio de los procedimientos de vibraciones.

#### 6.- COMPETENCIAS PREVIAS

- Utilizar los principios y métodos de Ecuaciones Diferenciales para el análisis y modelación de sistemas dinámicos y continuos
- Utilizar los principios y métodos de Dinámica para el análisis de cuerpos rígidos con movimiento
- Utilizar las técnicas de Computación para el análisis de problemas de ingeniería mediante Visual Basic, Excel y MATLAB

#### 7.- TEMARIO

Unidad	Temas	Subtemas
1	Sistemas de un grado de libertad	1.1 Procedimiento de modelación 1.2 Vibración libre de sistemas de un grado de libertad 1.3 Excitación armónica de sistemas de un grado de libertad 1.4 Vibración transitoria de sistemas de un grado de libertad
2	Sistemas de varios grados de libertad	2.1 Derivación de ecuaciones diferenciales que rigen las vibraciones de sistemas de varios

3	Control de vibración	grados de libertad 2.2 Vibración libre de sistemas de varios grados de libertad 2.3 Vibración forzada de sistemas de varios grados de libertad 3.1 Teoría de aislamiento de vibración 3.2 Teoría de aislamiento de vibración para excitación armónica 3.3 Aspectos prácticos del análisis de vibración 3.4 Aislamiento de choque 3.5 Absorbedores de vibración dinámica 3.6 Amortiguadores de vibración
4	Vibraciones de sistemas continuos	4.1 Método general de análisis de vibraciones de sistemas continuos 4.2 Oscilación torsional de un eje circular 4.3 Vibración transversal de vigas 4.4 Métodos de energía 4.5 Método de elemento finito
5	Vibraciones no lineales	5.1 Fuentes de no linealidad 5.2 Análisis cualitativo de sistemas no lineales 5.3 Métodos cuantitativos de análisis 5.4 Vibración libre de sistemas de un grado de libertad 5.5 Vibración forzada de sistemas de un grado de libertad con no linealidades cúbicas 5.6 Sistemas de múltiples grados de libertad 5.7 Sistemas continuos

## 8.- SUGERENCIAS DIDÁCTICAS (desarrollo de competencias genéricas)

El profesor debe:

Ser conocedor de la disciplina que está bajo su responsabilidad, conocer su origen y desarrollo histórico para considerar este conocimiento al abordar los temas. Desarrollar la capacidad para coordinar y trabajar en equipo, orientar el trabajo del estudiante y potenciar en él la autonomía, el trabajo cooperativo, y la toma de decisiones. Mostrar flexibilidad en el seguimiento del proceso formativo y propiciar la

interacción entre los estudiantes. Tomar en cuenta el conocimiento de los estudiantes como punto de partida y como obstáculo para la construcción de nuevos conocimientos.

- Propiciar actividades de metacognición. Ante la ejecución de una actividad, señalar o identificar el tipo de proceso intelectual que se realizó: una identificación de patrones, un análisis, una síntesis, la creación de un heurístico, etc. Al principio lo hará el profesor, luego será el alumno quien lo identifique.
- Propiciar actividades de búsqueda, selección y análisis de información en distintas fuentes.
- Fomentar actividades grupales que propicien la comunicación, el intercambio argumentado de ideas, la reflexión, la integración y la colaboración de y entre los estudiantes.
- Observar y analizar fenómenos y problemáticas propias del campo ocupacional.
- Relacionar los contenidos de esta asignatura con las demás del plan de estudios a las que ésta da soporte para desarrollar una visión interdisciplinaria en el estudiante.
- Propiciar el desarrollo de capacidades intelectuales relacionadas con la lectura, la escritura y la expresión oral.
- Facilitar el contacto directo con materiales, instrumentos y software, al llevar a cabo actividades prácticas, para contribuir a la formación de las competencias para el trabajo experimental.
- Propiciar el desarrollo de actividades intelectuales de inducción-deducción y análisis-síntesis, que encaminen hacia la investigación.
- Desarrollar actividades de aprendizaje que propicien la aplicación de los conceptos, modelos y metodologías que se van aprendiendo en el desarrollo de la asignatura.
- Proponer problemas que permitan al estudiante la integración de contenidos de la asignatura y entre distintas asignaturas, para su análisis y solución.
- Relacionar los contenidos de la asignatura con el cuidado del medio ambiente.
- Cuando los temas lo requiera, utilizar medios audiovisuales para una mejor comprensión del estudiante.
- Propiciar el uso de las nuevas tecnologías en el desarrollo de la asignatura (procesador de texto, hoja de cálculo, base de datos, graficador, internet, paquetes de software, etc)

## **9.- SUGERENCIAS DE EVALUACIÓN**

La evaluación debe ser continua y formativa por lo que se debe considerar el desempeño en cada una de las actividades de aprendizaje, haciendo especial énfasis en:

- Información obtenida durante las investigaciones solicitadas plasmada en documentos escritos.
- Exámenes escritos para comprobar el manejo de aspectos teóricos y declarativos.
- Solución de casos prácticos, con participación individual o en grupo.
- Participación en proyectos y ensayos.
- Formulación de estrategias para resolver problemas.
- Exposiciones por parte del alumno.
- Prácticas de laboratorio o simulación con paquetes de software.
- Reportes escritos de las observaciones hechas durante las actividades, así como de las conclusiones obtenidas de dichas observaciones.
- Utilización de principios en la solución de problemas.
- Participación activa y crítica en clases.
- Asistencia a tutorías.
- Descripción de otras experiencias concretas que podrían realizarse adicionalmente.

## 10.- UNIDADES DE APRENDIZAJE

### Unidad 1: Sistemas de un grado de libertad.

Competencia específica a desarrollar	Actividades de Aprendizaje
Analizar sistemas de un grado de libertad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explicar el proceso de modelación matemática</li> <li>• Identificar las coordenadas generalizadas</li> <li>• Analizar los principios de la dinámica</li> <li>• Identificar la clasificación de las vibraciones</li> <li>• Analizar los resortes</li> <li>• Comprender el concepto de amortiguadores viscosos</li> <li>• Aplicar el proceso de modelación a cuerpos flotantes y sumergidos</li> <li>• Definir el concepto de vibración libre</li> </ul>

- |  |   |
|--|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"><li>• Explicar el método del diagrama de cuerpo libre</li><li>• Comprender el método de sistemas equivalentes</li><li>• Entender la vibración libre de sistemas de un grado de libertad sin amortiguamiento</li><li>• Analizar la vibración libre de sistemas de un grado de libertad con amortiguamiento viscoso</li><li>• Explicar el amortiguamiento de Coulomb y sus aplicaciones</li><li>• Definir qué es y cómo se aplica el concepto de histéresis de amortiguamiento</li><li>• Identificar otras formas de amortiguamiento</li><li>• Definir el concepto de vibración forzada</li><li>• Desarrollar análisis de ecuaciones diferenciales que rigen la vibración forzada</li><li>• Comprender la respuesta forzada de un sistema sin amortiguamiento debida a la excitación de una sola frecuencia</li><li>• Entender la respuesta forzada de un sistema amortiguado viscosamente sujeto a una excitación armónica de una sola frecuencia</li><li>• Analizar las excitaciones con frecuencias elevadas al cuadrado</li><li>• Explicar la respuesta debida a la excitación armónica de soportes</li></ul> |
|--|---|

- |  |   |
|--|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"><li>• Entender los sistemas con amortiguamiento de Coulomb</li><li>• Comprender los sistemas con amortiguamiento de histéresis</li><li>• Identificar la excitación debida a varias frecuencias y su tratamiento a través del principio de la superposición lineal</li><li>• Representar mediante series de Fourier funciones periódicas</li><li>• Conocer los instrumentos de medición de vibraciones sísmicas</li><li>• Analizar la aplicación de el álgebra de variable compleja como método alternativo a la solución de ecuaciones diferenciales que rigen la respuesta forzada de los sistemas</li><li>• Definir el concepto de vibración transitoria</li><li>• Desarrollar la derivación de la integral de convolución</li><li>• Entender las excitaciones cuyas formas cambian en tiempo discreto</li><li>• Comprender el movimiento transitorio debido a una base de excitación</li><li>• Explicar el método de la transformada de Laplace y cómo se aplica en la obtención de la respuesta de un sistema debida a cualquier excitación</li><li>• Entender el concepto de espectro de choque</li><li>• Aplicar métodos numéricos en la solución aproximada de la ecuación</li></ul> |
|--|---|

	diferencial en valores discretos de tiempo
--	--

## Unidad 2: Sistemas de varios grados de libertad.

Competencia específica a desarrollar	Actividades de Aprendizaje
<p>Analizar sistemas de varios grados de libertad</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir el concepto de sistemas de varios grados de libertad</li> <li>• Desarrollar la derivación de ecuaciones diferenciales mediante los principios básicos de la dinámica</li> <li>• Explicar cómo se aplica el método de las ecuaciones de Lagrange</li> <li>• Formular la matriz de ecuaciones diferenciales para sistemas lineales</li> <li>• Entender que los coeficientes de influencia de rigidez proporcionan un medio alternativo para la determinación de los elementos de la matriz de rigidez</li> <li>• Comprender que los coeficientes de influencia de flexibilidad son una alternativa conveniente para sistemas con muchos grados de libertad</li> <li>• Analizar la modelación de masa globalizada de sistemas continuos</li> <li>• Definir el concepto de vibración libre de sistemas de varios grados de libertad</li> <li>• Conocer la solución en modo normal y sus suposiciones</li> <li>• Analizar las frecuencias naturales y las</li> </ul>

formas de modo

- Conocer la solución general y sus aplicaciones
- Identificar los casos especiales
- Conocer los productos escalares de energía
- Identificar las propiedades de frecuencias naturales y formas de modo
- Conocer las formas de modo normalizado
- Identificar el cociente de Rayleigh
- Comprender las coordenadas principales
- Analizar la determinación de las frecuencias naturales y las formas de modo
- Conocer el concepto de amortiguamiento proporcional
- Comprender el concepto de amortiguamiento viscoso general
- Definir el concepto de vibración forzada de sistemas de varios grados de libertad
- Explicar las excitaciones armónicas
- Determinar las soluciones mediante la transformada de Laplace
- Entender el análisis modal para sistemas sin amortiguamiento y con amortiguamiento proporcional
- Entender el análisis modal para sistemas con amortiguamiento general

### Unidad 3: Control de vibración.

Competencia específica a desarrollar	Actividades de Aprendizaje
Analizar el control de la vibración	<ul style="list-style-type: none"><li>• Definir el concepto de control de vibración y cuáles son las maneras en que se puede alcanzar el control de la vibración</li><li>• Conocer la teoría de aislamiento de la vibración</li><li>• Analizar la teoría de aislamiento de la vibración para excitación armónica</li><li>• Comprender los aspectos prácticos del aislamiento de la vibración</li><li>• Analizar el aislamiento de choque</li><li>• Analizar los Absorbedores de vibración dinámica</li><li>• Conocer el concepto de amortiguador de vibración</li></ul>

### Unidad 4: Vibraciones de sistemas continuos.

Competencia específica a desarrollar	Actividades de Aprendizaje
Analizar las vibraciones de sistemas continuos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Definir el concepto de vibraciones de sistemas continuos</li><li>• Explicar el método general de análisis de vibraciones de sistemas continuos</li><li>• Analizar las oscilaciones torsionales de</li></ul>

	<p>un eje circular</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Analizar las vibraciones en vigas</li> <li>• Conocer los métodos de energía y sus aplicaciones a sistemas continuos</li> <li>• Conocer el método de elemento finito y sus aplicaciones a sistemas continuos</li> </ul>
--	--

**Unidad 5: Vibraciones no lineales.**

<b>Competencia específica a desarrollar</b>	<b>Actividades de Aprendizaje</b>
<p>Analizar las vibraciones no lineales</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir el concepto de vibraciones no lineales</li> <li>• Entender la no validez del principio de superposición en sistemas no lineales</li> <li>• Conocer las fuentes de la no linealidad</li> <li>• Comprender el análisis cualitativo de sistemas no lineales</li> <li>• Conocer los métodos cuantitativos de análisis de vibraciones no lineales</li> <li>• Analizar la vibración libre de sistemas de un grado de libertad</li> <li>• Analizar la vibración forzada de sistemas de un grado de libertad con no linealidades cúbicas</li> <li>• Identificar sistemas de varios grados de libertad</li> <li>• Conocer el procedimiento de análisis para sistemas continuos</li> </ul>

--	--

## **11.- FUENTES DE INFORMACIÓN**

### NECESARIA PARA EL ESTUDIO Y PRESENTACIÓN DE EXAMENES

1. Kelly, S. Graham, Fundamentals of Mechanical Vibrations 2 edition, Ed. Mc Graw Hill

### RECOMENDADA COMO SUPLEMENTO

1. Balachandran, Balakumar & Magrab, Edward B., Vibraciones 1 edición, Ed. TOHMSON
2. Rao, Singiresu S., Vibration of Continuous Systems, Ed. WILEY
3. De Silva, Clarence W. (Editor), Vibration and Shock Handbook, Ed. Taylor & Francis
4. Harris, Cyril M. & Piersol, Allan G. (Editors), Harris ' Shock and Vibration Handbook 5 edition, Ed. Mc Graw Hill

## **12.- PRÁCTICAS PROPUESTAS**

1. Experimentar con software para vibraciones análisis de sistemas de un grado de libertad
2. Experimentar con software para vibraciones análisis de sistemas de varios grados de libertad
3. Experimentar con software para vibraciones análisis de sistemas continuos
4. Experimentar con software para vibraciones análisis de sistemas no lineales