

SEMESTRE	CRÉDITOS	CARÁCTER	TIPO DE ENSEÑANZA	IDIOMA DE IMPARTICIÓN
2º	3,6	Optativa	Presencial	Español
MÓDULO		CALIDAD Y DAÑO		
MATERIA		Análisis modal y detección de defectos		
CENTRO RESPONSABLE DEL TÍTULO		Escuela Internacional de Posgrado		
MÁSTER EN EL QUE SE IMPARTE		Máster Universitario en Estructuras		
CENTRO EN EL QUE SE IMPARTE LA DOCENCIA		Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos (ETSICCP)		
PROFESORES⁽¹⁾				
Enrique García Macías				
DIRECCIÓN		Dpto. de Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica, ETSICCP, Universidad de Granada. Correo electrónico: enriquegm@ugr.es		
TUTORÍAS		https://directorio.ugr.es/static/PersonalUGR/*/show/71c1f539463941e7b8e0592a0c2fb1fb		
Rafael Castro Triguero				
DIRECCIÓN		Dpto. Mecánica, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Córdoba. Correo electrónico: me1catrr@uco.es		
TUTORÍAS		https://mse.ugr.es/miembros/34565/		
COMPETENCIAS GENERALES Y ESPECÍFICAS				
COMPETENCIAS BÁSICAS:				
<ul style="list-style-type: none"> • CB7 - Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio. • CB8 - Que los estudiantes sean capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las 				

¹ Consulte posible actualización en Acceso Identificado > Aplicaciones > Ordenación Docente

(∞) Esta guía docente debe ser cumplimentada siguiendo la "Normativa de Evaluación y de Calificación de los estudiantes de la Universidad de Granada" ([http://secretariageneral.ugr.es/pages/normativa/fichasugr/ncg7121/!](http://secretariageneral.ugr.es/pages/normativa/fichasugr/ncg7121/))



- responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios.
- CB9 - Que los estudiantes sepan comunicar sus conclusiones y los conocimientos y razones últimas que las sustentan a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades.
 - CB10 - Que los estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

COMPETENCIAS GENERALES

- CG1 - Comprender la naturaleza probabilista tanto de cargas como resistencia estructural y de la influencia de esta realidad en el diseño estructural.
- CG2 - Manejar herramientas avanzadas para el análisis computacional, incluyendo técnicas de optimización de ayuda al diseño.
- CG4 - Realizar estudios dinámicos experimentales de las estructuras e interacción entre la existencia de daño y su respuesta.
- CG5 - Aplicar métodos avanzados para el análisis y diseño de estructuras metálicas y de hormigón armado.
- CB6 - Poseer y comprender conocimientos que aporten una base u oportunidad de ser originales en el desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación.

COMPETENCIAS ESPECÍFICAS

- CE3 - Conocer y emplear técnicas y algoritmos para la optimización de problemas complejos.
- CE7 - Conocer los fundamentos de la dinámica estructural y emplear técnicas de análisis para sistemas simples y complejos ante diferentes tipos de carga.
- CE9 - Conocer y emplear las técnicas de caracterización y evaluación de las fuentes de excitación dinámica sobre estructuras.
- CE11 - Aplicar los modelos de daño y evaluar la influencia de dicho daño en la respuesta Estructural.
- CE12 - Conocer y emplear técnicas de identificación de parámetros y daño estructural.
- CE18 - Conocer y ser capaz de seleccionar técnicas de laboratorio para medidas experimentales en estructuras.

OBJETIVOS O RESULTADOS DE APRENDIZAJE (SEGÚN LA MEMORIA DE VERIFICACIÓN DEL TÍTULO)

El alumno sabrá/comprenderá:

- Análisis modal teórico y experimental.
- Análisis en frecuencia de señales vibratorias.
- Métodos de ajuste de parámetros.
- Validación de los modelos.
- Uso de los parámetros modales.
- Instrumentación y montajes para el análisis modal.
- Aspectos prácticos del análisis modal experimental.
- Diferencias entre análisis modal experimental (AME) y operacional (OMA).
- Identificación de sistemas estructurales mediante OMA.
- Actualización de modelos basados en Elementos Finitos.
- Detección de daño estructural basado en OMA.

El alumno será capaz de:

- Realizar un análisis modal experimental de una estructura simple.



- Aplicar el análisis modal operacional a un sistema simple.

BREVE DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS (SEGÚN LA MEMORIA DE VERIFICACIÓN DEL TÍTULO)

1. Análisis modal.
 1. Análisis modal teórico y experimental.
 2. Análisis en frecuencia de señales vibratorias.
 3. Métodos de ajuste de parámetros.
 4. Validación de los modelos.
 5. Uso de los parámetros modales.
 6. Instrumentación y montajes para el análisis modal.
 7. Aspectos prácticos del análisis modal experimental.
 8. Práctica de análisis modal experimental de una estructura simple
2. Análisis modal operacional (OMA)
 1. Diferencias entre análisis modal experimental y operacional.
 2. Identificación de sistemas estructurales mediante OMA.
 3. Actualización de modelos basados en Elementos Finitos.
 4. Detección de daño estructural basado en OMA.
 5. Ejemplo de aplicación práctica de análisis modal operacional.

TEMARIO DETALLADO DE LA ASIGNATURA

TEMARIO TEÓRICO:

- Tema 1. Introducción: Análisis modal dentro del marco del mantenimiento de la salud estructural.
- Tema 2. Fuentes de deterioro, patologías estructurales, y tecnologías de monitorización.
- Tema 3. Análisis modal experimental y operacional.
- Tema 4. Procesamiento de señales.
- Tema 5. Identificación del daño estructural.
- Tema 7. Aspectos prácticos del análisis modal operacional.

TEMARIO PRÁCTICO:

Seminarios/Talleres

- Taller 1: Procesamiento de señales e identificación dinámica.
- Taller 2: Detección de daño basado en OMA continuo.

PRÁCTICAS DE LABORATORIO:

Práctica 1. Test de vibración ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA FUNDAMENTAL:

- Farrar, Charles R., & Keith Worden. *Structural health monitoring: a machine learning perspective*. John Wiley & Sons, 2012.
- Woodson, R. D. (2009). *Concrete structures: protection, repair and rehabilitation*. Butterworth-Heinemann.
- Ewins, D. J., *Modal Testing: Theory, Practice and Application* (2ª Ed.), Research Studies Press, 2000.
- Brincker, R., & Ventura, C. (2015). *Introduction to operational modal analysis*. John Wiley & Sons.
- Wenzel, H., *Health Monitoring of Bridges*, 2009, Wiley.
- Peeters, B., *System Identification and Damage Detection in Civil Engineering*, PhD thesis, Department of



Civil Engineering, K.U. Leuven, Belgium, December 2000.

- Wang, M. L., Lynch, J. P., & Sohn, H. (Eds.). (2014). *Sensor technologies for civil infrastructures, volume 2: Applications in Structural Health Monitoring*. Elsevier.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA:

- Chen, Hua-Peng. *Structural health monitoring of large civil engineering structures*. John Wiley & Sons, 2018.
- Magalhães, Filipe, & Alvaro Cunha. *Explaining operational modal analysis with data from an arch bridge*. *Mechanical Systems and Signal Processing* 25.5 (2011): 1431-1450.
- Van Overschee, Peter, & B. L. De Moor. *Subspace identification for linear systems: Theory–Implementation–Applications*. Springer Science & Business Media, 2012.
- Rainieri, Carlo, & Giovanni Fabbrocino. *Operational modal analysis of civil engineering structures*. Springer, New York 142 (2014): 143.
- Doebling, S. W., Farrar, C. R., Prime, M. B., & Shevitz, D. W. (1996). *Damage identification and health monitoring of structural and mechanical systems from changes in their vibration characteristics: a literature review* (No. LA-13070-MS). Los Alamos National Lab., NM (United States).
- Ubertini, F., Gentile, C., & Materazzi, A. L. (2013). *Automated modal identification in operational conditions and its application to bridges*. *Engineering Structures*, 46, 264-278.

ENLACES RECOMENDADOS (OPCIONAL)

METODOLOGÍA DOCENTE

- MD1: **Clases teóricas:** En ellas se exponen los contenidos teóricos de la asignatura ordenados sistemáticamente. Se recomienda al alumno tomar sus propios apuntes, las anotaciones que crea oportunas (aclaraciones, ejemplos, puntualizaciones, etc.) que unidos a los apuntes y material académico facilitados por los profesores completarán el material docente.
- MD2: **Clases prácticas:** se realizarán dos talleres de prácticas informáticas donde se aplicarán los conceptos adquiridos en el desarrollo de las clases teóricas. Asimismo, se realizará un ensayo de vibración ambiental en el aula donde los alumnos se familiarizarán con el equipamiento, software, y equipos auxiliares empleados en la monitorización dinámica de estructuras.
- MD3: **Trabajos tutorizados.** Los estudiantes realizarán un trabajo individual durante el desarrollo del curso donde se pondrán en práctica los conceptos teóricos/prácticos adquiridos en la asignatura. Los trabajos serán tutorizados de manera continua por los profesores.
- MD4: **Tutorías.**
- MD5: **Trabajo autónomo del estudiante:** Es el estudio por parte del alumno de los contenidos de los diferentes temas explicados en las clases teóricas y en las clases prácticas.
- MD6: **Evaluación.**

EVALUACIÓN (INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN, CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y PORCENTAJE SOBRE LA CALIFICACIÓN FINAL, ETC.)

CONVOCATORIA ORDINARIA

El artículo 17 de la Normativa de Evaluación y Calificación de los Estudiantes de la Universidad de Granada establece que la convocatoria ordinaria estará basada preferentemente en la evaluación continua del estudiante, excepto para quienes se les haya reconocido el derecho a la evaluación única final.

Se efectuará por tanto una evaluación continua a través de la realización de un trabajo individual. Dicho trabajo deberá incluir cuatro bloques diferenciados:

- Descripción y análisis de los resultados obtenidos en el primer taller práctico.



- Descripción y análisis de los resultados obtenidos en el segundo taller práctico.
- Descripción y análisis de los resultados obtenidos en la práctica de laboratorio.
- Análisis crítico de una publicación científica actual en el ámbito de la aplicación de técnicas de análisis modal para la detección de daño en estructuras.

Al final del curso los alumnos deberán presentar su trabajo a los profesores y al resto de compañeros en un tiempo limitado, seguido de una breve ronda de preguntas.

La evaluación del curso se efectuará de la siguiente forma:

SE1: Asistencia y participación en clase.

- Descripción: Durante las clases se harán preguntas a los alumnos para comprobar el seguimiento de la materia y el estudio previo de los contenidos explicados en clases anteriores. Asimismo, se propondrán ejercicios relacionados con los contenidos teórico-prácticos explicados durante las clases.
- Criterios de evaluación: se preguntará en forma aleatoria durante las clases o se evaluarán los ejercicios propuestos entregados. Asimismo, se evaluará el desarrollo continuado de los trabajos individuales durante la tutorización de estos.
- Porcentaje sobre la calificación final: **10%**.

SE2: Memoria justificativa del trabajo desarrollado.

- Descripción: Documento en formato digital que los estudiantes deberán enviar por correo electrónico a los profesores de la asignatura. La memoria deberá incluir los cuatro bloques indicados arriba.
- Criterios de evaluación: Se valorará la claridad y calidad del documento, así como la capacidad crítica de los alumnos para analizar y valorar los resultados obtenidos. Asimismo, atendiendo a las competencias básicas, generales, y específicas indicadas al comienzo de esta guía, se evaluará la madurez y capacidad crítica del alumno para el análisis de un artículo científico reciente, destacando limitaciones, deficiencias o mejoras que pudiera detectar.
- Porcentaje sobre la calificación final: **40%**.

SE3: Presentación y defensa del trabajo desarrollado.

- Descripción: Presentación de los trabajos desarrollados con el apoyo de diapositivas, seguido de una breve ronda de preguntas por parte de los profesores y compañeros.
- Criterios de evaluación: Se valorará la calidad de la presentación y diapositivas empleadas, capacidad de síntesis, y dominio de la materia.
- Porcentaje sobre la calificación final: **50%**.

CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA

El artículo 19 de la Normativa de Evaluación y Calificación de los Estudiantes de la Universidad de Granada establece que los estudiantes que no hayan superado la asignatura en la convocatoria ordinaria dispondrán de una convocatoria extraordinaria. A ella podrán concurrir todos los estudiantes, con independencia de haber seguido o no un proceso de evaluación continua. Dicha convocatoria extraordinaria consistirá en un examen teórico/práctico consistente en preguntas de respuesta múltiple y de desarrollo breve. La nota obtenida en dicho examen supondrá el **100%** de la calificación final en convocatoria extraordinaria, desestimándose las tareas que el alumno hubiera podido desempeñar en los ítems de evaluación continua SE1, SE2, y SE3 descritos anteriormente.

DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS QUE FORMARÁN PARTE DE LA EVALUACIÓN ÚNICA FINAL ESTABLECIDA EN LA NORMATIVA DE EVALUACIÓN Y DE CALIFICACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA UNIVERSIDAD DE GRANADA

El artículo 8 de la Normativa de Evaluación y Calificación de los Estudiantes de la Universidad de Granada establece que podrán acogerse a la evaluación única final, el estudiante que no pueda cumplir con el método de evaluación continua por causas justificadas. Para acogerse a la evaluación única final, el estudiante, en las dos primeras semanas de impartición de la asignatura o en las dos semanas siguientes a su matriculación si ésta se ha producido con posterioridad al inicio de las clases o por causa sobrevenidas. Lo solicitará, a través del procedimiento electrónico, a la Coordinación del Máster, quien dará traslado al profesorado correspondiente, alegando y acreditando las razones que le asisten para no poder seguir el



sistema de evaluación continua.

La evaluación en tal caso consistirá en un examen teórico/práctico consistente en preguntas de respuesta múltiple y de desarrollo breve. La nota obtenida en dicho examen supone el **100%** de la calificación final.

ESCENARIO A (ENSEÑANZA-APRENDIZAJE PRESENCIAL Y NO PRESENCIAL)

ATENCIÓN TUTORIAL	
HORARIO (Según lo establecido en el POD)	HERRAMIENTAS PARA LA ATENCIÓN TUTORIAL (Indicar medios telemáticos para la atención tutorial)
<ul style="list-style-type: none">• NO PROCEDE	<ul style="list-style-type: none">• NO PROCEDE
MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DOCENTE	
Se seguirá la metodología docente indicada más arriba. Si la situación sanitaria lo requiriera, de acuerdo con el Plan de Contingencia del Centro, se adoptarán medidas parciales de adaptación y virtualización siguiendo las pautas que se establecen más abajo para el Escenario B, y se comunicarán al Centro y el estudiantado por el procedimiento establecido.	
MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA EVALUACIÓN (Instrumentos, criterios y porcentajes sobre la calificación final)	
Convocatoria Ordinaria	
Se seguirá el procedimiento de evaluación ordinaria indicado más arriba. Si la situación sanitaria lo requiriera, de acuerdo con el Plan de Contingencia del Centro, se adoptarán medidas parciales de adaptación y virtualización siguiendo las pautas que se establecen más abajo para el Escenario B, y se comunicarán al Centro y el estudiantado por el procedimiento establecido.	
Convocatoria Extraordinaria	
Se seguirá el procedimiento de evaluación extraordinaria indicado más arriba. Si la situación sanitaria lo requiriera, de acuerdo con el Plan de Contingencia del Centro, se adoptarán medidas parciales de adaptación y virtualización siguiendo las pautas que se establecen más abajo para el Escenario B, y se comunicarán al Centro y el estudiantado por el procedimiento establecido.	
Evaluación Única Final	
Se seguirá el procedimiento de evaluación única final indicado más arriba. Si la situación sanitaria lo requiriera, de acuerdo con el Plan de Contingencia del Centro, se adoptarán medidas parciales de adaptación y virtualización siguiendo las pautas que se establecen más abajo para el Escenario B, y se comunicarán al Centro y el estudiantado por el procedimiento establecido.	

ESCENARIO B (SUSPENSIÓN DE LA ACTIVIDAD PRESENCIAL)

ATENCIÓN TUTORIAL	
HORARIO (Según lo establecido en el POD)	HERRAMIENTAS PARA LA ATENCIÓN TUTORIAL (Indicar medios telemáticos para la atención tutorial)



Se ajustará al horario establecido y previa cita con los profesores.	Mediante videoconferencia con MEET u otro entorno proporcionado por la UGR, que se publicará en PRADO.
MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DOCENTE	
<p>La docencia será síncrona y/o asíncrona online utilizando la plataforma señalada en la asignatura en PRADO, en el horario establecido, con videoconferencias y/o vídeos explicativos, así como con material subido a PRADO para el alumno.</p> <p>Los talleres y el ensayo de laboratorio se realizarán de manera virtual a través de Google MEET o similar. Las sesiones serán grabadas y puestas a disposición a través de PRADO para aquellos alumnos que no puedan asistir de manera síncrona a las mismas.</p>	
MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA EVALUACIÓN (Instrumentos, criterios y porcentajes sobre la calificación final)	
Convocatoria Ordinaria	
<p>Los criterios y porcentajes de evaluación se mantienen como en la evaluación presencial que ha sido detallada al comienzo de esta guía. Las medidas necesarias que se tomarán para su adaptación a la total no presencialidad son las siguientes:</p> <p>La presentación y defensa de los trabajos individualizados se realizará en un aula virtual de Google MEET o similar. Al igual que en la modalidad presencial, los alumnos contarán con un tiempo limitado para presentar sus trabajos a los profesores y al resto de compañeros. A continuación, los alumnos deberán responder a cuestiones planteadas por los profesores o compañeros durante una breve ronda de preguntas.</p> <p>La evaluación en este escenario se efectuará de la siguiente forma:</p> <p>SE1: Asistencia y participación en clase.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Descripción: Durante las clases no presenciales seguidas por videoconferencia, se harán preguntas a los alumnos para comprobar el seguimiento de la materia, la asistencia durante toda la duración de la clase, y el estudio previo de los contenidos explicados en clases anteriores. Asimismo, se propondrán ejercicios y cuestionarios en PRADO relacionados con los contenidos teórico-prácticos explicados durante las clases. - Criterios de evaluación: se preguntará en forma aleatoria durante las clases o se evaluarán los ejercicios propuestos entregados. Asimismo, se evaluará el desarrollo continuado de los trabajos individuales durante la tutorización de estos. - Porcentaje sobre la calificación final: 20%. <p>SE2: Memoria justificativa del trabajo desarrollado.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Descripción: Idéntica a la modalidad de docencia presencial. - Criterios de evaluación: Idénticos a los de la modalidad de docencia presencial. - Porcentaje sobre la calificación final: 40%. <p>SE3: Presentación y defensa del trabajo desarrollado.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Descripción: Idéntica a la modalidad de docencia presencial. - Criterios de evaluación: Idénticos a los de la modalidad de docencia presencial. - Porcentaje sobre la calificación final: 40%. 	
Convocatoria Extraordinaria	
Se seguirá el mismo procedimiento de evaluación empleado en el caso de evaluación única final indicado abajo. Se recuerda que en convocatoria extraordinaria no se tendrán en cuenta las tareas que el alumno hubiera podido desempeñar en los ítems de evaluación continua SE1, SE2, y SE3 descritos anteriormente.	



Evaluación Única Final

La evaluación para la modalidad de evaluación única final, al igual que en el escenario de docencia presencial, consistirá en un examen teórico/práctico consistente en preguntas de respuesta múltiple y de desarrollo breve. La nota obtenida en dicho examen supone el **100%** de la calificación final. En esta modalidad, el examen tendrá lugar en un aula virtual (a través de videoconferencia Google MEET u otro entorno proporcionado por la UGR). El alumno deberá estar conectado durante toda la duración del examen con los micrófonos, altavoces y cámaras activos, siguiendo las indicaciones de los profesores en todo momento. Antes de finalizar el tiempo disponible, el alumno tomará fotografías de su examen y lo enviará a los profesores a través de PRADO y correo electrónico.

