20-21

MÁSTER UNIVERSITARIO EN
INGENIERÍA INDUSTRIAL

GUÍA DE ESTUDIO PÚBLICA



CONTROL DINÁMICO DE ESTRUCTURAS

CÓDIGO 28806521

UNED

20-21

CONTROL DINÁMICO DE ESTRUCTURAS

CÓDIGO 28806521

ÍNDICE

PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN

REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR ESTA ASIGNATURA

EQUIPO DOCENTE

HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE

COMPETENCIAS QUE ADQUIERE EL ESTUDIANTE

RESULTADOS DE APRENDIZAJE

CONTENIDOS

METODOLOGÍA

SISTEMA DE EVALUACIÓN

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA

Nombre de la asignatura	CONTROL DINÁMICO DE ESTRUCTURAS
Código	28806521
Curso académico	2020/2021
Título en que se imparte	MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
Tipo	CONTENIDOS
Nº ETCS	5
Horas	125.0
Periodo	SEMESTRE 1
Idiomas en que se imparte	CASTELLANO

PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN

Como es bien sabido, en el diseño convencional de estructuras, éstas se comprueban bajo condiciones de seguridad y de servicio. Lo habitual ha sido dimensionar la estructura en condiciones de seguridad, comprobando el cumplimiento de los requisitos sobre la resistencia de sus elementos, para posteriormente obtener su rigidez y de esta forma poder abordar la verificación de las condiciones de servicio. Pero desde hace tiempo, en muchos casos suele ocurrir que estas últimas condiciones de servicio son las que determinan finalmente el diseño. Las razones para ello son múltiples y entre ellas se pueden citar, en el ámbito de la edificación y obra civil, las exigencias iniciales del diseño de las propias estructuras que son cada día más altas y diáfanas, con mayores vanos, como por ejemplo en el caso de los puentes, y que las convierten en estructuras cada vez más flexibles. Además han surgido nuevos tipos de construcciones en la industria en general, con exigencias de ligereza, como puede ser el caso de determinadas estructuras aeronáuticas o aeroespaciales, en cuyo diseño priman las condiciones sobre los desplazamientos.

También ha sido determinante para el cálculo de todas estas estructuras el extraordinario avance que se ha producido en el campo de la ciencia de los materiales, consiguiéndose mejorar significativamente la resistencia de los materiales tradicionales o introduciendo nuevos materiales más resistentes, pero que en general, no han mejorado en la misma proporción su rigidez, lo que ha conducido a que se pongan de manifiesto problemas para satisfacer los requerimientos (normativos o específicos) sobre los desplazamientos.

Por otra parte, muchas estructuras por si mismas o por exigencias del tipo de carga aplicada, deben observarse como sistemas dinámicos. Uno de los casos más importantes es el de las estructuras sometidas a cargas sísmicas ya que es enorme el número de muertes producidas por los terremotos, siendo además cierto el riesgo sísmico en España a pesar de no encontrarse en una de las zonas más extremas. En el diseño de estructuras sometidas a esfuerzos símicos, hay dos claras tendencias que priman la rigidización y la flexibilización de las mismas, aunque siempre resulta clave la disipación de energía, por lo que es importante para el proyectista, además de tener conocimientos de cálculo dinámico, el conocimiento de los diferentes mecanismos de absorción o disipación de energía.

Por lo dicho anteriormente, el diseño estructural basado en los desplazamientos es una alternativa y en esta asignatura se realiza un tratamiento sistemático de los conceptos básicos y procedimientos de cálculo para el control del movimiento estructural. Se abordan temas como la distribución óptima de rigidez para limitar a determinados valores los desplazamientos o aceleraciones, el papel del amortiguamiento en el control del movimiento,

el neutralizador de masa sincronizada, aislamiento de la base y, tras introducir los conceptos básicos sobre la representación en el espacio de estado, se realiza una introducción al control activo de sistemas lineales con realimentación.
El campo del control de estructuras ha crecido considerablemente en las últimas décadas, con la idea básica de mirar las estructuras como sistemas dinámicos cuyo estado se puede monitorizar de forma que en tiempo real se pueda reaccionar frente a las cargas exteriores. Para ello ha sido preciso un enorme esfuerzo investigador de carácter multidisciplinar con contribuciones de científicos e ingenieros de áreas diversas como materiales, mecánica estructural, matemáticas, automática, informática y otras, que se pone de manifiesto en una extensa bibliografía sobre el tema además de numerosas realizaciones prácticas en edificación y obra civil (TMD's en rascacielos y puentes, aisladores en edificios singulares, maquinaria y viaductos, incorporación de amortiguadores, etc), en el desarrollo de la robótica flexible o en elementos desarrollados para la realización de viajes espaciales entre otras.
La necesidad y el interés por el diseño de estructuras sometidas a excitaciones dinámicas entre los miembros de la comunidad de ingenieros estructuralistas ha sido enorme, lo que justifica la inclusión de esta materia en el currículum del Máster y el punto de vista con el que se plantea el tema. En esta asignatura se aborda el control desde el punto de vista de la ingeniería civil y de edificación, sesgo que explica el espacio dedicado al Control Pasivo pero que no impide que el tratamiento de los conceptos básicos tenga un carácter totalmente general y pueda ser aplicado directamente en otras muchas ramas de la ingeniería.

REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR ESTA ASIGNATURA

Para afrontar el estudio de la asignatura es necesario partir de unos conocimientos adquiridos con anterioridad en otras disciplinas y que se concretan en diferentes asignaturas de Física, Mecánica del sólido, Matemáticas, Elasticidad y Resistencia de Materiales, fundamentalmente Análisis de Estructuras incluyendo su Cálculo Dinámico, materias que es imprescindible haber cursado para iniciar el estudio de la asignatura.

EQUIPO DOCENTE

Nombre y Apellidos	JUAN J. BENITO MUÑOZ (Coordinador de asignatura)
Correo Electrónico	jbenito@ind.uned.es
Teléfono	91398-6457
Facultad	ESCUELA TÉCN.SUP INGENIEROS INDUSTRIALES
Departamento	INGENIERÍA DE CONSTRUCCIÓN Y FABRICACIÓN

Nombre y Apellidos	EDUARDO SALETE CASINO
Correo Electrónico	esalete@ind.uned.es
Teléfono	91398-9474
Facultad	ESCUELA TÉCN.SUP INGENIEROS INDUSTRIALES
Departamento	INGENIERÍA DE CONSTRUCCIÓN Y FABRICACIÓN

HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE

Horario de atención al estudiante:
Lunes de 16:30h a 20:30h. Juan del Rosal,14, 28040, Madrid, Despacho 4 (Edificio de CC de la Educación).
Tels.: 91 398 6457
Email: jbenito@ind.uned.es
Aula virtual.

COMPETENCIAS QUE ADQUIERE EL ESTUDIANTE

Competencias Básicas:
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
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 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 - Iniciativa y motivación
CG2 - Planificación y organización
CG3 - Manejo adecuado del tiempo
CG4 - Análisis y síntesis
CG5 - Aplicación de los conocimientos a la práctica
CG6 - Resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos
CG7 - Pensamiento creativo
CG8 - Razonamiento crítico
CG9 - Toma de decisiones
CG10 - Seguimiento, monitorización y evaluación del trabajo propio o de otros
CG11 - Aplicación de medidas de mejora
CG12 - Innovación
CG13 - Comunicación y expresión escrita
CG14 - Comunicación y expresión oral
CG15 - Comunicación y expresión en otras lenguas
CG16 - Comunicación y expresión matemática, científica y tecnológica

CG17 - Competencia en el uso de las TIC
CG18 - Competencia en la búsqueda de la información relevante
CG19 - Competencia en la gestión y organización de la información
CG20 - Competencia en la recolección de datos, el manejo de bases de datos y su presentación
CG21 - Habilidad para coordinarse con el trabajo de otros
CG22 - Habilidad para negociar de forma eficaz
CG23 - Habilidad para la mediación y resolución de conflictos
CG24 - Habilidad para coordinar grupos de trabajo
CG25 - Liderazgo
CG26 - Conocimiento y práctica de las reglas del trabajo académico
CG27 - Compromiso ético y ética profesional
CG28 - Conocimiento, respeto y fomento de los valores fundamentales de las sociedades democráticas
CG29 - Tener conocimientos adecuados de los aspectos científicos y tecnológicos de: métodos matemáticos, analíticos y numéricos en la ingeniería, ingeniería eléctrica, ingeniería energética, ingeniería química, ingeniería mecánica, mecánica de medios continuos, mecánica de fluidos, electrónica industrial, automática, fabricación, materiales, métodos cuantitativos de gestión, informática industrial, urbanismo, infraestructuras, etc.
CG33 - Realizar la planificación estratégica y aplicarla a sistemas tanto constructivos como de producción, de calidad y de gestión medioambiental.
CG36 - Conocimiento, comprensión y capacidad para aplicar la legislación necesaria en el ejercicio de la profesión de Ingeniero Industrial.

Competencias Específicas:
CE7 - Capacidad para diseñar sistemas electrónicos y de instrumentación industrial.
CE16 - Capacidad para la gestión de la Investigación, Desarrollo e Innovación tecnológica.
CE17 - Capacidad para el diseño, construcción y explotación de plantas industriales.
CE19 - Conocimientos y capacidades para el cálculo y diseño de estructuras.
CE23 - Conocimientos y capacidades para realizar certificaciones, auditorías, verificaciones, ensayos e informes.

RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Como destrezas y competencias que se van a adquirir, se pueden indicar el conocimiento de las posibilidades de aislamiento y control de estructuras, así como de las técnicas para la realización de los mismos y de los métodos de cálculo de estructuras instrumentadas.
La utilidad de los conocimientos adquiridos va sin duda a ser creciente en el ámbito de la ingeniería sísmica y no solo en España, donde se va asumiendo la existencia real de riesgo sísmico, sino por el hecho de haberse globalizado la actividad ingenieril. Pero además la tendencia de los diseños actuales, hace deban considerarse los efectos dinámicos de acciones como por ejemplo el viento en muchas estructuras (edificios altos, fachadas, etc).

También las competencias adquiridas serán de aplicación en otras áreas diferentes de las indicadas como por ejemplo, en problemas de transmisión de ruido y vibraciones a causa de líneas de transporte o en máquinas dentro de instalaciones industriales, pero fundamentalmente serán de gran utilidad debido a las crecientes exigencias de calidad en las prestaciones de las estructuras en general.

CONTENIDOS

CONTROL DINÁMICO DE ESTRUCTURAS

1. Control Pasivo.

1.1 Distribución óptima de rigidez.

1.1.1 Introducción

1.1.2 Distribución de rigidez para una viga en voladizo. Caso sin amortiguamiento.

1.1.3 Distribución de rigidez para una viga en voladizo con masas concentradas.

1.1.4 Calibración de la rigidez.

1.2 Distribución óptima de amortiguamiento.

1.2.1 Introducción.

1.2.2 Tipos de amortiguamiento.

1.2.3 Amortiguamiento viscoelástico.

1.2.4 Amortiguamiento equivalente.

1.2.5 Parámetros de amortiguamiento: viga de cortante discreta.

1.2.6 Parámetros de amortiguamiento: viga con parámetros distribuidos.

1.2.7 Distribución de amortiguamiento en sistemas con n grados de libertad.

1.3 Neutralizador de masa sincronizada (Tuned Mass Damper (TMD)).

1.3.1 Introducción.

1.3.2 Tipos de TMD’s.

1.3.3 TMD para sistemas con un grado de libertad (Sistemas SDOF).

1.3.4 TMD para sistemas con n grados de libertad.

1.4 Sistemas de aislamiento de la base.

1.4.1 Introducción.

1.4.2 Aislamiento para sistemas SDOF.

1.4.3 Viga de cortante. Distribución óptima de rigidez.

1.4.4 Viga en voladizo (parámetros distribuidos).

1.4.5 Requerimientos para los sistemas de aislamiento.

2. Control Activo.

2.1 Introducción. Conceptos básicos.

2.1.1 Revisión de conocimientos previos. Tipos de espacio.

2.1.2 Conceptos básicos de Control Activo. Análisis de sistemas lineales.
2.1.3 Respuesta en el dominio de la frecuencia. Función de transferencia.
2.1.4 Ecuación de estado. Puntos de equilibrio. Linelización en torno al equilibrio.
2.1.5 Estabilidad en los puntos de equilibrio.
2.1.6 Solución de la ecuación de estado linealizada. Matriz de transición.
2.1.7 Condición de controlabilidad.
2.1.8 Controlabilidad a la salida.
2.1.9 Observabilidad. Ecuaciones de salida.
2.1.10 Control cuasiestático de sistemas con n grados de libertad.
2.2 Control activo de sistemas lineales con realimentación.
2.2.1 Introducción.
2.2.2 Control óptimo. Planteamiento general.
2.2.3 Control óptimo en estructuras con comportamiento lineal sin cargas exteriores.
2.2.3.1 En tiempo continuo.
2.2.3.2 En tiempo discreto.
2.2.3.3 Solución de la ecuación de Riccati.
2.2.4 Control óptimo de estructuras con comportamiento lineal con cargas exteriores. Caso de terremotos.

Orientaciones para el estudio de los contenidos

Capítulo 1.1

En el primer capítulo, se da el primer paso del control pasivo de estructuras al establecerse la distribución de rigidez que produce sobre una estructura un perfil de desplazamiento preestablecido. En el caso estático no se trata mas que de resolver de forma inversa las ecuaciones de equilibrio, es decir, fijado el desplazamiento se obtiene la rigidez. En el caso dinámico, que es el que nos ocupa, la idea es seleccionar la rigidez de manera que se cumpla una determinada condición de desplazamiento sobre una forma modal, generalmente la fundamental. El razonamiento se completa mediante la hipótesis de que el amortiguamiento minimizará la contribución de los modos más altos.

Al comienzo del capítulo se establecen las ecuaciones que modelan estructuras de edificación como voladizos con parámetros distribuidos o modelos de masas concentradas, estableciéndose la distribución de rigidez para el caso de cargas dinámicas. El proceso de calibración de la frecuencia del modo seleccionado, como se ha dicho anteriormente, la frecuencia fundamental en general, se estudia para el caso de excitación periódica y sísmica. Por último, se muestra un esquema iterativo que contempla el caso en que no se pueda ignorar la contribución de los modos altos.

Capítulo 1.2

El amortiguamiento, que se aborda en el segundo capítulo, es el proceso por el que los sistemas físicos disipan o absorben energía. El amortiguamiento pues, reduce la respuesta del sistema y de ahí la importancia de su estudio.

En este segundo capítulo, se revisan los mecanismos de disipación y absorción, con referencia a los diversos aparatos que lo producen, y se introduce el concepto de amortiguamiento viscoso equivalente, que permite manejar los diferentes tipos de amortiguamiento mediante una formulación cómoda. Se estudia el caso de sistemas con un grado de libertad (sistemas SDOF) sometidos a excitación sísmica, que permite dar paso al análisis de la influencia de la distribución de amortiguamiento viscoso sobre los perfiles de deformación de sistemas de varios grados de libertad. Inicialmente se toma una distribución proporcional a la distribución de rigidez estudiada en el capítulo anterior, que se modifica para permitir amortiguamiento no proporcional.

Capítulo 1.3

Un neutralizador o amortiguador de masa sincronizada (Tuned Mass Damping (TMD)), es un aparato compuesto por una masa, un resorte y un amortiguador (un sistema SDOF), que se instala en de una estructura con objeto de reducir su respuesta dinámica. La frecuencia de este elemento se sincroniza con una frecuencia de la estructura en la que se ha instalado, de forma que cuando se excita dicha frecuencia, el TMD entra en resonancia fuera de fase con el movimiento de la estructura. La energía se disipa por las fuerzas de inercia que el TMD introduce en la estructura.

En este capítulo, se estudia con detalle el caso en el que un TMD se aplica sobre un sistema SDOF sometido a fuerzas y un movimiento del suelo armónicos. El estudio se extrapola para el caso de sistemas con varios grados de libertad en los que el TMD se utiliza para amortiguar uno de sus modos, analizándose cual debe ser la localización óptima del TMD en el caso de estructuras de edificación.

Capítulo 1.4

Se aísla un objeto cuando se consigue que su interacción con los objetos vecinos sea pequeña. Esto implica introducir una interfase entre dichos objetos que minimice dicha interacción. En los equipos mecánicos la utilización de sistemas de aislamiento tiene una larga trayectoria (aislamiento de maquinaria que produce vibraciones, de una estructura en relación con sus soportes en movimiento, etc), que es mucho más corta y menos amplia en el caso de estructuras civiles (por ejemplo, puentes o edificios sometidos a movimientos del suelo), pero cuyo estudio resulta de enorme interés.

¿¿¿¿¿¿En el capítulo cuarto se realiza un estudio de los parámetros clave para el aislamiento de la base y el análisis de algunos aspectos prácticos sobre el aislamiento de la base en el caso de excitación sísmica. También se desarrolla la formulación correspondiente a la obtención de la distribución de rigidez, estudiada en el primer capítulo, al incluir el aislamiento de la base en modelos de edificios como voladizos con parámetros distribuidos o

de masas concentradas, realizándose la calibración para el caso de excitación sísmica.

Capítulo 2.1

Para comenzar la segunda parte de la asignatura, se revisan conceptos básicos de mecánica analítica, definiéndose el espacio de estado en cuyos términos se expresará la formulación en Control Activo. Revisadas las ecuaciones fundamentales que gobiernan el problema, se realiza una descripción de los diferentes sistemas de control, se explica el concepto de estabilidad y los métodos para su análisis, así como los conceptos de controlabilidad y observabilidad, de gran interés en control activo.

En el punto dedicado al Control cuasiestático de sistemas con n grados de libertad, se aborda el planteamiento más sencillo posible del Control Activo, buscándose con ello que la presentación de la metodología sea lo más clara posible. También su estudio resulta muy interesante para afianzar conceptos muy importantes presentados en el capítulo anterior, como son el de controlabilidad u observabilidad, entre otros, al ser contemplados desde una aplicación sencilla.

Capítulo 2.2

El capítulo se dedica al estudio de los sistemas lineales estacionarios con realimentación lineal negativa y se inicia con formulación del problema para el caso sencillo de sistemas SDOF.

Las necesarias acciones de control, como son la adquisición de datos por los sensores, la aplicación del algoritmo de control, la transmisión de la señal de control al actuador y su puesta en marcha, producen un retraso que afecta a la sincronización y puede causar problemas de inestabilidad. Se trata de una cuestión sin duda de interés de la que se estudia su efecto y se realiza un análisis de estabilidad.

Hasta ahora se ha considerado que el estado y la fuerza de control son funciones continuas en el tiempo, lo que ha permitido expresar la solución analítica en términos de una integral de convolución. Si los parámetros del sistema o la realimentación dependen del tiempo, no se puede establecer esta solución analítica y es necesario aproximar la solución utilizando algún procedimiento numérico, como diferencias finitas, que trabajará con los valores de los parámetros y variables en determinados instantes. La idea es subdividir el tiempo en intervalos obteniendo el estado, las fuerzas de realimentación, etc, al final de cada uno de ellos partiendo de los valores al inicio del mismo y suponiendo una variación determinada (que puede ser que permanece constante) para los diferentes parámetros del sistema y de la fuerza de control. Formulado el problema, se analiza la estabilidad, mostrándose un procedimiento para establecer un paso de tiempo límite.

A continuación se analiza como seleccionar la magnitud de los parámetros de realimentación, para lo que se sigue una estrategia similar a la ya introducida previamente para el caso cuasiestático. La clave es la formulación de una medida de rendimiento que proporcione una base para compararlas diferentes posibilidades de selección de los

parámetros de realimentación y poder alcanzar una solución óptima.

El control dinámico trata de controlar la respuesta del sistema en un periodo de tiempo determinado, es decir, partiendo de un estado inicial x(0), el objetivo es que la diferencia entre la respuesta en un instante de tiempo t, x(t), tras aplicar la fuerza de control F(t), y la respuesta deseada x*(t) sea mínima. Para ello, se define una norma denominada índice de rendimiento o función de coste, que no es más que la integral de los errores (diferencia entre el valor real y el deseado) cuadráticos en los que se han introducido funciones de ponderación para el desplazamiento, qd, la velocidad, qv, y la fuerza, r, es decir que incluye de forma ponderada los términos relativos a la respuesta y a las fuerzas de control. La realimentación óptima corresponderá a un valor que haga estacionaria la norma anteriormente definida, lo que conduce a una ecuación de Riccati, que una vez resuelta permite obtener los parámetros de realimentación. Se estudia pues el regulador cuadrático lineal (LQR) para intervalos u horizontes finito e infinito tanto en tiempo continuo como en tiempo discreto, obteniéndose las correspondientes ecuaciones de Riccati. También se estudia el caso de control óptimo de una estructura sometida a un terremoto.

Lo anterior se estudia para los casos continuo y discreto en el tiempo. La generalización al caso de sistemas con n grados de libertad, se puede realizar utilizando las matrices correspondientes a la representación en el espacio de estado, obteniéndose las propiedades modales del sistema que se usan para para obtener las ecuaciones que gobiernan el problema en términos de coordenadas modales. Esta generalización, no obstante queda fuera del alcance del curso, pudiéndose seguir en la referencia Connor a partir del punto 8.5, donde además se realiza una breve discusión sobre tópicos avanzados de control invariante en el tiempo.

Además del material correspondiente a los comentarios anteriores y que constituye el contenido fundamental de la asignatura, se puede encontrar también en el Aula Virtual material complementario:

1.- Sistemas de masas concentradas
- El problema de autovalores.
- Solución del problema de autovalores.
- Análisis modal para la respuesta de sistemas de bucle abierto.

2.- Control de estructuras de masas concentradas I. Control Clásico.
- Sistemas de control.
- Estabilidad del sistema.
- Gráficos de respuesta en frecuencia.
- Diagramas de Bode.
- Márgenes de ganancia y de fase. Estabilidad relativa.
- Respuesta en frecuencia de bucle cerrado. Gráficos (Charts) de Nichols.

- Sensibilidad de los sistemas de control ante variaciones de los parámetros.
- Compensadores.
- Solución de las ecuaciones de estado mediante la Transformada de Laplace.

3.- Control de estructuras de masas concentradas II. Dominio del tiempo.

- Sistemas de control con realimentación.
- Métodos para obtener las ganancias de control.
  - Métodos de distribución de polos.
  - Control óptimo.
- Control usando observadores.
- Observadores óptimos. Filtro de Kalman-Bucy.
- Control por realimentación directa desde la salida.
- Control modal.

METODOLOGÍA

La metodología a seguir se basa en el trabajo desarrollado por el alumno, no sólo con el aprendizaje de la parte teórica de cada capítulo, sino con la puesta en práctica de dicho conocimiento resolviendo los problemas y ejercicios asociados.
Es por ello que deberá llevarse en paralelo el avance en el aprendizaje de los contenidos teóricos y su puesta en práctica, mediante la resolución de ejercicios diseñados a tal efecto.
Una vez estudiado cada tema, se deben realizar los ejemplos resueltos incluidos en los apuntes de la asignatura. Por otra parte, es obligatorio realizar las Pruebas de Evaluación a Distancia propuestas que se entregarán en las fechas señaladas, así como presentar un Trabajo que versará sobre alguno de los temas estudiados.

SISTEMA DE EVALUACIÓN

TIPO DE PRUEBA PRESENCIAL

Tipo de examen	Examen de desarrollo
Preguntas desarrollo	
Duración del examen	120 (minutos)
Material permitido en el examen	

Durante la realización de estas pruebas no se podrán utilizar ningún tipo de material escrito (libros, apuntes, etc), sino únicamente material de dibujo y calculadora de cualquier tipo.

Criterios de evaluación

Las pruebas presenciales consistirán en preguntas y/o problemas cortos, con espacio tasado para la respuesta.
Cualquier cuestión específica sobre la valoración de los ejercicios de las Pruebas Personales, se hará constar en el enunciado de las mismas.

% del examen sobre la nota final	50
Nota del examen para aprobar sin PEC	
Nota máxima que aporta el examen a la calificación final sin PEC	
Nota mínima en el examen para sumar la PEC	3
Comentarios y observaciones	

CARACTERÍSTICAS DE LA PRUEBA PRESENCIAL Y/O LOS TRABAJOS

Requiere Presencialidad	Si

Descripción

Las pruebas presenciales consistirán en preguntas y/o problemas cortos, con espacio tasado para la respuesta.

Criterios de evaluación	
Ponderación de la prueba presencial y/o los trabajos en la nota final	
Fecha aproximada de entrega	
Comentarios y observaciones	

PRUEBAS DE EVALUACIÓN CONTINUA (PEC)

¿Hay PEC?	Si,PEC no presencial

Descripción

Estas pruebas **son obligatorias**, estarán formadas por problemas y cualquier recomendación adicional será enviada junto con ellas. La fecha de entrega será en torno a la novena semana tal como se indica en el cuadro cronograma y cada curso se concretará en el Aula Virtual, que es donde deberán ser entregadas.

Criterios de evaluación	
Ponderación de la PEC en la nota final	
Fecha aproximada de entrega	
Comentarios y observaciones	

OTRAS ACTIVIDADES EVALUABLES

¿Hay otra/s actividad/es evaluable/s?	Si,no presencial

Descripción

Será **obligatoria** la presentación de un trabajo que desarrollará algún tema del contenido de la asignatura. Cada estudiante podrá elegir entre los que se propongan en el Aula Virtual. La entrega se realizará a través del Aula Virtual y mediante envío postal (excepcionalmente y con autorización previa, podrá evitarse este envío).

Criterios de evaluación	
Ponderación en la nota final	
Fecha aproximada de entrega	
Comentarios y observaciones	

¿CÓMO SE OBTIENE LA NOTA FINAL?

La evaluación se llevará a cabo a partir de:
Pruebas de Evaluación a distancia (PED's)
Trabajo de la asignatura.
Pruebas Presenciales (PP's).
Para aprobar la asignatura no se deberá tener una calificación inferior a tres (sobre diez) en ninguna de ellas y la ponderación será del 25% para cada una de las dos primeras y 50% para la PP.

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

Apuntes realizados por el equipo docente y basados fundamentalmente en:

•Connor J. J., Introduction to Structural Motion Control, MIT-Prentice Hall series on civil, environmental, and systems engineering, 2003
•Meirovitch L., Dynamics and Control of Structures, John Wiley &Sons, 1990.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

•*Advances in Structural Control,* Edited by Rodellar, Barbat A.H., Casciati F., CIMNE, 1999.
•Clough R. W., Penzien J., *Dynamics of Structures,* McGraw-Hill,1975
•Jara M., Casas J.R., *Control de vibraciones en puentes. Un estado del arte y de la práctica,* Monografía CIMNE IS-48, 2002.
•Montans F, Muñoz I., *A.1 FEM THEORY APPLIED TO STRUCTURE DYNAMIC ANALYSIS,* EDITORIAL Fundación Universidad-Empresa, 2012.
•Newland D. E., *Vibraciones aleatorias y análisis espectral,* AC-Longman Group Limited, 1983
•Nigam N.C., *Introduction to Random Vibrations,* MIT Press Cambridge, 1983.
•Pedregal P. *Introduction to Optimization,* Springer-Verlag, 2004
•Puente E.A., *Regulación automática,* Sección Publicaciones ETSII UPM, 1997.
•Sebastian Sanz J., Tesis doctoral: *Análisis del estado límite de servicio y control de vibraciones en pasarelas peatonales,* ETSII de Valladolid, 2014

Nota. Esta bibliografía debe entenderse como de consulta y únicamente en algún caso como alternativa. El alumno deberá ponerse en contacto con el equipo docente de la asignatura antes de su utilización.

RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA

Como complemento al apoyo, se dispone de una plataforma virtual en la que se publicará documentación complementaria de apoyo como la siguiente:

•Problemas resueltos.

•Pruebas de evaluación a distancia.

•Novedades en bibliografía complementaria.

IGUALDAD DE GÉNERO

En coherencia con el valor asumido de la igualdad de género, todas las denominaciones que en esta Guía hacen referencia a órganos de gobierno unipersonales, de representación, o miembros de la comunidad universitaria y se efectúan en género masculino, cuando no se hayan sustituido por términos genéricos, se entenderán hechas indistintamente en género femenino o masculino, según el sexo del titular que los desempeñe.