

Asignatura: **CÁLCULO ESTRUCTURAL 3**

Código: 10-09315

RTF

7

Semestre: Noveno

Carga Horaria

72

Bloque: Tecnologías Aplicadas

Horas de Práctica

15

Departamento: Estructuras

Correlativas:

- Cálculo Estructural 2

Contenido Sintético:

- Cargas: diagramas V-N.
- Soluciones constructivas.
- Estructuras tolerantes al daño.
- Análisis de tensiones en estructuras semimonocasco.
- Análisis estructural con herramientas computacionales.
- Problemas de aeroelasticidad.
- Mecánica de los materiales compuestos.
- Diseño utilizando materiales compuestos.

Competencias Genéricas:

- **CG1:** Competencia para identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.
- **CG4:** Competencia para utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de aplicación en ingeniería.
- **CG7:** Competencia para comunicarse con efectividad.

Aprobado por HCD: 918-HCD-2023

RES: Fecha: 8/11/2023

Competencias Específicas:

- **CE1B:** Competencia para calcular, diseñar, proyectar y construir estructuras y componentes estructurales alas, fuselajes, costillas, cuadernas, largueros, tanque, estructuras auxiliares, plataformas para la operación excepto sus fundaciones, de aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.
- **CE1E:** Competencia para calcular, diseñar, proyectar y construir plantas de propulsoras principales y auxiliares motores alternativos, a reacción, cohetes, compresores, cámaras de combustión, turbinas, hélices de aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.
- **CE1F:** Competencia para calcular y diseñar los diferentes sistemas mecánicos y elementos de máquinas aplicados a las aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.
- **CE1G:** Competencia para diseñar y proyectar la realización del sistema de navegación, guiado y control de aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.
- **CE1I:** Competencia para diseñar, proyectar y ensayar los principales parámetros pertinentes a laboratorios de ensayos y calibraciones de equipos de aplicados a las aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.
- **CE2A:** Competencia para proyectar, dirigir y controlar la construcción, operación y mantenimiento de aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.
- **CE3A:** Competencia para certificar el funcionamiento, condición de uso o estado y aptitud para el vuelo de aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.
- **CE4A:** Competencia para proyectar y dirigir lo referido a la higiene y seguridad en el campo aeroespacial.

Presentación

Cálculo Estructural III es una actividad curricular que pertenece al último año (noveno semestre) de la carrera de Ingeniería Aeronáutica. Esta asignatura completa el desarrollo de las teorías fundamentales relativas a la dinámica estructural, la mecánica de materiales y el análisis estructural. Además, se proporcionan los conceptos y conocimientos necesarios que para que el estudiante pueda: 1) conectar conceptualmente los requerimientos de operación de una aeronave con los esfuerzos actuantes sobre su estructura; 2) plantear y resolver problemas caracterizados por una fuerte acción recíproca entre las propiedades másicas, las fuerzas elásticas y las cargas aerodinámicas no estacionarias originadas por la interacción entre el flujo de aire y la deformación de la estructura expuesta a una corriente de aire; 3) abordar los problemas de estabilidad del equilibrio en estructuras semimonocasco construidas con los elementos de muy pequeño espesor; 4) formular, reconocer metodologías de resolución e implementar técnicas numéricas para calcular y diseñar estructuras aeronáuticas y/o mecánicas construidas con materiales compuestos; 5) plantear y resolver problemas de análisis estructural desde la perspectiva del diseño de estructuras aeronáuticas.

La asignatura está dividida en cuatro bloques fundamentales:

- El primer bloque, titulado Aspectos Generales del Diseño Aeronáutico, presenta los fundamentos básicos del diseño de estructuras aeronáuticas. Se revisan algunos conceptos del análisis estructural ya adquiridos, haciendo especial énfasis en cómo éstos se aplican de manera efectiva en el diseño de estructuras aeronáuticas. Adicionalmente, se proporcionan criterios generales sobre el uso de técnicas numéricas y herramientas de simulación computacional en el ámbito del diseño estructural aeronáutico.
- El segundo bloque, titulado Aeroelasticidad, está orientado a cubrir los fundamentos teóricos asociados a los principales fenómenos aeroelásticos estáticos y dinámicos. Se hace especial énfasis en el estudio de las inestabilidades de origen aeroelástico y su influencia en el diseño de estructuras aeronáuticas.
- El tercer bloque, titulado Análisis de Estructuras en Diseño Aeronáutico, tiene por objetivo presentar métodos de diseño y análisis de estructuras semimonocasco. Se discuten los materiales metálicos típicamente usados en estructuras aeronáuticas, su selección, y su comportamiento. Se presentan las metodologías de diseño clásicas de estructuras de pared delgada y se emplean, también, métodos computacionales basados en elementos finitos para analizar con mayor eficiencia estos tipos de estructuras.
- El cuarto bloque, titulado Cálculo de Laminados, está orientado a cubrir los fundamentos teóricos asociados con el cálculo de estructuras construidas con materiales compuestos; en particular, laminados y vigas de sección transversal laminada. Se hace especial énfasis en la descripción de láminas anisótropas,

ortótropas y transversalmente isotrópicas. Además, se introducen los criterios de fallas utilizados generalmente en el contexto de materiales compuestos para el cálculo de la resistencia de diferentes estructuras laminadas.

Mediante el cursado de la asignatura el alumno adquiere las competencias necesarias para calcular y diseñar estructuras y componentes estructurales, alas, fuselajes, costillas, cuadernas, largueros, tanque, estructuras auxiliares, plataformas para la operación excepto sus fundaciones, de aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo, los diferentes sistemas mecánicos y elementos de máquinas aplicados a las aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.

Contenidos

Bloque 1: ASPECTOS GENERALES DEL DISEÑO AERONÁUTICO

1. **Sistemas de Referencia.** Sistemas coordenados. Rotaciones. Transformaciones de Orientación.
2. **Maniobras.** Maniobras simétricas. Maniobras asimétricas. Rolado. Guiñada.
3. **Diagrama V-n.** Factor de carga. Carga límite. Carga última. Construcción. Efecto de ráfagas. Regulaciones.
4. **Cargas sobre las alas.** Cargas en maniobras simétricas y asimétricas. Ráfagas.
5. **Cargas sobre el fuselaje.** Condiciones de carga en vuelo. Cargas sobre componentes. Empenajes. Superficies de Control. Hipersustentadores.
6. **Aviones Flexibles.** Introducción. Modelo de vigas. Modos y frecuencias. Cargas críticas. Equilibrio en la posición deformada.
7. **Fatiga.** Distribución estadística de la vida en fatiga. Distribución estadística de tensión y límite de fatiga. Dispersión. Aplicación de la dispersión.
8. **Mecánica de Fracturas.** Análisis tensional. Factores de intensificación. Plastificación localizada. La integral "J".

Bloque 2: AEROELASTICIDAD

1. **Vibraciones Torsionales y Axiales de Barras Uniformes.** Ecuaciones de movimiento. Fuerzas generalizadas. Condiciones de borde. Cálculo de modos y frecuencias de vibrar. Propiedades de los modos de vibrar.
2. **Vibraciones Flexionales de Vigas (Euler-Bernoulli) Uniformes.** Ecuaciones de movimiento. Fuerzas generalizadas. Condiciones de borde. Cálculo de modos y frecuencias de vibrar. Propiedades de los modos de vibrar.
3. **Técnicas Aproximadas de Solución.** El método de Ritz. Funciones admisibles. Energía cinética. Energía potencial elástica. Trabajo Virtual de las cargas no-conservativas. Matrices de rigidez y de masa. Ecuaciones de movimiento.
4. **Aeroelasticidad Estática y Dinámica.** Divergencia. Inversión de Alerones. Flutter. Definiciones conceptuales.
5. **Divergencia e Inversión de Alerones.** Modelos Aeroelásticos para Túneles de Viento: montado en la pared del túnel de viento "wall-mounted model", montado en voladizo "sting-mounted model", y montado sobre resortes

“strut-supported model”. Ecuación(es) de equilibrio. Velocidad y presión dinámica de divergencia. Sustentación aeroelástica. Redistribución de sustentación. Cálculo “práctico” de la velocidad de divergencia.

6. **Eficiencia e Inversión de Alerones.** Modelo aeroelástico montado en la pared del túnel de viento. Ecuación de equilibrio. Presión dinámica de inversión de alerones. Eficiencia de los alerones.

Flutter. Análisis aeroelástico de la sección típica. Flutter de un grado de libertad. Flutter de dos grados de libertad. Soluciones ingenieriles de Flutter: el método k y el método $p-k$.

Bloque 3: ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS EN DISEÑO AERONÁUTICO

1. **Comportamiento de los materiales aeronáuticos.** Curvas σ vs ϵ . Idealización de las curvas tensión-deformación. Método de Ramberg y Osgood.
2. **Problemas de pandeo en alas y fuselajes.** Pandeo en columnas cortas. Módulo Reducido. Ecuaciones empíricas para columnas cortas.
3. **Análisis de pandeo en el recubrimiento.** Pandeo de placas. Pandeo bajo cargas combinadas y curvas de interacción. Pandeo inelástico de placas.
4. **Pandeo local en refuerzos estructurales.** Tensión de Crippling. Método de la sección compuesta. Métodos de Needham y Gerard. Aplicación de la parábola de Jhonson.
5. **Comportamiento del conjunto refuerzo-recubrimiento en compresión.** Carga última en un panel. Pandeo de paneles con refuerzos. Crippling en paneles. Resistencia de paneles.
6. **Análisis de vigas de pared delgada.** Flexión, corte y torsión en vigas de pared delgada. Viga de pared delgada con múltiples refuerzos. Efecto del ahusamiento en vigas de pared delgada con refuerzos.
7. **Análisis de tensiones en alas y fuselajes.** Estudio de una viga cajón con múltiples refuerzos. Análisis de alas y fuselajes empleando flujo de corte (Met. Shanley). Efecto Shear-Lag en alas y fuselajes.
8. **Introducción al método de los elementos finitos para cálculo de estructuras.** Barra sometida a fuerzas axiales. Barra de sección constante: discretización en un elemento. Formulación matricial de las ecuaciones del elemento.

Bloque 4: CÁLCULO DE LAMINADOS

1. **Generalidades sobre materiales compuestos.** Introducción. Clasificación y características de los materiales compuestos. Propiedades mecánicas de los materiales compuestos. Terminología básica para compuestos de fibras. Ventajas y desventajas de los materiales compuestos.
2. **Comportamiento macromecánico de una lámina.** Introducción al álgebra tensorial. Relaciones tensión-deformación para materiales anisótropos. Constantes de ingeniería para materiales ortótropos. Restricciones sobre las constantes elásticas. Tensión plana en materiales ortótropos. Tensión plana en una lámina con orientación arbitraria. Resistencia de una lámina ortótropa. Criterios de falla para láminas ortótropas.
3. **Comportamiento micromecánico de una lámina.** Generalidades sobre

micromecánica. Cálculo de rigidez por resistencia de materiales. Cálculo de rigidez por teoría de elasticidad. Formulas prácticas para calcular rigidices. Cálculo de resistencia por resistencia de materiales.

4. **Comportamiento de un laminado.** Teórica clásica de laminados. Rigidez en casos especiales de laminados. Comparación de rigidices teóricas y experimentales. Efectos térmicos en los laminados. Resistencia de los laminados.
5. **Teoría de vigas laminadas.** Introducción. descripción de la sección. Rigidices de los segmentos. Propiedades de la sección. Campo de deformación. Deformaciones y esfuerzos en los segmentos. Calculo de resistencia de vigas laminadas.

Metodología de enseñanza

Se imparten dos clases semanales de carácter teórico-prácticas de 2,25 horas de duración (1,5 módulos de 1,5hs) cada una, las que se llevan a cabo en aula y están orientadas a desarrollar en los alumnos la capacidad de diseñar y analizar estructuras aeronáuticas. Las exposiciones teóricas son dialogadas, con exposición oral del docente a cargo, uso de pizarrón y de presentaciones con proyector, y con participación de los alumnos, fomentando en todo momento el razonamiento crítico.

Durante estas clases se desarrollan los conceptos fundamentales de la asignatura, las ecuaciones de gobierno, y los métodos de resolución de las mismas; se hace especial hincapié en la discusión de las hipótesis introducidas y en la interpretación de los resultados.

Para una mejor comprensión de los temas abordados, se realiza una constante asociación con ejemplos concretos, poniendo especial atención en la correspondencia entre el modelo de cálculo y el sistema real, para evaluar sus diferencias.

El presente curso no requiere de trabajos de campo, gabinete o laboratorio, visitas o viajes de estudio.

Evaluación

La evaluación del estudiante se realiza a través de las calificaciones de dos exámenes parciales, doce trabajos prácticos no presenciales, y de cuatro proyectos cortos integradores.

La evaluación del cumplimiento de los indicadores de desempeño, y consecuentemente de las competencias, se realiza con rúbrica.

- Dos exámenes parciales de evaluación combinada integrando conceptos teórico-prácticos. Los dos exámenes parciales incluyen: preguntas cortas, elección entre alternativas múltiples, desarrollos matemáticos y resolución de problemas. Cada examen parcial de la asignatura se dividirá en dos partes iguales. El primer examen parcial es administrado a mitad del semestre e incluye temas del Módulo 1 y del Módulo 2. El segundo examen parcial es

administrado durante la última semana de clases del semestre e incluye, solamente, temas del Módulo 3 y del Módulo 4.

- Cuatro proyectos cortos integradores de cada uno de los cuatro módulos que componen la asignatura, informe técnico y posterior defensa de acuerdo con pautas pre establecidas (actividad p/rúbrica).
- Informes de resolución de trabajos prácticos durante el cursado (actividad p/rúbrica).

Condiciones de aprobación

Requisitos para la Promoción

- 1) Asistencia: acreditar el 80% de la asistencia.
- 2) Trabajos Prácticos: acreditar el 80% de los prácticos entregados en tiempo y forma.
- 3) Dos exámenes parciales aprobados. Los exámenes parciales se califican en una escala de 1 a 10 puntos. La aprobación exige un mínimo del 60% del contenido del parcial.
- 4) Cuatro proyectos cortos integradores aprobados.

Requisitos para la Regularidad

- 1) Asistencia: acreditar el 80% de la asistencia.
- 2) Trabajos Prácticos: acreditar el 80% de los prácticos entregados en tiempo y forma.
- 3) Un examen parcial aprobado. Los exámenes parciales se califican en una escala de 1 a 10 puntos. La aprobación exige un mínimo del 60% del contenido del parcial.

La regularidad tiene la vigencia que establece la FCEFyN.

Criterios de evaluación

- Calidad de la formulación de la producción.
- Escritura académica-profesional, Claridad conceptual.
- Puntualidad.
- Vinculación teórico-práctica.

Calificación

La calificación se obtiene a través del siguiente polinomio:

$$\text{Calificación} = 0,5 \times P1 + 0,3 \times P2 + 0,2 \times P3$$

donde:

P1: es el promedio de las calificaciones de los parciales teórico-prácticos.

P2: es el promedio de la calificación de las actividades prácticas.

P3: es la valoración numérica obtenida de la rúbrica.

Actividades prácticas y de laboratorio

Se propone la ejecución, por parte del alumno, de trabajos prácticos en forma continua durante el desarrollo del cuatrimestre que se refieren a ejercicios/problemas prácticos con asociación real a temas de la ingeniería aeronáutica, de alguna manera simplificados o aislados del sistema real complejo, con el fin de posibilitar su interpretación y mejorar la didáctica. Se asignan 12 trabajos prácticos para ser resueltos individualmente de forma no presencial. Éstos están organizados en cuatro conjuntos titulados: a) Aspectos Generales del Diseño Aeronáutico; b) Aeroelasticidad; c) Análisis de Estructuras Aeronáuticas y Métodos Numéricos para Cálculo Estructural; y d) Cálculo de Laminados. Cada uno de estos conjuntos puede considerarse como autocontenido y están compuestos por: ejercicios/problemas, proyectos cortos integradores, y/o informes.

Los trabajos prácticos se consideran no sólo fundamentales para la comprensión del problema y el afianzamiento de los conocimientos teóricos, sino como medio para la incorporación de conocimientos adicionales y para que el estudiante adquiera destreza en el manejo de las herramientas necesarias para la resolución de problemas y llegue a ser un aprendiz autónomo, competente y crítico en su lugar de trabajo. Los trabajos prácticos son realizados directamente en medios digitales (o bien escritos con lápiz y papel y escaneados) y con ayuda de programas informáticos. Se propende al uso de software de cálculo numérico y de matemática simbólica.

Algunas de estas actividades implican la confección de programas de computadoras. Durante el dictado de la materia se proporcionan códigos de computadora a los estudiantes como modelos para la implementación de métodos numéricos en el análisis estructural.

Los códigos están confeccionados en lenguaje Matlab y abarcan los siguientes temas: *i)* integración de ecuaciones de movimiento en el dominio del tiempo; *ii)* solución de sistemas de ecuaciones algebraicas; *iii)* descripción de distribuciones estadísticas.

Asimismo, se utiliza el software Ansys Mechanical para el desarrollo de un proyecto de análisis estructural orientado al modelado de estructuras aeronáuticas a través elementos finitos. Este proceso incluye: *i)* acondicionamiento de geometría; *ii)* mallado y análisis de mallas; *iii)* análisis estático, análisis modal, análisis de pandeo lineal; *iv)* interpretación de resultados; y *v)* confección de un informe de resultados. Una vez finalizado, el proyecto deberá servir como base para el modelado de materiales compuestos con el software antes mencionado.

Las tareas no presenciales que se proponen generalmente tienen un enfoque hacia actividades de cálculo y diseño. Cada alumno deberá confeccionar cuatro carpetas: una asociada con cada conjunto de tareas no presenciales. Se da especial énfasis a la temática de la comunicación escrita en forma de informes conteniendo enunciado, desarrollo y conclusiones.

Resultados de aprendizaje

Competencias Genéricas

Competencias tecnológicas:

CG1: COMPETENCIA PARA IDENTIFICAR, FORMULAR Y RESOLVER PROBLEMAS DE INGENIERÍA

Esta competencia articula las siguientes capacidades:

1.a. Capacidad para identificar y formular problemas.

Esta capacidad implica:

- 1.a.1. Ser capaz de identificar una situación presente o futura como problemática.
- 1.a.2. Ser capaz de identificar y organizar los datos pertinentes al problema.
- 1.a.3. Ser capaz de delimitar el problema y formularlo de manera clara y precisa.

1.b. Capacidad para buscar soluciones y seleccionar alternativas.

Esta capacidad implica:

- 1.b.1. Ser capaz de valorar el impacto sobre el medio ambiente y la sociedad, de las diversas alternativas de solución.

1.c. Capacidad para implementar tecnológicamente una solución.

Esta capacidad implica:

- 1.c.1. Ser capaz de realizar el diseño de la solución tecnológica, incluyendo el modelado.
- 1.c.2. Ser capaz de incorporar al diseño las dimensiones del problema (tecnológica, temporal, económica, financiera, medioambiental, social, etc.) que sean relevantes en su contexto específico.
- 1.c.3. Ser capaz de optimizar la selección y uso de los materiales y/o dispositivos tecnológicos disponibles para la implementación.
- 1.c.4. Ser capaz de elaborar informes, planos, especificaciones y comunicar recomendaciones.

CG4: COMPETENCIA PARA UTILIZAR DE MANERA EFECTIVA LAS TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS DE APLICACIÓN EN LA INGENIERÍA

Esta competencia articula las siguientes capacidades:

4.a. Capacidad para identificar y seleccionar las técnicas y herramientas disponibles.

Esta capacidad implica:

- 4.a.1. Ser capaz de acceder a las fuentes de información relativas a las técnicas y herramientas y de comprender las especificaciones de las mismas.
- 4.a.2. Ser capaz de conocer los alcances y limitaciones de las técnicas y herramientas a utilizar y de reconocer los campos de aplicación de cada una de ellas y de aprovechar toda la potencialidad que ofrecen.
- 4.a.3. Ser capaz de seleccionar fundamentadamente las técnicas y herramientas más adecuadas, analizando la relación costo/beneficio de cada alternativa mediante criterios de evaluación de costos, tiempo, precisión, disponibilidad, seguridad, etc.

4.b. Capacidad para utilizar y supervisar técnicas y herramientas

Esta capacidad implica:

- 4.b.1. Ser capaz de utilizar las técnicas y herramientas de acuerdo con estándares y normas de calidad y seguridad.

4.b.2. Ser capaz de interpretar los resultados que se obtengan de la aplicación de las diferentes técnicas y herramientas utilizadas.

4.b.3. Ser capaz de combinarlas y/o modificar las técnicas y herramientas de manera que optimicen su utilización.

Competencias sociales, políticas y actitudinales

CG7: COMPETENCIA PARA COMUNICARSE CON EFECTIVIDAD

Esta competencia articula las siguientes capacidades:

7.a. Capacidad para seleccionar las estrategias de comunicación en función de los objetivos y de los interlocutores y de acordar significados en el contexto de intercambio.

Esta capacidad implica:

7.a.1. Ser capaz de adaptar las estrategias de comunicación a los objetivos comunicacionales, a las características de los destinatarios y a cada situación.

7.a.2. Ser capaz de comunicar eficazmente problemáticas relacionadas a la profesión, a personas ajenas a ella.

7.a.3. Ser capaz de interpretar otros puntos de vista, teniendo en cuenta las situaciones personales y sociales de los interlocutores.

7.a.4. Ser capaz de identificar coincidencias y discrepancias, y de producir síntesis y acuerdos.

7.a.5. Ser capaz de usar eficazmente las herramientas tecnológicas apropiadas para la comunicación

7.b. Capacidad para producir e interpretar textos técnicos (memorias, informes, etc.) y presentaciones públicas.

Esta capacidad implica:

7.b.1. Ser capaz de expresarse de manera concisa, clara y precisa, tanto en forma oral como escrita.

7.b.2. Ser capaz de identificar el tema central y los puntos claves del informe o presentación a realizar.

7.b.3. Ser capaz de producir textos técnicos (descriptivos, argumentativos y explicativos), rigurosos y convincentes.

7.b.4. Ser capaz de utilizar y articular de manera eficaz distintos lenguajes (formal, gráfico y natural).

7.b.5. Ser capaz de manejar las herramientas informáticas apropiadas para la elaboración de informes y presentaciones.

7.b.6. Ser capaz de comprender textos técnicos en idioma inglés.

7.b.7. Ser capaz de identificar las ideas centrales de un informe que se leyó o de una presentación a la cual se asistió.

7.b.8. Ser capaz de analizar la validez y la coherencia de la información.

Competencias Específicas

CE1B: Competencia para calcular, diseñar, proyectar y construir estructuras y componentes estructurales alas, fuselajes, costillas, cuadernas, largueros,

tanque, estructuras auxiliares, plataformas para la operación excepto sus fundaciones, de aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.

Esta competencia articula las siguientes capacidades:

1B.a Ser capaz de calcular estructuras de vehículos aeroespaciales y estructuras de soporte operativo y/o constructivo, considerando las alternativas más apropiadas para establecer el correcto comportamiento estructural.

Esta capacidad implica:

1B.a.1. Ser capaz de identificar y resolver problemas aplicando, con creatividad, los conocimientos adquiridos

1B.a.2. Ser capaz de comprender, sintetizar, y aplicar a la ingeniería la teoría de aeroelasticidad, desde el punto de vista estático (problemas de divergencia torsional y de inversión de alerones) y dinámico (problemas de flutter).

1B.a.3. Ser capaz de comprender, sintetizar, y aplicar a la ingeniería la mecánica de sólidos, la mecánica de materiales compuestos, la teoría de vibraciones, y la teoría de estabilidad estructural.

1B.a.4. Ser capaz de identificar las solicitaciones mecánicas que actúan sobre un componente estructural asociadas a las cargas aerodinámicas que actúan sobre una aeronave.

1B.a.5. Ser capaz de interpretar el concepto de factor de carga y cómo este afecta el modelado de solicitaciones mecánicas sobre componentes estructurales de una aeronave.

1B.a.6. Ser capaz de seleccionar y modelar los materiales utilizados para construir elementos estructurales y vehículos aeroespaciales.

1B.a.7. Ser capaz de aplicar técnicas numéricas y herramientas de simulación computacional en el diseño estructural aeronáutico.

1B.b Ser capaz de diseñar estructuras de vehículos aeroespaciales y estructuras de soporte operativo y/o constructivo, comprendiendo las limitaciones y alcances establecidos por las metodologías típicas de diseño.

Esta capacidad implica:

1B.b.1. Ser capaz de identificar y resolver problemas aplicando, con creatividad, los conocimientos adquiridos

1B.b.2. Ser capaz de utilizar razonamiento crítico y capacidad de asociación.

1B.b.3. Ser capaz de comprender, sintetizar, y aplicar a la ingeniería la teoría de aeroelasticidad, desde el punto de vista estático (problemas de divergencia torsional y de inversión de alerones) y dinámico (problemas de flutter).

1B.b.4. Ser capaz de comprender, sintetizar, y aplicar a la ingeniería la mecánica de sólidos, la mecánica de materiales compuestos, la teoría de vibraciones, y la teoría de estabilidad estructural.

1B.b.5. Ser capaz de fijar criterios de diseño adecuados para componentes estructurales con base en los requerimientos dados por la envolvente de operación de una aeronave.

1B.b.6. Ser capaz de incorporar adecuadamente los conceptos de falla por fatiga y mecánica de fracturas al diseño de componentes estructurales aeronáuticos.

1B.b.7. Ser capaz de comprender y emplear la normativa aplicable en el diseño de estructuras y componentes estructurales.

1B.b.8. Ser capaz de fijar objetivos de diseño adecuados para el proyecto de estructuras y componentes estructurales de vehículos aeroespaciales y estructuras de soporte, teniendo en cuenta los alcances de la normativa aplicable.

1B.b.9. Ser capaz de utilizar software de simulación computacional.

1B.c. Ser capaz de proyectar estructuras de vehículos aeroespaciales y estructuras de soporte operativo y/o constructivo, considerando los objetivos del diseño y los alcances normativos dependiendo de la aplicación de estas estructuras.

Esta capacidad implica:

1B.c.1. Ser capaz de identificar y resolver problemas aplicando, con creatividad, los conocimientos adquiridos

1B.c.2. Ser capaz de utilizar razonamiento crítico y capacidad de asociación.

1B.c.3. Ser capaz de comprender, sintetizar, y aplicar a la ingeniería la teoría de aeroelasticidad, desde el punto de vista estático (problemas de divergencia torsional y de inversión de alerones) y dinámico (problemas de flutter).

1B.c.4. Ser capaz de comprender, sintetizar, y aplicar a la ingeniería la mecánica de sólidos, la mecánica de materiales compuestos, la teoría de vibraciones, y la teoría de estabilidad estructural.

1B.c.5. Ser capaz de proyectar estructuras y componentes estructurales de vehículos aeroespaciales y estructuras de soporte, considerando los objetivos del diseño y los alcances normativos dependiendo de la aplicación de estas estructuras.

1B.d. Ser capaz de construir estructuras de vehículos aeroespaciales y estructuras de soporte operativo y/o constructivo, articulando adecuadamente las características de las estructuras calculadas, diseñadas y proyectadas con los métodos constructivos disponibles.

Esta capacidad implica:

1B.d.1. Ser capaz de identificar y resolver problemas aplicando, con creatividad, los conocimientos adquiridos.

1B.d.2. Ser capaz de utilizar razonamiento crítico y capacidad de asociación.

1B.d.3. Ser capaz de comprender y emplear la normativa aplicable en la construcción de estructuras y componentes estructurales.

CEIE: Competencia para calcular, diseñar, proyectar y construir plantas de propulsoras principales y auxiliares motores alternativos, a reacción, cohetes, compresores, cámaras de combustión, turbinas, hélices de aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.

Esta competencia articula las siguientes capacidades:

1E.a. Ser capaz de calcular componentes de sistemas y elementos propulsivos de vehículos aeroespaciales, considerando las alternativas más apropiadas para establecer el correcto funcionamiento desde el punto de vista de la mecánica estructural.

Esta capacidad implica:

1E.a.1. Ser capaz de identificar y resolver problemas aplicando, con creatividad, los conocimientos adquiridos

1E.a.2. Ser capaz de utilizar razonamiento crítico y capacidad de asociación.

1E.a.3. Ser capaz de comprender, sintetizar, y aplicar a la ingeniería la teoría de aeroelasticidad, desde el punto de vista estático (problemas de divergencia torsional y de inversión de alerones) y dinámico (problemas de flutter).

1E.a.4. Ser capaz de comprender, sintetizar, y aplicar a la ingeniería la mecánica de sólidos, la mecánica de materiales compuestos, la teoría de vibraciones, y la teoría de estabilidad estructural.

1E.a.5. Ser capaz de interpretar el concepto de factor de carga y cómo este afecta el modelado de solicitaciones mecánicas sobre componentes estructurales de una aeronave.

1E.a.6. Ser capaz de interpretar la posición espacial de un componente estructural y definir sistemas de referencia adecuados para su análisis.

1E.a.7. Ser capaz de identificar las solicitaciones mecánicas que actúan sobre un componente estructural asociadas a las cargas aerodinámicas.

1E.a.8. Ser capaz de elegir el enfoque más adecuado para resolver problemas de mecánica de materiales compuestos asociados a diferentes tipos de estructuras de vehículos aeroespaciales.

1E.a.9. Ser capaz de aplicar técnicas numéricas y herramientas de simulación computacional en el diseño estructural aeronáutico.

1E.b. Ser capaz de diseñar componentes de sistemas y elementos propulsivos de vehículos aeroespaciales, comprendiendo las limitaciones y alcances establecidos por las metodologías típicas de diseño en la mecánica estructural.

Esta capacidad implica:

1E.b.1. Ser capaz de identificar y resolver problemas aplicando, con creatividad, los conocimientos adquiridos

1E.b.2. Ser capaz de utilizar razonamiento crítico y capacidad de asociación.

1E.b.3. Ser capaz de comprender, sintetizar, y aplicar a la ingeniería la teoría de aeroelasticidad, desde el punto de vista estático (problemas de divergencia torsional y de inversión de alerones) y dinámico (problemas de flutter).

1E.b.4. Ser capaz de comprender, sintetizar, y aplicar a la ingeniería la mecánica de sólidos, la mecánica de materiales compuestos, la teoría de vibraciones, y la teoría de estabilidad estructural.

1E.b.5. Ser capaz de modelar componentes estructurales como cuerpos flexibles y comprender cómo esto afecta al análisis estructural de los mismos.

1E.b.6. Ser capaz de fijar criterios de diseño adecuados para componentes estructurales con base en los requerimientos dados por la envolvente de operación de una aeronave.

1E.a.9. Ser capaz de aplicar técnicas numéricas y herramientas de simulación computacional en el diseño estructural aeronáutico.

CEIF: Competencia para calcular y diseñar los diferentes sistemas mecánicos y elementos de máquinas aplicados a las aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.

Esta competencia articula las siguientes capacidades:

1F.a. Ser capaz de calcular componentes mecánicos y elementos de máquinas para vehículos aeroespaciales, considerando las alternativas y métodos más apropiados para establecer el correcto análisis desde el punto de vista de la mecánica estructural.

Esta capacidad implica:

1F.a.1. Ser capaz de identificar y resolver problemas aplicando, con creatividad, los conocimientos adquiridos.

1F.a.2. Ser capaz de utilizar razonamiento crítico y capacidad de asociación.

1F.a.3. Ser capaz de comprender, sintetizar, y aplicar a la ingeniería la teoría de aeroelasticidad, desde el punto de vista estático (problemas de divergencia torsional y de inversión de alerones) y dinámico (problemas de flutter).

1F.a.4. Ser capaz de comprender, sintetizar, y aplicar a la ingeniería la mecánica de sólidos, la mecánica de materiales compuestos, la teoría de vibraciones, y la teoría de estabilidad estructural.

1F.a.5. Ser capaz de fijar criterios de cálculo adecuados para componentes estructurales con base en los requerimientos dados por la envolvente de operación de una aeronave.

1F.a.6. Ser capaz de aplicar técnicas numéricas y herramientas de simulación computacional en el diseño estructural aeronáutico.

1F.b. Ser capaz de diseñar componentes mecánicos y elementos de máquinas para vehículos aeroespaciales, comprendiendo las limitaciones y alcances establecidos por las metodologías típicas de diseño en la mecánica estructural.

Esta capacidad implica:

1F.b.1. Ser capaz de identificar y resolver problemas aplicando, con creatividad, los conocimientos adquiridos

1F.b.2. Ser capaz de utilizar razonamiento crítico y capacidad de asociación.

1F.b.3. Ser capaz de comprender, sintetizar, y aplicar a la ingeniería la teoría de aeroelasticidad, desde el punto de vista estático (problemas de divergencia torsional y de inversión de alerones) y dinámico (problemas de flutter).

1F.b.4. Ser capaz de comprender, sintetizar, y aplicar a la ingeniería la mecánica de sólidos, la mecánica de materiales compuestos, la teoría de vibraciones, y la teoría de estabilidad estructural.

1F.b.5. Ser capaz de fijar objetivos de diseño adecuados para el proyecto de componentes estructurales, componentes mecánicos y estructuras de soporte para plantas propulsoras, teniendo en cuenta los alcances de la normativa aplicable.

1F.b.6. Ser capaz de identificar las alternativas más apropiadas para el diseño de componentes estructurales, componentes mecánicos y estructuras de soporte para plantas propulsoras que aseguren el correcto funcionamiento desde el punto de vista de la mecánica estructural.

CEIG: Competencia para diseñar y proyectar la realización del sistema de navegación, guiado y control de aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.

Esta competencia articula la siguiente capacidad:

1G.a. Ser capaz de diseñar elementos y componentes mecánicos vinculados a los sistemas de asistencia al vuelo en vehículos aeroespaciales, considerando las alternativas y métodos más apropiados para establecer el correcto análisis desde el punto de vista de la mecánica estructural.

Esta capacidad implica:

1G.a.1. Ser capaz de identificar y resolver problemas aplicando, con creatividad, los conocimientos adquiridos

1G.a.2. Ser capaz de utilizar razonamiento crítico y capacidad de asociación.

1G.a.3. Ser capaz de comprender, sintetizar, y aplicar a la ingeniería la teoría de aeroelasticidad, desde el punto de vista estático (problemas de divergencia torsional y de inversión de alerones) y dinámico (problemas de flutter).

1G.a.4. Ser capaz de comprender, sintetizar, y aplicar a la ingeniería la mecánica de sólidos, la mecánica de materiales compuestos, la teoría de vibraciones, y la teoría de estabilidad estructural.

1G.a.5. Ser capaz de aplicar técnicas numéricas y herramientas de simulación computacional en el diseño estructural aeronáutico.

1G.a.6. Ser capaz de interpretar la relación cinemática entre las distintas partes de un sistema mecánico y cómo esta afecta al diseño estructural de cada componente.

1G.a.7. Ser capaz de fijar objetivos de diseño adecuados para el proyecto de componentes estructurales, componentes mecánicos y estructuras de soporte para sistemas auxiliares vinculados a los sistemas de asistencia al vuelo, teniendo en cuenta los alcances de la normativa aplicable.

1G.a.8. Ser capaz de identificar las alternativas más apropiadas para el diseño de componentes estructurales, componentes mecánicos y estructuras de soporte para sistemas auxiliares vinculados a los sistemas de asistencia al vuelo que aseguren el correcto funcionamiento desde el punto de vista de la mecánica estructural.

CEII: Competencia para diseñar, proyectar y ensayar los principales parámetros pertinentes a laboratorios de ensayos y calibraciones de equipos de aplicados a las aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.

Esta competencia articula la siguiente capacidad:

11.a. Ser capaz de diseñar elementos resistentes, sistemas mecánicos y estructuras auxiliares aplicadas a los ensayos en laboratorio y de calibración para vehículos aeroespaciales, considerando las alternativas y métodos más apropiados para establecer el correcto análisis desde el punto de vista de la mecánica estructural.

Esta capacidad implica:

11.a.1. Ser capaz de identificar y resolver problemas aplicando, con creatividad, los conocimientos adquiridos

11.a.2. Ser capaz de utilizar razonamiento crítico y capacidad de asociación.

11.a.3. Ser capaz de comprender, sintetizar, y aplicar a la ingeniería la teoría de aeroelasticidad, desde el punto de vista estático (problemas de divergencia torsional y de inversión de alerones) y dinámico (problemas de flutter).

11.a.4. Ser capaz de comprender, sintetizar, y aplicar a la ingeniería la mecánica de sólidos, la mecánica de materiales compuestos, la teoría de vibraciones, y la teoría de estabilidad estructural.

11.a.5. Ser capaz de interpretar informes de resultados y reportes técnicos identificando recomendaciones de diseño.

11.a.6. Ser capaz de confeccionar informes de resultados y reportes técnicos basados en análisis estructurales de componentes y realizar recomendaciones de diseño.

11.a.7. Ser capaz diseñar componentes mecánicos, estructuras resistentes y elementos auxiliares adecuados para el proyecto de componentes estructurales, componentes mecánicos y estructuras de soporte que aseguren el correcto funcionamiento de sistemas de ensayo y calibración.

CE2A: Competencia para proyectar, dirigir y controlar la construcción, operación y mantenimiento de aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.

Esta competencia articula la siguiente capacidad:

2A.a. Ser capaz de proyectar elementos resistentes, sistemas mecánicos y estructuras auxiliares aplicadas a la operación y mantenimiento de vehículos aeroespaciales, considerando las alternativas y métodos más apropiados para establecer el correcto análisis desde el punto de vista de la mecánica estructural.

Esta capacidad implica:

2A.a.1. Ser capaz de identificar y resolver problemas aplicando, con creatividad, los conocimientos adquiridos

2A.a.2. Ser capaz de utilizar razonamiento crítico y capacidad de asociación.

2A.a.3. Ser capaz de interpretar la influencia de las maniobras de una aeronave en el modelado de sollicitaciones mecánicas sobre sus componentes estructurales.

2A.a.4. Ser capaz de fijar criterios de diseño adecuados para componentes estructurales con base en los requerimientos dados por la envolvente de operación de una aeronave.

2A.a.5. Ser capaz de interpretar el concepto de factor de carga y cómo este afecta el modelado de solicitaciones mecánicas sobre componentes estructurales de una aeronave.

2A.a.6. Ser capaz de evaluar el comportamiento, resistencia, deformaciones y tipos de fallas en estructuras y/o componentes estructurales de vehículos aeroespaciales.

2A.a.7. Ser capaz de diseñar estructuras resistentes, componentes mecánicos y herramientas aplicadas a la construcción y mantenimiento de aeronaves, teniendo en cuenta los alcances de la normativa aplicable.

CE3A: Competencia para certificar el funcionamiento, condición de uso o estado y aptitud para el vuelo de aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.

Esta competencia articula la siguiente capacidad:

3A.a. Ser capaz de certificar el normal funcionamiento, aptitud de uso y/o estado, condición de operación de las estructuras en vehículos aeroespaciales, considerando las alternativas y métodos más apropiados para establecer el correcto análisis desde el punto de vista de la mecánica estructural.

Esta capacidad implica:

3A.a.1. Ser capaz de evaluar el comportamiento, resistencia, deformaciones y tipos de fallas en estructuras y/o componentes estructurales de vehículos aeroespaciales.

3A.a.2. Ser capaz de identificar posibles fallas en el diseño estructural de componentes estructurales, componentes mecánicos y estructuras auxiliares, que puedan comprometer su correcto funcionamiento o su aptitud para la operación.

CE4A: Competencia para proyectar y dirigir lo referido a la higiene y seguridad en el campo aeroespacial.

Esta competencia articula la siguiente capacidad:

4A.a Ser capaz de identificar y desarrollar los procedimientos, operaciones y revisiones asociadas con las estructuras en vehículos aeroespaciales, considerando las alternativas apropiadas para mantener la higiene y seguridad de acuerdo a los estándares normativos del área.

Esta capacidad implica:

4A.a.1. Ser capaz de identificar y resolver problemas aplicando, con creatividad, los conocimientos adquiridos.

4A.a.2. Ser capaz de comprender y emplear la normativa aplicable a los procesos de construcción de estructuras y componentes estructurales de vehículos aeroespaciales y estructuras de soporte.

4A.a.3. Ser capaz de aplicar su conocimiento y comprensión para resolver problemas, y diseñar dispositivos o procesos del ámbito de la ingeniería aeroespacial de acuerdo con criterios de costo, calidad, seguridad, eficiencia y respeto por el medioambiente.

Indicadores de resultados de aprendizaje

Resultado 1. Que los estudiantes puedan formular sistemáticamente problemas físicos que puedan modelarse matemáticamente.

Resultado 2. Que los estudiantes sean capaces de resolver problemas de cálculo y diseño estructural, aplicando métodos numéricos de análisis estructural, empleando computadoras.

Resultado 3. Que los estudiantes puedan transmitir información, ideas, problemas y soluciones a un público tanto especializado como no especializado.

Actividad 1: Calcular, diseñar, proyectar y construir estructuras y componentes estructurales alas, fuselajes, costillas, cuadernas, largueros, tanque, estructuras auxiliares, plataformas para la operación excepto sus fundaciones, de aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.

Actividad 2: Resolver problemas de diseño estructural, aplicando métodos numéricos de análisis estructural, empleando computadoras.

Actividad 3: Identificar y aplicar parámetros y criterios de diseño en la ejecución de un proyecto de ingeniería para el desarrollo de soluciones funcionales de acuerdo a la especialidad.

RÚBRICAS

Competencias evaluadas	Actividad durante la que se evalúa	Resultado del aprendizaje	Mínimo esperado
CG1	Actividad 1	Resultado 1	6
CG4	Actividad 2	Resultado 2	6
CG7	Actividad 3	Resultado 3	6

Evaluación de la Actividad 1: Contenido de los cuatro proyectos cortos integradores de cada módulo.

Evaluación de la Actividad 2: Redacción y contenido de los informes de trabajos prácticos.

Evaluación de la Actividad 3: Redacción y defensa oral de los cuatro proyectos cortos integradores.

CG1: Competencia para identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.

CG4: Competencia para utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de aplicación en ingeniería.

CG7: Competencia para comunicarse con efectividad.

Bibliografía

Notas de Clase:

1. Pérez Segura, Martín E. "Notas de Clase: Aspectos Generales de Diseño Aeronáutico," Departamento de Estructuras, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, 2022.
2. Preidikman Sergio. "Notas de Clase: Aeroelasticidad," Departamento de Estructuras, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, 2023.
3. Castello, Walter B. "Notas de Clase: Análisis de Estructuras Aeronáuticas," Departamento de Estructuras, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, 2022
4. Rocca, Bruno A. "Notas de Clase: Cálculo de Laminados," Departamento de Estructuras, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, 2021.
5. Massa, Julio C. "Notas de Clase: Introducción a la Mecánica de los Materiales Compuestos," Departamento de Estructuras, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, 2006.

Bibliografía Complementaria

Libros en formato pdf distribuidos a través de Moodle:

1. Hodges, Dewey H. and Pierce. Alvin G., *Introduction to Structural Dynamics and Aeroelasticity*, Second Edition, Cambridge Aerospace Series, 2011, ISBN-13: 978-1107617094.
2. Dowell, E. H. *A modern course in aeroelasticity*, Sixth Edition, (Solid mechanics and its applications), Springer Nature, 2022, ISBN: 978-3030742362.
3. Rao, Singiresu S. *Vibration of continuous systems*, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2019, ISBN: 978-1119424253.
4. Barbero, Ever J. *Introduction to Composite Materials Design*, Third Edition, CRC Press, 2017, ISBN: 978-1138196803.
5. Barbero, Ever J. *Finite element analysis of composite materials*, CRC Press, 2008, ISBN: 978-1420054330.
6. Baker, A., Dutton, S., and Kelly, D. *Composite Materials for Aircraft Structures*, Second Edition, (AIAA Education Series), American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2004, ISBN: 978-1563475405.
7. Megson, Thomas H. G. *Introduction to Aircraft Structural Analysis*, Third Edition, Elsevier Ltd., 2018, ISBN: 978-0081020760.
8. Lomax, Ted L. *Structural Loads Analysis for Commercial Transport Aircraft Theory and Practice*, (AIAA Education Series), American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1996, ISBN: 1-56347-114-0.

Libros disponibles en la Biblioteca:

1. Megson, Thomas H. G. *Introduction to Aircraft Structural Analysis*, Second Edition, Butterworth-Heinemann, 2014, ISBN: 978-0080982014.

2. Naman Recho. *Fracture Mechanics and Crack Growth*, John Wiley & Sons, Inc., 2012, 479 p. ISBN: 978-1848213067.
3. Shuh-Jing Yin, *Advanced Dynamics*, (AIAA education series), American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1997, 370 p. ISBN: 1563472244.
4. T. S. Srivatsan and M. Ashraf Imam. *Fatigue of Materials: Advances and Emergences in Understanding*, John Wiley & Sons, Inc., 2010, 434 p. ISBN: 978-0470943182.
5. Raymond L. Bisplinghoff, and Holt Ashley. *Principles of Aeroelasticity*, Dover Publications, Inc., 1975, 527 p. ISBN: 0486613496
6. Jan R. Wright and Jonathan E. Cooper. *Introduction to aircraft aeroelasticity and loads*, (Aerospace Series), John Wiley & Sons, Inc., 2008, 499 p. ISBN: 978-0470858400.
7. Ever J. Barbero. *Introduction to composite materials design*, Taylor Francis, 1999, 336 p. ISBN: 1560327014
8. O. O. Ochoa and J. N. Reddy. *Finite Element Analysis of Composite Laminates*, Kluwer Academic, 1992, 206 p. ISBN: 0792311256.