



# Guía docente

## 820762 - TFSA - Turbulencia: Fenomenología, Simulación, Aerodinámica

Última modificación: 16/05/2023

**Unidad responsable:** Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona  
**Unidad que imparte:** 724 - MMT - Departamento de Máquinas y Motores Térmicos.

**Titulación:** MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA (Plan 2013). (Asignatura optativa).  
MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL (Plan 2014). (Asignatura optativa).  
MÁSTER UNIVERSITARIO ERASMUS MUNDUS EN SISTEMAS DESCENTRALIZADOS DE ENERGÍA INTELIGENTES (DENSYS) (Plan 2020). (Asignatura optativa).  
MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA TÉRMICA (Plan 2021). (Asignatura optativa).  
MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA (Plan 2022). (Asignatura optativa).

**Curso:** 2023      **Créditos ECTS:** 5.0      **Idiomas:** Catalán, Castellano, Inglés

### PROFESORADO

---

**Profesorado responsable:** Xavier Trias i Carlos-David Pérez Segarra

**Otros:** Ivette Rodríguez, Aleix Baez, Jordi Ventosa

### COMPETENCIAS DE LA TITULACIÓN A LAS QUE CONTRIBUYE LA ASIGNATURA

---

#### Específicas:

CEMT-7. Analizar el comportamiento de equipos e instalaciones en operación a fin de elaborar un diagnóstico valorativo sobre su régimen de explotación y de establecer medidas dirigidas a mejorar la eficiencia energética de los mismos.

CEMT-5. Aplicar criterios técnicos y económicos en la selección del equipo térmico más adecuado para una determinada aplicación. Dimensionar equipos e instalaciones térmicas. Reconocer y valorar las aplicaciones tecnológicas más novedosas en el ámbito de la producción, transporte, distribución, almacenaje y uso de la energía térmica.

#### Transversales:

CT3. TRABAJO EN EQUIPO: Ser capaz de trabajar como miembro de un equipo interdisciplinar, ya sea como un miembro más o realizando tareas de dirección, con la finalidad de contribuir a desarrollar proyectos con pragmatismo y sentido de la responsabilidad, asumiendo compromisos teniendo en cuenta los recursos disponibles.

CT4. USO SOLVENTE DE LOS RECURSOS DE INFORMACIÓN: Gestionar la adquisición, la estructuración, el análisis y la visualización de datos e información en el ámbito de especialidad, y valorar de forma crítica los resultados de dicha gestión.

### METODOLOGÍAS DOCENTES

---

## OBJETIVOS DE APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA

### Objetivos:

- Conocer y entender la fenomenología de los flujos turbulentos.
- Conocer e interpretar correctamente las herramientas de tratamiento estadístico para flujos turbulentos.
- Conocer los aspectos básicos sobre modelización de la turbulencia.
- Realización de diferentes prácticas numéricas para entender mejor los diferentes aspectos teóricos de la asignatura.

### Resultados del aprendizaje:

Al finalizar la asignatura, el / la estudiante:

- Tendrá conocimientos básicos de turbulencia y de su espectro de energía.
- Tratamiento estadístico de flujos turbulentos.
- Modelización y resolución de flujos turbulentos.
- Aplicación de los conocimientos básicos de métodos numéricos y turbulencia en la mejora de la eficiencia energética por medio de diseños aerodinámicos eficientes.

## HORAS TOTALES DE DEDICACIÓN DEL ESTUDIANTADO

Tipo	Horas	Porcentaje
Horas aprendizaje autónomo	93,4	69.75
Horas grupo pequeño	40,5	30.25

**Dedicación total:** 133.9 h

## CONTENIDOS

### Contenido 1. Introducción-repaso de las ecuaciones gobernantes: ecuaciones de Navier-Stokes y conservación de la energía. Conceptos básicos. Teoría de la capa límite

#### Descripción:

contenido castellano

#### Competencias relacionadas:

CEMT-7. Analizar el comportamiento de equipos e instalaciones en operación a fin de elaborar un diagnóstico valorativo sobre su régimen de explotación y de establecer medidas dirigidas a mejorar la eficiencia energética de los mismos.

CEMT-5. Aplicar criterios técnicos y económicos en la selección del equipo térmico más adecuado para una determinada aplicación. Dimensionar equipos e instalaciones térmicas. Reconocer y valorar las aplicaciones tecnológicas más novedosas en el ámbito de la producción, transporte, distribución, almacenaje y uso de la energía térmica.

#### Dedicación: 11h

Grupo grande/Teoría: 3h

Aprendizaje autónomo: 8h

**Contenido 2. Introducción a la turbulencia. Espectro de energía. Ecuaciones de Navier-Stokes promediadas. Flujo promedio y términos del tensor de Reynolds. Tratamiento estadístico: autocorrelaciones,**

**Descripción:**

contenido castellano

**Competencias relacionadas:**

CEMT-7. Analizar el comportamiento de equipos e instalaciones en operación a fin de elaborar un diagnóstico valorativo sobre su régimen de explotación y de establecer medidas dirigidas a mejorar la eficiencia energética de los mismos.

CEMT-5. Aplicar criterios técnicos y económicos en la selección del equipo térmico más adecuado para una determinada aplicación. Dimensionar equipos e instalaciones térmicas. Reconocer y valorar las aplicaciones tecnológicas más novedosas en el ámbito de la producción, transporte, distribución, almacenaje y uso de la energía térmica.

**Dedicación:** 35h

Grupo grande/Teoría: 9h

Actividades dirigidas: 3h

Aprendizaje autónomo: 23h

**Contenido 3. Métodos numéricos para la resolución de las ecuaciones gobernantes. Discretización conservativa. Integración temporal de las ecuaciones. Solvers.**

**Descripción:**

contenido castellano

**Competencias relacionadas:**

CEMT-7. Analizar el comportamiento de equipos e instalaciones en operación a fin de elaborar un diagnóstico valorativo sobre su régimen de explotación y de establecer medidas dirigidas a mejorar la eficiencia energética de los mismos.

CEMT-5. Aplicar criterios técnicos y económicos en la selección del equipo térmico más adecuado para una determinada aplicación. Dimensionar equipos e instalaciones térmicas. Reconocer y valorar las aplicaciones tecnológicas más novedosas en el ámbito de la producción, transporte, distribución, almacenaje y uso de la energía térmica.

CT4. USO SOLVENTE DE LOS RECURSOS DE INFORMACIÓN: Gestionar la adquisición, la estructuración, el análisis y la visualización de datos e información en el ámbito de especialidad, y valorar de forma crítica los resultados de dicha gestión.

CT3. TRABAJO EN EQUIPO: Ser capaz de trabajar como miembro de un equipo interdisciplinar, ya sea como un miembro más o realizando tareas de dirección, con la finalidad de contribuir a desarrollar proyectos con pragmatismo y sentido de la responsabilidad, asumiendo compromisos teniendo en cuenta los recursos disponibles.

**Dedicación:** 31h

Grupo grande/Teoría: 8h

Actividades dirigidas: 2h

Aprendizaje autónomo: 21h

#### Contenido 4. Resolución directa de la turbulencia (DNS). Diferentes formas de modelización de la turbulencia: LES y modelos de regularización

**Descripción:**

contenido castellano

**Competencias relacionadas:**

CEMT-7. Analizar el comportamiento de equipos e instalaciones en operación a fin de elaborar un diagnóstico valorativo sobre su régimen de explotación y de establecer medidas dirigidas a mejorar la eficiencia energética de los mismos.

CEMT-5. Aplicar criterios técnicos y económicos en la selección del equipo térmico más adecuado para una determinada aplicación. Dimensionar equipos e instalaciones térmicas. Reconocer y valorar las aplicaciones tecnológicas más novedosas en el ámbito de la producción, transporte, distribución, almacenaje y uso de la energía térmica.

CT4. USO SOLVENTE DE LOS RECURSOS DE INFORMACIÓN: Gestionar la adquisición, la estructuración, el análisis y la visualización de datos e información en el ámbito de especialidad, y valorar de forma crítica los resultados de dicha gestión.

CT3. TRABAJO EN EQUIPO: Ser capaz de trabajar como miembro de un equipo interdisciplinar, ya sea como un miembro más o realizando tareas de dirección, con la finalidad de contribuir a desarrollar proyectos con pragmatismo y sentido de la responsabilidad, asumiendo compromisos teniendo en cuenta los recursos disponibles.

**Dedicación:** 21h

Grupo grande/Teoría: 5h

Actividades dirigidas: 2h

Aprendizaje autónomo: 14h

#### Contenido 5. Aplicación de técnicas de simulación en el estudio de flujos alrededor de obstáculos, alrededor de un cilindro, alrededor de un perfil aerodinámico y alrededor de un coche simplificado..

**Descripción:**

contenido castellano

**Competencias relacionadas:**

CEMT-7. Analizar el comportamiento de equipos e instalaciones en operación a fin de elaborar un diagnóstico valorativo sobre su régimen de explotación y de establecer medidas dirigidas a mejorar la eficiencia energética de los mismos.

CEMT-5. Aplicar criterios técnicos y económicos en la selección del equipo térmico más adecuado para una determinada aplicación. Dimensionar equipos e instalaciones térmicas. Reconocer y valorar las aplicaciones tecnológicas más novedosas en el ámbito de la producción, transporte, distribución, almacenaje y uso de la energía térmica.

CT4. USO SOLVENTE DE LOS RECURSOS DE INFORMACIÓN: Gestionar la adquisición, la estructuración, el análisis y la visualización de datos e información en el ámbito de especialidad, y valorar de forma crítica los resultados de dicha gestión.

CT3. TRABAJO EN EQUIPO: Ser capaz de trabajar como miembro de un equipo interdisciplinar, ya sea como un miembro más o realizando tareas de dirección, con la finalidad de contribuir a desarrollar proyectos con pragmatismo y sentido de la responsabilidad, asumiendo compromisos teniendo en cuenta los recursos disponibles.

**Dedicación:** 27h

Grupo grande/Teoría: 5h

Actividades dirigidas: 8h

Aprendizaje autónomo: 14h



## ACTIVIDADES

### Clases de teoría

#### Competencias relacionadas:

CEMT-7. Analizar el comportamiento de equipos e instalaciones en operación a fin de elaborar un diagnóstico valorativo sobre su régimen de explotación y de establecer medidas dirigidas a mejorar la eficiencia energética de los mismos.

CEMT-5. Aplicar criterios técnicos y económicos en la selección del equipo térmico más adecuado para una determinada aplicación. Dimensionar equipos e instalaciones térmicas. Reconocer y valorar las aplicaciones tecnológicas más novedosas en el ámbito de la producción, transporte, distribución, almacenaje y uso de la energía térmica.

#### Dedicación: 93h

Grupo grande/Teoría: 28h

Actividades dirigidas: 5h

Aprendizaje autónomo: 60h

### 2. Resolución numérica de la ecuación de Burgers en el espacio de Fourier

#### Competencias relacionadas:

CEMT-7. Analizar el comportamiento de equipos e instalaciones en operación a fin de elaborar un diagnóstico valorativo sobre su régimen de explotación y de establecer medidas dirigidas a mejorar la eficiencia energética de los mismos.

CEMT-5. Aplicar criterios técnicos y económicos en la selección del equipo térmico más adecuado para una determinada aplicación. Dimensionar equipos e instalaciones térmicas. Reconocer y valorar las aplicaciones tecnológicas más novedosas en el ámbito de la producción, transporte, distribución, almacenaje y uso de la energía térmica.

CT4. USO SOLVENTE DE LOS RECURSOS DE INFORMACIÓN: Gestionar la adquisición, la estructuración, el análisis y la visualización de datos e información en el ámbito de especialidad, y valorar de forma crítica los resultados de dicha gestión.

CT3. TRABAJO EN EQUIPO: Ser capaz de trabajar como miembro de un equipo interdisciplinar, ya sea como un miembro más o realizando tareas de dirección, con la finalidad de contribuir a desarrollar proyectos con pragmatismo y sentido de la responsabilidad, asumiendo compromisos teniendo en cuenta los recursos disponibles.

#### Dedicación: 7h

Grupo grande/Teoría: 1h

Actividades dirigidas: 2h

Aprendizaje autónomo: 4h

### 3. Implementación de un código estructurado bidimensional para la resolución de las ecuaciones de Navier-Stokes incompresibles

#### Competencias relacionadas:

CEMT-5. Aplicar criterios técnicos y económicos en la selección del equipo térmico más adecuado para una determinada aplicación. Dimensionar equipos e instalaciones térmicas. Reconocer y valorar las aplicaciones tecnológicas más novedosas en el ámbito de la producción, transporte, distribución, almacenaje y uso de la energía térmica.

CEMT-7. Analizar el comportamiento de equipos e instalaciones en operación a fin de elaborar un diagnóstico valorativo sobre su régimen de explotación y de establecer medidas dirigidas a mejorar la eficiencia energética de los mismos.

CT4. USO SOLVENTE DE LOS RECURSOS DE INFORMACIÓN: Gestionar la adquisición, la estructuración, el análisis y la visualización de datos e información en el ámbito de especialidad, y valorar de forma crítica los resultados de dicha gestión.

CT3. TRABAJO EN EQUIPO: Ser capaz de trabajar como miembro de un equipo interdisciplinar, ya sea como un miembro más o realizando tareas de dirección, con la finalidad de contribuir a desarrollar proyectos con pragmatismo y sentido de la responsabilidad, asumiendo compromisos teniendo en cuenta los recursos disponibles.

**Dedicación:** 6h

Actividades dirigidas: 2h

Aprendizaje autónomo: 4h

### 4. Simulación directa de la turbulencia (DNS) en el propio código

#### Competencias relacionadas:

CEMT-7. Analizar el comportamiento de equipos e instalaciones en operación a fin de elaborar un diagnóstico valorativo sobre su régimen de explotación y de establecer medidas dirigidas a mejorar la eficiencia energética de los mismos.

CEMT-5. Aplicar criterios técnicos y económicos en la selección del equipo térmico más adecuado para una determinada aplicación. Dimensionar equipos e instalaciones térmicas. Reconocer y valorar las aplicaciones tecnológicas más novedosas en el ámbito de la producción, transporte, distribución, almacenaje y uso de la energía térmica.

CT3. TRABAJO EN EQUIPO: Ser capaz de trabajar como miembro de un equipo interdisciplinar, ya sea como un miembro más o realizando tareas de dirección, con la finalidad de contribuir a desarrollar proyectos con pragmatismo y sentido de la responsabilidad, asumiendo compromisos teniendo en cuenta los recursos disponibles.

CT4. USO SOLVENTE DE LOS RECURSOS DE INFORMACIÓN: Gestionar la adquisición, la estructuración, el análisis y la visualización de datos e información en el ámbito de especialidad, y valorar de forma crítica los resultados de dicha gestión.

**Dedicación:** 6h

Actividades dirigidas: 2h

Aprendizaje autónomo: 4h

## 5. Resolución numérica de un caso de modelización LES para la ecuación de Burgers en el espacio de Fourier

### Competencias relacionadas:

CEMT-7. Analizar el comportamiento de equipos e instalaciones en operación a fin de elaborar un diagnóstico valorativo sobre su régimen de explotación y de establecer medidas dirigidas a mejorar la eficiencia energética de los mismos.

CEMT-5. Aplicar criterios técnicos y económicos en la selección del equipo térmico más adecuado para una determinada aplicación. Dimensionar equipos e instalaciones térmicas. Reconocer y valorar las aplicaciones tecnológicas más novedosas en el ámbito de la producción, transporte, distribución, almacenaje y uso de la energía térmica.

CT3. TRABAJO EN EQUIPO: Ser capaz de trabajar como miembro de un equipo interdisciplinar, ya sea como un miembro más o realizando tareas de dirección, con la finalidad de contribuir a desarrollar proyectos con pragmatismo y sentido de la responsabilidad, asumiendo compromisos teniendo en cuenta los recursos disponibles.

CT4. USO SOLVENTE DE LOS RECURSOS DE INFORMACIÓN: Gestionar la adquisición, la estructuración, el análisis y la visualización de datos e información en el ámbito de especialidad, y valorar de forma crítica los resultados de dicha gestión.

**Dedicación:** 5h

Actividades dirigidas: 2h

Aprendizaje autónomo: 3h

## 6. Resolución de las ecuaciones de Navier-Stokes para el flujo alrededor de un obstáculo

### Competencias relacionadas:

CEMT-7. Analizar el comportamiento de equipos e instalaciones en operación a fin de elaborar un diagnóstico valorativo sobre su régimen de explotación y de establecer medidas dirigidas a mejorar la eficiencia energética de los mismos.

CEMT-5. Aplicar criterios técnicos y económicos en la selección del equipo térmico más adecuado para una determinada aplicación. Dimensionar equipos e instalaciones térmicas. Reconocer y valorar las aplicaciones tecnológicas más novedosas en el ámbito de la producción, transporte, distribución, almacenaje y uso de la energía térmica.

CT3. TRABAJO EN EQUIPO: Ser capaz de trabajar como miembro de un equipo interdisciplinar, ya sea como un miembro más o realizando tareas de dirección, con la finalidad de contribuir a desarrollar proyectos con pragmatismo y sentido de la responsabilidad, asumiendo compromisos teniendo en cuenta los recursos disponibles.

CT4. USO SOLVENTE DE LOS RECURSOS DE INFORMACIÓN: Gestionar la adquisición, la estructuración, el análisis y la visualización de datos e información en el ámbito de especialidad, y valorar de forma crítica los resultados de dicha gestión.

**Dedicación:** 6h

Actividades dirigidas: 2h

Aprendizaje autónomo: 4h



## 7. Prueba de conocimiento

### Competencias relacionadas:

CEMT-5. Aplicar criterios técnicos y económicos en la selección del equipo térmico más adecuado para una determinada aplicación. Dimensionar equipos e instalaciones térmicas. Reconocer y valorar las aplicaciones tecnológicas más novedosas en el ámbito de la producción, transporte, distribución, almacenaje y uso de la energía térmica.

CEMT-7. Analizar el comportamiento de equipos e instalaciones en operación a fin de elaborar un diagnóstico valorativo sobre su régimen de explotación y de establecer medidas dirigidas a mejorar la eficiencia energética de los mismos.

CT3. TRABAJO EN EQUIPO: Ser capaz de trabajar como miembro de un equipo interdisciplinar, ya sea como un miembro más o realizando tareas de dirección, con la finalidad de contribuir a desarrollar proyectos con pragmatismo y sentido de la responsabilidad, asumiendo compromisos teniendo en cuenta los recursos disponibles.

CT4. USO SOLVENTE DE LOS RECURSOS DE INFORMACIÓN: Gestionar la adquisición, la estructuración, el análisis y la visualización de datos e información en el ámbito de especialidad, y valorar de forma crítica los resultados de dicha gestión.

**Dedicación:** 2h

Grupo grande/Teoría: 2h

## SISTEMA DE CALIFICACIÓN

## BIBLIOGRAFÍA

### Básica:

- Sagaut, Pierre. Large eddy simulation for incompressible flows : an introduction. 3rd ed. Berlin [etc.]: Springer, cop. 2006. ISBN 3540263446.

- Pope, S. B. Turbulent flows. Repr. with corr. Cambridge [etc.]: Cambridge University Press, 2000. ISBN 0521591252.

- Berselli, L.C.; Iliescu, T.; Layton, W. J. Mathematics of large eddy simulation of turbulent flows [en línea]. Berlin: Springer, cop. 2006 [Consulta: 07/09/2022]. Disponible a: <https://link-springer-com.recursos.biblioteca.upc.edu/book/10.1007/b137408>. ISBN 3540263160.

- Patankar, Suhas V. Numerical heat transfer and fluid flow [en línea]. New York: McGraw-Hill, cop. 1980 [Consulta: 16/11/2022]. Disponible a: <https://www-taylorfrancis-com.recursos.biblioteca.upc.edu/books/mono/10.1201/9781482234213/numerical-heat-transfer-fluid-flow-suhas-patankar>. ISBN 0891165223.

### Complementaria:

- Frisch, Uriel. Turbulence : the legacy of A.N. Kolmogórov. Cambridge: Cambridge University Press, cop. 1995. ISBN 0521457130.

- Saad, Yousef. Iterative methods for sparse linear systems. 2nd ed. Philadelphia: SIAM, cop. 2003. ISBN 0898715342.

- Foias, Ciprian [et al.]. Navier-Stokes equations and turbulence. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. ISBN 0521360323.

- Wendt, John F.; Anderson, John David. Computational fluid dynamics : an introduction [en línea]. 3rd ed. Berlin ; New York: Springer, 2009 [Consulta: 29/05/2020]. Disponible a: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-85056-4>. ISBN 9783540850557.

## RECURSOS

### Material audiovisual:

- Notes made by the professor of the course. Recurso

- Transparencies, proposed problems to be used in class. Recurso