



Guía docente

820765 - MTCM - Motores Térmicos y Combustión

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 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: Carles David Pérez Segarra

Otros: Jordi Ventosa
Jesús Andrés Álvarez Flórez

COMPETENCIAS DE LA TITULACIÓN A LAS QUE CONTRIBUYE LA ASIGNATURA

Específicas:

CEMT-6. Aplicar criterios técnicos y económicos en la selección del equipo eléctrico más adecuado para una determinada aplicación. Dimensionar equipos e instalaciones eléctricas. Reconocer y valorar las aplicaciones tecnológicas más novedosas en el ámbito de la producción, transporte, distribución, almacenaje y uso de la energía eléctrica.

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.

CEMT-9. Llevar a cabo proyectos relacionados con la gestión de la energía en diferentes sectores productivos y de servicios, reconociendo y valorando los avances y novedades en este campo y aportando ideas novedosas.

CEMT-3. Evaluar el impacto económico, social y ambiental de la producción, uso y gestión de la energía, con una visión holística del ciclo de vida de los diferentes sistemas. Reconocer y valorar las novedades más destacables en los ámbitos de la eficiencia energética y del uso racional de la energía.

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

El objetivo de la asignatura es presentar metodologías avanzadas (semi-analíticas y numéricas) para el análisis y simulación de motores térmicos, tanto de turbomáquinas térmicas axiales como de motores térmicos alternativos de combustión interna. A partir de una descripción detallada de las fenomenologías de dinámica de fluidos y transferencia de calor y masa presentes, se trabaja la formulación matemática y las técnicas de resolución a diferentes niveles. Todo esto en el marco de estos sistemas térmicos concretos y de sus parámetros de diseño y funcionamiento característicos.

El curso arranca con el análisis termodinámico de turbinas de gas y de vapor y de diferentes sistemas térmicos donde están integrados (ciclos con regenerador, combinación turbina de alta y de baja, cogeneración, etc.). El análisis del ciclo se realiza tanto en situaciones de diseño como de predicción, considerando en ambos casos los efectos de pérdidas caloríficas en los equipos (compresores, turbinas, cámaras de combustión, conductos, etc.) como de gases a elevadas velocidades.

En una segunda parte se presenta el análisis detallado de los componentes del sistema. Este nivel de análisis implica profundizar en los aspectos fluido dinámicos y térmicos que condicionan cada uno de los componentes. Primeramente el estudio del flujo en conductos de sección constante o variable (toberas y difusores) y los intercambiadores de calor. El estudio de la formulación matemática de la combustión y su resolución numérica nos llevará al análisis detallado de cámaras de combustión a presión constante. Por último, se tratará el flujo en el interior de turbinas de gas y de vapor y, en el caso de turbinas de gas, los compresores axiales, entrando en aspectos de diseño de álabes y considerando aspectos tales como su refrigeración.

La tercera y última parte del curso estará dedicada a los motores alternativos de combustión interna. La mayor parte de la metodología utilizada en el curso hasta ese momento podrá ser utilizada en el cálculo y diseño de motores desde un punto de vista fluido dinámico y térmico. Habrá sin introducir aspectos específicos como son el proceso de carga y descarga y, especialmente, la combustión y propagación del frente de llama en la cámara de combustión. Se considerará tanto el caso de ciclos Otto como ciclos Diesel.

Resultados del aprendizaje

Al finalizar la asignatura, el / la estudiante:

Consolidación de aspectos básicos de fenómenos de transferencia de calor y masa (formulación matemática, técnicas de resolución analíticas y numéricas, ...), en el marco de una aplicación tecnológica de gran importancia industrial y social como son los motores térmicos.

Consolidación de los métodos convencionales de cálculo de estos equipos (e.g. triángulo de velocidades en turbinas de gas y de vapor, combustión en equilibrio termodinámico, etc.) y resolución de sistemas desde un punto de vista de diseño y también de predicción.

Aplicación de métodos avanzados de simulación numérica de motores (axiales y alternativos de combustión interna) con análisis de tipo multidimensionales. Aplicación a la resolución de combustor a un primer nivel (análisis detallado unidimensional y transitorio).

HORAS TOTALES DE DEDICACIÓN DEL ESTUDIANTADO

Tipo	Horas	Porcentaje
Horas actividades dirigidas	10,0	8.00
Horas aprendizaje autónomo	85,0	68.00
Horas grupo pequeño	30,0	24.00

Dedicación total: 125 h

CONTENIDOS

Contenido 1. Motores térmicos y el sistema donde están integrados. Análisis termodinámico global

Descripción:

contenido castellano

Competencias relacionadas:

CEMT-6. Aplicar criterios técnicos y económicos en la selección del equipo eléctrico más adecuado para una determinada aplicación. Dimensionar equipos e instalaciones eléctricas. Reconocer y valorar las aplicaciones tecnológicas más novedosas en el ámbito de la producción, transporte, distribución, almacenaje y uso de la energía eléctrica.

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.

Dedicación: 18h

Grupo grande/Teoría: 4h

Grupo mediano/Prácticas: 1h

Actividades dirigidas: 1h

Aprendizaje autónomo: 12h

Contenido 2. Análisis detallado de componentes auxiliares de los ciclos de potencia

Descripción:

contenido castellano

Competencias relacionadas:

CEMT-6. Aplicar criterios técnicos y económicos en la selección del equipo eléctrico más adecuado para una determinada aplicación. Dimensionar equipos e instalaciones eléctricas. Reconocer y valorar las aplicaciones tecnológicas más novedosas en el ámbito de la producción, transporte, distribución, almacenaje y uso de la energía eléctrica.

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-3. Evaluar el impacto económico, social y ambiental de la producción, uso y gestión de la energía, con una visión holística del ciclo de vida de los diferentes sistemas. Reconocer y valorar las novedades más destacables en los ámbitos de la eficiencia energética y del uso racional de la energía.

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.

Dedicación: 17h

Grupo grande/Teoría: 2h

Grupo mediano/Prácticas: 2h

Actividades dirigidas: 1h

Aprendizaje autónomo: 12h

Contenido 3. Fenomenología de la combustión y análisis de cámaras de combustión

Descripción:

contenido castellano

Competencias relacionadas:

CEMT-6. Aplicar criterios técnicos y económicos en la selección del equipo eléctrico más adecuado para una determinada aplicación. Dimensionar equipos e instalaciones eléctricas. Reconocer y valorar las aplicaciones tecnológicas más novedosas en el ámbito de la producción, transporte, distribución, almacenaje y uso de la energía eléctrica.

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-3. Evaluar el impacto económico, social y ambiental de la producción, uso y gestión de la energía, con una visión holística del ciclo de vida de los diferentes sistemas. Reconocer y valorar las novedades más destacables en los ámbitos de la eficiencia energética y del uso racional de la energía.

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-9. Llevar a cabo proyectos relacionados con la gestión de la energía en diferentes sectores productivos y de servicios, reconociendo y valorando los avances y novedades en este campo y aportando ideas novedosas.

Dedicación: 36h 30m

Grupo grande/Teoría: 5h

Grupo mediano/Prácticas: 4h 30m

Actividades dirigidas: 3h

Aprendizaje autónomo: 24h

Contenido 4. Turbomáquinas axiales: turbinas de gas y de vapor

Descripción:

contenido castellano

Competencias relacionadas:

CEMT-6. Aplicar criterios técnicos y económicos en la selección del equipo eléctrico más adecuado para una determinada aplicación. Dimensionar equipos e instalaciones eléctricas. Reconocer y valorar las aplicaciones tecnológicas más novedosas en el ámbito de la producción, transporte, distribución, almacenaje y uso de la energía eléctrica.

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-3. Evaluar el impacto económico, social y ambiental de la producción, uso y gestión de la energía, con una visión holística del ciclo de vida de los diferentes sistemas. Reconocer y valorar las novedades más destacables en los ámbitos de la eficiencia energética y del uso racional de la energía.

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-9. Llevar a cabo proyectos relacionados con la gestión de la energía en diferentes sectores productivos y de servicios, reconociendo y valorando los avances y novedades en este campo y aportando ideas novedosas.

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: 26h

Grupo grande/Teoría: 3h

Grupo mediano/Prácticas: 2h

Actividades dirigidas: 3h

Aprendizaje autónomo: 18h

Contenido 5. Motores alternativos de combustión interna

Descripción:

contenido castellano

Competencias relacionadas:

CEMT-6. Aplicar criterios técnicos y económicos en la selección del equipo eléctrico más adecuado para una determinada aplicación. Dimensionar equipos e instalaciones eléctricas. Reconocer y valorar las aplicaciones tecnológicas más novedosas en el ámbito de la producción, transporte, distribución, almacenaje y uso de la energía eléctrica.

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.

Dedicación: 27h 30m

Grupo grande/Teoría: 4h

Grupo mediano/Prácticas: 2h 30m

Actividades dirigidas: 2h

Aprendizaje autónomo: 19h

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.

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: 30h

Grupo grande/Teoría: 20h

Aprendizaje autónomo: 10h



Clases prácticas

Competencias relacionadas:

CEMT-9. Llevar a cabo proyectos relacionados con la gestión de la energía en diferentes sectores productivos y de servicios, reconociendo y valorando los avances y novedades en este campo y aportando ideas novedosas.

CEMT-6. Aplicar criterios técnicos y económicos en la selección del equipo eléctrico más adecuado para una determinada aplicación. Dimensionar equipos e instalaciones eléctricas. Reconocer y valorar las aplicaciones tecnológicas más novedosas en el ámbito de la producción, transporte, distribución, almacenaje y uso de la energía eléctrica.

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-3. Evaluar el impacto económico, social y ambiental de la producción, uso y gestión de la energía, con una visión holística del ciclo de vida de los diferentes sistemas. Reconocer y valorar las novedades más destacables en los ámbitos de la eficiencia energética y del uso racional de la energía.

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: 30h

Grupo mediano/Prácticas: 20h

Aprendizaje autónomo: 10h

Trabajo teórico-práctico dirigido

Competencias relacionadas:

CEMT-6. Aplicar criterios técnicos y económicos en la selección del equipo eléctrico más adecuado para una determinada aplicación. Dimensionar equipos e instalaciones eléctricas. Reconocer y valorar las aplicaciones tecnológicas más novedosas en el ámbito de la producción, transporte, distribución, almacenaje y uso de la energía eléctrica.

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-9. Llevar a cabo proyectos relacionados con la gestión de la energía en diferentes sectores productivos y de servicios, reconociendo y valorando los avances y novedades en este campo y aportando ideas novedosas.

CEMT-3. Evaluar el impacto económico, social y ambiental de la producción, uso y gestión de la energía, con una visión holística del ciclo de vida de los diferentes sistemas. Reconocer y valorar las novedades más destacables en los ámbitos de la eficiencia energética y del uso racional de la energía.

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: 28h

Actividades dirigidas: 8h

Aprendizaje autónomo: 20h



Pruebas de conocimiento

Competencias relacionadas:

CEMT-9. Llevar a cabo proyectos relacionados con la gestión de la energía en diferentes sectores productivos y de servicios, reconociendo y valorando los avances y novedades en este campo y aportando ideas novedosas.

CEMT-6. Aplicar criterios técnicos y económicos en la selección del equipo eléctrico más adecuado para una determinada aplicación. Dimensionar equipos e instalaciones eléctricas. Reconocer y valorar las aplicaciones tecnológicas más novedosas en el ámbito de la producción, transporte, distribución, almacenaje y uso de la energía eléctrica.

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-3. Evaluar el impacto económico, social y ambiental de la producción, uso y gestión de la energía, con una visión holística del ciclo de vida de los diferentes sistemas. Reconocer y valorar las novedades más destacables en los ámbitos de la eficiencia energética y del uso racional de la energía.

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: 2h

Actividades dirigidas: 2h

SISTEMA DE CALIFICACIÓN

BIBLIOGRAFÍA

Básica:

- Stone, Richard. Introduction to internal combustion engines [en línea]. 4th ed. Houndmills (Hampshire): Macmillan Press, 2012 [Consulta: 04/05/2020]. Disponible a: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/upcatalunya-ebooks/detail.action?docID=4763640>. ISBN 9780230576636.
- Benson, Rowland S. The Thermodynamics and gas dynamics of internal-combustion engines. Oxford: Oxford University Press, 1982-1986. ISBN 0198562101.
- Bergman, T. L.. Fundamentals of heat and mass transfer. 8th ed. Wiley: New York, 2020. ISBN 9781119722489.
- Eckert, E. R. G.; Drake, Robert M. Analysis of heat and mass transfer. Washington: Hemisphere Pub. Corp, cop. 1972. ISBN 0891165533.
- Lumley, John L. Engines : an introduction. New York [etc.]: Cambridge University Press, 1999. ISBN 0521644895.
- Shapiro, Ascher H.. The dynamics and thermodynamics of compressible fluid flow. Malabar: Robert E Krieger Pub Co, 1985.
- Pope, S. B. Turbulent flows. Repr. with corr.. Cambridge [etc.]: Cambridge University Press, 2000. ISBN 0521591252.
- Warnatz, J.; Maas, U.; Dibble, R. W. Combustion : physical and chemical fundamentals, modelling and simulation, experiments, pollutant formation. 4th ed. Berlin: Springer, 2006. ISBN 9783642065309.
- Patankar, Suhas V. Numerical heat transfer and fluid flow [en línea]. Washington: 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 9780891165224.
- Ferziger, Joel H. [et al.]. Computational methods for fluid dynamics [en línea]. 4th ed.. Cham: Springer, 2019 [Consulta: 16/11/2022]. Disponible a: <https://link-springer-com.recursos.biblioteca.upc.edu/book/10.1007/978-3-319-99693-6>. ISBN 9783319996912.
- Saravanamuttoo, H. I. H.; Rogers, G. F. C.; Cohen, H. Gas turbine theory [en línea]. 7th ed. Harlow, England: Prentice Hall, 2017 [Consulta: 30/03/2023]. Disponible a : <https://ebookcentral-proquest-com.recursos.biblioteca.upc.edu/lib/upcatalunya-ebooks/detail.action?docID=5175062>. ISBN 9781292093130.
- Ferguson, Colin R.; Kirkpartrick, Allan T. Internal combustion engines : applied thermosciences. 3rd ed. New York [etc.]: John Wiley & Sons, 2015. ISBN 9781118533314.
- Ganesan, V. Internal combustion engines. New Delhi: McGraw-Hill, 2012. ISBN 9781259006197.

Complementaria:

- Lakshminarayana, B. Fluid dynamics and heat transfer in turbomachinery. New York: John Wile & Sons, Inc, 1996. ISBN 0471855464.
- The Jet engine. London: Rolls-Royce, 2005. ISBN 9781119065999.
- Lecuona, A.; Nogueira, J. I. Turbomáquinas : procesos, análisis y tecnología. Barcelona: Ariel, 2000. ISBN 9788434480292.
- Mataix, Claudio. Turbomáquinas térmicas : turbinas de vapor, turbinas de gas, turbocompresores. 3ª ed. Madrid: Dossat 2000, [1998]. ISBN 842370727X.
- Mattingly, Jack D.. Elements of gas turbine propulsion. New York: American Institute of Aeronautics and Astronautics, cop. 2005. ISBN 1563477785.
- Kuo, Kenneth K.. Principles of combustion. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, cop. 2005. ISBN 0471046892.
- Turns, Stephen R. An Introduction to combustion : concepts and applications. 3rd ed. New York: McGraw-Hill International Edition, 2012. ISBN 9780071086875.
- Williams, F. A. Combustion theory : the fundamental theory of chemically reacting flow systems. 2nd ed. Menlo Park, Calif: Benjamin/Cummings, cop. 1985. ISBN 0805398015.
- Poinso, Thierry; Veynante, Denis. Theoretical and numerical combustion. 2nd ed. Philadelphia: Edwards, cop. 2005. ISBN 1930217102.
- Cumpsty, N. Jet propulsion : a simple guide to the aerodynamic and thermodynamic design and performance of jet engines. 3rd ed. New York: Cambridge Univeristy Press, 2015. ISBN 9781107511224.

RECURSOS

Material audiovisual:

- Notes made by the professor of the course. Recurso
- Transparencies, proposed problems to be used in class. Recurso