



Grado en Física 26922 - Termodinámica

Guía docente para el curso 2012 - 2013

Curso: 3, Semestre: 1, Créditos: 6.0

Información básica

Profesores

- **Elías Palacios Latasa** elias@unizar.es

Recomendaciones para cursar esta asignatura

Se recomienda haber cursado las Asignaturas de los cursos 1º y 2º de la titulación u otras de contenido similar, con especial hincapié en:

26900 Fundamentos de Física I (1er Curso, 1er Cuatrimestre) con especial hincapié en las Competencias 8 y 9:
Comportamiento de gases ideales y Principios Fundamentales de la Termodinámica.
26914 Ecuaciones Diferenciales (2º curso, 1er cuatrimestre)

Se recomienda haber cursado las Asignaturas de los cursos 1º y 2º de la titulación u otras de contenido similar, con especial hincapié en:

26900 Fundamentos de Física I (1er Curso, 1er Cuatrimestre) con especial hincapié en las Competencias 8 y 9:
Comportamiento de gases ideales y Principios Fundamentales de la Termodinámica.
26914 Ecuaciones Diferenciales (2º curso, 1er cuatrimestre)

Actividades y fechas clave de la asignatura

Ver más abajo, Sección: PLANIFICACIÓN Y CALENDARIO

Las clases presenciales se imparten durante el periodo lectivo del 1er cuatrimestre del curso , de acuerdo con el calendario académico que la Universidad y la Junta de la Facultad de Ciencias decidan.

Las prácticas de laboratorio se realizarán en la segunda quincena de noviembre y primera de diciembre.

La evaluación continua se realizará durante todo el periodo de clases presenciales.

Los exámenes se realizarán en las fechas que la Junta de Facultad decida, normalmente entre enero y febrero (1ª convocatoria). La segunda convocatoria tendrá lugar normalmente en la 1ª quincena de septiembre.

Ver más abajo, Sección: PLANIFICACIÓN Y CALENDARIO.

Las clases presenciales se imparten durante el periodo lectivo del 1er cuatrimestre del curso , de acuerdo con el calendario académico que la Universidad y la Junta de la Facultad de Ciencias decidan.

Las prácticas de laboratorio se realizarán en la segunda quincena de noviembre y primera de diciembre.

La evaluación continua se realizará durante todo el periodo de clases presenciales.

Los exámenes se realizarán en las fechas que la Junta de Facultad decida, normalmente entre enero y febrero (1ª

convocatoria). La segunda convocatoria tendrá lugar normalmente en la 1ª quincena de septiembre.

Inicio

Resultados de aprendizaje que definen la asignatura

El estudiante, para superar esta asignatura, deberá demostrar los siguientes resultados...

- 1:** Calcular los parámetros de equilibrio para distintas paredes o ligaduras.
- 2:** Obtener relaciones fundamentales a partir de las ecuaciones de estado y viceversa.
- 3:** Calcular los rendimientos de diversos dispositivos termodinámicos.
- 4:** Obtener potenciales termodinámicos de distintos sistemas.
- 5:** Obtener expresiones termodinámicas a partir de las relaciones de Maxwell.
- 6:** Obtener las características básicas de una transición de fase discontinua.

Introducción

Breve presentación de la asignatura

Se pretende estudiar las leyes de la Termodinámica y su aplicación a los sistemas de muchas partículas partiendo de los postulados fundamentales. Se extiende el conocimiento básico adquirido en Fundamentos de Física I (1er Curso, 1er cuatrimestre). Esto tanto por la herramienta matemática utilizada, con uso frecuente de derivadas parciales de funciones de varias variables, como por el contenido. Se estudian sistemas más generales y menos simples que el gas ideal y se introducen y usan otros potenciales termodinámicos además de la energía y entropía. Se dedica un capítulo al estudio de las transiciones de fase de primer orden. El estudio es teórico-práctico de modo que se dedican 6 horas por alumno a la realización de prácticas de laboratorio.

Contexto y competencias

Sentido, contexto, relevancia y objetivos generales de la asignatura

La asignatura y sus resultados previstos responden a los siguientes planteamientos y objetivos:

El principal objetivo de la Termodinámica (etimológicamente, en griego: "estudio de las fuerzas que mueven el calor") es el conocimiento de las leyes generales que rigen el comportamiento de la materia como un sistema formado por un gran número de partículas, como átomos o moléculas, del cual se desprenden los fenómenos térmicos, que son aquéllos en los que hay absorción o emisión de calor.

Se parte de unos postulados fundamentales cuyo fundamento fue establecido históricamente en el siglo XIX por observación, pero se menciona que la Física Estadística será capaz de demostrarlos (este mismo 3er Curso en el 2º cuatrimestre) a partir de las leyes de la Mecánica que rigen el comportamiento individual de cada partícula, pero estadísticamente, realizando promedios o sumas sobre muchas de ellas.

Según el conocimiento de la Física ya desde principios del siglo XX y en un desarrollo puramente lógico la Termodinámica vendría después del estudio de la Física Estadística y muchos textos la enfocan así. Sin embargo el grado de abstracción de la Física Estadística y la necesidad de un conocimiento de la Física Cuántica para su estudio aconsejan posponerla al estudio de la Termodinámica Clásica. En realidad sólo los postulados requieren una cierta dosis de abstracción y aceptación para ser asimilados, pero una vez aceptados se pueden extraer muchas consecuencias, mediante desarrollos matemáticos relativamente sencillos y con resultados más cercanos a la experiencia intuitiva que en la Física Estadística. Comprendiendo este hecho, la organización del Grado de Física en esta Universidad ha incluido el estudio de la Termodinámica antes que el de la Física Estadística.

Una vez aceptados los postulados básicos en primer lugar se introduce el concepto de ecuación fundamental de un sistema termodinámico que relaciona todos los parámetros extensivos del sistema (como energía, entropía, volumen y número de partículas en el caso de un gas), sus propiedades y las condiciones exigibles para que esté de acuerdo con los postulados. A continuación se deduce el teorema del trabajo máximo extraíble por una máquina en contacto con focos térmicos.

Posteriormente se introducen los potenciales termodinámicos como transformadas de Legendre de la energía o la entropía. Se hace especial hincapié en el significado y las propiedades de la entalpía, energía libre de Helmholtz y energía libre de Gibbs. La igualdad de las derivadas segundas mixtas de los potenciales nos demuestra las relaciones de Maxwell. Se muestra un procedimiento sistemático para deducir las variaciones de cualquier magnitud en un proceso dado usando solamente los datos experimentales más comunes que son la capacidad calorífica, la expansión térmica y la compresibilidad isoterma. Con esto estamos en condiciones de estudiar el comportamiento de la materia en transiciones de fase de Primer Orden, y todo ello se va a aplicar al estudio de la materia particularizando al comportamiento de mezclas de gases, disoluciones y termodinámica de las reacciones químicas. Finalmente se da una introducción a la termodinámica de sistemas fuera del equilibrio y especialmente al estudio de los fenómenos termoeléctricos.

Esta asignatura incide directamente en los tres objetivos generales de la titulación de Graduado en Física:

“O1. Proporcionar conocimiento teórico y experimental de los principios generales de la física y de las técnicas e instrumentación de uso más habitual, con hincapié en aquellos aspectos de especial relevancia por su trascendencia conceptual o su visibilidad en el entorno científico, tecnológico y social.

O2 -Dotar a los graduados de una formación versátil y polivalente que les capacite para el ejercicio de actividades de carácter profesional en el ámbito científico-tecnológico, incluyendo actividades de investigación, innovación y desarrollo dentro de equipos multidisciplinares.

O.3 -Capacitar al alumno para seguir con aprovechamiento estudios de grado superior (máster, doctorado, etc.).”(Memoria de la Titulación de Graduado/a en Física, 3.1 Objetivos)

El principal objetivo de la Termodinámica (etimológicamente, en griego: “estudio de las fuerzas que mueven el calor”) es el conocimiento de las leyes generales que rigen el comportamiento de la materia como un sistemas formados por un gran número de partículas, como átomos o moléculas, del cual se desprenden los fenómenos térmicos, que son aquéllos en los que hay absorción o emisión de calor.

Se parte de unos postulados fundamentales cuyo fundamento fue establecido históricamente en el siglo XIX por observación, pero se menciona que la Física Estadística será capaz de demostrarlos (este mismo 3er Curso en el 2º cuatrimestre) a partir de las leyes de la Mécanica que rigen el comportamiento individual de cada partícula, pero estadísticamente, realizando promedios o sumas sobre muchas de ellas.

Según el conocimiento de la Física ya desde principios del siglo XX y en un desarrollo puramente lógico la Termodinámica vendría después del estudio de la Física Estadística y muchos textos la enfocan así. Sin embargo el grado de abstracción de la Física Estadística y la necesidad de un conocimiento de la Física Cuántica para su estudio aconsejan posponerla al estudio de la Termodinámica Clásica. En realidad sólo los postulados requieren una cierta dosis de abstracción y aceptación para ser asimilados, pero una vez aceptados se pueden extraer muchas consecuencias, mediante desarrollos matemáticos relativamente sencillos y con resultados más cercanos a la experiencia intuitiva que en la Física Estadística. Comprendiendo este hecho, la organización del Grado de Física en esta Universidad ha incluido el estudio de la Termodinámica antes que el de la Física Estadística.

Una vez aceptados los postulados básicos en primer lugar se introduce el concepto de ecuación fundamental de un sistema termodinámico que relaciona todos los parámetros extensivos del sistema (como energía, entropía, volumen y número de partículas en el caso de un gas), sus propiedades y las condiciones exigibles para que esté de acuerdo con los postulados. A continuación se deduce el teorema del trabajo máximo extraíble por una máquina en contacto con focos térmicos.

Posteriormente se introducen los potenciales termodinámicos como transformadas de Legendre de la energía o la entropía. Se hace especial hincapié en el significado y las propiedades de la entalpía, energía libre de Helmholtz y energía libre de Gibbs. La igualdad de las derivadas segundas mixtas de los potenciales nos demuestra las relaciones de Maxwell. Se muestra un procedimiento sistemático para deducir las variaciones de cualquier magnitud en un proceso dado usando solamente los datos experimentales más comunes que son la capacidad calorífica, la expansión térmica y la compresibilidad isoterma. Con esto estamos en condiciones de estudiar el comportamiento de la materia en transiciones de fase de Primer Orden, y todo ello se va a aplicar al estudio de la materia particularizando al comportamiento de mezclas de gases, disoluciones y termodinámica de las reacciones químicas. Finalmente se da una introducción a la termodinámica de

sistemas fuera del equilibrio y especialmente al estudio de los fenómenos termoeléctricos.

Esta asignatura incide directamente en los tres objetivos generales de la titulación de Graduado en Física:

“O1. Proporcionar conocimiento teórico y experimental de los principios generales de la física y de las técnicas e instrumentación de uso más habitual, con hincapié en aquellos aspectos de especial relevancia por su trascendencia conceptual o su visibilidad en el entorno científico, tecnológico y social.

O2. Dotar a los graduados de una formación versátil y polivalente que les capacite para el ejercicio de actividades de carácter profesional en el ámbito científico-tecnológico, incluyendo actividades de investigación, innovación y desarrollo dentro de equipos multidisciplinares.

O3. Capacitar al alumno para seguir con aprovechamiento estudios de grado superior (máster, doctorado, etc.).”(Memoria de la Titulación de Graduado/a en Física, 3.1 Objetivos)"

Contexto y sentido de la asignatura en la titulación

La asignatura 26922 Termodinámica se encuadra dentro del módulo FÍSICA CLÁSICA de la Titulación de Graduado/a en Física. Dicho módulo está formado por asignaturas que corresponden a las cuatro grandes ramas en que se divide tradicionalmente la Física Clásica: Mecánica Clásica, Termodinámica, Electromagnetismo y Óptica. En dicho módulo, las asignaturas 26912 Mecánica Clásica I y 26916 Mecánica Clásica II cubren la primera rama, 26915 Electromagnetismo la tercera, 26923 Óptica la cuarta y 26919 Ondas Electromagnéticas participa de la tercera y de la cuarta. La asignatura que ahora nos ocupa, 26922 Termodinámica cubre la segunda rama, completando el cuerpo de doctrina de la Física Clásica. Por otra parte está directamente relacionada con la Asignatura del mismo 3er Curso de la Titulación pero del segundo cuatrimestre 26925 Física Estadística, que usa las leyes tanto de la Mecánica Clásica como de la Cuántica y Relativista y queda encuadrada en el módulo Estructura de la Materia. Ya se ha comentado que las leyes fundamentales de la Termodinámica pueden derivarse a partir de la Física Estadística, pero que pedagógicamente es aconsejable estudiar primero aquélla antes que ésta.

La asignatura 26922 Termodinámica se encuadra dentro del módulo FÍSICA CLÁSICA de la Titulación de Graduado/a en Física. Dicho módulo está formado por asignaturas que corresponden a las cuatro grandes ramas en que se divide tradicionalmente la Física Clásica: Mecánica Clásica, Termodinámica, Electromagnetismo y Óptica. En dicho módulo, las asignaturas 26912 Mecánica Clásica I y 26916 Mecánica Clásica II cubren la primera rama, 26915 Electromagnetismo la tercera, 26923 Óptica la cuarta y 26919 Ondas Electromagnéticas participa de la tercera y de la cuarta. La asignatura que ahora nos ocupa, 26922 Termodinámica cubre la segunda rama, completando el cuerpo de doctrina de la Física Clásica.

Por otra parte está directamente relacionada con la Asignatura del mismo 3er Curso de la Titulación pero del segundo cuatrimestre 26925 Física Estadística, que usa las leyes tanto de la Mecánica Clásica como de la Cuántica y Relativista y queda encuadrada en el módulo Estructura de la Materia. Ya se ha comentado que las leyes fundamentales de la Termodinámica pueden derivarse a partir de la Física Estadística, pero que pedagógicamente es aconsejable estudiar primero aquélla antes que ésta.

Al superar la asignatura, el estudiante será más competente para...

- 1:** Conocer y aplicar adecuadamente los postulados de la Termodinámica para obtener las condiciones de equilibrio en sistemas con ligaduras.
- 2:** Comprender y aplicar la estructura formal de la Termodinámica.
- 3:** Comprender la asimetría de los procesos termodinámicos y su relación con el teorema de trabajo máximo.
Comprender la asimetría de los procesos termodinámicos y su relación con el teorema de trabajo máximo.
4. Uti
- 4:** Utilizar adecuadamente los potenciales termodinámicos.
- 5:** Comprender las condiciones de estabilidad.
- 6:**

Conocer y estudiar las propiedades térmicas más usuales de la materia.

Importancia de los resultados de aprendizaje que se obtienen en la asignatura:

Como ya se ha mencionado la Termodinámica es uno de los cuatro pilares en que se basa la Física Clásica y su estudio constituye un paso imprescindible en el conocimiento de las leyes de la Física, entendidas como las "las reglas del juego" por las que se rige la Naturaleza. Por otra parte, aunque de por sí la Física Clásica es ya una buena aproximación a muchos fenómenos observados, la Termodinámica escapa del marco de la Física Clásica ya que sus postulados básicos, originalmente formulados a partir de la observación, pueden deducirse estadísticamente a partir de las leyes de la Física Moderna, e incluso algunos no pueden de hechos deducirse solamente a partir del Mecánica Clásica (por ejemplo el Tercer Principio).

Evaluación

Actividades de evaluación

El estudiante deberá demostrar que ha alcanzado los resultados de aprendizaje previstos mediante las siguientes actividades de evaluación

1:

Evaluación continua (30%):

Evaluación continua:

Consistirá en la realización de 3 trabajos escritos por grupos de 2 personas y exposición pública individual durante 15 minutos. El alumno que no presente o exponga alguno de los tres pasará a ser evaluado como "no presencial", mediante prueba global única escrita.

Se evaluará sobre un máximo de 3 puntos.

1. Trabajo sobre las prácticas de laboratorio. Máximo 8 páginas. Puntuará hasta 2 puntos

2. Dos trabajos de realización de problemas o ampliación de la teoría. Puntuarán hasta 0.5 puntos cada uno.

1. Trabajo sobre las prácticas de laboratorio. Máximo 8 páginas. Puntuará hasta 2 puntos

2. Dos trabajos de realización de problemas o ampliación de la teoría. Puntuarán hasta 0.5 puntos cada uno.

2:

Examen escrito (70%).

Examen escrito.

Se tratará de contestar por escrito y sin ayuda de libros, una batería de problemas y preguntas de teoría durante un tiempo aproximado de 3 horas.

La prueba se evaluará sobre un máximo 7 puntos, que sumados al resultado de la evaluación continua darán

la nota final sobre 10.
La prueba se evaluará sobre un máximo 7 puntos, que sumados al resultado de la evaluación continua darán la nota final sobre 10.

Superación de la asignatura mediante una prueba global única

Consistirá en el mismo examen escrito que para los alumnos presenciales (sobre 7) y además otro adicional sobre 3.

El examen adicional:

1. Durará una hora y media.

2. Contendrá una pregunta específicamente sobre las prácticas de laboratorio, que valdrá 2 puntos y una cuestión (pequeño problema) que valdrá 1 punto.

Consistirá en el mismo examen escrito que para los alumnos presenciales (sobre 7) y además otro adicional sobre 3.

El examen adicional:

1. Durará una hora y media.

2. Contendrá una pregunta específicamente sobre las prácticas de laboratorio, que valdrá 2 puntos y una cuestión (pequeño

problema) que valdrá 1 punto.

Actividades y recursos

Presentación metodológica general

El proceso de aprendizaje que se ha diseñado para esta asignatura se basa en lo siguiente:

Las metodologías de enseñanza-aprendizaje que se plantean para conseguir los objetivos planteados y adquirir las competencias son las siguientes:

M1. Lecciones magistrales: presentan al alumno los contenidos teóricos básicos para lograr la adquisición por su parte de las competencias específicas asociadas CE1, CE2, CE3 y CE6,, tal como están definidas en la memoria de verificación de la Titulación, secc 3.2, pág. 34).

M2. Realización de problemas: permiten la adquisición de las competencias en casos concretos sin la abstracción característica de la teoría pura. (CE1, CE2, CE6).

M3. Prácticas de laboratorio: sirven para comparar el mundo real, con sus limitaciones prácticas con la teoría, que describe situaciones idealizadas. También para hacerse cargo de las limitaciones que imponen las aproximaciones teóricas, que no siempre se dan en el mundo real. las competencias específicas a alcanzar son CE7, CE8 y CE9.

M4. Realización de trabajos: permiten la evaluación del alumno, especialmente en cuanto a las competencias específicas CE1, CE2, CE6, y las competencias generales CG1, CG5, CG8.

M5. Examen de la asignatura: permite la evaluación de todas las competencias y objetivos de la asignatura.

Las metodologías de enseñanza-aprendizaje que se plantean para conseguir los objetivos planteados y adquirir las competencias son las siguientes:

M1. Lecciones magistrales: presentan al alumno los contenidos teóricos básicos para lograr la adquisición por su parte de las competencias específicas asociadas CE1, CE2, CE3 y CE6,, tal como están definidas en la memoria de verificación de la Titulación, secc 3.2, pág. 34).

M2. Realización de problemas: permiten la adquisición de las competencias en casos concretos sin la abstracción característica de la teoría pura. (CE1, CE2, CE6).

M3. Prácticas de laboratorio: sirven para comparar el mundo real, con sus limitaciones prácticas con la teoría, que describe situaciones idealizadas. También para hacerse cargo de las limitaciones que imponen las aproximaciones teóricas, que no siempre se dan en el mundo real. las competencias específicas a alcanzar son CE7, CE8 y CE9.

M4. Realización de trabajos: permiten la evaluación del alumno, especialmente en cuanto a las competencias específicas CE1, CE2, CE6, y las competencias generales CG1, CG5, CG8.

M5. Examen de la asignatura: permite la evaluación de todas las competencias y objetivos de la asignatura.

Actividades de aprendizaje programadas (Se incluye programa)

El programa que se ofrece al estudiante para ayudarle a lograr los resultados previstos comprende las siguientes actividades...

1:

El programa se organiza por capítulos. Cada uno de ellos se estructura siguiente forma:

El programa se organiza por capítulos. Cada uno de ellos se estructura siguiente forma:

- **Lecciones magistrales:** Cada capítulo tiene una o dos lecciones magistrales, en las que se presentan al alumno los contenidos generales del bloque.

- Sesiones prácticas (problemas): se resuelven en clase problemas de aplicación de los contenidos del bloque, tanto por parte del profesor como de los alumnos que voluntariamente plantean dudas o consultas. También por parte de los alumnos que voluntariamente plantean dudas o consultas. Los trabajos se proponen sobre contenidos de cada capítulo.

La organización por capítulos es la siguiente:

Trabajos propuestos: Los trabajos se proponen sobre contenidos de cada capítulo.

Capítulo I: Principios Fundamentales de la Termodinámica

Capítulo II: Ecuación fundamental, parámetros intensivos, ecuaciones de estado y equilibrio.

La organización por capítulos es la siguiente:

Capítulo III: Algunos fundamentos de la Termodinámica. Gas ideal, fluido de van der Waals, radiación electromagnética, banda de goma, sólido paramagnético clásico ideal.

Capítulo IV: Reversión fundamental, parámetros intensivos, ecuaciones de estado y equilibrio.

Capítulo V: Transformaciones de Legendre y potenciales termodinámicos. Principios de mínimo de los potenciales. Algunos modelos termodinámicos simples: gas ideal, fluido de van der Waals, radiación electromagnética, banda de goma, sólido paramagnético clásico ideal.

Capítulo VI: Relaciones de Maxwell. Reducción de derivadas.

Capítulo VII: Estabilidad de sistemas termodinámicos. Principio de le Chatelier.

Capítulo VIII: Transiciones de fase de Primer Orden.

Capítulo IX: Propiedades de las mezclas de gases ideales, de las disoluciones y termodinámica de las reacciones químicas.

Capítulo X: Termodinámica Irreversible. Fenómenos termoeléctricos.

Capítulo VI: Relaciones de Maxwell. Reducción de derivadas.

Capítulo VII: Estabilidad de sistemas termodinámicos. Principio de le Chatelier.

Capítulo VIII: Transiciones de fase de Primer Orden.

Capítulo IX: Propiedades de las mezclas de gases ideales, de las disoluciones y termodinámica de las reacciones químicas.

Capítulo X: Termodinámica Irreversible. Fenómenos termoeléctricos.

Prácticas de laboratorio.

Práctica 1: Efecto Joule-Thomson en varios gases no ideales. Capacidad calorífica de gases.

Práctica 2: Ciclo de Stirling del aire como fundamento de máquina térmica y refrigerador.

La organización de las actividades en horas presenciales es la siguiente, según la ficha de la Asignatura 26922 "Termodinámica", tal como figura en el Plan de Ordenación Docente del Grado:

-T1, Lecciones magistrales: 40 horas presenciales

-T2, Problemas: 14 horas presenciales

-T3, Prácticas de Laboratorio, 6 horas presenciales

-T6 y T7 Trabajos: 14 horas, no presenciales

-T7 Estudio: 71 horas no presenciales

-T8, Evaluación: 5 horas (presenciales: 2 horas de exposición + 3 horas examen, no presenciales: 5 horas examen, con 30 minutos de descanso).

Dedicación total 6 créditos ECTS o un total de 150 horas (presenciales y no presenciales) por alumno en un cuatrimestre. Las actividades T1 y T2 suponen una dedicación no presencial aproximada de 71 horas indicada como "estudio".

Planificación y calendario

Calendario de sesiones presenciales y presentación de trabajos

Fechas dependientes del calendario académico y horarios establecidos por la Facultad. El tiempo de estudio puede estimarse en unas 1.2 horas de estudio por hora presencial, y por capítulos, aproximadamente proporcional al tiempo de clases.

Exposición de problemas realizados.

Durante todo el periodo de clases presenciales, dos exposiciones cada alumno, por turnos a distribuir en la primera semana de curso.

Exposición de problemas realizados: Durante todo el periodo de clases presenciales, dos exposiciones cada alumno, por

turnos a distribuir en la primera semana de curso.

Prácticas de laboratorio: 2 sesiones de 3 horas por alumno. Entre final de noviembre y comienzo de diciembre.

Presentación de trabajos de prácticas: Segunda mitad de diciembre.

Exámenes: En fechas establecidas por la Facultad, que de modo orientativo son entre enero y febrero para 1ª convocatoria y en la primera mitad de septiembre para 2ª convocatoria.

Bibliografía

1. H.B. Callen, "Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics", John Wiley & sons, 1985.
2. H.B. Callen, "Termodinámica", AC, 1981
3. M.J. Moran, H.N. Shapiro, "Fundamentos de Termodinámica Técnica", Reverté, 2004.

1. H.B. Callen, "Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics", John Wiley & sons, 1985.

2. H.B. Callen, "Termodinámica", AC, 1981

3. M.J. Moran, H.N. Shapiro, "Fundamentos de Termodinámica Técnica", Reverté, 2004.

Referencias bibliográficas de la bibliografía recomendada

- Callen, Herbert B.. Termodinámica : Introducción a las teorías físicas de la termostática del equilibrio y de la termodinámica irreversible / Herbert B. Callen ; traducción, Manuel Zamora Carranza . - [1a ed.] Madrid : AC, D.L. 1981
- Callen, Herbert B.. Thermodynamics and an introduction to thermostatistics / Herbert B. Callen . - 2nd ed. New York : John Wiley and Sons, cop. 1985
- Çengel, Yunus A.. Termodinámica / Yunus A. Çengel, Michael A. Boles ; revisión técnica, Ignacio Apraiz Buesa ... [et al.] . 7ª ed. Mexico [etc.] : McGraw-Hill Interamericana, cop. 2012
- Landau, Lev Davydovich. Curso de Física Teórica. Vol. 5, Física estadística / L.D. Landau, E.M. Lifshitz. - Ed. en español, reimp. Barcelona [etc.] : Reverté, imp. 2002
- Moran, Michael J.. Fundamentos de termodinámica técnica / Michael J. Moran, Howard N. Shapiro . - 2ª ed. en español Barcelona [etc.] : Reverté, D.L. 2004