

Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Cuyo			
Asignatura:	TERMODINÁMICA Y MÁQUINAS TÉRMICAS		
Profesor Titular:	Ing. MANUEL MAMANI		
Carrera:	Ingeniería Industrial - Mecatrónica		
Año: 2013	Semestre: 2do.	Horas Semestre: 90	Horas Semana: 6

OBJETIVOS

Que el Alumno en el proceso de enseñanza aprendizaje logre:

- Comprender y aplicar los principios fundamentales de la Termodinámica.
- Conocer las transformaciones de las distintas formas de Energía y propiedades de las distintas sustancias que intervienen en tales procesos.
- Comprender con toda claridad la importancia en los problemas de ingeniería relacionados con el "máximo trabajo útil" o Exergía,
- Conocer los principios básicos de funcionamiento de las máquinas de combustión interna y externa, máquinas frigoríficas y los ciclos teóricos que describen.
- Conocer los fenómenos de equilibrio en sistemas homogéneos y heterogéneos de composición invariable y variable.
- Comprender los distintos procesos que pueden tener lugar con el aire húmedo.
- Elegir correctamente la bibliografía a consultar frente a un problema específico y saber usar tablas, ábacos, diagramas y programas de computación.

CONTENIDOS

UNIDAD 1: CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Termodinámica: objeto, importancia, alcances y limitaciones. Definiciones y convenciones.

1.A. Sistema y medio ambiente

Parámetros, definición macroscópica y microscópica de un sistema. Sistemas abiertos, cerrados, homogéneos, heterogéneos, ideales y reales. Estado de un sistema, propiedades extensivas e intensivas, distintos sistemas termodinámicos, variables que lo definen.

1.B. Equilibrio termodinámico

Potenciales mecánicos, térmicos y químicos. Transformaciones abiertas y cerradas, reversibles e irreversibles, ideales y reales. Equilibrio térmico, principio cero de la termodinámica. Temperatura: concepto, termometría. Escalas.

1.C. Sustancias puras

Propiedades P-V-T de una sustancia pura. Fase de equilibrio: vapor-líquido-sólido. Ecuaciones de estado para la fase vapor de una sustancia simple compresible. Tablas de propiedades termodinámicas. Superficies P-V-T.

UNIDAD 2: PRIMER PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA. ECUACIONES ENERGÉTICAS

2.A. Calor

Calor, naturaleza, concepto, unidades. Capacidad calorífica. Calor específico verdadero o instantáneos, calor específico medio, variabilidad de los calores específicos. Calores específicos principales. Flujo calorífico cuasiestático. Foco calorífico. Cálculo del calor intercambiado entre sistema y medio. Convención de signos. Tablas de calores específicos.

2.B. Trabajo

Trabajo, naturaleza, definición, concepto, signo. Cálculo del trabajo transferido entre sistema y medio. Trabajo de expansión o compresión cuasiestático o reversible. Diagrama P-V, El trabajo depende de la trayectoria. Otros sistemas con trabajo por límite móvil. Observaciones relativas al trabajo. Unidades.

2.C. Energía Interna.

Energía interna generalizada o total almacenada. Su naturaleza. Energía interna: U. La energía interna propiedad termodinámica, Experiencia de Joule, energía interna del gas ideal y no ideal.

2.D. Primer Principio de la Termodinámica.

Primer principio, su enunciación experimental. Formulación matemática para un sistema

cerrado. Ecuación energética de un Sistema Cerrado.

UNIDAD 3: PRIMER PRINCIPIO PARA SISTEMAS ABIERTOS.

3.A. Ecuación Energética

Ecuación de la energía o primer principio para sistemas abiertos (volumen de control) en flujo estable (circulantes). Trabajo de árbol. Trabajo de circulación, representación gráfica. Ecuación de la energía para sistemas abiertos en flujo no estable

3.B. Aplicaciones del primer principio para sistemas abiertos

Aplicación del primer principio para sistemas abiertos en flujo estable a procesos adiabáticos en una tobera, en una turbina, en un compresor, en un tabique poroso o estrangulación, en un fluido incompresible (líquido) por una tubería.

3.C. Propiedad Termodinámica: Energía Interna y Entalpía

La energía interna propiedad termodinámica. Entalpía propiedad termodinámica, entalpía del gas ideal y no ideal. Algunas propiedades de la entalpía. Comparación entre la energía interna y la entalpía.

UNIDAD 4: GASES IDEALES Y REALES. TRANSFORMACIONES

4.A. Gases Ideales y Reales. Relaciones P-V-T

El gas ideal o perfecto. Ecuación de estado del gas ideal. Gases reales. Ecuación de estado de Van der Waals. Ecuación de estado reducida. Ley de los estados correspondientes. Otras ecuaciones de estado para gases reales. Factor de compresibilidad.

4.B. Mezclas de Gases Ideales y Reales

Mezcla de gases ideales. Ley de Amagat y ley de Dalton. Propiedades de las mezcla de gases ideales. Mezcla de gases reales. Propiedades de las mezcla de gases reales. Parámetros pseudocríticos y pseudo reducidos. Regla de Kay. Determinación de Z_m de una mezcla de gases reales.

4.C. Transformaciones o Procesos

Transformaciones ideales de un gas ideal para Sistemas Cerrados y Abiertos en Régimen Estacionario: ecuaciones características de las isocóras, isóbaras, isotérmicas, adiabáticas y politrópicas. Representación gráfica en el plano dinámico. Cálculo de los cambios energéticos en cada transformación considerando los calores específicos constantes y variables con la temperatura.

UNIDAD 5: TERMOQUÍMICA

5.A. Sistemas Químicos Reactivos

Calor de reacción. Descripción de los sistemas químicos reactivos. Variable grado de avance de la reacción. El primer principio de la termodinámica aplicada a las reacciones químicas. Reacción a presión constante. Determinación de la entalpía molar de las sustancias químicas. Entalpía normal de formación.

5.B. Leyes Termoquímicas

Dependencia de los calores de reacción con la temperatura. Ecuación de Kirchhoff. Reacciones a volumen constante. Relación entre ΔH_{PT} y ΔU_{VT} .

5.C. Combustión

La Combustión. Combustibles. Proceso de la combustión. Análisis de los productos de la combustión. Calor normal de combustión. Poder calorífico superior e inferior de un combustible. Temperatura máxima de reacción. Temperaturas reales de llama. Diagrama entálpico para la combustión.

UNIDAD 6: SEGUNDO PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA

6.A. Enunciados del Segundo Principio

Necesidad de enunciar el segundo principio. Transformación de trabajo en calor y viceversa. Enunciados del segundo principio según Carnot, Kelvin, Planck, Kelvin-Planck, Clausius. Equivalencia de los enunciados de Kelvin-Planck y Clausius.

6.B. Reversibilidad e Irreversibilidad

Reversibilidad e irreversibilidad en distintos procesos. Generalización a las transformaciones reales. Condiciones necesarias para la reversibilidad.

6.C. Transformación del Calor en Trabajo

Máquinas térmicas y frigoríficas reversibles. Teorema de Carnot. Corolarios del teorema de Carnot. Ciclos reversibles. Ciclo de Carnot.

UNIDAD 7: ENTROPÍA

7.A. Teorema de Clausius

Algunas propiedades de los ciclos reversibles. Teorema de Clausius para ciclos reversibles e irreversibles. Formulación matemática del segundo principio.

7.B. Concepto de Entropía

Entropía. Propiedades. Entropía e irreversibilidad. El segundo principio como principio de aumento de la entropía. La entropía como probabilidad de estados termodinámicos. Cálculo de la variación de entropía para gases ideales y transformaciones reversibles.

7.C. Diagramas y Tercer Principio Termodinámico

Diagramas entrópicos. Diagrama entrópico para gases perfectos con calores específico constante y variables. Diagrama entrópico para vapores. El cambio de entropía de una sustancia pura. Entropías y tercer principio de la termodinámica.

UNIDAD 8: EXERGÍA O DISPONIBILIDAD

8.A. Concepto

Concepto de exergía y anergía. Importancia. Calor utilizable o exergía del calor. Trabajo máximo o reversible. Trabajo perdido. Exergía debido a un desequilibrio mecánico. Casos particulares.

8.B. Sistemas Cerrados y Abiertos

Exergía de un sistema cerrado. Exergía de un sistema abierto en régimen estable. Rendimiento exergético de las instalaciones.

UNIDAD 9: EQUILIBRIO DE FASES. ENERGÍA LIBRE

9.A. Potenciales Termodinámicos

La energía interna, la entalpía, la función de Helmholtz y la energía libre como potenciales extensivos termodinámicos. Relaciones termodinámicas entre propiedades. Relaciones de Maxwell.

9.B. Equilibrio de Fases

El problema del equilibrio de fase. Esencia del problema. Termodinámica clásica de los equilibrios de fase. Sistemas homogéneos cerrados multicomponentes: combinación del 1º y 2º principios de la termodinámica.

9.C. Energía Libre

Energía libre de Gibbs. Cálculo de ΔG en algunos ejemplos concretos. Energías libres normales. Dependencia de G con T y con P . Relación cuantitativa entre ΔG y la constante de equilibrio de una reacción. Dependencia con la temperatura de la energía libre y la constante de equilibrio de una reacción. Sistema de un componente. Vapores. Análisis por las energías libres. Ecuación de Clapeyron y Clapeyron-Clausius.

UNIDAD 10: CICLOS DE MOTORES DE GAS

10.A. Ciclos Termodinámicos

Estudio termodinámico de los ciclos de aire y diferencia entre los ciclos ideal y real.

10.B. Ciclo Otto

Descripción, determinación del rendimiento, relación de compresión y causas que la limitan, variación del rendimiento con la relación de compresión.

10.C. Ciclo Diesel y Semidiesel

Diesel. Descripción, determinación del rendimiento, relación de compresión y relación de inyección, comparación con el ciclo Otto. Ciclo Semidiesel: Descripción, determinación de rendimiento.

10.D. Potencia y rendimiento

Ciclo indicado. Análisis de un ciclo indicado. Potencia indicada. Potencia efectiva. Rendimiento mecánico. Presión media efectiva. Rendimientos.

UNIDAD 11: CICLOS DE MAQUINAS DE VAPOR Y CICLOS FRIGORÍFICOS

11.A. Ciclos de Maquinas de Vapor

Ciclos de máquinas de vapor: Ciclo de Carnot para fluidos condensables. Rendimiento del ciclo y relación trabajo. Ciclo de Rankine. Introducción de Mejoras. Ciclo con expansión multietapa y ciclo regenerativo. Cogeneración.

11.B. Ciclos Frigoríficos

Ciclos de refrigeración o ciclos frigoríficos. Concepto de máquina frigorífica y de bomba de

calor. Ciclo inverso de Carnot, Ciclos a compresión de vapor en régimen húmedo y en régimen seco. Mejoras para aumentar la eficiencia. Doble compresión con refrigeración intermedia, subenfriamiento del líquido, doble expansión. Sistemas de refrigeración por absorción

UNIDAD 12: TURBINAS DE GAS

12.A. Ciclo Brayton

Ciclo abierto y ciclo cerrado. Ciclo Brayton. Rendimiento térmico. Relaciones de trabajo máximo. Diferencias entre el ciclo Brayton real e ideal. Rendimiento isoentrópico del compresor y de la turbina.

12.B. Optimización - Rendimientos

Mejoras para aumentar el rendimiento térmico de una turbina: Regeneración. Compresión multietapa con refrigeración intermedia. Expansión multietapa con recalentamiento. Aplicaciones más frecuentes de las turbinas de gas.

UNIDAD 13: AIRE HÚMEDO

13.A. Mezcla de aire y agua

Análisis del sistema aire vapor de agua: humedad absoluta, máxima, relativa y grado de saturación. Entalpía del aire húmedo. Punto de rocío. Mezclas de corrientes de aire húmedo.

13.B. Temperaturas – Cálculo y Medición

Temperatura de Rocío. Temperatura de Saturación. Temperatura de Bulbo Seco. Temperatura de Bulbo Húmedo. Psicrómetro. Temperatura de Saturación Adiabática.

13.C. Tablas y Diagramas

Tablas de aire húmedo. Diagrama Psicrométrico. Diagrama entálpico. Procesos con aire húmedo.

PROGRAMA DE TRABAJOS PRÁCTICOS

1. **Propiedades de las Sustancias Puras:** Análisis y cálculo de valores numéricos de las propiedades termodinámicas en sistemas constituidos por una sustancia pura. Uso de tablas y diagramas.

2. **Experiencia de laboratorio:** Determinación de calores específicos de sólidos en un calorímetro de mezclas. Cálculo en gabinete del calor intercambiado entre sistema y medio, mediante el uso de valores obtenidos en el laboratorio y de calores molares o específicos instantáneos medios o variables con la temperatura, haciendo uso de tablas y gráficos para su selección.

3. **Trabajo – Primer Principio para Sistemas Cerrados.** Intercambio de trabajo para distintos procesos y sistemas termodinámicos cerrados. Aplicación del primer principio a la evolución de sistemas cerrados con procesos abiertos y cerrados. Determinación de las energías puestas en juego.

4. **Primer Principio para Sistemas Abiertos:** Aplicación del primer principio a procesos en régimen estacionarios y no estacionarios representativos de casos simples pero reales de aplicación en la industria.

5. **Gases Ideales y Reales. Mezclas y Transformaciones:** Uso de distintas ecuaciones de estado. Resolución numérica de problemas con gases considerando comportamiento ideal y real. Comparación de resultados y verificación de los mismos en tablas de propiedades. Representación esquemática de las transformaciones.

6. **Calores de Reacción y Formación. Leyes. Temperatura Máxima:** Determinación de calores de reacción, formación y combustión en distintas reacciones con aplicación en cada caso de las leyes de la termodinámica (Lavoisier, Hess, Kirchhoff). Uso de tablas y diagramas. Cálculos básicos de combustión con determinación y uso del poder calorífico de un combustible y temperatura máxima de combustión analítica y gráficamente.

7. **Entropía y Exergía:** Cálculo y determinación de variaciones de entropía, de los sistemas termodinámicos en transformaciones reales con determinación de la energía utilizable y no utilizable para visualización de la degradación de la energía y sus consecuencias.

8. **Energía Libre.** Cálculo y determinación de variaciones de energía libre, de los sistemas termodinámicos en transformaciones reales, reacciones químicas y cambios de fase.

9. **Ciclos de Máquinas Térmicas:** Estudio de los ciclos ideales descriptos en las distintas máquinas térmicas de combustión interna o externa, con determinación de parámetros característicos del sistema y las energías puestas en juego, las eficiencias de la primera y segunda ley.

10. **Aire Húmedo:** Aplicación del diagrama psicrométrico en la determinación de humedad absoluta, relativa, temperatura de rocío, volumen específico, humedad de saturación. Estudio del estado final en la mezcla de dos masas de aire distintas, mediante el empleo de tablas y mediante el uso del diagrama de calor del aire húmedo o diagrama de Mollier.

METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA

El curso de Termodinámica, destinado a futuros ingenieros, tiene contenidos teóricos y prácticos de aplicación en la resolución de problemas sencillos pero reales de la ingeniería de procesos. Se trata de inducir en el alumno la inquietud científica y entrenarlo en descubrir problemas tecnológicos, identificando datos e incógnitas. Así esos problemas tecnológicos pueden ser planteados y solucionados. Para ello se programan las siguientes actividades:

- Clases Teóricas
- Resolución de problemas de gabinete
- Experiencia en laboratorio

El profesor expone los fenómenos físico-químicos en consideración, explicando los modelos matemáticos que lo describen mediante:

- Deducción de ecuaciones básicas en el pizarrón.
- Exposición con presentaciones proyectadas de desarrollos matemáticos que insumirían más tiempo.
- Incentivación de la audiencia mediante cuestionamientos participativos
- Indicación precisa del texto donde el alumno podrá encontrar la deducción y desarrollo de los modelos matemáticos presentados en clase.

Actividad	Carga horaria por semestre
• Teoría y resolución de ejercicios simples	41
• Formación práctica	
Formación Experimental – Laboratorio	6
Resolución de problemas de ingeniería	43
Total	90

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía básica

Autor	Título	Editorial	Año	Ej. en biblioteca
CALDERÓN, LISANDRO	Cuadernillos de Termodinámica	Fac. de Ing. U.N.C	2000	Videos
CENGEL Y BOLES	Termodinámica Tomos I y II	McGraw-Hill 4ta.Ed	2002	5
CENGEL Y BOLES	Termodinámica Tomos I y II	McGraw-Hill 5ta.Ed	2008	15
GIACOSA DANTE	Motores Endotérmicos	Barcelona-Omega	1988	1
KENNET WARK JR	Termodinámica	McGraw-Hill 6ta.Ed	2001	12
SONNTAG Y VAN WYLEN	Termodinámica Clásica y Estadística	México, D.F.- Limusa	1977	5
WARK Y RICHARDS	Termodinámica		2001	

Bibliografía complementaria

EVALUACIONES

Autor	Título	Editorial	Año	Ej. en biblioteca
ESTRADA, A de	Termodinámica Técnica	Buenos Aires - Alsina	1958	15
GARCÍA, CARLOS A.	Termodinámica Técnica	Buenos Aires - Alsina	1984	28
GLASSTONE	Termodinámica para Químicos	Madrid - Aguilar	1966	5
SEARS, F. W.	Introducción a la Term., Teoría Cinética de los gases y Mecánica Estadística	Barcelona - Reverté,	1959	5
SMITH Y VAN NESS	Termodinámica en Ingeniería Química	New York- McGraw-Hill	1987	
ZEMANSKY M. W.	Calor y Termodinámica	Bilbao - Aguilar.	1968	1

INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN

Los recursos que permiten comprobar el aprendizaje de los alumnos son:

- **Trabajos prácticos:** en las clases teóricas el alumno recibe la información mínima conceptual que le permite abordar la resolución de problemas de aplicación a casos reales, durante las clases prácticas destinadas al efecto y con la asistencia del personal docente. El alumno debe tener en cuenta que cada problema exige la producción de un informe ya que no se trata de un "conjunto de cuentas". Es decir, no solo importa el resultado final sino también su interpretación, además de la forma de describir el método de cálculo y las fuentes de información usadas.
- **Pruebas parciales escritas:** los alumnos deben rendir 4 parciales y si fuera necesario, un Recuperatorio Global. Para obtener la regularidad se deben acumular un mínimo de 231 puntos sobre un máximo de 400. Los parciales incorporan problemas o casos de aplicación similares a los resueltos por los alumnos en clase.
- **Exposición final escrita y oral:** es de carácter teórico-práctico integrador. Los alumnos que en sus 4 parciales sumados hayan superado los 300 puntos, inician el examen directamente con un tema teórico asignado por un docente. En cambio aquellos alumnos que habiendo obtenido la Regularidad en la materia pero con un puntaje menor, iniciarán el examen con la resolución de un problema o caso de su carpeta de Trabajos Prácticos (CTP) que le será asignado por un docente para después continuar con los temas teóricos.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN

- ser capaz de exponer organizadamente cualquiera de los temas desarrollados en el Programa analítico.
- tener destreza en el manejo de tablas y gráficos utilizados en la resolución de problemas
- definir con exactitud los Principios de la Termodinámica y cada una de las propiedades estudiadas
- saber graficar los fenómenos termodinámicos que se estudian mediante sus propiedades.
- memorizar los fenómenos termodinámicos, las características asumidas y las limitaciones iniciales impuestas para la deducción de las ecuaciones que los modelizan.
- interpretar en forma minuciosa las ecuaciones obtenidas y el uso práctico que se desprende de ellas.
- ser capaz de interrelacionar temas que en el Programa Analítico se presentan en forma separada porque no hay temas aislados que puedan ser analizados independientemente.

Programa de examen

Bolilla 1:	Unidades	I	y	VIII
Bolilla 2:	Unidades	II	y	IX
Bolilla 3:	Unidades	III	y	XII
Bolilla 4:	Unidades	IV	y	XIII
Bolilla 5:	Unidades	V	y	VII
Bolilla 6:	Unidades	VI	y	X
Bolilla 7 :	Unidades	VII	y	XI