

Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Cuyo				
Asignatura:	Asignatura: TERMODINÁMICA Y MÁQUINAS TÉRMICAS			
Profesor Titular:	ular: Ing. TERESA F. RAUEK			
Carrera:	Ingeniería Industrial - Mecatrónica			
Año: 2014	Semestre: 2do.	Horas Semestre: 90	Horas Semana: 6	

#### **OBJETIVOS**

Que el Alumno en el proceso de enseñanza aprendizaje logre:

- a) Comprender y aplicar los principios fundamentales de la Termodinámica.
- b) Conocer las transformaciones de las distintas formas de energía y propiedades de las distintas sustancias que intervienen en tales procesos.
- c) Conocer los principios básicos de funcionamiento de las máquinas de combustión interna y externa, máquinas frigoríficas y los ciclos teóricos que describen.
- d) Conocer los fenómenos de equilibrio en sistemas homogéneos y heterogéneos de composición invariable y variable.
- e) Identificar y priorizar los aspectos mejorables de un proceso en el que se intercambia energía considerando su aprovechamiento.
- f) 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**

- 1.A. Sistema y medio ambiente. Termodinámica: objeto, importancia, alcances y limitaciones. Definiciones y convenciones. 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: GASES IDEALES Y REALES.**

- **2.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.
- **2.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 pseudorreducidos. Regla de Kay. Determinación de Zm de una mezcla de gases reales.

# UNIDAD 3: PRIMER PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA PARA SISTEMAS CERRADOS

- **3.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.
- **3.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.
- 3.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.

**3.D. Primer Principio de la Termodinámica.** Primer principio, su enunciación experimental. Formulación matemática para un sistema cerrado. Ecuación energética de un Sistema Cerrado.

#### UNIDAD 4: PRIMER PRINCIPIO PARA SISTEMAS ABIERTOS. TRANSFORMACIONES

- **4.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
- **4.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.
- **4.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.
- **4.D 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. Calculo 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 Kirchoff. Reacciones a volumen constante. Relación entre  $\Delta H_{PT}$  y  $\Delta U_{VT}$ .
- **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 QUÍMICO Y DE FASE. ENERGÍA LIBRE

- **9.A.** Potenciales termodinámicos. Sistemas homogéneos cerrados multicomponentes: combinación del 1º y 2º principios de la termodinámica. La energía interna, la entalpía, la función de Helmholtz y la energía libre como potenciales extensivos termodinámicos. Relaciones termodinámicas entre propiedades. Relaciones de Maxwell. Ecuación de Clapeyron.
- **9.B.** Energía Libre y equilibrio químico. Energía libre de Gibbs. Cálculo de  $\Delta G$  en algunos ejemplos concretos. Energías libres normales. Dependencia de G con T. Dependencia de G con P. Relación cuantitativa entre  $\Delta G$  y la constante de equilibrio de una reacción. Concepto de fugacidad.
- **9.C Equilibrio de Fase.** El problema del equilibrio de fase. Esencia del problema. Termodinámica clásica de los equilibrios de fase. Sistema de un componente. Regla de la fase. Sistema multicomponente.

#### **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 maquina 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. **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
- 3. **Calor y Trabajo:** Intercambio de calor en sistemas P-v-T. Calculo de calores específicos y su variación con T. Cálculo del trabajo para distintos procesos y sistemas termodinámicos cerrados.
- 4. **Primer Principio para Sistemas Cerrado:** Aplicación del primer principio a la evolución de sistemas cerrados con procesos abiertos y cerrados. Determinación de las energías puestas en juego.
- 5. **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.
- 6. **Transformaciones**: Cálculo de propiedades y de intercambios energéticos en procesos ideales con gases ideales. Representación esquemática de las transformaciones.
- 7. **Termoquímica:** Determinación de calores de reacción, formación y combustión en distintas reacciones con aplicación en cada caso de las leyes de la termodinámica (Lavoisier, Hess, Kirchoff). 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.
- 8. **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.
- 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.

**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.

Resolución de problemas con EES: Utilización del programa Engineering Equation Solver (EES) para la resolución de problemas de Termodinámica.

# 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 en aula y en sala de informática
- 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	43
Formación práctica	
Formación Experimental – Laboratorio	3
Resolución de problemas de ingeniería	44
Total	90





## BIBLIOGRAFÍA

Ribliografía básica

Título	Editorial	Año	Ejemplares en biblioteca
Cuadernillos de Termodinámica	Fac. de Ing. U.N.C	2000	Videos
Termodinámica Tomos I y II	McGraw-Hill 4ta.Ed	2002	5
Termodinámica Tomos I y II	McGraw-Hill 5ta.Ed	2008	15
Motores Endotérmicos	Barcelona-Omega	1988	1
Termodinámica	McGraw-Hill 6ta.Ed	2001	12
Term. Clásica y Estadística	Mx., D.FLimusa	1977	5
Termodinámica		2001	
	Cuadernillos de Termodinámica Termodinámica Tomos I y II Termodinámica Tomos I y II Motores Endotérmicos Termodinámica Term. Clásica y Estadística	Cuadernillos de Termodinámica Fac. de Ing. U.N.C Termodinámica Tomos I y II McGraw-Hill 4ta.Ed Termodinámica Tomos I y II McGraw-Hill 5ta.Ed Motores Endotérmicos Barcelona-Omega Termodinámica McGraw-Hill 6ta.Ed Term. Clásica y Estadística Mx., D.FLimusa	Cuadernillos de Termodinámica Fac. de Ing. U.N.C 2000 Termodinámica Tomos I y II McGraw-Hill 4ta.Ed 2002 Termodinámica Tomos I y II McGraw-Hill 5ta.Ed 2008 Motores Endotérmicos Barcelona-Omega 1988 Termodinámica McGraw-Hill 6ta.Ed 2001 Term. Clásica y Estadística Mx., D.FLimusa 1977

#### Bibliografía complementaria

#### **EVALUACIONES**

#### 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.

Autor	Título	Editorial	Año	Ejemplares en biblioteca
ESTRADA, A de	Termodinámica Técnica	Bs. AsAlsina	1958	15
GARCÍA, CARLOS A.	Termodinámica Técnica	Bs. As Alsina	1984	28
		Madrid - Aguilar	1966	5
	Introducción a la Term.,Teoría Cinética de los gases y Mecánica Estadística		1959	5
SMITH Y VAN NESS	Termodinámica en Ingeniería Química	McGraw-Hill	1987	
ZEMANSKY M. W.	Calor y Termodinámica	Bilbao - Aguilar.	1968	1

- Pruebas parciales escritas: Los alumnos deben rendir 3 parciales y si fuera necesario, un Recuperatorio Global. Para obtener la regularidad se deben acumular un mínimo de 166 puntos sobre un máximo de 300p (Con puntajes acumulados en teoría P 35p y en práctica P 130p). Los parciales incorporan preguntas de teoría y 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 3 parciales sumados hayan superado los 220 puntos (Con puntajes acumulados en teoría P 45p y en práctica P 170p), 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

BOLILLAS								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.A	1.B	1.C	2.A	2.B	3.A, D	3.B, D	3.C, D	4.A
4.B, C	4.D	5.A	5.B	5.C	6.A	6.B	6.C	7.A
7.B	7.C	8.A	8.B	9.A	9.B	9.C	13.A	13.B
13.C	10.A,B,D	10.A,C,D	11.A	11.B	12.A	12.B	11.A	10.A,C,D