Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Cuyo			
Asignatura:	**TERMODINÁMICA Y MÁQUINAS TÉRMICAS**		
Profesor Titular:	**Esp. Ing. TERESA F. RAUEK**		
Carrera:	**Ingeniería Industrial - Mecatrónica**		
Año: 2018	**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 las propiedades de las 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, diagramas y software específico.

CONTENIDOS

UNIDAD 1: CONCEPTOS FUNDAMENTALES

1.A. Sistema y medio ambiente. Termodinámica: objeto, importancia, alcances y limitaciones. Definiciones y convenciones. Definición macroscópica y microscópica de un sistema. Sistemas abiertos, cerrados, homogéneos, heterogéneos, ideales y reales. Estado de un sistema, propiedades extensivas e intensivas.

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

1.C. Sustancias puras. Concepto de sustancia pura y de fase. Propiedades P-v-T de una sustancia pura. Fases de equilibrio: vapor-líquido-sólido. Diagramas T-v ; P-T y P-v Ecuaciones para una mezcla saturada líquido vapor. Postulado de estado. Superficie de estado P-v-T. Tablas de propiedades termodinámicas.

UNIDAD 2: GASES IDEALES Y REALES.

2.A. Gases Ideales y Reales. Relaciones P-V-T. El gas ideal. Ecuación de estado del gas ideal. Gases reales. Experiencia de Andrews. Ecuación de estado de Van der Waals. Otras ecuaciones de estado para gases reales. Ecuación de estado reducida. Ley de los estados correspondientes. 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. Determinación de Zm de una mezcla de gases reales.

UNIDAD 3: PRIMER PRINCIPIO DE LA TERMODINAMICA PARA SISTEMAS CERRADOS

3.A. Calor. Naturaleza, concepto, unidades. Capacidad calorífica. Calor específico verdadero o instantáneos, calor especifico 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. Naturaleza, definición, concepto, signo. Cálculo del trabajo transferido entre sistema y medio. Trabajo de expansión o compresión cuasiestático o reversible. Diagrama

P-V. Otros sistemas con trabajo por límite móvil. Unidades.
3.C. Energía Interna. Energía interna generalizada. Su naturaleza. Energía interna: U como 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*. Primer principio de la Termodinámica para sistemas abiertos**. Volumen de control. Balance de masa. Ecuación del primer principio para sistemas abiertos en flujo no estable. Flujo estable o estacionario. Balance de masa y energía para sistemas abiertos en flujo estable. Trabajo de circulación, representación gráfica.
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 intercambiador de calor, en una caldera, en un tabique poroso o estrangulación, en un fluido incompresible por una tubería.
4.C. Entalpía. 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: TERMOQUIMICA
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. Entalpía normal de formación.
5.B. Leyes Termoquímicas. Ley de Lavoisier Laplace. Ley de Hess. Dependencia de los calores de reacción con la temperatura. Ecuación de Kirchoff. 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 recíproca entre el calor y el trabajo. Enunciados del segundo principio según Carnot, 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 Balance. Diagrama entrópico para gases perfectos y para vapores. Cambio de entropía de una sustancia pura. Balance de entropía para sistemas cerrados y abiertos.

UNIDAD 8: EXERGÍA
8.A. Concepto. Concepto de exergía. Trabajo máximo o reversible. Trabajo perdido. Exergía debido a desequilibrios mecánico y térmico. Exergía de un sistema cerrado
8.B. Sistemas Abiertos y Balance. Exergía de un sistema abierto. Transferencia de exergía por calor. Balance de exergía para sistemas cerrados y abiertos. Rendimiento exergético.

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.
9.B. Energía Libre y equilibrio químico. Energía libre de Gibbs. Energías libres normales. Dependencia de G con T. Dependencia de G con P. Relación cuantitativa entre ΔG y la constante de equilibrio de una reacción. Concepto de fugacidad.
9.C Equilibrio de Fase. El problema del equilibrio de fases. Esencia del problema. Termodinámica clásica de los equilibrios de fase. Sistema de un componente. Estabilidad de las fases. Sistema multicomponente. Regla de las fases. Ecuación de Clapeyron.

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.

UNIDAD 11: CICLOS DE MAQUINAS DE VAPOR Y CICLOS FRIGORIFICOS
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. Mejoras para aumentar la eficiencia. Doble compresión con refrigeración intermedia, subenfriamiento del líquido, doble expansión. Casos de aplicación. 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:*** 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, Trabajo y Primer Principio para Sistemas Cerrados:*** 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. Aplicación del primer principio a la evolución de sistemas cerrados con procesos abiertos y cerrados. Cálculo de variación de energía interna. Determinación de las energías puestas en juego.
4. ***Primer Principio para Sistemas Abiertos:*** Aplicación del primer principio a procesos en régimen estacionario y no estacionario, representativos de casos simples pero de aplicación en la industria.
5. **Transformaciones**: Cálculo de propiedades y de intercambios energéticos en procesos ideales, con gases ideales, en sistemas cerrados y abiertos. Representación esquemática de las transformaciones.
6. ***Termoquímica:*** Determinación de calores de reacción, formación y combustión en distintas reacciones. Aplicación 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. Cálculo de 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. Aplicación del balance de entropía para sistemas cerrados y abiertos. Determinación de entropía generada. Cálculos de exergía para sistemas cerrados y abiertos. Aplicación del balance de exergía. Determinación de exergía destruida.
8. ***Ciclos de Máquinas Térmicas y de Refrigeración:*** Estudio de los ciclos ideales descriptos en las distintas máquinas térmicas de combustión interna o externa, con determinación de parámetros característicos del sistema, de las energías puestas en juego y de las eficiencias de la primera y segunda ley. Cálculo de propiedades y energías intercambiadas en máquinas térmicas. Determinación de coeficiente de operación.
9. ***Aire Húmedo:*** Determinación de humedad absoluta, relativa, temperatura de rocío, volumen específico, humedad de saturación, temperatura de bulbo húmedo, analíticamente y mediante el diagrama psicrométrico. Estudio del estado final en la mezcla de dos masas de aire distintas, mediante el empleo de tablas y mediante el uso del diagrama diagrama de Mollier.
10. ***Resolución de problemas con EES:*** *Utilización del programa Engineering Equation* Solver (EES) para la resolución de problemas de Termodinámica.

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.

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 y fundamentando los modelos matemáticos que lo describen, mediante:

- Exposición de las unidades temáticas con proyección de presentaciones en las que se desarrollan los contenidos.
- Presentación de ejemplos relacionados con los conceptos teóricos, a fin de acercar al alumno a los conceptos que se busca impartir.
- Incentivación de la audiencia mediante cuestionamientos participativos.
- Proyección de animaciones con el funcionamiento de equipos y máquinas.

- Indicación 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**	50
• **Formación práctica**	
Formación Experimental – Laboratorio	1
Resolución de problemas de ingeniería	39
Total	**90**

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía básica

Autor	Título	Editorial	Año	Ejemp. en biblioteca
CALDERÓN LISANDRO	Cuadernillos de Termodinámica	Fac. de Ing. U.N.C	2000	Videos
CENGEL Y BOLES	Termodinámica	Mc Graw-Hill 4º /5º Ed.	2002	20
MORAN Y SHAPIRO	Termodinámica Técnica. T. I y II	Barcelona-Reverté	1999	3
KENNET WARK JR	Termodinámica	McGraw-Hill 6º Ed.	2001	12
SONNTAG Y VAN WYLEN	Termodinámica Clásica y Estadística	México, D.F.-Limusa	1977	5

Bibliografía complementaria

Autor	Título	Editorial	Año	Ejemp. en biblioteca
ESTRADA, A de	Termodinámica Técnica	Buenos Aires - Alsina	1958	15
GARCÍA, CARLOS A.	Termodinámica Técnica	Buenos Aires - Alsina	1984	28
GIACOSA DANTE	Motores Endotérmicos	Barcelona-Omega	1988	1
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
ZEMANSKY M. W.	Calor y Termodinámica	Bilbao - Aguilar	1968	1

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.
- **Evaluaciones 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 mayor o igual a 35p y en práctica mayor o igual a 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 mayor o igual a 45p y en práctica mayor o igual a 170p), inician el examen directamente con un tema teórico asignado por un docente. En cambio aquellos alumnos que hayan 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

- Para lograr la aprobación de la asignatura, en la instancia del examen final integrador, el alumno deberá:
  - Ser capaz de exponer organizadamente cualquiera de los temas desarrollados en el Programa analítico.
  - Definir con exactitud los Principios de la Termodinámica y cada una de las propiedades estudiadas
  - Explicar 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.
  - Saber graficar los procesos termodinámicos en diagramas apropiados.
  - Demostrar destreza en el manejo de tablas y gráficos utilizados en la resolución de casos o problemas.
  - 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**	**11.B**