

## PROGRAMA DE CURSO MÁQUINAS

### A. Antecedentes generales del curso:

Departamento	Mecánica (DIMEC)					
Nombre del curso	Máquinas	Código	ME4240	Créditos	6	
Nombre del curso en inglés	<i>Turbomachines &amp; boilers</i>					
Horas semanales	Docencia	1,5	Auxiliares	1,5	Trabajo personal	5,5
Carácter del curso	Obligatorio	X		Electivo		
Requisitos	ME4140: Transferencia de calor					

### B. Propósito del curso:

El curso tiene como propósito que los y las estudiantes apliquen leyes y principios de la termodinámica, transferencia de calor y mecánica de fluidos en el análisis del funcionamiento, dimensionamiento, selección y diseño de turbomáquinas de vapor, a gas e hidráulicas, de uso frecuente en la industria y en centrales generadoras de energía.

Para ello, utilizan nociones elementales del fenómeno de combustión a fin de evaluar y seleccionar combustibles más apropiados (gaseosos, líquidos y sólidos), para el rendimiento de las máquinas, en base a criterios relacionados con ventajas y desventajas en la generación de calor y en las emisiones contaminantes, entre otros.

El curso tributa a las siguientes competencias específicas (CE) y genéricas (CG):

CE1: Concebir, formular y aplicar modelos físico-matemáticos para la resolución de problemas relacionados con el diseño de componentes, equipos y sistemas mecánicos.

CE2: Interpretar los resultados de la modelación y simulación de fenómenos relacionados con el diseño de componentes, equipos y sistemas mecánicos, estableciendo la pertinencia de las técnicas utilizadas para ello.

CE4: Diseñar componentes, equipos y sistemas mecánicos para la industria y la generación de energía.

CG1: Comunicación académica y profesional

Comunicar en español de forma estratégica, clara y eficaz, tanto en modalidad oral como escrita, puntos de vista, propuestas de proyectos y resultados de investigación fundamentados, en situaciones de comunicación compleja, en ambientes sociales, académicos y profesionales.

**CG2: Comunicación en inglés**

Leer y escuchar de manera comprensiva en inglés una variedad de textos e informaciones sobre temas concretos o abstractos, comunicando experiencias y opiniones, adecuándose a diferentes contextos y a las características de la audiencia.

**CG5: Sustentabilidad:**

Concebir y aplicar nuevas estrategias de solución a problemas de ingeniería y ciencias en el marco del desarrollo sostenible, considerando la finitud de recursos, la interacción entre diferentes actores sociales, ambientales y económicos, además de las regulaciones correspondientes.

**B. Resultados de aprendizaje:**

Competencias específicas	Resultados de aprendizaje
CE1	RA1: Usa nociones elementales de combustión para la selección de combustibles (gaseosos, líquidos y sólidos), dadas sus ventajas e inconvenientes, así como criterios y parámetros en la generación de calor y emisiones contaminantes, resolviendo ecuaciones de combustión.
CE2	RA2: Calcula y dimensiona turbomáquinas a vapor, a gas e hidráulicas para el funcionamiento de plantas de potencia y equipos generadores de vapor.
CE4	RA3: Concibe anteproyectos de centrales hidráulicas, considerando principios y leyes de la mecánica de fluidos, utilizando parámetros de funcionamiento, para el dimensionamiento, selección y diseño de turbomaquinarias hidráulicas.
Competencias genéricas	Resultados de aprendizaje
CG1, CG2	RA4: Lee comprensivamente, en español e inglés, textos sobre diseño y uso de tecnología de turbomáquinas, estableciendo vínculos entre los nuevos conceptos que se extraen de la lectura con aprendizajes de la ingeniería aplicables a máquinas.
CG5	RA5: Analiza y evalúa los combustibles comúnmente utilizados en máquinas térmicas a fin de determinar sus atributos tecnológicos que permiten disminuir la producción de CO <sub>2</sub> y otros contaminantes, considerando ventajas y desventajas.

#### D. Unidades temáticas:

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
1	RA1, RA2	Combustibles y combustión	3 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p><b>1.1. COMBUSTIBLES TRADICIONALES:</b></p> <p>1.1.1. Tipos de Combustibles tradicionales (gaseosos, líquidos sólidos).</p> <p>1.1.2. Particularidades de los combustibles tradicionales para una combustión óptima (más calor, menos contaminante).</p> <p>1.1.3. Otros combustibles (alcoholes biogás, Hidrógeno).</p> <p>1.1.4. Métodos de refinación de petróleo crudo.</p> <p>1.1.5. Índice octano y cetano en combustibles líquidos.</p> <p>1.1.6. Análisis Inmediato y coquificación de carbones sólidos.</p> <p><b>1.2. PODER CALORÍFICO DE LOS COMBUSTIBLES TRADICIONALES:</b></p> <p>1.2.1. Superior (PCS, HHV) e Inferior (PCI, LHV).</p> <p><b>1.3. RUDIMENTOS DE COMBUSTIÓN:</b></p> <p>1.3.1. Conservación de la masa y principios de la termodinámica).</p> <p>1.3.2. Combustión real (aire teórico, relación Aire/Fuel, riqueza, exceso de aire, análisis de gases de combustión).</p> <p>1.3.3. Ecuación generalizada de combustión.</p> <p>1.3.4. Calor de reacción, temperatura de llama adiabática.</p> <p>1.3.5. Tipos de llama (Difusión, Premezcla).</p>		<p>El/la estudiante:</p> <p>1. Aplica nociones elementales sobre combustibles y combustión (conservación de masa, principios de la termodinámica) como criterios a considerar para el funcionamiento de máquinas térmicas (turbinas a vapor, turbinas a gas).</p>	
Bibliografía de la unidad		[1, 2, 3]	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
2	RA1, RA2, RA4	Turbinas de vapor	3,5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p><b>2.1. TURBINAS DE VAPOR:</b></p> <p>2.1.1. Clasificación de las Turbomáquinas.</p> <p>2.1.2. Principio de Reacción y de Acción.</p> <p>2.1.3. Principio de funcionamiento de las Turbinas de vapor de reacción, acción, mixtas.</p> <p>2.1.4. Evolución de presión y velocidad de turbinas de acción y de reacción; grado de reacción.</p> <p>2.1.5. Clasificación de las turbinas de vapor.</p> <p><b>2.2. ECUACIÓN GENERAL DE FLUJO PERMANENTE DE UN FLUIDO.</b></p> <p>2.2.1. Expansión adiabática isentrópica y real en toberas (rendimiento de tobera).</p> <p>2.2.2. Turbina de acción; rendimiento periférico</p> <p>2.2.3. Triángulo de velocidades.</p> <p>2.2.4. Ecuación de Euler; Trabajo Periférico</p> <p>2.2.5. Escalonamiento en Turbinas de Acción.</p> <p>2.2.6. Análisis de pérdidas en turbinas de vapor; rendimientos.</p> <p>2.2.7. Velocidad específica.</p> <p><b>2.3. TURBINAS DE REACCIÓN:</b></p> <p>2.3.1. Escalonamiento en turbinas de Reacción.</p> <p>2.3.2. Comparación entre turbinas de acción y de reacción.</p> <p>2.3.3. Elementos de diseño de las turbinas de vapor.</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Selecciona, dimensiona y diseña turbinas de vapor para la generación termoeléctrica, poniendo énfasis en los rendimientos y los elementos de diseño de esas máquinas, entre otros.</li> <li>2. Diseña, termodinámica y dimensionalmente, turbinas de vapor y turbinas a gas.</li> <li>3. Lee, en español e inglés, textos sobre diseño y uso de tecnología de turbomáquinas, estableciendo vínculos entre los nuevos conceptos que se extraen de la lectura con aprendizajes de la ingeniería.</li> </ol>	
Bibliografía de la unidad		[ 1, 2, 5, 6,7, 8]	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
3	RA1, RA2	Turbinas a Gas y Turbocompresores	2 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p><b>3.1. TURBINAS A GAS:</b></p> <p>3.1.1. Ciclos de las Turbinas a Gas (abiertos, cerrados).</p> <p>3.1.2. Configuraciones de las Turbinas a Gas: (Regenerativas, compresión escalonada con “Intercooling”, Recalentamiento intermedio con “Reheat”).</p> <p>3.1.3. Rendimiento Térmico teórico y real (con pérdidas).</p> <p>3.1.4. Plantas de potencia con Turbinas a Gas (como unidad independiente; en Ciclo Combinado).</p> <p>3.1.5. Consumo específico de aire y de combustible; “Heat Rate”; rendimiento Térmico global de una planta de potencia; diagrama de “performances”.</p> <p><b>3.2. TURBOCOMPRESORES:</b></p> <p>3.2.1. Turbocompresores axiales y radiales.</p> <p>3.2.2. Turbocompresores versus Compresores Reciprocantes (a pistones).</p> <p>3.2.3. Turbocompresores axiales versus radiales.</p> <p>3.2.4. Principio de funcionamiento de los Turbocompresores.</p> <p>3.2.5. Triángulos de velocidades.</p> <p>3.2.6. Concepción de Flujos en turbocompresores (torbellino; con álabes de reacción constante).</p> <p>3.2.7. Trabajo y aumento de presión.</p> <p>3.2.8. Coeficientes de diseño de Turbocompresores (Factor de disminución de trabajo, Coeficientes de presión y de caudal, relación de cubo, N° específico de revoluciones, N° de Mach).</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Realiza balances térmicos de turbinas de gas, considerando máquinas reales.</li> <li>2. Calcula y diseña compresores presentes en las turbinas a gas de generación termoeléctrica y de propulsión.</li> </ol>	

<p>3.2.9. Forma de grupo de álabes y carcasa.</p> <p>3.2.10. Rendimiento politrópico.</p> <p>3.2.11. Diagrama de “performances” de un turbocompresor (curvas características).</p> <p>3.2.12. Combustibles utilizados en Turbogas.</p> <p>3.2.13. Turbocompresor Supersónico.</p> <p>3.2.14. Fenómenos de inestabilidad de flujo en Turbocompresores ("Surging").</p> <p>3.2.15. Turbina a Gas dinámica o de aviación.</p> <p>3.2.16. Algunos conceptos de diseño; Turbofan.</p> <p><b>3.3. CÁMARAS DE COMBUSTIÓN DE TURBINAS A GAS.</b></p>	
Bibliografía de la unidad	[4, 5, 6]

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
4	RA1, RA2, RA3, RA4, RA5	Turbomáquinas hidráulicas	4 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p><b>4.1. TURBOMÁQUINAS HIDRÁULICAS:</b></p> <p>4.1.1. Turbinas hidráulicas de Acción y de Reacción.</p> <p>4.1.2. Evolución de presión y velocidad de Turbinas de Acción y de Reacción.</p> <p>4.1.3. Métodos de estudio o análisis (analítico, experimental, dimensional).</p> <p>4.1.4. Triángulo de velocidades.</p> <p>4.1.5. Ecuación de Euler.</p> <p>4.1.6. Carga dinámica, estática, total; Grado de Reacción.</p> <p><b>4.2. SIMILITUD, SEMEJANZA O SIMILARIDAD EN TURBOMÁQUINAS HIDRÁULICAS.</b></p> <p>4.2.1. Semejanza geométrica, cinemática, dinámica, física total.</p> <p>4.2.2. Leyes de funcionamiento.</p> <p>4.2.3. Coeficientes de funcionamiento.</p> <p>4.2.4. Velocidad específica (Turbinas,</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Selecciona, dimensiona y diseña turbomáquinas hidráulicas para generar potencia o recuperación de energía desde fluidos.</li> <li>2. Desarrolla, diseña, dimensiona un anteproyecto dado un recurso hidráulico (altura neta, caudal).</li> <li>3. Evalúa cualitativamente el impacto o beneficio del anteproyecto, considerando escasez de recursos, ubicación geográfica del recurso, entre otros.</li> <li>4. Calcula y selecciona bombas hidráulicas, en base a un requerimiento dado.</li> <li>5. Relaciona información proveniente de la lectura de múltiples textos con aprendizajes trabajados en clase, utilizándola como conceptos elementales a considerar para el diseño y dimensionamiento de turbomáquinas hidráulicas (turbinas; bombas).</li> </ol>	

<p>bombas).</p> <p>4.2.5. Coeficientes de velocidad (relación de Combe-Rateau).</p> <p>4.2.6. Carga teórica y carga neta.</p> <p>4.2.7. Rendimientos: hidráulico o manométrico, volumétrico, mecánico, global.</p> <p>4.2.8. Ensayos sobre modelos; diagramas topográficos; Transposición.</p> <p>4.2.9. Turbomaquinaria Hidráulica Unitaria.</p> <p>4.2.10. Transposición de rendimientos de las turbinas modelo, prototipo y unitaria.</p> <p>4.2.11. Clasificación de las turbomáquinas hidráulicas.</p> <p><b>4.2. TURBINAS FRANCIS (de reacción):</b></p> <p>4.3.1. Características de los parámetros de funcionamiento (altura neta, caudal de diseño, rango de velocidades específicas).</p> <p>4.3.2. Órganos principales (Caracol, Distribuidor, Rotor, Difusor, chimenea de equilibrio).</p> <p>4.3.3. Energía transferida; coeficiente de utilización.</p> <p>4.3.4. Triángulo de velocidades.</p> <p>4.3.5. Proporción de dimensiones de acuerdo a la velocidad específica; Método de Bovet.</p> <p>4.3.6. Dimensionamiento del Caracol.</p> <p>4.3.7. Difusor: función, forma, altura aspiración, rendimiento.</p> <p>4.3.8. Cavitación; Coeficiente de Thoma.</p> <p><b>4.4. TURBINAS PELTON (de acción o impulsión):</b></p> <p>4.4.1. Características de los parámetros de funcionamiento (altura neta, caudal de diseño, rango de velocidades específicas).</p> <p>4.4.2. Órganos principales (Inyector o estator, Rotor, chimenea de equilibrio).</p> <p>4.4.3. Cucharas del rotor; forma.</p> <p>4.4.4. Triángulo de velocidades.</p> <p>4.4.5. Energía transferida; coeficiente de</p>	
--	--

utilización.

4.4.6. Dimensiones principales.

**4.5. TURBINAS KAPLAN, HELICE, BULBO (de reacción):**

4.5.1. Características de los parámetros de funcionamiento (altura neta, caudal de diseño, rango de velocidades específicas).

4.5.2. Órganos principales (Caracol, Distribuidor, Rotor, Difusor, chimenea de equilibrio).

4.5.3. Energía transferida; coeficiente de utilización.

4.5.4. Triángulo de velocidades

4.5.5. Dimensiones principales y relaciones prácticas para determinar el diámetro y la velocidad de giro (D, N).

4.5.6. Turbinas Bulbo, Straflo, Tubular y Pozo.

**4.6. BOMBAS CENTRÍFUGAS:**

4.6.1. Clasificación de las bombas centrífugas y órganos principales (impulsor, voluta, difusor).

4.6.2. Transferencia de energía.

4.6.3. Instalación en serie y en paralelo de las bombas centrífugas.

4.6.4. Dimensionamiento del rotor o impulsor

4.6.5. Análisis: rendimiento, álabes, altura teórica, grado de reacción, ángulo de fuga.

4.6.6. Rendimiento versus velocidad específica; curva H-Q con pérdidas; curvas características.

4.6.7. TDH: Carga dinámica Total Rendimiento versus velocidad específica; curva H-Q con pérdidas; curvas características.

4.6.8. Carga en la succión, Cavitación, parámetro de Cavitación, NPSHR, NPSH.

4.6.9. Otras bombas (pozo profundo, altas cargas, desplazamiento positivo, axiales, etc.)

4.6.10. Ventiladores.

Bibliografía de la unidad		[9, 10, 12]	
Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
5	RA1, RA2, RA3	Generadores de vapor	2,5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
5.1. Generadores de vapor. 5.2. Calderas evaporadoras (pirotubulares, acuotubulares). 5.3. Circulación y transferencia de calor por combustión en el hogar (convectivos, radiativos); en la caldera; procedimiento simplificado. 5.4. Rendimiento del hogar; Sobrecalentadores, recalentadores; economizadores; calentadores de aire; pérdidas de carga en Condensadores. 5.5. Balance de energía en el generador de vapor.		El/la estudiante:  1. Analiza los componentes de una planta de generación termoeléctrica, en cuanto a su función, tipos, etc. 2. Realiza cálculos de los diferentes equipos que componen un generador de vapor, integrando conceptos asociados a aspectos térmicos. 3. Realiza balances de energía para determinar el rendimiento de los generadores de vapor.	
Bibliografía de la unidad		[1,2,9]	

### E. Estrategias de enseñanza-aprendizaje:

El curso considera diversas estrategias de enseñanza:

- Clases expositivas.
- Resolución de problemas, en base a ejercicios prácticos de aplicación.
- Lecturas de artículos de divulgación y científicos.

### F. Estrategias de evaluación:

El curso tiene distintas instancias de evaluación que consideran:

- Controles.
- Ejercicios.
- Examen.

*Al inicio del semestre, el cuerpo docente informará el tipo y cantidad de evaluaciones que se considerarán. También se señalará la ponderación correspondiente.*

## G. Recursos bibliográficos:

### Bibliografía obligatoria:

- (1) SEVERNS, W.H., DEGLER, H.E. & MILES, J.C. (1973). "La Producción de la Energía Mediante el Vapor de Agua, el Aire y los Gases". Ed. Reverté.
- (2) SORENSEN, H. (1983), "Energy Conversion Systems", Nueva York: John Wiley & Sons.
- (3) DUBBEL, H. (1975), "Manual del constructor de máquinas". 2 tomos, Ed. Labor.
- (4) MORAN, M.J. & SHAPIRO, H.N. (2006), "Fundamentals of Engineering Thermodynamics", Fifth Edition, John Wiley & Sons, Inc.
- (5) MATAIX, C. (1973). "Turbomáquinas térmicas: Turbinas de Vapor, Turbinas de Gas, Turbocompresores", Ed. Dossat S.A., Madrid.
- (6) VIVIER, L. (1968), "Turbinas de vapor y de gas: Teoría, Construcción y Empleo"; Ed. URMO, Bilbao, España.
- (7) KEARTON, W.J. (1973), "Steam Turbine Theory and Practice", Pitman Publishing Co.
- (8) ARNOLD, E. (1970), "U.K. Steam Tables in S.I. units".
- (9) DIXON, S.L. (2010), "Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery", Sixth Edition, Elsevier.
- (10) POLO ENCINAS, M. (1988), "Turbomáquinas hidráulicas: principios fundamentales", Ed. Limusa, Mexico.
- (11) VIVIER, L. (1966), "Turbinas hydrauliques et leur régulation: théorie, construction, regulation", Ed. Albin Michel, Paris.
- (12) MATAIX, C. (1986). "Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas", 2° Edición, Ed. del Castillo S.A.
- (13) BABCOCK AND WILCOX (1978), "Steam Its Generation and Use", New York: Babcock and Wilcox Co.

## H. Datos generales sobre elaboración y vigencia del programa de curso:

Vigencia desde:	Primavera, 2022
Elaborado por:	Juan Carlos Elicer
Validado por:	Validación CTD de Mecánica
Revisado por:	Área de Gestión Curricular