

Universidad Autónoma del Estado de México  
Facultad de Ingeniería

Licenciatura de Ingeniería en Sistemas  
Energéticos Sustentables



## Programa de Estudios

### Trigeneración y ciclos avanzados

Elaboró: Dr. Eduardo Armando Rincón Mejía Fecha: Agosto 2016  
Dr. Armando Sansón Ortega

Fecha de aprobación \_\_\_\_\_  
H. Consejo Académico H. Consejo de Gobierno



## Índice

	Pág.
I. Datos de identificación	3
II. Presentación	4
III. Ubicación de la unidad de aprendizaje en el mapa curricular	5
IV. Objetivos de la formación profesional	6
V. Objetivos de la unidad de aprendizaje	6
VI. Contenidos de la unidad de aprendizaje y su organización	7
VII. Acervo bibliográfico	10



### PROGRAMA DE ESTUDIOS

#### I. Datos de identificación

Espacio educativo donde se imparte

Licenciatura

Unidad de aprendizaje  Clave

Carga académica      
Horas teóricas Horas prácticas Total de horas Créditos

Período escolar en que se ubica 

1	2	3	4	5	6	7	8	<b>9</b>	10
---	---	---	---	---	---	---	---	----------	----

Seriación    
UA Antecedente UA Consecuente

Tipo de UA 

Curso	<input type="checkbox"/>	Curso taller	<input type="checkbox"/>
Seminario	<input checked="" type="checkbox"/>	Taller	<input type="checkbox"/>
Laboratorio	<input type="checkbox"/>	Práctica profesional	<input type="checkbox"/>
Otro tipo (especificar)	<input type="text"/>		

Modalidad educativa 

Escolarizada. Sistema rígido	<input type="checkbox"/>	No escolarizada. Sistema virtual	<input type="checkbox"/>
Escolarizada. Sistema flexible	<input checked="" type="checkbox"/>	No escolarizada. Sistema a distancia	<input type="checkbox"/>
No escolarizada. Sistema abierto	<input type="checkbox"/>	Mixta (especificar).	<input type="text"/>

Formación académica común 

Ingeniería Civil 2004	<input type="checkbox"/>
Ingeniería en Computación 2004	<input type="checkbox"/>
Ingeniería en Electrónica 2004	<input type="checkbox"/>
Ingeniería Mecánica 2004	<input type="checkbox"/>

Formación académica equivalente 

	Unidad de Aprendizaje
Ingeniería Civil 2004	<input type="text"/>
Ingeniería en Computación 2004	<input type="text"/>
Ingeniería en Electrónica 2004	<input type="text"/>
Ingeniería Mecánica 2004	<input type="text"/>



## II. Presentación

De acuerdo con el artículo 84 del Reglamento de Estudios Profesionales de la Universidad Autónoma del Estado de México, se establece que el Programa de Estudios es un documento de carácter oficial que estructura y detalla los objetivos de aprendizaje y los contenidos establecidos en el plan de estudios, y que son esenciales para el logro de los objetivos del programa educativo y el desarrollo de las competencias profesionales que señala el perfil de egreso. Este es un documento normativo respecto a los principios y objetivos de los estudios profesionales, así como en relación con el modelo curricular y el plan de estudios de la carrera. Será de observancia obligatoria para autoridades, alumnos, y personal académico y administrativo.

El deterioro ambiental ocasionado por el irracional consumo de energía sólo puede ser revertido si: 1) se reduce drásticamente este consumo, 2) se abandonan los combustibles fósiles y nucleares y se les sustituye por energéticos de origen renovable o calor de desecho de otros procesos, y 3) se hipereficientiza el uso de los energéticos. Es en estas dos últimas medidas que la **trigeneración**, que es básicamente la generación simultánea de potencia mecánica y térmica, además de la refrigeración, a partir de la misma fuente energética, de preferencia renovable y con el mismo sistema mecánico, que incluye la parte de potencia y una bomba de calor, juega un papel determinante. En vez de emplear sistemas independientes (y consecuentemente caros e ineficientes) para la generación de electricidad, para obtener calor para procesos, y para el acondicionamiento de aire y/o refrigeración, es mucho más rendidor, menos contaminante y más económico emplear un solo sistema que realice todas estas tareas. Esto puede implicar la combinación de varios ciclos, y el empleo de ciclos avanzados más eficientes que los ciclos básicos desarrollados en el siglo XIX, que aún se enseñan en las escuelas de ingeniería.

Esta asignatura está planeada para proporcionar al estudiante las bases teóricas y prácticas para diseñar este tipo de sistemas, muchos de los cuales ni siquiera han sido construidos, ni quizá hayan sido concebidos.

La UA es optativa y pertenece a la línea de acentuación Bioenergética y Solar. Esta UA está estructurada en 4 Unidades Temáticas que requieren conocimientos previos de Termodinámica, Ingeniería térmica, Termoquímica, Mecánica del medio continuo, Mecánica de fluidos, Transferencia de Calor y Cálculo diferencial e integral.

Conforme al modelo institucional, basado en la teoría constructivista, que involucra el aprendizaje significativo y el desarrollo de competencias, se debe centrar la actividad de aprendizaje del alumno en tareas diseñadas por el docente, quien debe realizar el diseño didáctico, tanto de actividades individuales como de equipo, dando preferencia a trabajar sobre problemas, estudios de caso y proyectos a fin de que los alumnos apliquen conocimientos no sólo de la UA en cuestión sino también de otras.

Es muy importante tomar en cuenta que, en la medida de lo posible, toda la información proporcionada a los alumnos sea contextualizada y relacionada con la vida real, de tal forma que ayude al entendimiento de los conceptos y análisis de los mismos.



### III. Ubicación de la unidad de aprendizaje en el mapa curricular

Núcleo de formación:	Integral
Área Curricular:	Termofluidos
Carácter de la UA:	Optativa. Línea de acentuación Bioenergética y/o Solar.

Al final del documento se anexa el mapa curricular de la Licenciatura de Ingeniería en Sistemas Energéticos Sustentables, para ubicar de manera visual esta unidad de aprendizaje.

\*Las materias optativas pertenecientes a cualquiera de las tres líneas de acentuación pueden tomarse en cualquier momento una vez que se ha cubierto el 50% de los créditos de la carrera.

### IV. Objetivos de la formación profesional.

#### Objetivos del programa educativo:

Proyectar, diseñar, analizar, instalar, programar, controlar, operar y mantener sistemas relacionados con el aprovechamiento sustentable de la energía; dando prioridad a la no dependencia de los combustibles fósiles, al uso responsable y eficiente de las mejores tecnologías disponibles, y a la conveniencia de la utilización de las fuentes renovables de energía.

Aplicar técnicas y tecnologías, con responsabilidad y Ética para el desarrollo sustentable, para el aprovechamiento de la energía y la preservación del medio ambiente.

Apoyar en el diseño de edificaciones sustentables y con bajo consumo energético.

Desarrollar aplicaciones que empleen la biomasa obtenida de residuos agrícolas y agroindustriales para generar energía directa.

Elaborar programas de ahorro y uso eficiente de la energía en el sector energético, social, e industrial.

Investigar sobre la problemática energética y plantear soluciones que contribuyan al desarrollo sustentable.

Proyectar, diseñar, analizar, instalar, programar, controlar, operar y mantener sistemas y aplicaciones tecnológicas fotovoltaicas y foto térmicas, eólicas, y geotérmicas.

#### Objetivos del núcleo de formación:

Proveer al alumno/a de escenarios educativos para la integración, aplicación y desarrollo de los conocimientos, habilidades y actitudes que le permitan el desempeño de las funciones, tareas y resultados ligados directamente a las dimensiones y ámbitos de intervención profesional o campos emergentes de la misma.

#### Objetivos del área curricular o disciplinaria:

Aplicar los conocimientos del área en el diseño de máquinas y sistemas térmicos, y en el aprovechamiento y transformación de la energía con base en criterios costo-beneficio, prevención y control de contaminación e impacto social.



## V. Objetivos de la unidad de aprendizaje.

Analizar y diseñar sistemas para la generación simultánea de potencia mecánica, potencia térmica y refrigeración, de manera eficiente y sustentable, diseñando ciclos avanzados y la combinación óptima de éstos, con base en análisis energéticos y exergéticos de los procesos y los ciclos básicos involucrados.

## VI. Contenidos de la unidad de aprendizaje y su organización.

### Unidad 1. Conceptos Básicos.

**Objetivo:** Evaluar los principios básicos involucrados en los procesos de trigeneración y ciclos termodinámicos con el fin de ampliar el panorama de aplicación de la Ingeniería Termodinámica para el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía.

- Introducción. ¿Qué es la cogeneración, la trigeneración y la poligeneración?.
- Termostática, Termodinámica, Transferencia de Calor, Ingeniería Térmica.
- Leyes de la termodinámica. Repaso.
- Ciclos Termodinámicos de Potencia e Invertidos. Rendimiento térmico, Coeficientes de Operación, Rendimiento de un refrigerador, Capacidad de Enfriamiento, Refrigeración con absorción o adsorción del refrigerante, Calentamiento volumétrico específico, Rendimiento conforme a la Segunda Ley de la Termodinámica.
- Ciclos Termodinámicos con sustancias no compresibles.
  - Sustancias magnéticas,
  - Sustancias Polarizables (dieléctricos).
- Conversión directa de energía.
  - Efecto Fotovoltaico.
  - Efecto Peltier-Seebeck (termoeléctrico).
  - Celdas fotovoltaicas.
  - Celdas termoeléctricas.
  - Celdas de combustible.
- Sistemas PV T.
- Sustentabilidad Energética.



## Unidad 2. Análisis energéticos y exergéticos de ciclos termodinámicos.

**Objetivo:** Conocer los principales parámetros de funcionamiento y características de los principales ciclos termodinámicos para realizar su análisis energético y exergético con el fin de establecer valores de rendimiento según la primera y segunda ley de la termodinámica.

- Análisis de los ciclos básicos y sus modificaciones:
  - Ciclos de Carnot.
  - Stirling.
  - Ericsson.
  - Lorentz.
  - Clausius-Rankine.
  - Brayton.
  - Otto.
  - Diesel.
  - Dual.
- Ciclos avanzados:
  - Ciclo de Kalina (1983).
  - Ciclo de Rogdakis y Antonopoulos (1991).
  - Ciclo de Goswami 1998).
- Combinación de Ciclos:
  - Refrigeración en cascada.
  - Combinación Rankine-Brayton.
  - Otras combinaciones de ciclos de potencia.
  - Combinación de ciclos de potencia con ciclos invertidos.
- El ciclo de Vuilleumier.



### Unidad 3. Descripción de las bombas de calor Stirling-Stirling y Vuilleumier.

**Objetivo:** Conocer las principales características y funcionamiento de las bombas de calor.

- La bomba de calor de Vuilleumier tradicional.
- La bomba de calor de Vuilleumier con intercambiadores de calor internos.
- La bomba de calor Stirling dúplex.
- La bomba de calor compuesta y balanceada de Stirling.
- La bomba de calor compuesta y balanceada de Vuilleumier.
- La bomba de calor Ericsson-Ericsson.

### Unidad 4. Poligeneración Sustentable.

**Objetivo:** Estudiar los procesos de poligeneración con enfoque eficiente y sustentable.

- Generación simultánea de potencia mecánica, calorífica y refrigeración para diversas aplicaciones, bajo la premisa de la sustentabilidad.
- Propuesta de ciclos y sus combinaciones que satisfagan los requerimientos de poligeneración de manera eficiente y sustentable.





## VII. Acervo bibliográfico

### Básico

De Las Heras, A., (Ed). (2014). Sustainability Science and Technology: an Introduction. CRC Press. ISBN-10: 1466518081, ISBN-13: 978-1466518087.

Kondepudi, D., (2008). Introduction to Modern Thermodynamics. John Wiley and Sons, Ltd. ISBN-10: 0470015993, ISBN-13: 978-0470015995.

Bejan, A., (2006). Advanced Engineering Thermodynamics. 3<sup>rd</sup> Edition. Wiley. ISBN-10: 0471677639, ISBN-13: 978-0471677635.

Çengel, Y. & Boles, M., (2012). Thermodynamics: An engineering Approach. 7th Edition. McGraw-Hill. ISBN-10: 0077782976, ISBN-13: 978-0077782979.

### Complementario

Walker, G., Fauvel, O. R., Bingham, E. R., (1994). The Stirling Alternative: Power Systems, Refrigerants and Heat Pumps. Amsterdam. Gordon and Breach Science Publishers. ISBN-10: 2881246001, ISBN-13: 978-2881246005.

Jaroslav, W., Kinast, J. A., Roose, T. R., Staats, T. S. (1991). Stirling and Vuilleumier Heat Pumps: Design and Applications. McGraw-Hill. ISBN-10: 0070535671, ISBN-13: 978-0070535671.

Werdich, M., Kübler K, (2001). Stirling-Maschinen. Grundlagen-Technik-Anwendung. ökobuch Verlag, Freiburg, Deutschland. ISBN-10: 3922964354, ISBN-13: 9783922964353.

Kuehn, T. H., Ramsey, J. W., Threlkeld, J. L. (1998). Thermal Environmental Engineering, 3rd Edition. Prentice Hall. ISBN-10: 0139172203, ISBN-13: 978-0139172205.

Reynolds, W.C. & Perkins H. C. (1977). Engineering Thermodynamics. 2<sup>nd</sup> Edition. McGraw-Hill. ISBN-10: 007052047X, ISBN-13: 9780070520479.

Jutglar I Banyeras, L.; (1997). Cogeneración de Calor y Electricidad. 1<sup>a</sup> Edición, España. Grupo Editorial CEAC. ISBN: 8432965537, ISBN-13: 9788432965531.

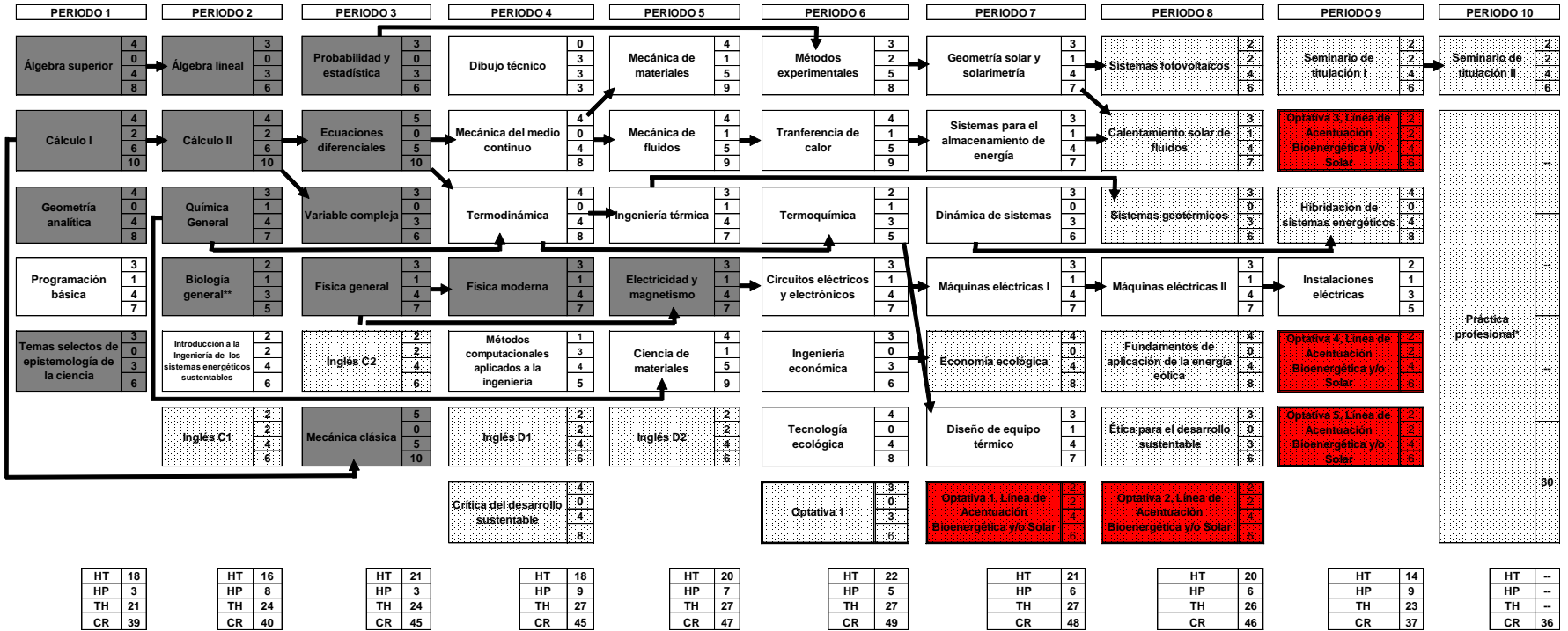
Horlock, J.H.; (1996). Cogeneration-Combined heat and power. Krieger Publishing Company. ISBN-10: 0894649280, ISBN-13: 9780894649288.

Horlock, J.H.; (2001). Combined Power Plants: Including Combined Cycle Gas Turbine (Ccgt) Plants. 3<sup>rd</sup> Edition. Krieger Publishing Company.

Spiewak, S. A., Weiss, L.; (1997). Cogeneration & Small Power Production Manual. The Fairmont Press Inc. ISBN-10: 0137601417, ISBN-13: 9780137601417.



MAPA CURRICULAR DE LA LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN SISTEMAS ENERGÉTICOS SUSTENTABLES



PARÁMETROS DEL PLAN DE ESTUDIOS

SIMBOLOGÍA

Unidad de aprendizaje	Horas teóricas
	Horas prácticas
	Total de horas
	Créditos

- Obligatorio, Núcleo Básico
- ▨ Obligatorio, Núcleo Sustantivo
- ▤ Obligatorio, Núcleo Integral
- ▧ Optativo, Núcleo Integral

- ➔ 31 Líneas de seriación
- \* Actividad académica
- \*\* UA Seriado con Microbiología

Núcleo Básico obligatorio: cursar y acreditar 15 UA	53 7 60 113
Núcleo Sustantivo obligatorio: cursar y acreditar 23 UA	68 24 92 160
Núcleo Integral obligatorio: cursar y acreditar 14 UA + 1*	39 15 54 123
Núcleo Integral optativo: cursar y acreditar 8 UA	36

Total del Núcleo Básico: acreditar 15 UA para cubrir 113 créditos

Total del Núcleo Sustantivo: acreditar 23 UA para cubrir 160 créditos

Total del Núcleo Integral: acreditar 20 UA + 1\* para cubrir 159 créditos

TOTAL DEL PLAN DE ESTUDIOS	
UA Obligatorias	52 + 1 ACTIVIDAD ACADEMICA
UA Optativas	6
UA a Acreditar	58 + 1 ACTIVIDAD ACADEMICA
Créditos	432