

## PROGRAMA DE ESTUDIOS: DISEÑO TÉRMICO PARA APLICACIONES SOLARES

### PROTOCOLO

<b>Fechas</b>	<b>Mes/año</b>
<b>Elaboración</b>	07/2007
<b>Aprobación</b>	
<b>Aplicación</b>	

<b>Clave</b>	M-1-MFR-DTA-02	<b>Semestre</b>	Segundo		
<b>Nivel</b>	Licenciatura	Maestría	<b>X</b>	Doctorado	
<b>Ciclo</b>	Integración	Básico		Superior	<b>X</b>
<b>Colegio</b>	H. y C.S.	C. y T.	<b>X</b>	C. y H.	

<b>Plan de estudios del que forma parte:</b>	Maestría en Ingeniería Energética
--	-----------------------------------

<b>Propósito(s) general(es):</b>	Que el estudiante conozca los fundamentos básicos y las aplicaciones de la transferencia de calor y la dinámica de fluidos, y los pueda aplicar en el diseño, operación y mantenimiento de sistemas para el aprovechamiento calorífico de la energía solar.
----------------------------------	---

Carácter		Modalidad				Horas de estudio semestral (16 semanas)					
Indispensable	<b>X</b>	Seminario		Taller		Con Docente	Teóricas	36	Autónomas	Teóricas	36
		Curso		Curso-taller	<b>X</b>		Prácticas	12		Prácticas	12
Optativa *	<b>X</b>	Laboratorio		Clínica		Carga horaria semanal:		3	Carga horaria semestral:		48

<b>Asignaturas Previas</b>	<b>Asignaturas Posteriores:</b>
Ingeniería termodinámica	Indispensable para la orientación de Energía Solar y Optativa para las orientaciones de Eficiencia Energética y Sistemas Eólicos.

<b>Requerimientos para cursar la asignatura</b>	Conocimientos: Termodinámica Habilidades: Capacidad de abstracción para interpretar el comportamiento de datos, manejo de hojas de cálculo electrónicas y manejo básico de PC.
---	---

<b>Perfil deseable del profesor:</b>	Maestría o Doctorado en Ingeniería con conocimientos de termodinámica y máquinas térmicas.
--------------------------------------	--

<b>Academia responsable del programa:</b>	<b>Diseñador (es):</b>
Programa de Energía	Dr. Eduardo A. Rincón Mejía.

\*Aquellas en las que se ofrece la posibilidad de cursar una de las asignaturas, para cubrir un requisito INDISPENSABLE será considerada INDISPENSABLE.

## PROGRAMA DE ESTUDIOS

### DISEÑO TÉRMICO PARA APLICACIONES SOLARES

#### INTRODUCCIÓN

Para el aprovechamiento calorífico de la energía solar se requiere de sistemas constituidos por dispositivos cuyo diseño y análisis, conocido como “diseño térmico”, tiene al menos cinco facetas fundamentales:

1. El análisis de la transferencia de calor entre los materiales sólidos con los que se construyen los dispositivos, y los fluidos que circulan a través de éstos.
2. La interacción sólido-fluido y/o fluido-fluido (conocida como dinámica de fluidos).
3. Las propiedades termomecánicas de los materiales sólidos y las termofísicas de los fluidos.
4. La optimización del sistema.
5. La instrumentación y el control de los procesos de termotransferencia y flujo.

Así pues, el diseño térmico es una empresa creativa que involucra la aplicación racional de principios físicos, materiales y dispositivos para maximizar, manejar o controlar flujos de calor y temperaturas, que es precisamente la finalidad de los sistemas para el aprovechamiento calorífico de la energía solar.

En este curso se tratan los conocimientos básicos e imprescindibles de las primeras tres facetas, listadas arriba, en una sola asignatura general denominada: “**Diseño térmico para aplicaciones solares**”, que consta de seis temas o capítulos agrupados en tres partes, que son las siguientes:

**Parte I. Fundamentos del diseño térmico.** Introducción al Diseño Térmico. Leyes generales y particulares de las Ciencias Térmicas. Ecuaciones de balance en medios continuos.

**Parte II. Elementos de dinámica de fluidos y sus aplicaciones.** La ecuación de Navier-Stokes y sus soluciones exactas. Modelación y diseño de sistemas de tuberías.

**Parte III. Elementos de termotransferencia y sus aplicaciones.** Análisis de la transferencia de calor. Aplicaciones de la termotransferencia.

El reunir estos temas, aparentemente dispersos, que forman parte de asignaturas más convencionales, ha constituido un verdadero reto debido a las limitaciones de tiempo y a la vastedad de los conocimientos disponibles en cada faceta del diseño térmico.

Se seleccionaron los temas que todo especialista en sistemas fototérmicos solares debe poseer para graduarse como Maestro, y se articularon de una manera coherente para ser estudiados en un semestre.

## **PROPÓSITOS GENERALES**

Que el estudiante conozca los fundamentos básicos y las aplicaciones de la transferencia de calor y la dinámica de fluidos, y los pueda aplicar en el diseño, operación y mantenimiento de sistemas para el aprovechamiento calorífico de la energía solar.

## **PLANEACIÓN ESPECÍFICA**

### **PARTE I: FUNDAMENTOS AL DISEÑO TÉRMICO**

#### **UNIDAD 1. INTRODUCCIÓN AL DISEÑO TÉRMICO**

##### **Propósitos específicos**

Que el estudiante conozca de manera concisa la naturaleza y los propósitos del diseño térmico de sistemas y el proceso –generalmente iterativo– del diseño térmico.

##### **Temas y subtemas**

- 1.1. La naturaleza del diseño térmico.
- 1.2. El proceso de diseño térmico: Definición del control propósito. Formulación de un modelo analítico.
- 1.3. Evaluación de tasas de transferencia de calor, distribuciones de temperaturas, y limitaciones termodinámicas.
- 1.4. Determinación de requerimientos para los materiales y selección de éstos. Determinación de los requerimientos de potencia térmica.
- 1.5. Formulación de estrategias de regulación y control.

#### **UNIDAD 2. LEYES GENERALES Y PARTICULARES DE LAS CIENCIAS TÉRMICAS**

##### **Propósitos específicos**

Que el estudiante conozca de manera conjunta las leyes fundamentales de la Física Clásica en la que se basa la solución de los problemas conjugados de transferencia de calor y dinámica de fluidos que se enfrentan en el diseño térmico de sistemas y que evalúe las similitudes y analogías entre las ecuaciones que modelan la difusión de calor, de momentum y de especies químicas, que implican un tratamiento matemático análogo.

##### **Temas y subtemas**

- 2.1. Leyes Generales. Ley de la conservación de la masa. Segunda Ley de Newton. Primera Ley de la Termodinámica. Segunda Ley de la Termodinámica.
- 2.2. Leyes Particulares. Ley de Fourier para la difusión de calor. Ley de Newton del enfriamiento. Ley de Stefan-Boltzman de la radiación. Ley de Fick para la difusión de especies químicas.

### **UNIDAD 3. ECUACIONES DE BALANCE EN MEDIOS CONTINUOS**

#### **Propósitos específicos**

Que el estudiante conozca las ecuaciones de balance de propiedades físicas extensivas como la masa, el momentum, la energía y la entropía para masas de control y aplique el Teorema del Transporte de Reynolds para obtener de manera inmediata las correspondientes ecuaciones de balance para volúmenes de control, que es como resultan más útiles en la solución de problemas de termotransferencia.

#### **Temas y subtemas**

- 3.1. Ecuaciones de balance sobre masas de control. Movimiento de un cuerpo. Coordenadas materiales y espaciales.
- 3.2. El Teorema del Transporte de Reynolds.
- 3.3. Ecuaciones de balance sobre volúmenes de control.
- 3.4. Balance de masa (ecuación de continuidad).
- 3.5. Balance de momentum (2a Ley de Newton).
- 3.6. Balance de momentum angular.
- 3.7. Balance de energía.
- 3.8. Balance de entropía.
- 3.9. Balance de exergía.

## **PARTE II: ELEMENTOS DE DINÁMICA DE FLUIDOS Y SUS APLICACIONES**

### **UNIDAD 4. ECUACIÓN DE NAVIER STOKES**

#### **Propósitos específicos**

Que el estudiante aprenda a determinar el tamaño de un sistema fototérmico solar para una determinada aplicación y conozca el manejo de programas de simulación de uso común para sistemas fototérmicos solares.

#### **Temas y subtemas**

- 4.1. El tensor de esfuerzos. El tensor de rapidez de deformación. Ecuaciones constitutivas para el esfuerzo.
- 4.2. La ecuación constitutiva del fluido newtoniano. Coeficientes de viscosidad. Ecuación de Navier-Stokes.
- 4.3. Soluciones exactas. Aproximación de capa límite.
- 4.4. Flujos permanentes y transitorios. Régimen laminar y régimen turbulento.

## **UNIDAD 5. MODELACIÓN Y DISEÑO DE SISTEMAS DE TUBERÍAS**

### **Propósitos específicos**

Que el estudiante conozca las normas técnicas internacionales y nacionales empleadas para determinar el rendimiento y operabilidad de captadores solares y de sistemas para el calentamiento de fluidos, discuta sus diferencias y particularidades y conozca las normas técnicas y ambientales vigentes en México para el calentamiento de fluidos para aplicaciones domésticas, industriales y de servicios.

### **Temas y subtemas**

- 5.1. Consideraciones para el diseño.
- 5.2. Estimación de pérdidas de en tuberías y accesorios.
- 5.3. Análisis y diseño de sistemas de tuberías.
- 5.4. Selección de bombas.

## **PARTE III: ELEMENTOS DE TERMOTRANSFERENCIA Y SUS APLICACIONES**

## **UNIDAD 6. ANÁLISIS DE TRANSFERENCIA DE CALOR**

### **Propósitos específicos**

Que el estudiante evalúe el fenómeno de transferencia de calor por radiación -que a diferencia de la conducción y la convección puede presentarse entre cuerpos separados por un espacio al vacío- para su aplicación en problemas de termotransferencia en aplicaciones solares.

### **Temas y subtemas**

- 6.1. Conducción. Conducción de calor en estado permanente y en estado no permanente.
- 6.2. Convección. Convección forzada en flujos externos e internos. Convección natural. Condensación. Ebullición.
- 6.3. Radiación. Radiación de un cuerpo negro. Intensidad de la radiación emitida. Radiación incidente. Radiosidad. Espectro. Propiedades radiativas. Emitancia. Absortancia. Reflectancia. Transmitancia. Ley de Kirchhoff. El efecto de invernadero. Factores geométricos de vista. Modelo de superficie gris-difusa. Radiación neta entre dos superficies.

## **UNIDAD 7. APLICACIONES DE LA TERMOTRANSFERENCIA**

### **Propósitos específicos**

Que el estudiante conozca las aplicaciones prácticas que involucran uno o más fenómenos térmicos básicos y de la aplicación de las leyes de la termodinámica, tales como el aislamiento térmico, las aletas, los intercambiadores de calor, los tubos de calor y los termosifones, que son imprescindibles en el diseño de sistemas fototérmicos solares.

## Temas y subtemas

- 7.1. Aislamiento térmico. Características y aplicaciones. Aislantes fibrosos. Aislantes granulares y en polvo. Aislantes celulares. Aislamiento reflectivo.
- 7.2. Transferencia de calor en superficies extendidas. Aletas. Eficiencia global de la superficie.
- 7.3. Intercambiadores de calor y dispositivos relacionados. Tecnología de intercambiadores de calor. Metodologías para el cálculo de intercambiadores de calor. Intercambiadores compactos. Tubos de calor y Termosifones.

## **BIBLIOGRAFÍA BÁSICA**

- Munson, Bruce R., Fundamentos de Mecánica de Fluidos, 1ª edición, Limusa, 2000.
- Peuser, Felix A., Remmers, Karl-Heinz y Schauss, Martin, Sistemas Solares Térmicos: Diseño e Instalación, 1ª edición, Promotora General de Estudios, S.A., 2005.
- Bejan, Adrian, Tsatsaronis, George and Moran, Michael, Thermal Design & Optimization, John Wiley & Sons, 1996.
- Guyer, Eric, Handbook of Applied Thermal Design, 1<sup>st</sup> edition, CRC, 1999.
- Kakac, Sadik, Handbook of Single-Phase Convective Heat Transfer, John Wiley & Sons, 1987.
- Bejan, Adrian, Advanced Engineering Thermodynamics, 3 Ed., Wiley, 2006.
- Cengel, Yunus A. & Turner, Robert H., Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences. 3<sup>nd</sup> Ed., McGraw-Hill, 2007.
- Duffie, John & Beckman, William, Solar Engineering of Thermal Processes. 3<sup>rd</sup> Ed., Wiley, 2006.
- Kreith, Frank and West, Ronald, Economics of Solar Energy and Conservation Systems (in three Volumes), CRC Press, 1980.

## **BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA**

- Martin C. and Y. Goswami, Solar Energy Pocket Reference, ISES Press, 2005.
- Ed. Gordon J., Solar Energy: The State of Art. ISES Position Papers, James & James, 2001.
- Rosner D., Transport Processes in Chemically Reacting Flow Systems, Butterworths, 1986.
- Stoecker, Wilbert, Design of Thermal Systems, 3<sup>rd</sup> Ed., McGraw-Hill Science, 1989.
- Kreider, Jan and Kreith, Frank, Solar Energy Handbook, McGraw-Hill, 1981.