

## PROGRAMA DE ESTUDIOS: **GEOMETRÍA SOLAR Y SOLARIMETRÍA**

### PROTOCOLO

| Fechas      | Mes/año |
|-------------|---------|
| Elaboración | 07/2007 |
| Aprobación  |         |
| Aplicación  |         |

| Clave   | M-1-MFR-GSS-01 | Semestre | Primero  |           |          |
|---------|----------------|----------|----------|-----------|----------|
| Nivel   | Licenciatura   | Maestría | <b>X</b> | Doctorado |          |
| Ciclo   | Integración    | Básico   |          | Superior  | <b>X</b> |
| Colegio | 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 las técnicas que se utilizan para la medición de los flujos de energía de radiación y se familiarice con los conceptos solarimétricos, la terminología y sus unidades, los instrumentos y los principios básicos en los que se basa su funcionamiento, en los métodos de calibración y la validación de las mediciones. Asimismo, que el estudiante sea capaz de determinar la trayectoria aparente del Sol en cualquier día del año, del sombreado que los objetos expuestos al Sol producen, de la duración de los periodos de iluminación, etcétera. Todo lo anterior para ser aplicado en el diseño y dimensionamiento de los sistemas que utilizan la radiación solar como fuente de energía e iluminación, y para el diseño bioclimático de edificaciones. |
|----------------------------------|--|

| 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 *    |          | Laboratorio |  | Clínica      |          | Carga horaria semanal:                  |           | 3  | Carga horaria semestral: |           | 48 |

|                            |   |
|----------------------------|---|
| <b>Asignaturas Previas</b> | <b>Asignaturas Posteriores:</b>           |
| Propedéuticos.             | Diseño térmico para aplicaciones solares. |

|   |  |
|---|--|
| <b>Requerimientos para cursar la asignatura</b> | Curso propedéutico.<br>Habilidades: Capacidad de abstracción para interpretar el comportamiento de los, manejo de hojas de cálculo electrónicas y manejo básico de PC. |
|---|--|

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

|  |  |
|--|--|
| <b>Academia responsable del programa:</b><br>Programa de Energía | <b>Diseñador (es):</b><br>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**

### **GEOMETRÍA SOLAR Y SOLARIMETRÍA**

#### **INTRODUCCIÓN**

La posición aparente del Sol en cualquier día del año se puede determinar mediante dos ángulos: la altura y el azimut solares. La energía que recibe del Sol sobre una superficie expuesta a éste depende, además de dicha posición relativa, de la época del año, de las condiciones de nubosidad, de la presencia de partículas y aerosoles en la atmósfera, de la altitud y de la presencia de objetos que sombreen la superficie.

Conocer todo lo anterior es fundamental para estimar la energía solar que es posible aprovechar para la iluminación natural de espacios arquitectónicos, para el calentamiento de fluidos u otros materiales, para la conversión directa de la radiación solar en energía eléctrica, entre muchas aplicaciones más. Es por esto que una de las actividades indispensables para el desarrollo y la aplicación de las Fuentes Renovables de Energía es la medición y evaluación del recurso solar.

Las metodologías de diseño en la Arquitectura Bioclimática (el diseño bioclimático de edificios), de los sistemas fotovoltaicos, de los sistemas fototérmicos, y aún el crecimiento óptimo de las plantas para la producción de bioenergéticos, requieren datos anuales, mensuales, diarios, horarios e incluso instantáneos de la radiación solar. De hecho, todas las fuentes de energía, muy en especial las renovables (con excepción de la energía geotérmica y la mareomotriz), provienen del Sol.

Resulta claro que el estudio de la Geometría Solar –la determinación de la posición relativa del Sol en cualquier instante– y la Solarimetría –la medición directa o la evaluación indirecta mediante modelos, de la radiación solar– constituyen una asignatura cuyo estudio es obligatorio para quienes deseen especializarse en las fuentes renovables de energía.

#### **PROPÓSITOS GENERALES**

Que el estudiante conozca las técnicas que se utilizan para la medición de los flujos de energía de radiación y se familiarice con los conceptos solarimétricos, la terminología y sus unidades, los instrumentos y los principios básicos en los que se basa su funcionamiento, en los métodos de calibración y la validación de las mediciones. Asimismo, que el estudiante sea capaz de determinar la trayectoria aparente del Sol en cualquier día del año, del sombreado que los objetos expuestos al Sol producen, de la duración de los periodos de iluminación, etcétera. Todo lo anterior para ser aplicado en el diseño y dimensionamiento de los sistemas que utilizan la radiación solar como fuente de energía e iluminación, y para el diseño bioclimático de edificaciones.

## **PLANEACIÓN ESPECÍFICA**

### **UNIDAD 1. INTRODUCCIÓN**

#### **Propósitos específicos**

Que el estudiante conozca los conceptos y definiciones fundamentales empleados en la medición y estimación de la energía solar.

#### **Temas y subtemas**

- 1.1. El Sol, la radiación solar y la constante solar.
- 1.2. Distribución espectral de la radiación solar.
- 1.3. Variación de la radiación solar extraterrestre.
- 1.4. Definiciones de radiación solar.
- 1.5. Unidades del SI.

### **UNIDAD 2. GEOMETRÍA SOLAR**

#### **Propósitos específicos**

Que el estudiante determine la posición aparente del Sol con respecto a un observador sobre la superficie terrestre en cualquier día del año y que conozca el efecto de la trayectoria terrestre sobre la radiación que llega a las capas superiores de la atmósfera.

#### **Temas y subtemas**

- 2.1. Factores geométricos que afectan los flujos de energía irradiada por el Sol.
- 2.2. La trayectoria terrestre.
- 2.3. Movimientos periódicos de la Tierra. Ciclos de Milankovich. Declinación. Latitud y longitud. Altura solar. Azimut solar. Ángulo horario. Ángulo de incidencia.
- 2.4. Trayectorias solares aparentes. Ángulo azimutal de una superficie plana.
- 2.5. Hora solar. Ecuación del tiempo. Hora civil.
- 2.6. Ángulos de seguimiento solar. La gráfica solar.
- 2.7. Sombreado de superficies. Calendarios solares.
- 2.8. Uso de software en la Geometría Solar.

### **UNIDAD 3. FACTORES FÍSICOS QUE AFECTAN LOS FLUJOS DE ENERGÍA IRRADIADA POR EL SOL SOBRE LA TIERRA**

#### **Propósitos específicos**

Que el estudiante conozca el efecto de la atmósfera sobre la radiación solar que incide en ella y la atraviesa hasta llegar a la superficie terrestre. Con base en lo anterior, que establezca cómo evaluar la energía de radiación solar disponible mediante técnicas estadísticas.

## **Temas y subtemas**

- 3.1. Efecto de la atmósfera sobre la radiación solar.
- 3.2. Atenuación de la radiación directa.
- 3.3. Flujos de radiación directa y difusa.
- 3.4. Evaluación de la energía solar disponible. Curvas de frecuencia acumulada.
- 3.5. Energía disponible en función de valores críticos de irradiancia.
- 3.6. Disponibilidad de datos solarimétricos.

## **UNIDAD 4. SOLARIMETRÍA**

### **Propósitos específicos**

Que el estudiante conozca las técnicas y los instrumentos empleados para la medición de la energía solar, cómo se clasifican dichos instrumentos de acuerdo con sus características físicas y que el estudiante pueda referenciar los instrumentos de medición empleados, así como las técnicas de para adquisición y procesamiento de datos.

## **Temas y subtemas**

- 4.1. Técnicas para la medición de la radiación solar.
- 4.2. Medición de la radiación solar directa. Medición de la radiación solar global.
- 4.3. Sensores e instrumentos. Clasificación de los instrumentos de acuerdo a sus características físicas: constante de calibración, respuesta angular, linealidad, estabilidad, respuesta espectral, estabilidad ante cambios en la temperatura. Respuesta dinámica y constante de tiempo.
- 4.4. Referenciación de instrumentos. Recomendaciones para obtener mediciones confiables con piranómetros y periheliómetros.
- 4.5. Registro y procesamiento primario de datos actiométricos.

## **UNIDAD 5. EVALUACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR DISPONIBLE MEDIANTE MODELOS Y MAPAS SOLARIMÉTRICOS**

### **Propósitos específicos**

Que el estudiante conozca la teoría y las aplicaciones de los modelos solarimétricos; así mismo que aprenda a estimar la cantidad de radiación solar que recibe una superficie inclinada en un determinado periodo empleando datos y modelos solarimétricos.

## **Temas y subtemas**

- 5.1. Uso de mapas solarimétricos. Estimación del promedio de la radiación.
- 5.2. Estimación de radiación en cielo sin nubes. Distribución de horas de nubosidad. Componentes difuso y directo de la radiación diaria, mensual y anual.
- 5.3. Modelos solarimétricos. Radiación sobre superficies inclinadas. El método de Liu-Jordan. El método de Klein y Theilacker.

5.4. Efectos de la orientación de las superficies sobre la radiación que captan.

### **BIBLIOGRAFÍA BÁSICA**

- Duffie, J.A. & Beckman, W., Solar Engineering of Thermal Processes. 2a Ed., John Wiley & Sons. New York, 1991.
- Gordon, J., Solar Energy. The State of Art. ISES Position Papers, James & James, 2001.
- Almanza, R., Ingeniería de la Energía Solar II, SID/636 II-UNAM, México, 2003.
- Bertrán de Quintana, M., Con el Sol en la mano. Iluminación, orientaciones y relojes solares, Ediciones de la UNAM. México, 1937.

### **BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA**

- Muhlia, Agustín, Notas del Curso de Solarimetría de la ANES, ANES, México, 2004.
- Contreras, Gloria y García, Gerardo, Manual para el cálculo del seguimiento solar. Tesis de Licenciatura. FI UAEMEX, Toluca, 1996.
- Plasencia, A., Gráfica solar: método constructivo y aplicaciones, UAEMex. Toluca, 2001.