[redacted]

Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA – Iztapalapa

División de Ciencias Básicas e Ingeniería

Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica

**DCBI.IPH.076.2025**
**29 de mayo de 2025**

**Asunto**: solicitud de consideración de informe de periodo sabático.

**Dr. Román Linares Romero**
**Presidente del Consejo Divisional**
**de Ciencias Básicas e Ingeniería**
**P r e s e n t e**

Después de haber revisado el informe de actividades realizadas por el **Dr. Enrique Barrera Calva**, durante su periodo sabático, comprendido de octubre de 2023 a diciembre de 2024, me es grato informar a Usted que, a mi juicio, los objetivos se cumplieron de forma satisfactoria.
Por lo anterior, pongo a su consideración que se incluya en el orden del día de la próxima sesión del Consejo Divisional que Usted preside, la presentación del informe.

Se anexan: formato del informe, informe elaborado por el profesor y documentos probatorios.

Sin otro particular, agradezco la atención al presente y quedo a sus órdenes.

A t e n t a m e n t e
**Casa abierta al tiempo**

[redacted]

**Dra. Claudia Rojas Serna**
**Jefa del Departamento**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS E HIDRÁULICA**
Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco No. 186, Col. Reyes de Reforma 1ª Sección, Alcaldía Iztapalapa, C.P. 09310, CDMX. Edificio Carlos Graef, T Oficina 259.
Tels [redacted]

Casa abierta al tiempo

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

**CONSEJO DIVISIONAL DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERIA**

**INFORME DE PERÍODO SABÁTICO**

***DATOS GENERALES***

Nombre del profesor: Enrique Barrera Calva Nº empleado: 11829

Departamento: IPH Área: IRE

Teléfono particular: [redacted] Extensión UAM-I: [redacted] E-mail: [redacted]@xanum.uam.mx

***DATOS DEL PERÍODO SABÁTICO SOLICITADO***

Nº meses solicitados: 16 Fecha de inicio: 18 de Sept. 2023 Fecha de terminación: 17 de enero de 2025

Institución donde se realizará:

Depto., Laboratorio, etc.: Laboratorio de Energia Solar, IPH, UAM-I

Domicilio de la institución: Av. Rafael Atlixco 186, iztapalapa

Teléfono: [redacted] Fax: E-mail: [redacted]@xanum.uam.mx

***OBJETIVOS DEL PERÍODO SABÁTICO***

Desarrollar Manual de practicas del curso de Ingeneria de la Energia Solar y se pretendia desarollar una estancia en la Universidad Politecnica de Valencia, ante la no obtencion de la beca, se desarollo trabajo de investigacion en la UAM-I, llevandose dos trabajos de Congreso internacionales Al Evento de Bioenergia y biocimbustibles en Roma Italia y el otro en Londres Inglaterra. Se impulso trabajo de investigacion con dos articulos Internacionales.

***METAS ALCANZADAS EN EL PERÍODO SABÁTICO***

- [x] Memorias in extenso en libro de resúmenes*
- [x] Artículos de investigación en revista indexada*
- [x] Presentaciones en congresos
- [x] Libros o capítulos de libros
- [ ] Grado
- [x] % Avance de estudios de posgrado
- [x] Otros (especifique): Propuesta de Manual de practicas de Ingenieria de la Energia Solar

* Indicar en anexo si se trata de trabajo publicado, aceptado o sometido

## *TIPO DE ACTIVIDADES ACADÉMICAS DESARROLLADAS*

(Indique aquellas relacionadas con las actividades desarrolladas)

| | | |
|---|---|---|
| [4] Investigación | [4] Docencia | [4] Difusión |
| [ ] Formación académica | [ ] Formación profesional | [4] Entrenamiento técnico |
| [ ] Otros (especifique): _____ | | |

## *RESUMEN DEL PLAN DE ACTIVIDADES ACADÉMICAS DESARROLLADAS*

(El llenado de esta sección no sustituye el informe detallado de actividades)

Se desarrollo un manual de practicas de Ingenieria de Energia Solar

Se publican dos articulos internacionales con refereo JCR

Se Publica un articulo especializado en temas de Ingenieria en Energia en la revista Contactos

Se participa y presentan trabajos en congresos Internacionales de Bioenergia y biocombustibles, Roma Italia. Abril 2024

Segunda participacion en Londres Inglaterra, Noviembre 2024

Se dio seguimiento a alumnos en Seminario de proyectos y a uno del Posgrado en Eneria y Medio Ambiente, PEMA

## *PARA USO DEL JEFE DE DEPARTAMENTO*

Después de haber evaluado el informe detallado de actividades del período sabático del interesado según los lineamientos establecidos para tal efecto; informo al Consejo Divisional que:

- (✓) Los objetivos SE cumplieron satisfactoriamente
- ( ) Los objetivos SE cumplieron parcialmente
- ( ) Los objetivos NO se cumplieron
- ( ) NO se cumplió el propósito del sabático

[redacted]

Firma del Jefe de Departamento

30-05-2025

Fecha

## *PARA USO DEL CONSEJO DIVISIONAL*

El Consejo Divisional, en su Sesión No. _____ del _____ sobre el Período sabático del interesado acordó que:

- ( ) Los objetivos SE cumplieron satisfactoriamente
- ( ) Los objetivos SE cumplieron parcialmente
- ( ) Los objetivos NO se cumplieron
- ( ) NO se cumplió el propósito del sabático

_____

Secretario del Consejo Divisional

*Además de este formato-resumen, el interesado deberá entregar su Informe detallado de actividades junto con la documentación probatoria correspondiente.

**Informe de Proyecto de sabático: Diseño de prácticas de Ingeniería de la Energía Solar**

**Profr. Enrique Barrera Calva**

**Periodo. Octubre de 2023 a diciembre de 2024**

**Sitio de desarrollo. Caseta Solar de la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, Centro de Posgrado de la Universidad de Guadalajara, Campus Ameca Jalisco**

**VoBo**

[redacted]

**Dra. Claudia Rojas Serna**

**Jefa de Departamento de IPH**

[redacted]

**Dr. Enrique Barrera C.**

**Prof. en disfrute de Sabático**

**Estructura del Informe.**

La estructura de este Informe se desarrolla a continuación. Insertos van, punto a)Informe que contiene; a) Informe; b) aspectos que relacionan los objetivos cumplidos y la explicación de los no cumplidos. En un punto c) la información detallada de las actividades de docencia, investigación y preservación y difusión de la cultura; d) Relación de resultados y metas alcanzadas; e)Información de las asesorías realizada a los alumnos; f)Comentarios y observaciones y g) constancias y documentos probatorios que demuestran las actividades académicas desarrolladas durante el sabático.

**a) Informe detallado**

**1) Objetivo.** Diseñar y construir prototipos para realizar diferentes prácticas de colectores solares para utilizarlos como parte del equipo de realización de prácticas de Ingeniería de la Energía Solar, dentro de los cursos de Energía Solar relacionados con el plan de estudio de la carrera de Ingeniería en Energía del departamento de IPH, CBI, UAM-I.

**2) Antecedentes.** La Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa en su Licenciatura de IRE cuenta con una UEA denominada Ingeniería de la Energía Solar, Temas selectos de energía Solar, entre otras, con un carácter evidentemente teórico, pero el ánimo y entusiasmo de los alumnos es tal que en esta(s) UEA siempre, se intenta cubrir una parte experimental. Esta UEA no cuenta con un laboratorio para ello, sin embargo es necesario contar con una estrategia que permita que los alumno se motiven a hacer lo mejor posible una actividad experimental, ya que la ventaja de la Ingeniería solar es que sus elementos teórico como prácticos les confiere más habilitaciones profesionales. Por ello con su conocimiento de temas y leyes fundamentales de física y Termodinámica, se vierten en aplicaciones prácticas al campo de la energía solar, donde los alumnos desean y pueden aplicar y desarrollar de inmediato conceptos para poner en práctica, ref. (1,2).

La desventaja de no contar con un laboratorio para esta uea, no es impedimento para este logro, por eso hemos reflexionado de tratar de hacer lo mejor posible esta actividad en esta materia, pues además se gana en la parte pedagógica que permite un mayor logro de conocimientos si se realizan tales actividades entre los estudiantes.

Laboratorio Solar. Se cuenta con un espacio pequeño a un costado de la planta piloto, donde se han construido varios prototipos solares y allí se resguardan. Cuando es necesario realizar una caracterización experimental, simplemente se abre la caseta y se pueden desplegar los prototipos fuera de la caseta que es espacio libre y extenso, con poco paso de alumnos por lo que se puede realizar muy bien las caracterizaciones experimentales deseadas.

Ilustramos con una metodología sencilla, en el desarrollo de un colector solar nanoestructurado, la estrategia a seguir para alcanzar esa meta de desarrollo de prácticas en energía solar en la comunidad UAM-I.

La estructura de este Informe se desarrolla a continuación. En un punto siguiente, punto b), en la parte final del informe, se relacionan los objetivos cumplidos y la explicación de los no cumplidos. En un punto c)

**3) Metodología.**

Con base a los temarios oficiales de las ueas de los cursos obligatorios como Ingeniería de la energía Solar, o cursos optativos como el de Temas Selectos de energía Solar, se pueden plantear prácticas experimentales a los conceptos teóricos más relevantes de los cursos mencionados. En este caso nos propusimos abrir espacio para 5 practicas planteadas, que se propone tomaría utilizar solo un 15% del tiempo del curso normal. Con esta actividad práctica, consideramos que se logra habilitación pedagógica que mejoraría notablemente las actividades destinadas solo a teoría. Asi, se permitirá experimentar conceptos como las mediciones y determinaciones de los conceptos de Irradiancia e irradiación solar; el alumno podrá preparar y recubrir las aletas de un colector solar con los llamados recubrimientos solares selectivos, realizando la caracterización experimental de sus propiedades ópticas; también podrá realizar la instrumentación térmica, monitoreo de flujo de fluidos y la cuantificación experimental de las eficiencias de diferentes colectores solares, como un colector solar plano, un destilador solar pasivo, una estufa solar de óptica anidolica y un colector solar de aire para utilizarlo en un secador de productos agrícolas.

Diseño construcción y evaluación de colector solar nanoestrcuturado para introducir a la práctica en Ingeniería en Energía Solar

Planteamiento del problema. La adquisición de un colector solar plano de tubos aletados para fines de demostración de su funcionamiento y de la identificación de los fenómenos de transferencia de calor involucrados, el flujo de fluidos y la transformación de energía gracias al manejo apropiado de los llamados materiales solares selectivos, no es común, al menos en México, así que en este proyecto se pretende diseñar, construir y operar un dispositivo solar de colector, pequeño, practico y manejable para fines docentes, demostrativos y de practicidad pedagógica entre los estudiantes de temas introductorios a la Ingeniería en energía solar, empezando desde el aula, con la visualización y manipulación del sistema solar.

Con este modelo de prototipo solar a escala se pretende que el dispositivo sea visualizado en clase especializada en el tema, y que se realicen pruebas rápidas, prácticas y accesibles, sin necesidad de desplazarse a un sitio especializado, sino que el alumno lo opere de manera apropiada a un espacio cercano al sitio de la clase, ganando con ello, practicidad, empatía y facilidades para que se conozcan aun los detalles tecnológicos de estas tecnologías a un número suficiente de audiencia que usualmente no tiene acceso a esas

tecnologías de especialidad y que usualmente demanda de una área específica para realizar esas pruebas.

Campo de acción.

Se construye un pequeño colector solar de 0.12 $m^2$, a base de 3 tubos aletados, diámetro de 1 cm y de 10 cm de ancho de aleta por un largo de 40 cm. Este arreglo con cabezal superior e inferior de 1. 5 cm de diámetro, se le ponen accesorios de entrada y salida con tuberías de tubo transparente de polietileno conectados a un recipiente de agua caliente de 10 litros de agua en polietileno y con aislamiento de espuma de poliuretano.

El colector solar está dentro de una caja de aluminio con aislamiento trasero y las aletas de cobre van recubiertas con una superficie selectiva a base de un recubrimiento negro a base de plata negra nanoestructurada. Este material, lo puede preparar y aplicar completamente el alumno sobre las aletas de cobre, con lo que posteriormente se solda la aleta al tubo y posteriormente continuar con la construcción completa del colector solar. Cuando sean las condiciones, se le pueden proporcionar ya las aletas al alumno, por lo que las labores de ensamblado son menores. Dependiendo del ánimo y entusiasmo de algunos de ellos, se les indican las instrucciones a a seguir para quienes estén en al ánimo de construir completamente el colector solar.

Se muestra en la figura 1 una fotografía de un sistema aproximado al deseado pero el sistema nuevo a desarrollar, cuenta con más detalles técnicos como los mencionados, además del menor tamaño, para fines de manipulación.

Fig.1. Foto de un colector solar de tubos aletados de 1 $m^2$, como el que se realizó en este proyecto, de solo 0.12 $m^2$, con más detalles en el diseño, así como, por su tamaño, en la practicidad, como se menciona en este sabático.

Recubrimiento selectivo. El colector solar de tubos con aletas de cobre soldadas con aleación de estaño, se pulen y más tarde se limpian con agua y detergente y posteriormente se enjuagan con alcohol etílico. Una vez secada la superficie, esta se recubre con una delgada capa de recubrimiento solar selectivo nanoestructurado a base de plata negra. Ese recubrimiento solar se deja secar y se fija en la caja del colector, que se cubre con vidrio templado de alta transmitancia, cerrando herméticamente el absorbedor dentro de la caja con sello de silicon. Una vez seco el sistema se procede ya a integrar al termotanque que es un recipiente de polietileno de 12 litros con una entrada, parte superior, y una salida inferior, para el envió del agua fría hacia el colector.

El recubrimiento de la película de plata negra es una suspensión nanoestructurada a base de plata dispersada en una resina epoxica de araldita. La preparación de ese recubrimiento se encuentra desarrollada en la referencia 1 y 2. Dicha dispersión encuentra diversas aplicaciones una de ellas es la preparación de películas delgadas como absorbedores solares de alta selectividad. En la tabla 1, se muestran las propiedades ópticas de dicho recubrimiento en sustratos de cobre.

Tabla 1. Propiedades ópticas de recubrimiento negro de plata sobre sustratos de cobre

| Material | Absortancia | Emitancia | Estabilidad térmica |
|---|---|---|---|
| Plata negra en resina/Cobre | 0.94 | 0.5 | Estable a 180 C |
| TiNOx en vidrio | 0.96 | 0.1 | Estable a 280 C |
| Cromo negro en | 0.94 | 0.25 | Estable a 200 C |

| | | | |
|---|---|---|---|
| cobre | | | |

**5) Resultados esperados.** Ya con el prototipo de colector solar construido y por el tamaño del mismo se podrá transportar a los salones de clase tradicionales para que el alumno identifique y conozca la función de todos los elementos del colector solar, permitiendo el debate, la reflexión y la propuesta de nuevos materiales, diseños y arreglos de dichos sistemas.

También se desarrolla la metodología de operación y funcionamiento del sistema solar, para realizar su caracterización en cualquier espacio soleado fuera del aula docente, donde determina el flujo térmico de cada elemento importante del colector, la determinación de la Irradiancia solar incidente, con base en lo que se determina la eficiencia instantánea, horaria y diaria del prototipo.

Otras posibles prácticas. De manera similar que la construcción, operación y caracterización del colector solar de tubos evacuados, se diseñan, construyen y proponen prácticas de otras prototipos como: a) horno comal solar de óptica anidolica, b)destilador solar de agua y c)deshidratador solar de productos de productos alimenticios, que se podrían lograr en esta actividad sabática.

Como parte de estas actividades se evalúan, las propiedades ópticas de los materiales utilizados en los colectores solares, se miden los flujos de energía radiativa a través de pirómetros, entre superficies a través de termopares con adquisitores de datos, se cuantifica la transferencia de calor, el flujo de fluidos, la transferencia de masa y los números adimensionales que rigen el flujo de calor, así como la transferencia de masa involucrada en estos dispositivos solares.

Las Prácticas escritas y propuestas para cursos de Ingeniería de la Energía Solar desarrollado durante esta estancia sabática, son y se encuentran en la liga anexa de DRIVE para su consulta detallada:

Liga:
https://drive.google.com/drive/folders/1YpU47Y007t8FbCGMjJot0RGlwBfq0rW4?usp=sharing.

Practicas desarrolladas en este periodo sabático:

1. Medición de la Irradiancia e irradiación de la energía solar
2. Medición y estimación calorimétrica de la irradiación solar
3. Manufactura de un calentador solar de tubos aletados.

4. Pruebas experimentales de un calentador solar de agua, diseñado y construido por los equipos de alumnos de Ingeniería de la Energía Solar.
5. Pruebas experimentales de tecnologías a base de colectores solares térmicos.
6. Apéndice A: Cuestionarios previos a las prácticas.

**b) aspectos que relacionan los objetivos cumplidos y la explicación de los no cumplidos. Otras actividades durante el sabático.**

Al no cumplirse el objetivo de realizar estancia de investigación en la Universidad Politécnica de Valencia como se pretendía, por la no obtención de la beca Carolina para poder realizar estancia en esa institución, nos propusimos realizar trabajo de investigación dentro de UAM y la Universidad de Guadalajara, Campus Ameca, desarrollando estudios de tasas de sumidero y evolución de bióxido de carbono por varias plantas mexicanas, para diferentes condiciones de insolación solar.

La asistencia a dos congresos internacionales especializados fueron parte de la presentación de resultados de tales actividades ya que no fue posible conseguir apoyo para obtener la beca, "becas Carolina", para poder haber realizado una estancia en la Universidad Politécnica de Valencia en España, UPV como se esperaba inicialmente para realizar una estancia breve de investigación en la Universidad.

Así, nos dedicamos a realizar trabajo en UAM-I y en Universidad de Guadalajara, campus Ameca en Jalisco México para realizar: 1) prácticas en Ingeniería solar; 2) Investigación y desarrollo para poder culminar dos trabajos de congreso internacional en el foro de Bioenergy and Biofuels en Roma Italia y Londres Inglaterra; 3) Impulsar tres artículos de investigación en revistas especializadas y por ultimo 4) Apoyo a dos alumnos de posgrado y a dos alumnos de Licenciatura para terminar o avanzar sus seminarios de investigación y de tesis.

**c) la información detallada de las actividades de docencia, investigación y preservación y difusión de la cultura**

En esta estancia sabática, también se realizaron no solo actividades de laboratorio y prácticas para generar material docente, sino que también se mantuvo contacto estrecho con dos alumnos de posgrado para el avance de sus estudios doctorales en un caso, Maestro Carlos Juárez y en el otro de estudios de maestría, alumna Huayra Castillo. Dichos alumnos recibieron apoyo docente, asesorías yapoyo logístico y suministro de fondos económicos para reactivos, gases inertes y materiales de laboratorio para realizar sus investigaciones teóricas como experimentales.

Con los alumnos en proyecto terminal o servicio social se buscó seguir con la asesoría a distancia y presencial para el apoyo para la conclusión de sus actividades. Parte de los resultados se muestran plasmados en los comprobantes del informe.

**d) Relación de resultados y metas alcanzadas. Al final del informe se adjuntan caratulas o trabajos completos.**

La lista de artículos en revistas; trabajos presentados en foros internacionales y capitulo de libro, entre otras las actividades docentes y en general las de 2024, se pueden consultar en la liga donde está mi informe anual de actividades: https://drive.google.com/drive/folders/1NnIpTVA3Nb5FTFxdlo41wpVBoiZF2v0m?usp=sharing

1 C.Juárez-Salinas, F.González-García, **E.Barrera-Calva,** Y.R.Galindo-Luna, Experimental analysis of pyrolytic ultrasonic spray grown solar selective coatings under real operation in a parabolic trough collector, Optical Materials, Elsevier, Open Access, 2024

2 Espinoza–Tapia J. C., Becerril–Landero L. A., **Barrera–Calva E.**, Vigueras Ramírez J. G., González–Reyes L., Falcony–Guajardo C. Tbx-Zn1-x -BDC MOF films synthesized in-situ by the aero-sol-assisted chemical vapor deposition, Nano Express, Open access, 2024.

3 **Barrera-Calva Enrique**, Rentería-Tapia Víctor, G. López P. y R. Vázquez R.A Estimación del tiempo de duración de reservas probadas de energía fósil y potencial de la energía solar, Revista Contactos, UAM, Dic. 2024.

4 **Barrera-Calva Enrique**, Rentería-Tapia Víctor, Martínez G.M , Barrera V. E.Z, Carbon dioxide sinks from several Mexican plants, Aceptado para Publicación en Pollution Study, Enero 2025.

5 **Enrique Barrera Calva**, Rentería-Tapia Víctor, R. G. Martinez, Barrera V. E.Z. Carbon Dioxide Sink From Several Mexican Plants, International Conference and Expo on Biofuels and Bioenergy, Rome Italy, April 2024.

6 **E. Barrera Calva**, Rentería T. V.M[1]. Rosas C.R., Massive green areas to improve the quality of life in large cities, Second International Conference and Expo on Biofuels and Bioenergy, London England, November 2024.

7 **E. Barrera C**, Ponencia Magistral "Energía Solar en algunos proyectos Productivos, Primer Congreso Internacional de Investigación en Ingeniería, Contabilidad, Administración y Gastronomía, 28 y 29 de Octubre Tecnológico de Estudios Superiores del Oriente Del Estado de México.

8 **E. Barrera C**, H. Castillo, C. Juárez, Ponencia "Suavización de aguas como medio de ahorro de energía", Primer Evento "Encuentros Interactivos en Pro dl Agua", 9 de Mayo 2024, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa.

9 Y. Galindo, **E. Barrera**, F. González, Nanofluidos para el mejor aprovechamiento térmico de la energía solar, Capítulo del libro aceptado y denominado: Sustentabilidad energética, medioambiente y sociedad: Avances en la Agenda 2030, CICESE, 2024. México.

**e) Información de las asesorías realizada a los alumnos.**

Alumnos de maestría y doctorado.

En Abril de 2024, se realizó apoyo logístico y trabajo en el laboratorio T-257 para instalar la tubería de gases, aire acondicionado e instalaciones eléctricas apropiadas para poner a punto los servicios auxiliares de equipo ICP masas instaladas en ese laboratorio.

En mayo de 2024, se colaboró en la capacitación, habilitación y puesta a punto de equipo ICP masas para la determinación de trazas de metales pesados en soluciones acuosas.

Desde junio de 2024 se es responsable en el uso y operación del ICP masas para apoyo en el análisis químico a nivel de trazas de ese equipo.

También durante 2024 se dio asesoría constante a dos alumnos de licenciatura para concluir sus seminarios de proyecto, mostrados en los probatorios.

**f) Comentarios y observaciones**

En este informe intentamos mostrar lo realizado en esta oportunidad de haber realizado una estancia sabática de poco más de una año. Pretendíamos una visita a la Universidad Politécnica de Valencia España, UPV, donde estuve en un sabático en el año 2011. En esta ocasión pretendíamos volver a ese sitio, lamentablemente no fue posible conseguir la beca Carolina para lograr la estancia en esa institución, ante esa adversidad, permanecí en UAM y realice visitas de trabajo en la Universidad de Guadalajara donde contamos con buenas relaciones con el Dr. Victor Rentería. En ese marco realice diversas actividades de investigación y genere material docente y prototipos para contar con prácticas de Ingeniería Solar. Por ultimo gracias al periodo sabático pude realizar dos asistencias a foros internacionales, Roma Italia y Londres Inglaterra, para presentar trabajos de investigación que están en proceso de publicación. La Investigación en colaboración y cotidiana dentro de UAM también rindió fruto con varios trabajos de investigación publicados en ese periodo, y que estamos reportando. Por ello considero que en el sabático disfrutado, pude cumplir las metas planteadas en docencia y en la parte de investigación también se lograron buenas metas, así como la oportunidad de asistir a foros de corte internacional para conocer y platicar con especialistas mundiales en temas de bioenergía y desarrollo de biocombustibles, que refrescan y actualizan nuestro entorno UAM, para ofrecer más visión en el terreno docente como en investigación para nuestra casa abierta al tiempo.

**g) constancias y documentos probatorios que demuestran las actividades académicas desarrolladas durante el sabático.**

A continuación presentamos las prácticas desarrolladas propuestas para cursos de Ingeniería de la energía solar y otros documentos probatorios de las diversas actividades desarrolladas durante la estancia sabática.

## Ingeniería en Energía

## UEA: Ingeniería de la energía Solar

## Práctica: Medición de la Irradiancia e irradiación de la energía solar

### 1. Objetivos de aprendizaje

***Objetivo general***

Medir Irradiancia solar con un piranómetro de alta gama (Eppley modelo PSP). Utilizando modelos realizados en México determinar la Irradiancia solar y la irradiación de cualquier sitio de la República Mexicana.

***Objetivos específicos. El alumno.***

1. Realizara una medición de la Irradiancia solar para un día específico en CDMX, por mediciones cada tres minutos.
2. Con base al modelo de José Luis Fernández Zayas, determinara la curva de Irradiancia solar del día de medición experimental
3. Realizara una comparación grafica de los resultados y evaluar el porcentaje de desviación media de las mediciones de la Irradiancia solar por el método de la desviación estándar.
4. Con base al modelo de la determinación de la irradiación solar de Rafael Almanza, determinara dicho valor para el día de medición experimental. Estimara la variación de resultados, respecto del valor medido, mediante el uso de la determinación de la suma de Riemann.

### 2. Introducción

***Recurso Solar.***

La determinación y conocimiento de los conceptos de Irradiancia e irradiación solar de cualquier sitio donde se desea conocer el recurso solar para la realización de proyectos de ingeniería es muy necesaria y en ocasiones subestimada, porque se suele apelar a modelos o estimaciones indirectas, cuando la medición directa es esencial en la confiabilidad y calidad de los datos y la verdadera estimación del recurso solar de manera clara y directa, para la plena validación en la ejecución de proyectos. Por estas razones se hace perentorio

que en este tipo de cursos a nivel licenciatura, los alumnos se sensibilicen con la actividad práctica de la medición de sus recursos naturales y del manejo apropiado de los términos asociados a los conceptos importantes en Ingeniería solar.

***La capacidad del Recurso Solar en CDMX.***

Se sabe que México cuenta con un gran nivel de recurso solar. Se dice que el país es rico en este recurso que superamos a Alemania con aproximadamente el doble del recurso acre por acre y aun así Alemania ha tapizado con esta tecnología su territorio, para aprovechar al máximo este recurso. Por ejemplo el nivel de irradiación solar promedio diario en todo su territorio alcanza del orden de los 15-23 MJ/m$^2$-dia contra un orden de magnitud de 10 a 14 MJ/m2-dia para el país teutón.

Pero cuanto es el orden de magnitud de ese recurso solar, podemos estimar experimentalmente de manera sencilla ese potencial ?. Como evaluarlo y estimarlo de manera sencilla?.

***Instrumentos Solares.***

Actualmente, el mejor método de estimación del recurso solar es mediante la medición directa con instrumentos denominados piranometros que dan el valor de la irradiancia solar (W/m$^2$). Los valores de este parámetro se registran manualmente y por medio de la constante del equipo, se puede estimar el valor de Irradiancia solar con una resolución, que el equipo Eppley brinda de (±1 W/m$^2$). Algunos piranometros, especialmente de la marca Licor, vienen con adquistor de datos incluido, lo cual permite mediciones segundo a segundo lo que facilita aún más las mediciones experimentales y estimaciones más precisas de las mediciones de irradiación solar (MJ/m$^2$-dia)

Una vez evaluada la curva de las mediciones de Irradiancia solar, es posible estimar las mediciones de la irradiación solar que representa los valores de la energía solar total por unidad de área e integrada por un periodo de un día.

Fig. 1. Piranometro Eppley PSP con un principio de generación de una Fuerza electromotriz por medio de termopares en serie paralelo en la superficie sensora del equipo

***Ángulos solares:***

Los ángulos solares serán impórtate para una estimación clara de los niveles de Irradiancia solar en colectores solares. Por ello la posición del Sol con respecto a un plano de cualquier orientación particular a la Tierra en cualquier momento puede describirse en términos de varios ángulos. Ese será importante para posteriormente entender el concepto del factor Rb, que es un factor de inclinación del colector, que permitirá encontrar los niveles de irrardiancia solar que caen sobre un colector solar murando al sur y que mantiene una inclinación β respecto a la horizontal del lugar. Los ángulos y sus convenciones de signos son los siguientes (Figura 2):

- Latitud (Φ): es la ubicación angular de un sitio terrestre con referencia al ecuador. Es norte positivo: $-90° < \Phi < 90°$.
- Declinación (δ): es la posición angular del Sol al mediodía solar con respecto al plano del ecuador. Es norte positivo: $-23.45° < \delta < 23.45°$.
- Pendiente (β): es el ángulo entre el plano de una superficie y el horizontal. Si es mayor que 90°, la superficie tiene un componente orientado hacia abajo: $0° < \beta < 180°$.
- Ángulo de azimut superficial (γ): es la desviación de la proyección en un plano horizontal de la normal a la superficie desde el meridiano local. Es cero debido al sur, este negativo y oeste positivo: $-180° < \gamma < 180°$.
- Ángulo horario (ω): es el desplazamiento angular del Sol al este o al oeste del meridiano local debido a la rotación de la Tierra sobre su eje a 15° por hora. Es negativo en la mañana y positivo en la tarde.
- Ángulo de incidencia (θ): es el ángulo entre la radiación del haz en una superficie y la normal a esa superficie.

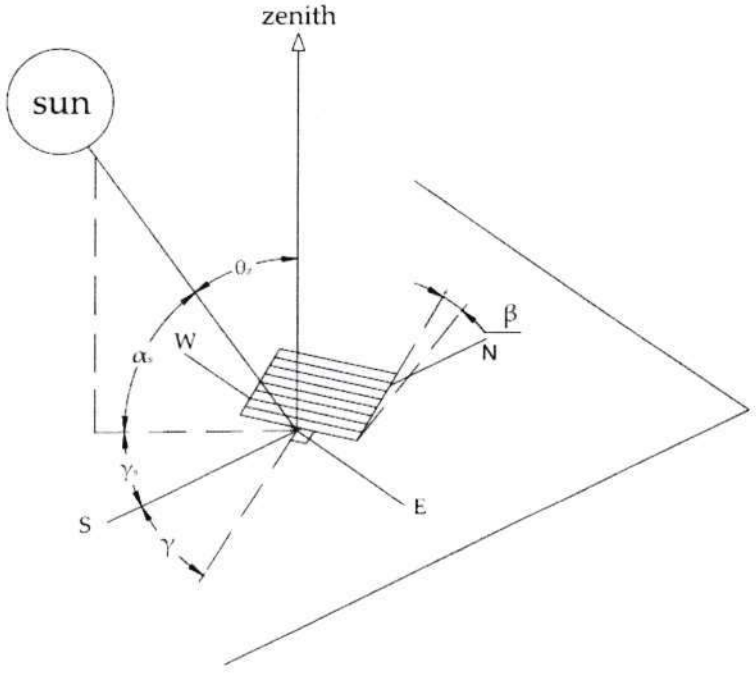


Figura 2. Ángulos solares para una superficie inclinada claves en la determinación del factor Rb para corregir radiación en la horizontal a superficies inclinadas..

**Reflexión.** ¿Podria usted para el sitio donde se ubica y el día del análisis en cuestión, posicionar en un plano aproximadamente cada Angulo solar relevante para una superficie inclinada como su colector solar?

**Piranometro PSP de Eppley o estimaciones con modelos.**

Las estimaciones y mediciones del recurso solar se llevan a cabo con instrumentos apropiados como los piranometros Eppley que se pueden considerar instrumentos del tipo secundario, que se suelen calibrar al menos anualmente contra un estándar del tipo primario, para así asegurar la buena medición y reproducibilidad de tales instrumentos en la medición de este recurso energético de tanta importancia y expectativa. También se cuenta con la estimación del recurso solar mediante el apoyo de modelos específicos para países o regiones, donde se ha demostrado suficiente probidad de tales trabajos. Para el caso de México son dos los trabajos más relevantes, (Ref. 2 y 3) que se dispone para estimar la Irradiancia e irradiación solar con una estimación en la precisión de ese parámetro del orden del 10%. En la parte teórica del curso se discute y anima a los estudiantes que en la evaluación de proyectos se debe de convencer a los inversionistas que como primer paso de cualquier proyecto, se realice una experiencia de medición del recurso por al menos de 3 meses con monitoreo constante en el sitio de interés para validar fehacientemente el recurso solar.

**Reflexión.** ¿Hoy en día los proyectos solares importantes pueden oscilar en alrededor de un millón de dólares de inversión. Si un piranometro solar con adquistor de datos alcanza unos 2000 dólares de inversión, que porcentaje del total del proyecto, representa una buena medición y estimación del recurso solar?. Comente.

## 3. Equipo y Material

- Piranometro Eppley PSP
- Cronometro
- Multímetro en el rango de 0-20 mV
- Caimanes con alambre

## 4. Desarrollo y Procedimiento

El profesor explicara el manejo del piranometro Eppley PSP y la necesidad de contar con un medidor de voltaje en el orden de 0-20 mV de corriente directa. Si se cuenta con un adquisitor de datos de esa resolución se puede utilizar ese equipo para no tener que registrar punto a punto con el multímetro digital.

Los puntos de Irradiancia solar, $W/m^2$ se obtienen de multiplicar los mV medidos cada tres minutos por la constante del piranometro impresa en el equipo. Se grafican los datos de Irradiancia solar en el eje y en ($W/m^2$) como función del tiempo. Con base en esta gráfica y el procesamiento de esos datos, por medio del método de integración debajo de la curva, por ejemplo por el método del trapecio, se obtiene el valor de la Irradiación solar, ($MJ/m^2dia$). Una actividad final de esta sección, es que con los modelos de Fernández Zayas y de Almanza y Muñoz, se estiman los valores de Irradiancia solar y de la irradiación solar procediendo a calcular el porcentaje de desviación de los modelos con el de los valores experimentales.

Se propone un esquema básico (Figura 3), del circuito para realizar las pruebas de la medición de la Irradiancia solar

*Figura 3.* Esquema de circuito de pruebas para medición de Irradiancia solar, La señal de milivoltaje del piranometro se mide con un multímetro digital y con la constante del equipo se obtiene el valor de irradiancia solar($W/m^2$). Si se cuenta con un adquisitor de datos, la señal eléctrica se puede transformar y guardar en la memoria del equipo.

***Base de datos***

A continuación, se muestra el formato de la base de datos:

| | Medida de milivoltaje con multímetro | | Irradiacion solar ($MJ/m^2$-hr) | |
|---|---|---|---|---|
| Fecha y hora | mV de piranometro | Irradiancia solar, $W/m^2$ | Método de trapecio | ($MJ/m^2$-hr) |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

## 5. Cálculos y discusión

Para la determinación de la irradiación solar, se usa el método del trapecio para evaluar el área bajo la curva de las medidas de irradiancia solar con el tiempo. Subtendida por los puntos de cada dato experimental medidos cada tres minutos. Se podría utilizando los modelos de Fernández Zayas y Almanza Salgado, reproducir para el periodo del día de mediciones las estimaciones de irradiancia e irradiación solar, estimando los porcentajes de desviación y la explicación de las diferencias.

Reflexión. ¿Qué piensa en cuanto a la estimación del área de la curva si el intervalo de medición disminuye a 1 minuto?. Y a un segundo?. Que pasaría en cuanto a la estimación de ese parámetro si el intervalo de medición crece a una hora?. Comente.

## 6. Aplicaciones.

Las aplicaciones de esta práctica están en la esfera el monitoreo y sensibilidad en la medición de variables ambientales, como es la estimación de la Irradiancia e Irradiación solar, que son importantes para el diseño de proyectos de ingeniería. Muchos ingenieros diseñan proyectos en Ingeniería solar por medio de mapas o información de modelos o datos de expertos meteorólogos, sin que se tenga una plena experiencia en la medición directa y en la sensibilización que representa el hecho de la medición directa del recurso solar. Atender esta norma elemental de evaluación y monitoreo directo del recurso solar permitirá el conocimiento más claro y fidedigno del recurso solar clave en la evaluación de proyectos de Ingeniería Solar, que día con día tienen más penetración en el México moderno que apuesta al logro de la sustentabilidad.

## 7. Referencias.


1. Duffie annd Beckmann, Solar Engineering Thermal Processes, third Edition 1990.
2. José Luis Fernández Z. y Vicente Estrada C. "Cálculo de la radiación solar instantánea en la república mexicana, Publicación Azul Instituto de Ingeniería, UNAM, (1988), México.
3. Rafael Almanza S. y Serafín López. "Radiación Solar Global en la República Mexicana mediante datos de Insolación, Publicación Azul Instituto de Ingeniería, UNAM, (1975), México.

## Ingeniería en Energía

## UEA: Ingeniería de la energía Solar

# Práctica 2: Medición y estimación calorimétrica de la irradiación solar

## 8. Objetivos de aprendizaje

***Objetivo general***

Mediante el planteamiento de un experimento sencillo de calorimetría, determinar el valor de la Irradiancia solar de un día típico del año (constante solar) y de una localidad de latitud determinada.

***Objetivos específicos. El alumno.***

5. Realizara una medición experimental de la Irradiación solar para un día específico en CDMX, mediante un sencillo experimento calorimétrico.
6. Con base a resultados experimentales graficara el aumento de temperatura del sistema calorímetro agua como función del tiempo de exposición del sistema al sol.
7. Con un balance de primera ley de la Termodinámica sobre el calorímetro expuesto a los rayos solares directos, se determina el valor de la constante solar de una hora específica en el sitio de medición.

## 9. Introducción

***La capacidad del Recurso Solar en México.***

Como comentábamos anteriormente, se sabe que México cuenta con un gran nivel de recurso solar, por los altos valores de Irradiancia solar que conduce a altos valores de irradiación solar en diferentes regiones de la República Mexicana (15-23 $MJ/m^2$-dia), lo cual lo hace un recurso muy importante para emprender diversos proyectos que poco a poco van en constante crecimiento en todo el territorio nacional.

El ejemplo más importante de aplicación de la tecnología solar en nuestro país, sin duda es el calentamiento de agua para fines domésticos. Aun así esta aplicación aún se encuentra a nivel muy incipiente, cubriendo solo un orden de magnitud del 20%, por lo que falta mucho por hacer para cubrir esta aplicación que podría bajar mucho el nivel de uso de combustibles fósiles. Si este recurso se destinara a otro tipo de aplicaciones como destilación solar de agua, secado y deshidratación solar o bien aplicaciones de generación de vapor para más aplicaciones en el área agropecuaria o industrial, las posibilidades de desarrollo y crecimiento en uso de la tecnología solar resulta muy atractiva para el país. Mucho tienen que aportar los jóvenes Ingenieros especializados en esta materia..

Es por ello, que el conocimiento y sensibilización con la estimación del recurso solar es esencial entre los estudiantes de Ingeniería por ello en esta propuesta de práctica, proponemos alternamente una estimación más de la constante solar por métodos indirectos, como es el método calorimétrico. En esta sección, vamos a proponer un método experimental sencillo de lograrlo. ¡Se animan a que reflexionemos sobre este tema?.

Vamos a ver.

**Reflexión.** ¿Podría usted para el sitio donde se ubica y el día del análisis en cuestión, identificar aproximadamente el valor de la constante solar hacia el mediodía por métodos indirectos?. Mencione los detalles de método.

***Calorímetro solar***

Un recipiente metálico con acabado negro mate expuesto a los rayos del sol, es capaz de incrementar su temperatura por varios grados arriba de la temperatura ambiente. Si el recubrimiento negro es selectivo es decir que pueda contar con una alta absortancia solar por arriba de 0.94 y una baja emitancia térmica infrarroja, la superficie del recipiente alcanzara la mayor temperatura posible que otro acabado pueda conferirle. Si ese recipiente se llena de agua y se monitorea la temperatura alcanzada con función del tiempo del sistema recipiente agua, se observara que la temperatura crece con el tiempo de manera proporcional como función del tiempo.

En esas condiciones, donde la ganancia térmica es notablemente mayor que las perdidas térmicas, el sistema se comporta como un calorímetro con paredes diatérmicas, con lo que a esa condición se puede determinar el cambio de energía interna del sistema es igual a la ganancia térmica del sistema y a esas condiciones se puede determinar la ganancia térmica y por ende la cantidad de energía cayendo de la bóveda celeste, sobre el sistema, que significa una aproximación a la evaluación de la constante solar a condiciones deseadas.

## 10. Equipo y Material

1 bote de refresco vacío lijado en su parte externa

1 cronometro o reloj
1 balanza granataria con resolución 0.1 g
1 termómetro
1 vela
1 calibrador
Pintura negra mate en spray
Agua

## 11. Desarrollo y Procedimiento

a) Se pinta con pintura negro mate en spray o se ahúma con negro de humo (de una vela) la pared externa del bote metálico de refresco, para absorber al máximo la energía solar
b) Se pesa el bote tanto vacío como lleno de agua.
c) Se tapa el agujero con cinta y se perfora para introducir el termómetro y poder llenar de agua el bote.
d)Trabajando en un horario alrededor de las 10 hasta las 15 h, se pone el bote al sol, con su termómetro indicador, de manera que los rayos del sol incidan lo más perpendiculares a la base de cilindro, sobre la superficie negra, cubriéndose inicialmente el calorimetro con una pantalla para evitar que lleguen los rayos solares, buscando que se alcance un equilibrio térmico incial del sistema con los alrededores. Fig. 1.
e) Una vez alcanzado el Equilibrio térmico. Se procede a quitar la pantalla, a partir de ese momento (t=0) el sol incide en el bote, se mide la temperatura del agua cada 60, 120 o 180 s segundos y se agita de cuando en cuando. Al principio, la temperatura sube rápido, después se estabiliza y es entonces cuando las pérdidas por conducción y convección compensan exactamente el calor absorbido por el sol. Ver figura 1 adelante.

Se propone un esquema básico (Figura 1), del circuito para realizar las pruebas.

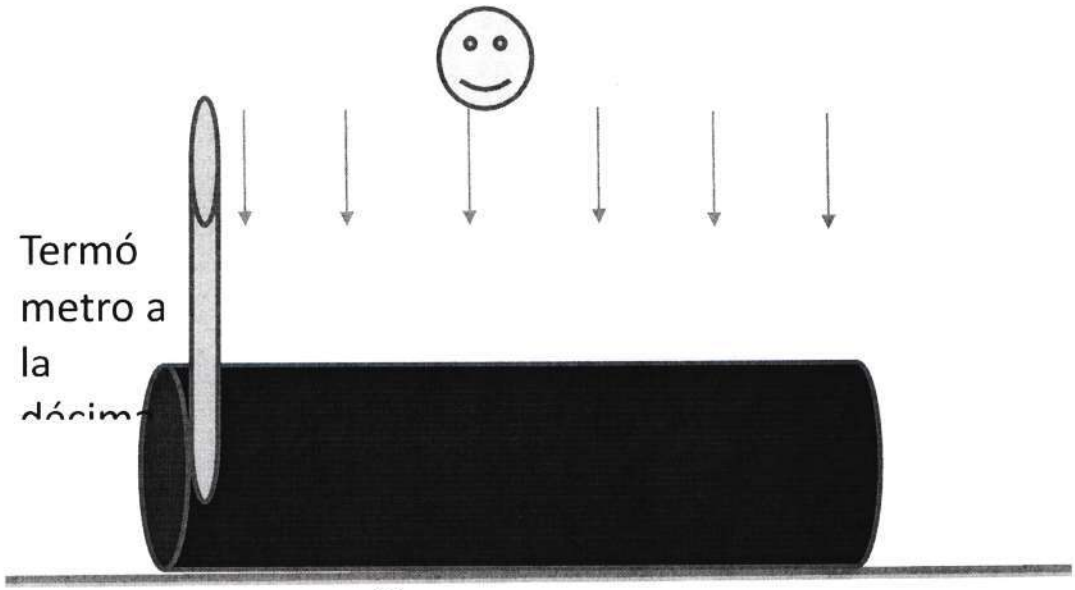


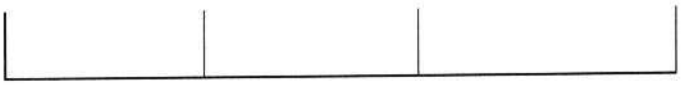
*Figura 1.* Esquema del calorímetro de pruebas, donde se busca hacer cumplir la ley cero de la termodinámica, para medir el perfil de temperaturas del sistema con el tiempo.

### *Base de datos*

A continuación, se muestra la tabla 1, para usarla como el formato de la base de datos.

Tabla 1. Ejemplo de que datos a obtener de esta práctica para la determinación de la estimación de la Irradiación solar por el método calorimétrico.

| | Parámetros f(t) | |
|---|---|---|
| Fecha y hora | Tagua, C | Pendiente=$\Delta T/\Delta t$ |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |



Al principio, la temperatura sube rápidamente, después se estabiliza y es entonces cuando las pérdidas por conducción y convección compensan el calor absorbido por el sol.

Se pueden estimar estas pérdidas para obtener e número de calorías que llegan del sol (constante solar), pero los cálculos son complicados para ciertos fines. Vamos a darle vuelta al asunto y a determinar el valor que buscamos por otro camino.

Se ve de la gráfica que la temperatura, fig.2 sube rápidamente, esta rapidez de calentamiento inicial no se ve afectada por las pérdidas de convección y radiación, así que la mediremos directamente de la gráfica, para ello trazaremos la tangente a la curva en el punto (t=0) y medimos su pendiente, tan $\theta = \Delta T/\Delta t$

Este valor será la rapidez de calentamiento inicial, o sea, cuando todo el calor que absorbe el sistema bote-agua, del sol, se emplea en elevar la temperatura.

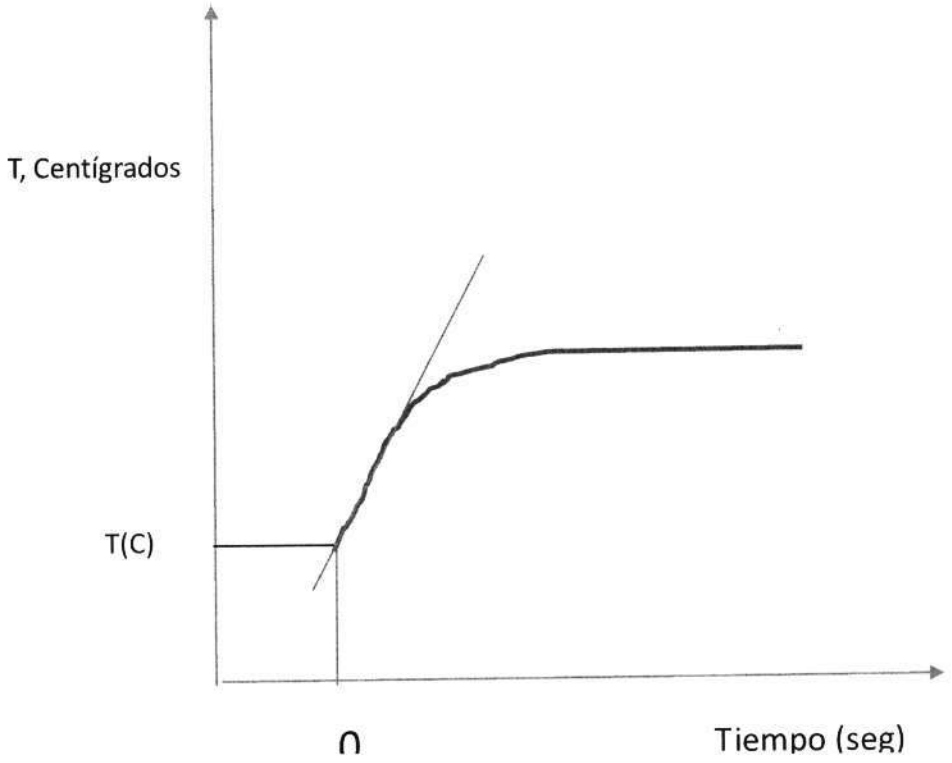


Fig. 2 Perfil térmico del calorímetro una vez que se llega al equilibrio térmico de todo el sistema experimental inicial y que se logra cuando se expone al sol el sistema calorímetro y sensores de temperatura.

## 12. Cálculos y discusión

La temperatura está relacionada con la cantidad de calor recibida, por medio de la ecuación,

$$Q = C(\frac{\Delta T}{\Delta t})$$

Donde, $\frac{\Delta T}{\Delta t}$

Es la rapidez de calentamiento inicial, C es la capacidad calorífica combinada del sistema bote-agua, Q es el flujo de calor, o sea, la cantidad de calor por tiempo, así que,

$$C = m_{Al}\, C_{Al} + m_{Ag}\, C_{Ag}$$

Donde las m, son las masas de las sustancias utilizadas en el calorímetro y C las capacidades caloríficas de las mismas.

Se usan los datos para el aluminio, pero usualmente podrían ser otros los materiales usados en el sistema, ver datos en internet o Handbook of Physics and Chemistry.

Ahora la constante solar, que es: La cantidad de calor que recibe del sol la superficie de la tierra por unidad de tiempo y por unidad de área, o sea, el flujo de calor por unidad de área.

Así que la expresión para la constante solar S será:

$$S = \frac{flujo\ de\ calor}{Area} = \frac{Q}{A}$$

Sustituyendo Q por la expresión anterior y otros parámetros conocidos y recordando que Ac = d x l, donde d es el diámetro del bote y l es lo largo del bote.

$$S = \frac{(m_{Al} C_{Al} + m_{Ag} C_{Ag}) \times \frac{\Delta T}{\Delta t}}{d \times l} = \frac{(m_{Al} C_{Al} + m_{Ag} C_{Ag}) \times \tan\theta}{d \times l}$$

Reflexión. ¿Qué piensa en cuanto a la estimación del área de la curva si el intervalo de medición disminuye a 1 minuto?. Y a un segundo?. Que pasaría en cuanto a la estimación de ese parámetro si el intervalo de medición crece a una hora?. Comente.

¿Proponga un método formal de cómo medir la absortancia solar del recubrimiento negro aplicado a la lata de aluminio?

## 13. Aplicaciones.

Las aplicaciones de esta práctica están en la esfera el monitoreo y sensibilidad en la medición de variables ambientales que son importantes para el diseño de proyectos de ingeniería. También sin duda en las bases elementales de la buena instrumentación. Como en este caso que al medir temperaturas de agua, en el caso de usar un termopar se debe de identificar que el termopar se debe aislar no solo la punta censora sino todo el termopar insertado en el agua con el fin de realizar una buena medida y evitando así, fallas en la medición por interferencias del gradiente del calentamiento en la punta censora del termopar.

Muchos ingenieros diseñan proyectos en Ingeniería solar por medio de mapas o información de modelos o datos de expertos meteorólogos, sin que se tenga una plena experiencia en la medición directa y en la sensibilización que representa el hecho conceptual de la medición directa del recurso solar. Para estudiantes de Ingeniería Solar esta experiencia les permitirá observar que las leyes de la Termodinámica se aplican a diferentes campos del conocimiento y es la Ingeniería solar uno más donde dichas leyes son trascendentes y claves de aplicación en ese campo del conocimiento.

## 14. Referencias.


1) Héctor G. Riveros, El método científico aplicado a las ciencias experimentales. Editorial Trillas México 1990.
2) Duffie annd Beckmann, Solar Engineering Thermal Processes, third Edition 1990.
3) Paul E. Tippens, *Física*. Conceptos y aplicaciones, Séptima Edición, Mc Graw Hill, México (2007).

## Ingeniería en Energía

## UEA: Ingeniería de la energía Solar

1) **Práctica 3:** Manufactura de un calentador solar de tubos aletados.

Objetivo. Con base al conocimiento teórico del funcionamiento de los colectores solares planos, se propone seleccionar materiales y estrategias prácticas en el manejo de herramientas para la construcción de un colector solar de tubos aletados.

### 15. Objetivos de aprendizaje

***Objetivo general***

Con base al conocimiento teórico del funcionamiento de los colectores solares planos, se propone seleccionar y preparar materiales y estrategias prácticas en el manejo de herramientas para la construcción de un colector solar de tubos aletados.

***Objetivos específicos. El alumno.***

8. Identifica plenamente los conceptos físicos conceptuales del funcionamiento de un colector solar plano de tubos aletados. A saber identifica las bases de la conversión foto térmica, el efecto invernadero y el efecto termosifónico.
9. El alumno aprende a pavonar un material metálico con un recubrimiento nanoestrucurado para lograr un recubrimiento solar selectivo.
10. El alumno selecciona y justifica el material semitransparente del colector solar para lograr un buen efecto invernadero.
11. El alumno evalúa las propiedades ópticas del material absorbedor. A saber determina la absortancia y emitancia térmica de la superficie selectiva.

## 16. Introducción

***Colectores Solares planos.***

Los colectores solares planos para el calentamiento de fluidos son la tecnología más conocida del aprovechamiento de energía solar por su gran aplicación y simpleza, dentro de estas aplicaciones. Existen diferentes modelos de tecnología tanto en acabado metálico, colectores de tubos aletados; acabados de vidrio pyrex, colectores de tubos evacuados, fig.1 y 2 y sistemas más avanzados y de alta presión como son los tubos de calor "heat pipe", entre otros, fig.3. Estas variantes tecnológicas, esencialmente se apegan al efecto invernadero, al aislamiento y al flujo de fluidos usualmente apoyados por el efecto termosifón.

Dependiendo de los materiales de cada tecnología, el acabado superficial del material absorbedor para la óptima captación solar, se basa en lograr un acabado negro texturizado con un tamaño de grano equivalente al tamaño de la longitud de onda de la luz incidente, que lleva a lograr una absortancia solar equivalente a 0.92-0.96 y una emitancia térmica infrarroja del orden de 0.1-0.3.

***Efecto Termosifon:***

- Cuando un fluido en un tubo en U, experimenta un calentamiento en una de las ramas, se establece una dilatación en esa columna que impulsa al fluido caliente a un flujo apreciable que dependiendo de las condiciones térmicas, diámetro de tubo utilizado, se pueden alcanzar velocidades de flujo del orden de 5 a 15 cm/s, lo cual se denomina el flujo en régimen termosifonico, base de funcionamiento de los colectores solares.

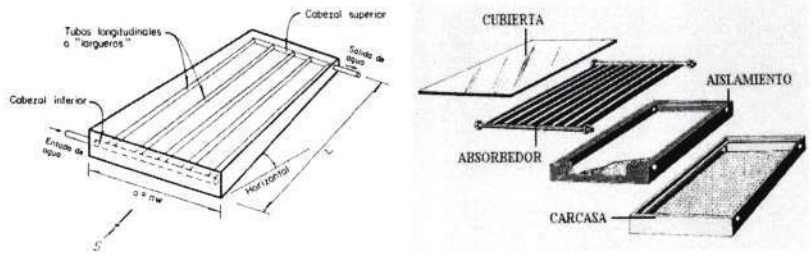



Fig. 1. Esquema de colector solar de tubos aletados dentro de su caja contenedora que puede ser de madera, de cartón, de aluminio o de acero, etc. Se observan los principales elementos del colector solar empezando de arriba abajo, la junta de silicón para sellar la cubierta semitransparente para el efecto invernadero, a la caja del colector. Abajo se observa el enrejado de tubos de cobre a las aletas del mismo material con su película

selectiva. También se muestra la lámina de aluminio que busca reflejar el calor y evitar, junto con el aislante, las perdidas térmicas por conducción en la parte trasera del colector.

En esta imagen, fig. 2, se muestra detalle de unión de aleta a tubos longitudinales.

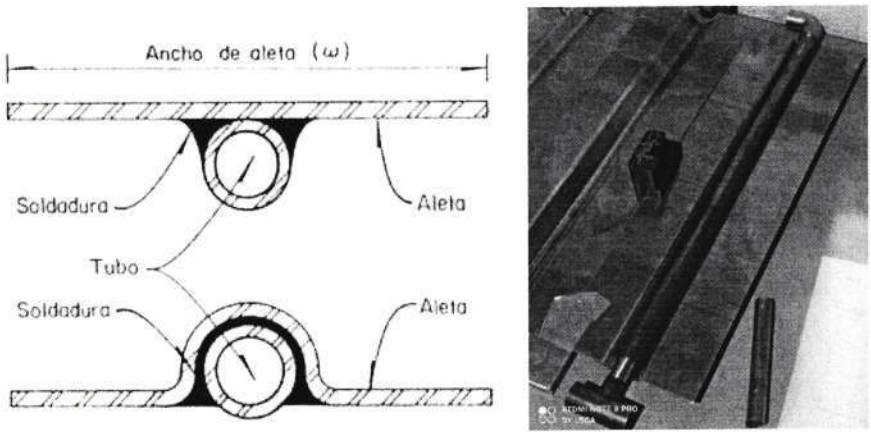



Fig.2. Esquema de aleta soldada al tubo longitudinal de agua y vista de la soldadura del tubo a la aleta, que se recubre con una superficie absorbedora pavonada en recubrimiento negro.

## Reflexión.

¿Cuál variante de soldado de la aleta al tubo, les gustaría utilizar y porque?. Comenten y reflexionen de ventajas y desventajas de cada una.

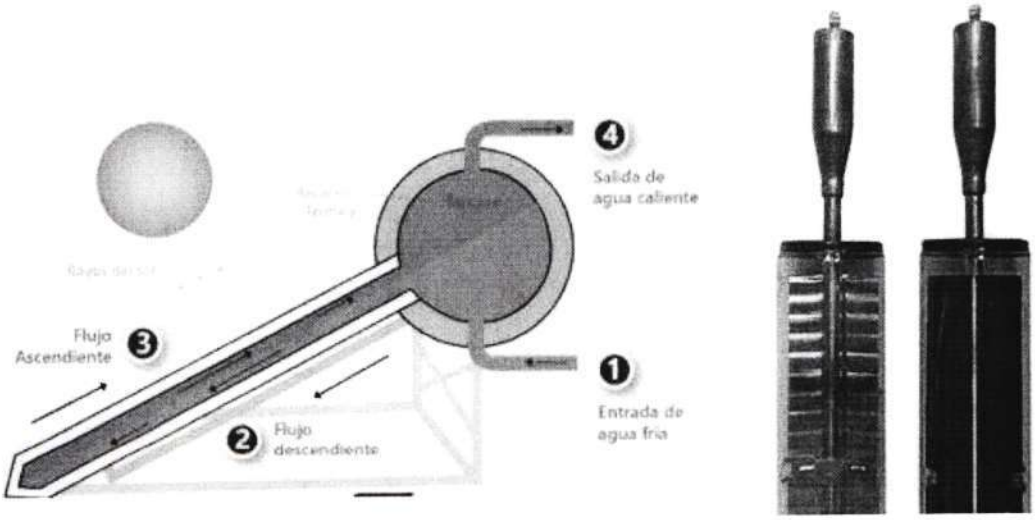


Fig.3. Detalle de colector solar de tubo evacuado, dos tubos concéntricos de pyrex al vacío, y el hipotético flujo de fluido dentro del tubo hacia y desde el termo tanque. En la figura de la derecha se observa la geometría de un tubo de calor que transfieren calor desde la fuente de calor (evaporador) al disipador (condensador) a distancias largas a través del calor latente de vaporización de un fluido.se construye con aletas de cobre y envolvente de tubo a vacío que se inserta en el termotanque.

***Efecto Invernadero de colectores solares, CS.***

Los CS planos usualmente llevan una cubierta semitransparente de vidrio de alta transmitancia o de un polímero translucido que evita que las radiaciones térmicas de largas longitudes de onda atraviesen a la cubierta, que al regresarlas el material translucido hace que el material absorbedor y el propio fluido de trabajo incrementen su temperatura de manera favorable.

## 17. Equipo y Material

- Lámina de cobre calibre 16 de 15 cm de ancho por un largo de 40 a 50 cms
- Tubo de cobre de media pulgada, 40 a 5 cm d de largo
- Soldadura de estaño-plata
- Caja de madera o de aluminio como caja del colector solar, 40cm x 50 cms, 6 cm de alto
- Aislamiento de poliuretano
- Resina epóxica, Araldita 506, medio litro
- Nitrato de plata
- N,Ndimetilformamida (DMF)

## 18. Desarrollo y Procedimiento de pavonado negro de aletas de cobre

El profesor y alumnos analizan el cuestionario previo para detallar la explicación del principio de funcionamiento de los colectores solares. Se aclaran los puntos clave de los colectores solares como efecto invernadero, materiales solares selectivos y sus propiedades ópticas, transmitancia, absortancia y emitancia solar térmica infrarroja. También el flujo natural (termosifonico) y las condiciones de flujo forzado. Efecto del aislamiento de los colectores y los mecanismo de transferencia de calor presentes en estas unidades. Conducción, convección y radiación. Por último se plantea una de las metodologías de operación que conduzcan a la determinación de la eficiencia de estos sistemas en condiciones de flujo estable.

Preparación del recubrimiento negro a base de nanoparticulas de plata metálica embebidas en matriz de resina epóxica.

Las nanopartículas de plata se prepararon mediante la reducción química de 2,5 mmol de nitrato de plata con 4 ml de N,Ndimetilformamida (DMF) en presencia de 9 g de Araldite 506, una resina epoxi transparente con índice de refracción nm = 1.57. Suponiendo que todos los iones de plata se redujeron en presencia del agente reductor añadido en exceso, entonces el porcentaje en peso de plata fue del 3%. La mezcla se agitó con una barra magnética a temperatura ambiente durante 24 h (h). Se observaron varios cambios colorimétricos en el nanocompuesto de resina epoxi durante 9 h de reacción, y posteriormente adquirió color negro. Los espectros UV-Vis se obtuvieron con un espectrofotómetro Cary 300 en función del tiempo de reacción. El nanocompuesto se envejeció durante 1 semana y luego se depositó sobre un sustrato de cobre limpio mediante el método de recubrimiento con rodillo. Posteriormente, las muestras fueron termocuradas a 100 °C durante 10 h en atmósfera de aire para obtener películas estables, negras y uniformes sobre el sustrato de cobre. No se utilizó ningún agente de curado común (amina o anhídrido) durante la síntesis de las nanopartículas o durante la preparación de los recubrimientos. Una prueba de cinta estándar permite valorar la adhesión de la película selectiva sobre el sustrato metálico.

Se propone un esquema básico (Figura 1), del circuito para realizar las pruebas.

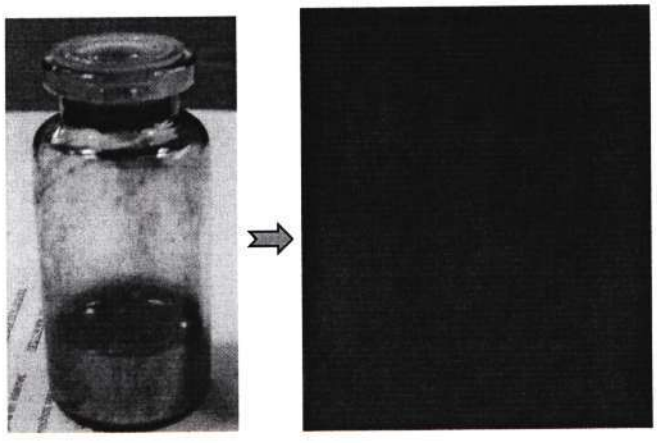


*Figura 4.* Vista del material de nanoparticulas de plata embebidas en la resina epoxica que al aplicarla en el sustrato de cobre y posterior a un tratamiento térmico se forma la película absorbedora negra, sobre la que se pueden determinar las propiedades ópticas.