

# RADSOL: EQUIPO PARA EL MONITOREO DE LA RADIACIÓN SOLAR

LAURO SANTIAGO CRUZ, JULIO CÉSAR MORALES MEJÍA Y RAFAEL ALMANZA SALGADO

El Instituto de Ingeniería de la UNAM interesado en el estudio de las energías renovables construyó una Planta Solar que se encuentra en funcionamiento desde 1983, con un área inicial de 1400 m<sup>2</sup> de espejos. Esta planta, en un principio, se utilizó para generar: vapor a 250°C por procesos como la Generación Directa de Vapor (GDV) y electricidad con base en un motor de pistones. Actualmente, una parte de ella se ha adecuado para su uso en aplicaciones fotoquímicas y fototérmicas, usando fotocatalizadores de TiO<sub>2</sub> para la desintoxicación de aguas contaminadas, en procesos basados en la radiación ultravioleta proveniente del sol.

La radiación solar se compone de tres tipos: radiación ultravioleta (UV) (longitud de onda desde 100 hasta 380nm), radiación visible (380 a 780nm) y radiación infrarroja (desde 780nm). De acuerdo con NREL (National Renewable Energy Laboratory 2013) y Duffie (1991), el espectro electromagnético solar tiene un máximo en la región de la radiación visible e infrarroja y no en la ultravioleta. Dentro de la irradiancia solar estándar recibida en la región externa de la atmósfera, se tienen del orden de 103 WUV/m<sup>2</sup> en el rango ultravioleta, y es en el ozono estratosférico donde se absorbe buena parte de esta irradiancia UV, principalmente la de mayor contenido energético, de manera que al nivel del suelo se recibe una fracción generalmente inferior a 50% de esos 103 WUV/m<sup>2</sup>. La radiación UV puede usarse en tratamiento de aguas de varias formas; la más común es exponer directamente el agua a la irradiancia UVC (longitud de onda entre 100 y 280 nm) en Plantas de Potabilización o en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Una forma alternativa, actualmente en desarrollo, es usar dicha irradiancia UV solar para activar fotocatalizadores que generen especies químicas capaces de efectuar reacciones de óxido-reducción en un medio acuoso. Entre las posibilidades de activación de fotocatalizadores se tiene la correspondiente al proceso de fotocátalisis heterogénea. En este proceso cada fotón UV que logra incidir en una partícula de fotocatalizador termina generando un radical

OH° (proveniente de un foto-hueco en el catalizador) y un foto-electrón. El radical es la especie más importante en la oxidación de contaminantes orgánicos y el foto-electrón lo es en la reducción de algunos metales presentes. Normalmente se considera que la tasa de generación de pares hueco-electrón en fotocátalisis heterogénea es proporcional a la intensidad de la irradiancia disponible, hasta ciertos límites en los que ya no se incrementa más su generación después de un valor máximo (Herrmann, 2005; Herrmann, 2010), de manera que se estima que la cantidad de dichos pares (y de los radicales OH°) obtenida es proporcional también a la cantidad de energía radiante de la longitud de onda adecuada que incide sobre el fotocatalizador a lo largo del tiempo de reacción. En este sentido, los datos registrados de irradiancia UV solar a lo largo de una reacción fotocatalítica son importantes y deben, además, procesarse para obtener la cantidad de energía (irradiancia) que se canaliza hacia el fotocatalizador. Con ella, finalmente, se puede realizar el análisis cinético de dichas reacciones, en el entendido que el tiempo de reacción no siempre es proporcional con las condiciones de irradiación acumulada sobre el sistema. Un análisis de este tipo es presentado, por ejemplo, por Julián Blanco (2003), siendo ampliamente aceptado.

Para obtener los datos de irradiación, es necesario realizar la integración matemática (por el método que resulte más simple y más confiable) de los datos de irradiancia a lo largo de las reacciones, cuya integral se presenta como una curva sigmoideal. Según lo descrito anteriormente, para procesar la información mencionada, el primer paso es tenerla almacenada, preferentemente con mediciones en minutos o en segundos, inclusive, lo cual es la meta que motivó desarrollar el sistema RADSOL.

En el proyecto en cuestión se realizó la integración y el desarrollo de un sistema electrónico, RADSOL, para el monitoreo y registro de variables físico-químicas necesarias en la determinación de parámetros cinéticos y de eficiencia en fotocátalisis heterogénea solar o calentamiento de agua. El sistema RADSOL se usa como estación radiométrica compacta



# COORDINACIÓN DE ELECTRÓNICA

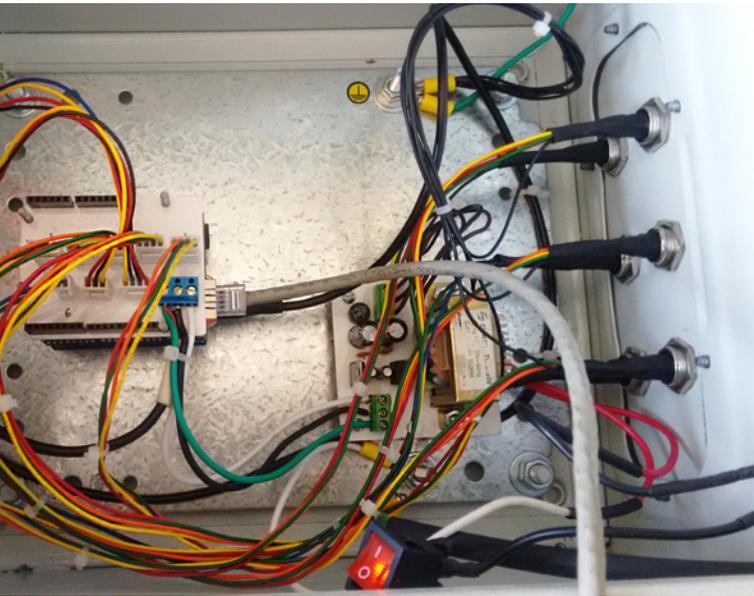


Figura 1. RADSOL integrado.

fija y está integrado alrededor de tarjetas comerciales de propósito general, por medio de las cuales se realizan lecturas temporizadas de datos de sensores de radiaciones solar directa y ultravioleta (UV: A, B y C), humedad relativa y temperatura ambiente. Contiene, además, interfaces para comunicación serial a una computadora personal (PC, por sus siglas en inglés) o bien conexión vía Ethernet, registro de datos en memoria SD, reloj de tiempo real y fuente de alimentación basada en energía proveniente de la línea convencional a 127 Voltios (AC). Los radiómetros miden las irradiancias: UVA+B (3 sensores), UVA (1 sensor), UVC (1 sensor) y la directa (1 sensor). También se miden la temperatura ambiente y la humedad relativa. Previo a la programación de la tarjeta principal se desarrolló el algoritmo necesario en la operación de la aplicación. Las tareas principales que desarrolla la programación son: la carga de bibliotecas útiles en la programación, la configuración de las diferentes interfaces de comunicación, el manejo de la tarjeta para el registro de datos (SDCard), la lectura y registro de parámetros (de los sensores y del RTC) y el envío de los datos a una computadora personal. La operación de lectura y registro de datos se da en un *loop* infinito, una vez capturada la información sobre la radiación solar, ésta se procesa a través de Excell. En la figura 1 se muestran las fotografías del equipo ya integrado.



Figura 1. RADSOL integrado.

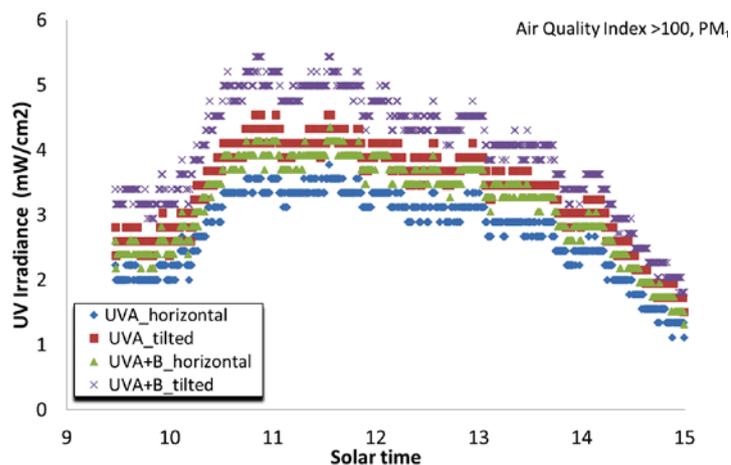


Figura 2. Datos procesados

Con base en las mediciones efectuadas y cotejando con las especificaciones del fabricante las mediciones han sido las esperadas. En un resultado colateral, con base en las mediciones realizadas-procesadas, se ha constatado una diferencia significativa entre las irradiancias UV (A, A+B), el plano horizontal y el inclinado. Cerca del medio día solar, en los meses de invierno en los que se ha medido la irradiancia, las irradiancias sobre el plano inclinado han resultado ser hasta 40% mayores que aquellas medidas sobre el plano horizontal. En la figura 2, sólo a manera de ejemplo, se presenta una de las muchas gráficas de los datos procesados.

Actualmente el sistema está instalado y adquiriendo datos en tiempo real en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM, con los que se podrán determinar parámetros cinéticos y de eficiencia basados en las dosis de energía, figura 3.

Se ha encontrado experimentalmente, mediante los sensores instrumentados, que las irradiancias UV (UVA, UVA+B) difieren significativamente entre el plano vertical y el horizontal en otoño-invierno. La inclinación de reactores fotocatalíticos solares en la Ciudad de México, como sitio representativo de una localización cercana a un Trópico, debe ajustarse al menos dos veces al año.

Con base en la experiencia obtenida al trabajar con los sensores, se tendrá la capacidad de desarrollar nuestros propios radiómetros o de corregir problemas que puedan presentar por averías durante su uso. Está en proceso la integración de un segundo sistema, que se colocará en el colector de canal parabólico de la Planta Solar del Instituto de Ingeniería, adicionando las variables de velocidad y dirección del viento.



Figura 3. RADSOL en la FESC

Cabe comentar que el desarrollo de éste y otros proyectos del área de energía solar, se realizan en conjunto con los doctores Rafael Almanza y Julio César Morales, de la Coordinación de Mecánica y Energía.

Los autores agradecen a la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) de la UNAM, el apoyo económico brindado a través del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT), proyecto IN111416 "Acondicionamiento fotoquímico-fototérmico solar de agua para uso industrial". También agradecemos a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por el financiamiento mediante el proyecto PIAPI 1622, Radiación ultravioleta solar: medición y aplicación en fotoquímica solar, y al estudiante Luis Ángel Hernández Pascual, por el gran apoyo en el desarrollo del presente proyecto, el cual nos permitió alcanzar el objetivo planteado. |

## Referencias

- [1] Blanco, Julian (2003). Desarrollo de colectores solares CPC para aplicaciones fotoquímicas de degradación de contaminantes persistentes en agua. Colecciones documentos Ciemat. Ministerio de Ciencia y Cultura, España.
- [2] Duffie, B. (1991). Solar Engineering of thermal processes. Segunda edición, Wiley-Interscience, USA.
- [3] Spasiano D., Marotta R., Malato S., Fernández-Ibanez P., Di Somma I. (2015). Solar photocatalysis: Materials, reactors, some commercial and pre-industrialized applications. A comprehensive approach. Applied Catalysis B: Environmental.
- [4] Malato, S., et al (2000). Compound parabolic technology development to comercial solar detoxification applications. Solar Energy, 67, 4 - 6, 317 - 330.