

# Torres de energía: investigación conjunta entre el IMTA y el Instituto de Energías Renovables

## Introducción

El agua y la energía están intrínsecamente interconectadas. Se requiere energía para disponer de agua para uso y consumo humano (incluyendo el riego en la agricultura) a través del bombeo, transporte, tratamiento y desalación. Al mismo tiempo, se requiere agua para generar energía. A la fecha, las fuentes comunes empleadas para generar electricidad son: carbón, gas, petróleo y energía nuclear. En el caso particular del uso de combustibles fósiles, se enfrentan diversos desafíos, tales como: agotamiento de dichas reservas, calentamiento global y deterioro medioambiental, entre otros. Por estas razones, las fuentes convencionales de generación de energía podrían no ser las más adecuadas para satisfacer la creciente demanda de energía.

Dentro de este contexto, científicos e ingenieros realizan esfuerzos para desarrollar nuevas tecnologías que permitan la generación de energía a partir de fuentes no convencionales: solar, biomasa, mareas, hidrógeno, viento y geotermia. En particular, la energía solar constituye la fuente de energía renovable más abundante y mejor distribuida en nuestro planeta, constituyendo un gran activo para las regiones áridas y semiáridas. Diversas tecnologías solares se han desarrollado e implementado en los últimos años en diversas regiones del mundo. Entre ellas, existe una propuesta tecnológica interesante que diversos investigadores han llamado “torres de energía”.

Se trata de plantas de generación de energía eléctrica que convierten la energía térmica-solar en energía eléctrica mediante un complejo proceso de transferencia de calor, no totalmente comprendido en la actualidad. Motivados por este escenario y con ánimo de generar nuevos conocimientos, el Dr. Pedro Guido Aldana, especialista de la Subcoordinación de Posgrado del IMTA y el Dr. Eduardo Ramos Mora, Investigador Titular del Departamento de Termociencias del Instituto de Energías Renovables (IER-UNAM) y líder del Laboratorio de Transferencia de Energía y Masa de dicho Instituto, dirigen el proyecto de investigación doctoral de Gloria May León, alumna del Posgrado UNAM-Campus IMTA, por medio del cual se entienden algunos procesos físicos complejos que ocurren en las torres de energía. La investigación se desarrolla en el laboratorio mencionado y se cuenta también con la colaboración del Dr. José Roberto Mercado, especialista de la Subcoordinación de Operación y Mantenimiento de Infraestructura Hidroagrícola del IMTA, en los aspectos de óptica y análisis de señales.

## Desarrollo

Las torres de energía son “centrales eléctricas” de energía renovable para la producción de electricidad en zonas cálidas y secas. El principio constructivo y funcional de una torre de energía lo explicó por primera vez P. Carlson en su patente de 1975 (Carlson, 1975). Este desarrollo tecnológico consta de tres componentes principales: una torre, una bomba de agua y una turbina de viento situada en la parte inferior de la torre (figura 1).

En la parte superior de la torre se genera una lluvia artificial; las gotas de agua se evaporan al entrar en contacto con la atmósfera caliente, enfriándola, dando lugar a un flujo convectivo inverso que desciende a gran velocidad. Las turbinas dispuestas en el parte inferior de la torre generan energía eléctrica a partir del flujo de aire, mediante la conversión de la energía cinética del flujo en energía mecánica. La energía mecánica es transformada en energía eléctrica por medio de un generador. En el modelo que se presenta en la figura 1, el flujo o corriente de aire es descendente (*downdraft*). También hay propuestas que operan en dirección contraria; es decir, el flujo transita de la parte inferior de la

torre hacia arriba. A esta última propuesta se le conoce en inglés como de tipo “*updraft*” y, en este caso, la atmósfera alrededor de la base de la torre es calentada con el fin de generar un flujo o corriente ascendente (figura 2).

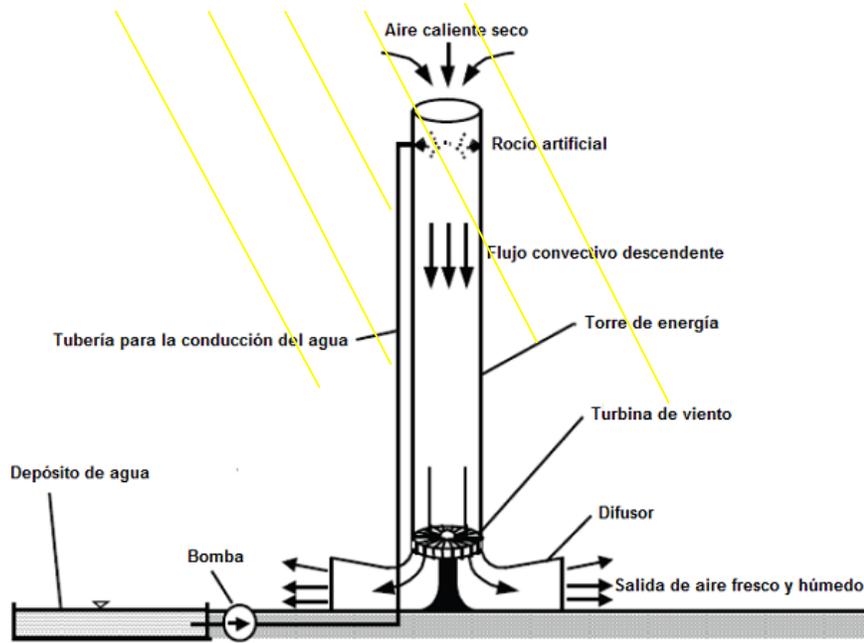


Figura 1. Ejemplo de una torre de energía (*downdraft*). Componentes y principio de operación (Bauer & Gasser, 2012).

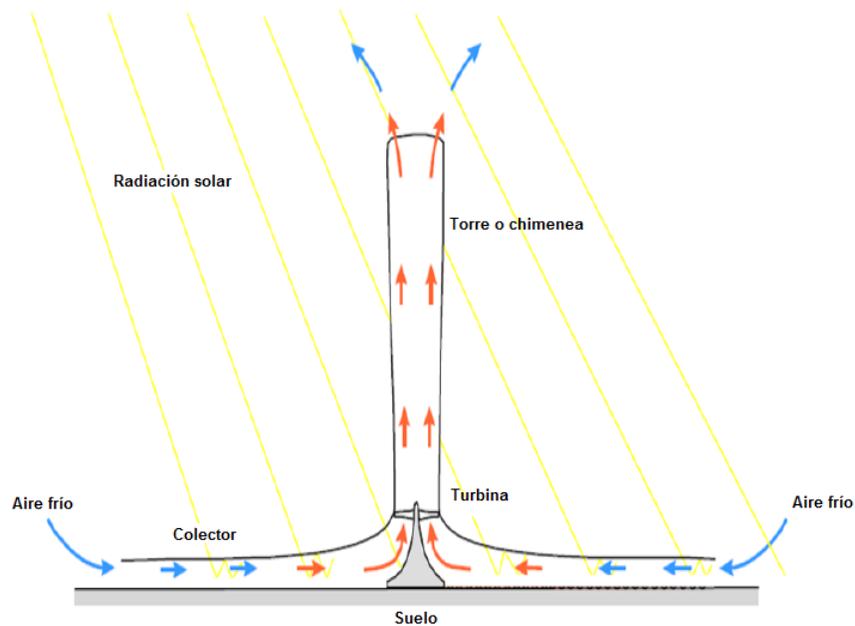


Figura 2. Ejemplo de una torre o chimenea de energía solar (*updraft*). Componentes y principio de operación (Dhahri & Omri 2013).

Con este proyecto doctoral se investiga la dinámica de las gotas de agua en confinamiento al entrar en la atmósfera caliente de la torre, aplicando dos técnicas ópticas de medición: velocimetría por imágenes de partículas (*Particle image velocimetry*, PIV, por sus siglas en inglés) (Raffel et ál., 2007; Adrian, 1991) y anemometría láser Doppler (*Laser Doppler anemometry*, LDA por sus siglas en inglés,) (Durst et ál., 1981) (figuras 3 y 4.)

Esta compleja dinámica es un aspecto considerado de manera marginal en los modelos teóricos que intentan explicar el funcionamiento de dichas tecnologías, mismos que también suponen que todas las gotas se evaporan, situación que definitivamente no ocurre y que tiene consecuencias sobre la fuerza de boyancia. Durante el proceso de transferencia de energía entre gotas de agua y atmósfera caliente que las circunda, se forman celdas convectivas con una dinámica también compleja y que será analizada mediante la aplicación de técnicas ópticas. Con el entendimiento del proceso físico que da lugar al flujo convectivo, se podrán sentar las bases de nuevas propuestas que permitan que estos sistemas operen con una mayor eficiencia.

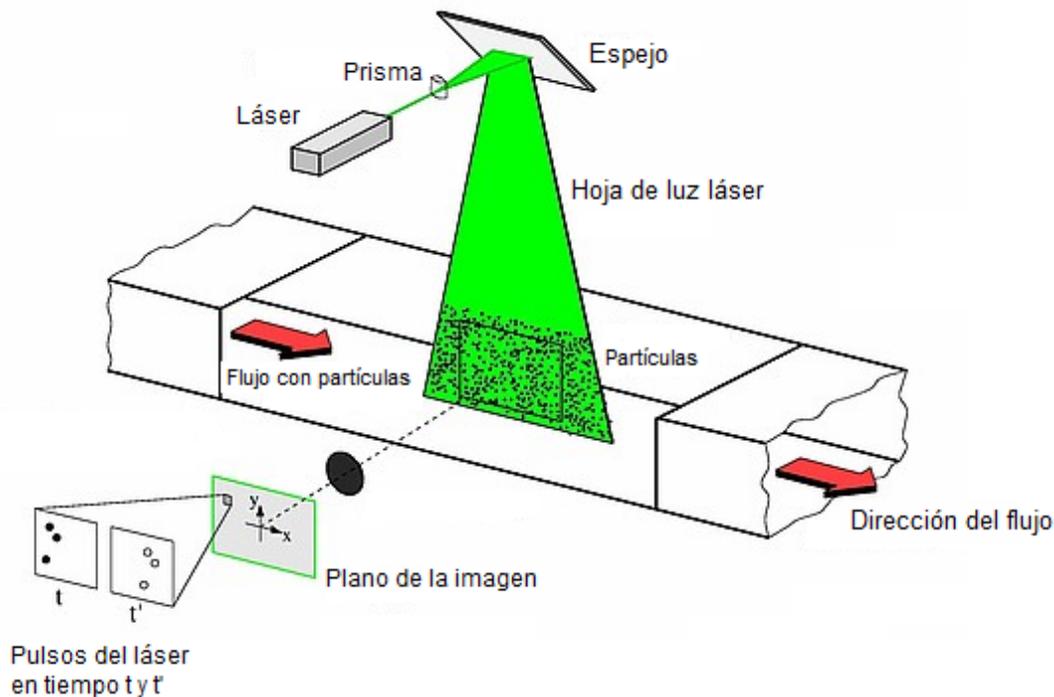


Figura 3. Esquema que representa el principio de funcionamiento de la técnica óptica de medición PIV (Adrian, 1991).

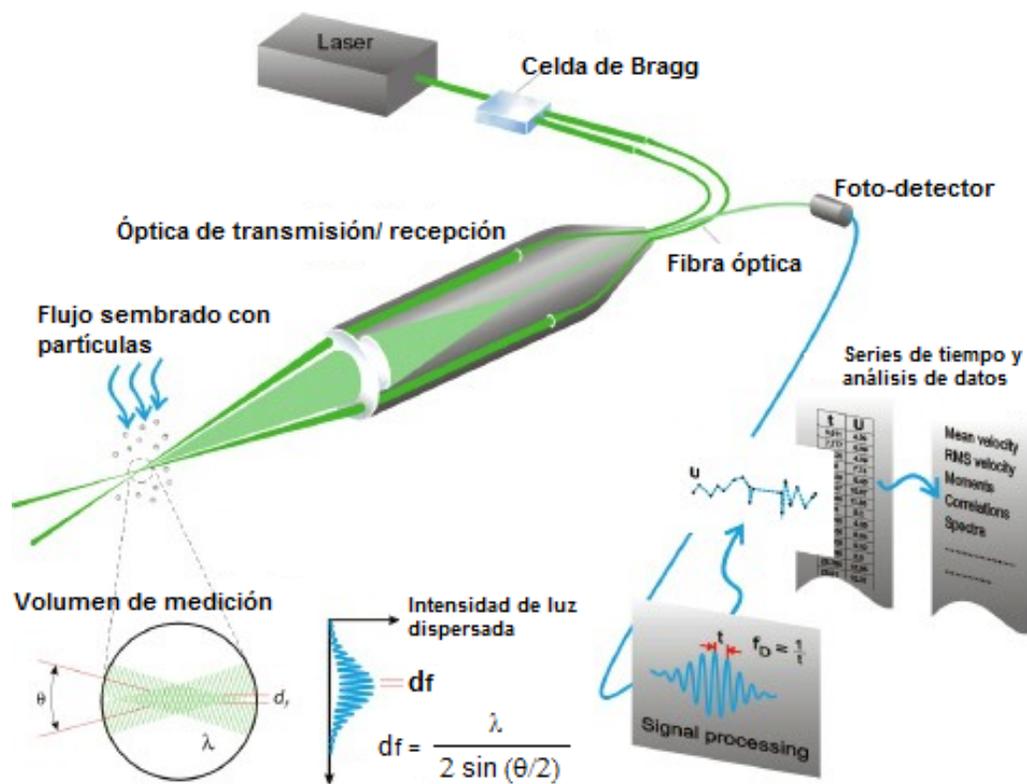


Figura 4. Esquema que representa el principio de funcionamiento de la técnica óptica de medición (LDA), *Dantec Dynamics*.

Para la investigación, los participantes han diseñado y construido un modelo físico en el Laboratorio de Transferencia de Energía y Masa del IER, con el fin de simular el funcionamiento de una torre de energía (foto 1).



**Foto 1. Dispositivo experimental construido en el Laboratorio de Transferencia de Energía y Masa, y algunos instrumentos. Los nebulizadores o generadores de rocío se encuentran en operación.**

Este modelo está adaptado para soportar un cilindro de acrílico, que representa la torre de energía, con una altura de 45 cm y diámetro de 20 cm, cuatro humidificadores para generar la nube de gotas, así como también los diferentes subsistemas que conforman las técnicas ópticas de medición PIV y LDA (generadores del láser y cámara digital, óptica, entre otros).

Aplicando la técnica PIV, se obtendrán campos vectoriales de velocidad - 2D de la fase dispersa, utilizando algoritmos de correlación cruzada. Con la implementación de la técnica óptica LDA se pretende obtener información de la luz refractada por las gotas de agua al pasar por el punto de intersección de los láseres. Conociendo además la longitud de onda del láser, su ángulo de intersección, el patrón de franjas de interferencia cuando las gotas atraviesan el punto de cruce de los láseres y otros parámetros ópticos, se determinará su diámetro y distribución.

La parte superior del cilindro ha sido perforada en ambos extremos con el fin de permitir el paso de los dos rayos de luz láser provenientes de la óptica de emisión y recepción del equipo LDA. De igual forma, la parte inferior del cilindro ha sido perforada para instalar una fuente de calor y un sensor de humedad, lo que permitirá el estudio bajo diversos escenarios. Tanto la técnica PIV como la LDA son no intrusivas, pero tienen como limitantes que el fluido y el contenedor del mismo sean transparentes.

## Resultados

Es importante mencionar que el desarrollo e implementación de instrumentación avanzada para realizar mediciones que permitan conocer el diámetro medio de pequeñas gotas de agua, la distribución de los tamaños y la velocidad de las mismas en chorros o sistemas que generan rocío de gotas muy finas, es un tema relevante en la actualidad, dada la diversidad de aplicaciones, entre las que se deben mencionar: aspersores en sistemas de riego agrícola, meteorología, inyectores en sistemas de combustión y diversos procesos industriales. En los próximos meses, se estarán presentando resultados preliminares de esta investigación y se espera utilizar este dispositivo en otras aplicaciones, en conjunto con especialistas de otras áreas del IMTA.



Foto 2. El Dr. Pedro A. Guido trabaja en la alineación y nivelación del láser para iniciar una sesión de pruebas. Se aprecia la nube de gotas saliendo por la parte inferior de la torre.



Foto 3. Gloria May León trabaja en la instalación de la cámara digital para iniciar la toma de un video. La cortina negra evita reflejos del láser.

## Referencias

Adrian, R. J. (1991). Particle-imaging Techniques for Experimental Fluid Mechanics. *Ann. Rev. Fluid Mech.*, 23, pp. 262-304.

Bauer, M. and Gasser, I. (2012). Modeling, Asymptotic Analysis, and Simulation of an Energy Tower; *Society for Industrial and Applied Mathematics*, 72(1), pp. 362-381.

Carlson, P. (1975). Power Generation through Controlled Convection, United States Patent no. 3,894,393.

*Dantec Dynamics.* <http://www.dantcdynamics.com/laser-doppler-anemometry>.

Dhahri A. and Omri A. (2013). A Review of Solar Chimney Power Generation Technology. *International Journal of Engineering and Advanced Technology* (IJEAT), **2**, Issue-3.

Durst, F., A. Melling and J. Whitelaw. (1981). Principles and Practices of Laser Doppler Anemometry. *Academic Press*.

Raffel, M., Willert, C. E. and Kompenhans, J. (2007). *Particle Image Velocimetry*. Ed. Springer.