



I CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA AMBIENTAL EN SISTEMAS ACUÁTICOS, CChIASA

MEDICIÓN DE TEMPERATURAS A ALTA RESOLUCIÓN ESPACIO- TEMPORAL PARA EL ESTUDIO DE SISTEMAS ACUÁTICOS

ANDRÉS SARABIA MÉNDEZ¹
FRANCISCO MEZA²
FRANCISCO SUÁREZ POCH³

RESUMEN EXTENDIDO

El uso de sistemas de medición distribuida de temperatura (DTS, por su sigla en inglés), basados en la dispersión de Raman, ha ganado interés por su capacidad de monitoreo continuo y espacialmente distribuido en sistemas acuáticos, como cursos de aguas superficiales y subterráneas, lagos y océanos (Tyler et al. 2009). Esta tecnología permite obtener mediciones de temperatura a lo largo de cables de fibra óptica con una resolución de 0.1°C en 1000 m de observación con un espaciamiento de 1 m y un tiempo de integración de 1 minuto, y con mediciones promediadas por más de una hora pueden alcanzar una precisión de 0.02°C (Selker et al. 2006).

En este trabajo, se presenta la evaluación de un sistema DTS utilizado para medir temperaturas dentro de una piscina solar de gradiente salino, un ambiente acuático artificial que permite recolectar energía solar en forma de calor en su fondo. Estas piscinas están compuestas por tres zonas características –la zona convectiva superior, la zona no convectiva y la zona convectiva inferior– las cuales se diferencian por tener salinidades y temperaturas distintas. En estas piscinas ocurren procesos de difusión doble de calor que pueden destruir la estratificación que permite el almacenamiento de calor.

La evaluación del sistema DTS se realizó en una piscina solar de gradiente salino experimental, con paredes de hormigón y rodeada con ~60 cm de arena (Figura 1.a). En esta piscina se mantuvo constante el nivel de agua mediante un vertedero conectado a un estanque de reserva, desde donde se bombea un flujo constante de agua de vuelta hacia la zona superficial de la piscina, de manera similar a la presentada por Ruskowitz et al. 2014. En esta piscina se construyó un sistema de medición de temperaturas de alta resolución vertical, enrollando un cable de fibra óptica en un tubo de PVC de 5 cm de diámetro, lo que resulta en una resolución espacial de ~1 cm (Suárez et al. 2011). En el sistema DTS, el

¹ Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Pontificia Universidad Católica de Chile, amsarabia@uc.cl

² Departamento de Ecosistemas y Medio Ambiente, Pontificia Universidad Católica de Chile, fmeza@uc.cl

³ Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Pontificia Universidad Católica de Chile, fsuarez@ing.puc.cl

cable pasa por dos zonas de temperatura conocida (Figura 1.b), que sirven para calibrar y validar las mediciones a lo largo de todo el cable.

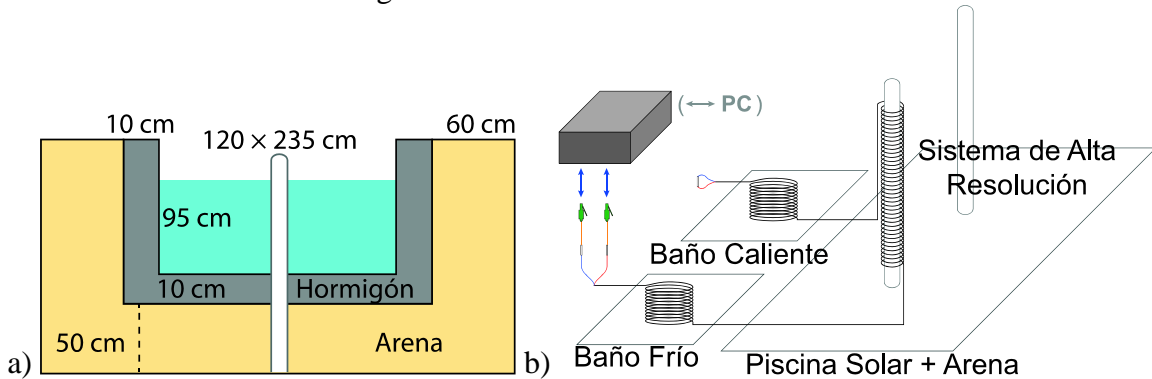


Figura 1: Montaje experimental de piscina solar. a) Sección transversal con dimensiones. b) Esquema de instalación de alta resolución.

Las mediciones realizadas por el sistema DTS muestran claramente las zonas convectivas superior e inferior, separadas por la zona no convectiva constituida por un gradiente salino (Figura 2) que mantiene un gradiente de temperatura y de densidad dentro de la piscina (Figura 3.a). Además, el sistema permite monitorear la evolución térmica en la zona del hormigón y de la arena bajo la piscina. Las mediciones de alta resolución también entregan la oportunidad de desarrollar algoritmos de seguimiento de las interfaces de la piscina solar basados en mediciones térmicas, los cuales sirven para cuantificar la erosión de la zona no convectiva. La Figura 3.b muestra el resultado de un algoritmo de seguimiento de las interfaces de las zonas internas de la piscina solar, donde se aprecia una importante oscilación en la profundidad de la interfaz entre la zona convectiva superior y la zona no convectiva. Esta oscilación indica la posición de una subcapa convectiva superior producida por la incorporación de agua fría de la llave (menor salinidad) durante la restauración de pérdidas por evaporación y se puede apreciar en el perfil del día 03/09 (negro) de la Figura 3.a.

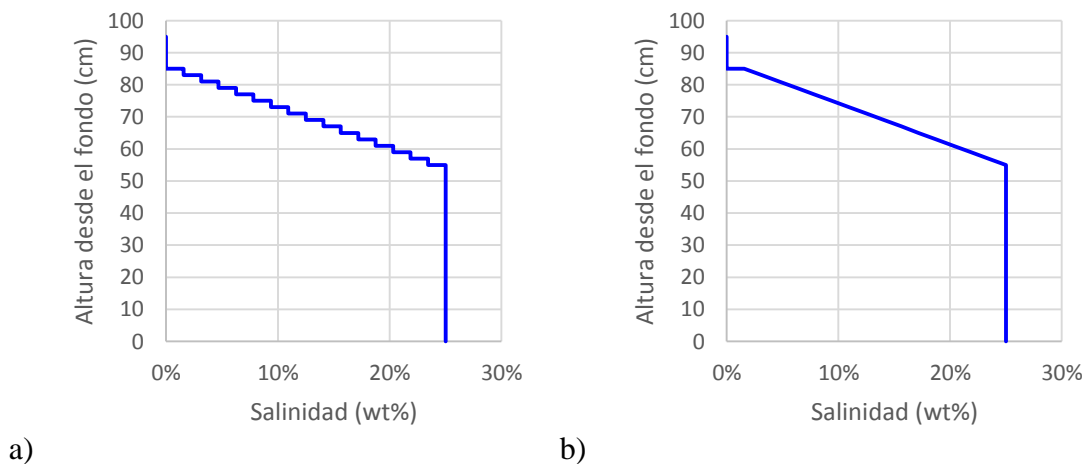


Figura 2: Estratificación salina a) inicial y b) asentada.

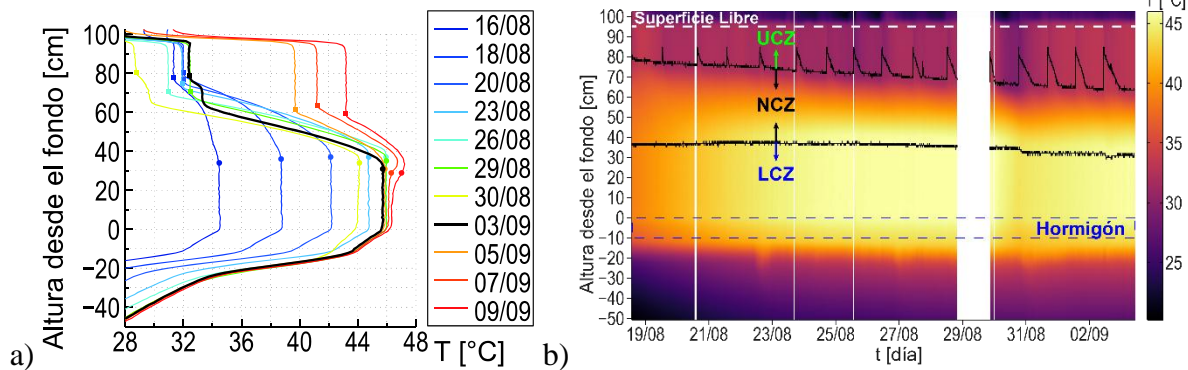


Figura 3: Mediciones obtenidas de la evolución térmica de la piscina solar. a) Perfiles de temperatura con posición de interfaces destacadas b). Evolución térmica y posición de interfaces Zona Convectiva Superior (UCZ), Zona No Convectiva (NCZ), Zona Convectiva Inferior (LCZ).

Finalmente, la utilización de esta tecnología permitió monitorear el comportamiento térmico de la piscina solar, y entregó información suficiente para identificar la extensión de cada estrato de interés en el tiempo. Además, la alta resolución dio cuenta de fenómenos particulares como la formación de nuevas capas producto del sistema de restauración. Con toda esta información se puede desarrollar un análisis detallado del almacenamiento de energía (e.g., ver Amigo y Suárez 2016) y la eficiencia del sistema en esta tarea, en conjunto con caracterizar la degradación de la estratificación en el tiempo.

Agradecimientos

Los autores agradecen el financiamiento de CONICYT a través del proyecto Fondecyt N°11121208 y del Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (CONICYT/FONDAP/). Los autores también agradecen el apoyo del Center for Solar Energy Technologies (CSET) (CORFO 13CEI2-21803).

Referencias

- AMIGO, J. y SUÁREZ, F., 2016. The role of ground heat storage capacity on the operation of a solar pond. *11th Conference on sustainable development of energy, water and environment systems*. Lisbon, Portugal: Septiembre 4-9, 2016,
- RUSKOWITZ, J.A., SUÁREZ, F., TYLER, S.W. y CHILDRESS, A.E., 2014. Evaporation suppression and solar energy collection in a salt-gradient solar pond. *Solar Energy* [en línea], vol. 99, pp. 36-46. [Consulta: 30 julio 2015]. ISSN 0038092X. DOI 10.1016/j.solener.2013.10.035. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X13004659>.
- SELKER, J.S., THÉVENAZ, L., HUWALD, H., MALLET, A., LUXEMBURG, W., VAN DE GIESEN, N., STEJSKAL, M., ZEMAN, J., WESTHOFF, M. y PARLANGE, M.B., 2006. Distributed fiber-optic temperature sensing for hydrologic systems. *Water Resources Research*, vol. 42, no. 12, pp. 1-8. ISSN 00431397. DOI 10.1029/2006WR005326.
- SUÁREZ, F., ARAVENA, J.E., HAUSNER, M.B., CHILDRESS, A.E. y TYLER, S.W.,



2011. Assessment of a vertical high-resolution distributed-temperature-sensing system in a shallow thermohaline environment. *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 15, no. 3, pp. 1081-1093. ISSN 10275606. DOI 10.5194/hess-15-1081-2011.

TYLER, S.W., SELKER, J.S., HAUSNER, M.B., HATCH, C.E., TORGERSEN, T., THODAL, C.E. y SCHLADOW, S.G., 2009. Environmental temperature sensing using Raman spectra DTS fiber-optic methods. *Water Resources Research* [en línea], vol. 45, no. 4, pp. W00D23. ISSN 0043-1397. DOI 10.1029/2008WR007052. Disponible en: <http://doi.wiley.com/10.1029/2008WR007052> <http://dx.doi.org/10.1029/2008WR007052>.