

## **ESTUDIOS DE DEGRADACIÓN DE ROSA DE BENGALA EN COLECTORES SOLARES PARABÓLICOS (CP) Y PARABÓLICOS COMPUESTOS (CPC). ANÁLISIS DE RENDIMIENTOS Y EFICIENCIA COLECTORA.**

**F. L. Venier<sup>1</sup>; D. Possetto<sup>2</sup>; C. D. Ceballos<sup>1</sup>; J. Puiatti<sup>3</sup>, J. Marchessi<sup>1</sup>, J. Zizzias<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Grupo de Energía Solar. Facultad de Ingeniería

<sup>2</sup> Departamento de Química- Facultad de Ciencias Exactas, Físico, Químicas y Naturales

<sup>3</sup> Departamento de Mecánica. Facultad de Ingeniería

Universidad Nacional de Río Cuarto C.P. X5804BYA – Río Cuarto

Tel/Fax: 0358-4676246 e-mail: cceballos@ing.unrc.edu.ar / cdceballos@gmail.com

*Recibido 12/08/18, aceptado 25/09/18*

**RESUMEN:** La tecnología solar desempeña un importante papel en abordajes a problemas ambientales actuales y futuros. El objetivo del presente trabajo es evaluar y comparar la eficiencia de concentradores solares parabólicos (CP) y parabólicos compuestos (CPC), diseñados y armados en nuestros laboratorios, para ser usados como reactores solares en el tratamientos de efluentes domiciliarios. En cada concentrador el tubo colector actúa como reactor. El Rosa de Bengala (RB) es un colorante con alto rendimiento cuántico en la formación de oxígeno singlete, el que se utiliza en procesos de oxidación de contaminantes. Estudios de su velocidad de decoloración en reactores solares permite evaluar la eliminación posterior de este colorante. Los resultados obtenidos son altamente favorables a la degradación de RB, lográndose un 98% de eliminación en 1 hora, y permiten evaluar el tiempo de decoloración, el volumen a tratar con áreas equivalentes y el factor de concentración de los colectores usados.

**Palabras clave:** Fotoreactores solares, fotólisis solar, rosa de bengala, tecnología verde.

### **INTRODUCCIÓN**

El uso de la energía solar empleando fotocatalisis solar homogénea y heterogénea para el tratamiento de aguas residuales tiene un marcado interés ya que el uso de energía solar en el tratamiento de efluentes se evidencia como una solución económica para los problemas ambientales. Existen numerosos antecedentes de desinfección de agua con energía solar en nuestra región se han realizados trabajos de tratamientos de efluentes domiciliarios con colectores solares de placa plana (Venier et al., 2015).

El uso de la energía solar con fines de escala experimental o piloto requiere de un dispositivo específico que puede coleccionar eficientemente la energía solar. Donde a diferencia de un reactor clásico común, los colectores-reactores solares dependen de su geometría física como variable crítica para asegurar que la radiación solar se recolecta eficientemente. En este sentido, también es importante evaluar los parámetros de operación tales como: la temperatura, la presión y la agitación, que pueden ser importantes a los fines del proceso fotoquímico a usar. (Spasiano et al., 2015). La geometría de reactores más utilizadas son: los colectores parabólicos (CP) y los colectores parabólicos compuestos (CPC) ambos reactores son diseñados con una superficie reflexiva alrededor de un tubo axial que actúa como reactor, aunque la geometría de los rayos incidentes es diferente. Mientras los CP el tubo reactor se coloca en el eje del foco de la parábola, en los CPC dichos rayos son más envolventes respecto al tubo cumpliendo con la ecuación de una involuta. Si bien los CPC pueden coleccionar tanto la luz solar incidente, directa como difusa, posibilitando su uso en días nublados, y sin seguimiento solar, ambas consideraciones deberán ser evaluadas a los fines de poder asignar la eficiencia de cada colector, tanto en cada situación geográfica particular como en relación con los procesos fotoquímicos que se pretendan desarrollar. (Spasiano et al., 2015).

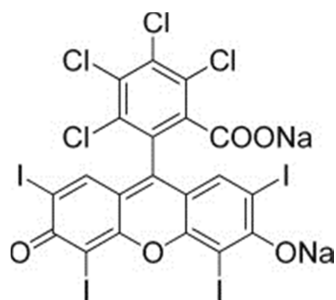


Figura 1: Rosa de Bengala, 2,4,5,7-tetraiodo-3',4',5',6- tetraclorofluoresceína

El rosa de bengala (RB) (Fig. 1) es una sustancia coloreada sintética utilizado como colorante pero que también es un sensibilizador muy usado en reacciones fotoquímicas ya que se conoce su excitación fotoquímica en la zona del visible dando en estado triplete lo que permite lograr un alto rendimiento cuántico ( $\Phi\Delta = 0,76-0,83$ ) en la formación de oxígeno singlete ( $^1O_2$ ) (Deckers, 1989; Amat Guerri et al., 1990), Este oxígeno en estado excitado singlete es una especie altamente oxidante y útil para la degradación de contaminantes que pudiesen estar en el agua. (Martinez-Haya et al., 2017; Martinez-Haya et al., 2018, Rauf et al., 2008). Muchos estudios fotoquímicos en general se realizan en laboratorio con condiciones controladas de intensidad y frecuencia de luz usada, en los colectores solares que fueron utilizados existen condiciones de operación variables en cuanto a clima y exposición, pero que son de importancia considerar cuando se pretende un uso tecnológico de los mismos.

En el presente trabajo se evaluó la eficiencia de los reactores concentradores solares CP y CPC en relación a la degradación del Rosa de Bengala (RB) con radiación solar.

## METODOLOGÍA

La fabricación de la estructura de los concentradores se realizó por corte con un router CNC (Computer Numerical Control), utilizando un software de diseño y corte (CAD/CAM) de versión libre. Esto permitió graficar las ecuaciones curvas, parábola o involuta, que cada superficie de concentrador requiere. En el caso del CPC se diseñó la mitad de la curva involuta completándose por simetría el total de la pieza, cuyo corte fue realizado en madera de pino estacionada de 0,025 m de espesor. Cada una de las piezas estructurales de los concentradores se unió mediante el empleo de barra roscada de 0,006 m a los fines de conferirle rigidez al dispositivo colector. Sobre la estructura se fijó la correspondiente superficie de material reflectante acorde con su geometría, utilizando una lámina de aluminio anodizado de 2 mm de espesor, tal como se muestran en las Figura 2.

### *Características de los concentradores*

El concentrador parabólico (CP) tiene una dimensión de 0,32 m por 0,80 m lo que le da una área de apertura de 0,256 m<sup>2</sup> y fue diseñado para que su eje focal este a 0,20 m del vértice de la parábola, donde se ubica el tubo colector (Figura 3).

El concentrador parabólico compuesto (CPC) tiene una dimensión de 0,32 m por 0,19 m lo que le da un área de apertura de 0,061 m<sup>2</sup>, fue diseñado para contener un tubo reactor de 0,057 m de diámetro.

El reactor es un tubo de vidrio borosilicato 3.3, con un diámetro externo de 0,057 m, espesor de pared de 0,0015 m y un largo total de 0,40 m, siendo su volumen interior de 0,001 m<sup>3</sup>. El reactor permite el paso del 80% de la radiación UV entre 290 y 390 nm, medida con un radiómetro marca Lutron UV-340A.



Figura 2. Concentrador Parabólico Compuesto (CPC)



Figura 3. Concentrador parabólico (CP)

Los reactores solares se ubicaron mirando hacia el norte y con el tubo colector en orientación este-oeste. Con ambos colectores se buscó la incidencia directa de la luz solar por lo que se fue ajustando en forma manual la posición vertical y azimutal de cada reactor convenientemente usando para ello las imágenes de sombras proyectadas por el propio reactor.

El seguimiento de la experiencia de decoloración fue realizado por espectroscopia UV utilizando para ello un Espectrofotómetro Hewlett Packard 8453 con 1cm de paso óptico y celdas de cuarzo. La toma de muestra del reactor se realizó según tiempos estipulados previamente que nos permita obtener el adecuado número de datos.

La figura 4 muestra imágenes de un instante en que se estaban realizando las experiencias con ambos reactores fotoquímicos. Es posible observar la luminosidad del tubo en el CP dada la ubicación del tubo reactor en el foco del mismo.



Figura 4: Desarrollo de una experiencia de decoloración con ambos reactores CP y CPC

#### Datos experimentales

El Rosa de Bengala usado fue marca Aldrich de calidad analítica, las soluciones fueron preparadas del orden de 5 ppm, usando 5 mg por litro de agua bidestilada; su concentración real fue determinada por espectrofotometría. Las experiencias fueron realizadas con luz solar registrando la potencia total y la de radiación ultravioleta, utilizando como datos de radiación solar los del Programa Red Meteorológica Provincial dependiente del Ministerio de Agricultura y Ganadería del gobierno de la Provincia de Córdoba (<https://magya.omixon.com>) mientras que la potencia UV se midió en el mismo lugar de la experiencia. La figura 5 muestra los espectros totales de absorbancia del RB en las zonas del UV y visible, mostrando la degradación con el paso del tiempo y por efecto de la radiación solar incidente, en la zona del espectro visible encontramos la disminución de la concentración del RB. En el CP se observa una mayor degradación en relación a la solución de RB tratada con el CPC. En la figura 6 observamos la degradación del RB en  $\lambda$  548 nm, la curva decaimiento del RB tratado en el reactor CP muestra una mayor variación de degradación del compuesto respecto al tratado en el

CPC, encontrando una velocidad de reacción de disminución de 0,0562 M/min para el CP y de 0,013 M/min para el CPC. Figura 7.

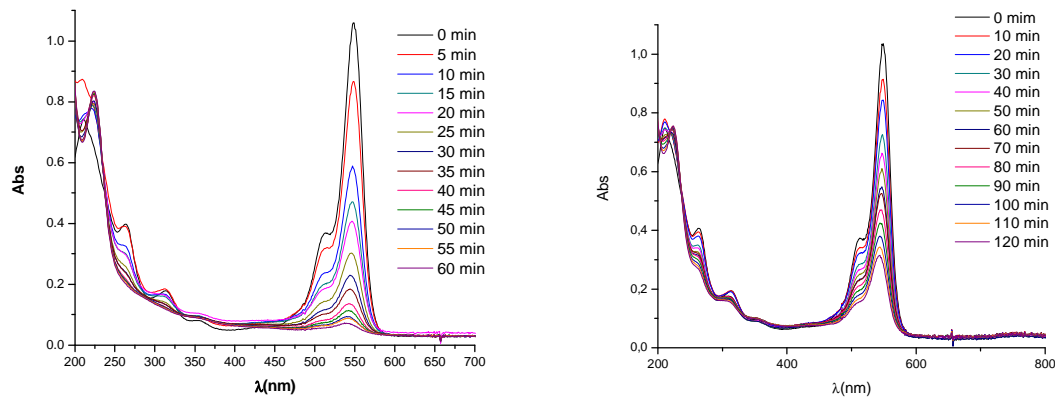


Figura 5. Espectros de absorbancia del RB. Izquierda CP. Derecha CPC

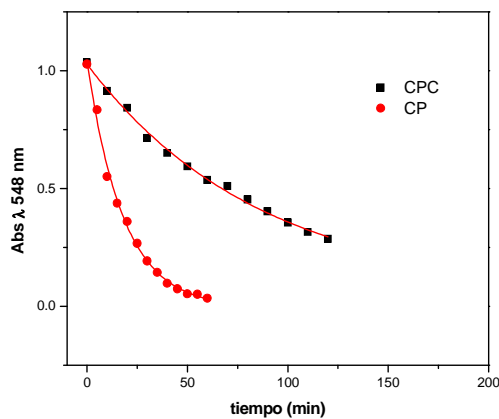


Figura 6. Curvas de decaimiento del RB.

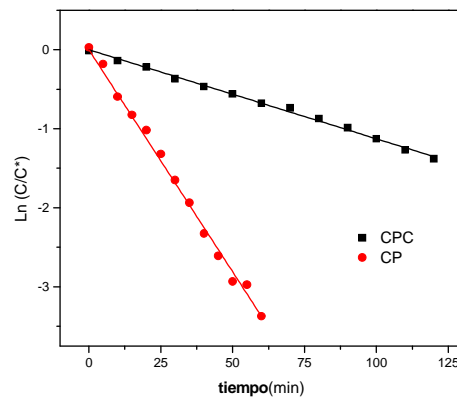


Figura 7. Gráfica logarítmica de cinética de primer orden

## CONCLUSIONES

Los resultados muestran una excelente degradación del RB en concentrador parabólico (CP) utilizando la luz solar y logrando un 98% de degradación en solo un hora de tiempo, frente a otros datos existentes en bibliografía. Los resultados con CPC también muestran una degradación efectiva de RB aunque para lograr un porcentaje equivalente de degradación requiere un tiempo de 5 horas de exposición. Si bien la relación de áreas permitiría una ubicación de 4,2 reactores CPC por la misma superficie que ocupa el CP, la mayor cinética de degradación lograda con el CP frente a los CPC en una relación de 5 a 1 indica que es conveniente realizar una degradación efectiva de RB con CP aun cuando el seguimiento de la luz solar resulte un dificultad a solucionar.

## REFERENCIAS

Amat-Guerri F., Lopez-Gonzalez M.M.C., Martinez Utrilla R. y Sastre R. (1990). Singlet oxygen photogeneration by ionized and un- ionized derivatives of Rose Bengal and Eosin Y in diluted solutions. J Photochem. Photobiol. Chem 53 199-210.

- Blesa, M.A, Blanco Galvez J.(Editores). Solar Safe Water: Tecnologías solares para la desinfección y descontaminación del agua. [http:// www.psa.es](http://www.psa.es)
- Kaur J.Singhal S. (2014) Heterogeneous photocatalytic degradation of rose bengal: Effect of operational parameters. *Physica B* 45049–53.
- Malato S., Maldonado M.I., Fernández-Ibáñez P., Oller I., Polo I., Sánchez-Moreno R. (2016). Decontamination and disinfection of wáter by solar photocatalysis: The pilot plants of the Plataforma Solar de Almeria. *Mat. Sci. Sem. Process.* 42, 15–23.
- Martinez-Haya R., Gomis J., Arques A., Marin M.L., Amat A.M. y Miranda M.A. (2017). Time-resolved kinetic assessment of the role of singlet and triplet excited states in the photocatalytic treatment of pollutants at different concentrations. *Appl. Catal. B.* 203, 381-388.
- Martinez-Haya R.,Miranda M.A., Marin M.L. (2018) Type I vs Type II photodegradation of pollutants *Catalysis Today* 313 161–166.
- Neckers D. C. (1989). Rose Bengal. *J. Photochem. Photobiol. Chem.* 47, 1-29.
- Rauf M.A., Marzoukia N., Körbahti B.K. (2008). Photolytic decolorization of Rose Bengal by UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and data optimization using response surface method. *J. Hazard Mat.* 159 602–609
- Spasiano D., Marotta R., Malato S., Fernandez-Ibanez P., Di Somma I. (2015). Review: Solar photocatalysis: Materials, reactors, some commercial, and pre-industrialized applications. A comprehensive approach. *App. Catal. B: Environ.* 170-171 90–123.
- Venier F., Ceballos C., Marchesi J., Zizzias J., Crespi R. (2015) Desinfección de aguas residuales domésticas con un destilador solar de batea simple, una alternativa al método SODIS. ASADES, San Rafael Mendoza, Argentina.

## ABSTRACT

Solar technology plays an important role in solve current and future environmental problems. The objective of this work is to evaluate and compare the efficiency of parabolic solar (CP) and compound parabolic collectors (CPC), designed and assembled in our laboratories, to be used as solar reactors in the treatment of residential effluents. In each collector the tube acts as a reactor. Rose Bengal (RB) is a dye with high quantum yield in the formation of singlet oxygen, which is used in processes of oxidation of pollutants. Studies of its discoloration speed in solar reactors allow evaluate the subsequent elimination of this dye. The results obtained are highly favorable to the degradation of RB, achieving a 98% elimination in 1 hour, and allow to evaluate the time of discoloration, the volume to be treated with equivalent areas and the factor of concentration of the collectors used.

**Keywords:** solar photoreactors, solar photolysis, rose bengal, green technology.