

## INTENSIFICACIÓN DE LA DECOLORACIÓN SONOQUÍMICA DE ANARANJADO DE METILO UTILIZANDO CLOROFORMO. COMPARACIÓN DE UN REACTOR BATCH (20 KHZ) Y UN REACTOR CONTINUO BIFRECUENCIAL (20 Y 40 KHZ)

Luis A Kieffer, Patricia M de la Sierra, María Claret, Estefanía Leiz

Grupo de Química Ambiental - Facultad de Ing. Cs. Hídricas (Universidad Nacional del Litoral) – Ciudad Universitaria - Paraje El Pozo – Ruta 1 km 472.4 – (3000) Santa Fe (Argentina) – [lkieffer@santafe-conicet.gov.ar](mailto:lkieffer@santafe-conicet.gov.ar)

### Introducción

La contaminación del agua debido a las descargas coloreadas emitidas por las industrias textiles, farmacéuticas, del cuero, del papel y alimenticias genera graves problemas ambientales (Wang et al, 2014). Los colorantes azoicos (que contribuyen aproximadamente con el 70% de dichos desechos (Matouq, 2014)) son muy estables y difíciles de degradar por los métodos convencionales debido a su estructura compleja. La existencia de bajas concentraciones de los colorantes azo no sólo es grave por la coloración que imparten, sino porque muchos poseen características tóxicas (carcinógenos y/o mutagénicos) (Wu et al, 2012). Por ésta razón, su eliminación del agua es muy importante para la seguridad del ambiente y la salud humana.

El tratamiento mediante ultrasonido se presenta como una metodología atrayente dentro de los métodos de oxidación avanzados debido a las ventajas que presenta, a saber: obtención de condiciones extremas de temperaturas y presiones no alcanzables por métodos tradicionales (superiores a los 5000 K y 1000 atm. y el poder trabajar con soluciones coloreadas o conteniendo material en suspensión (Kieffer et al., 2015).

En este estudio se eligió al anaranjado de metilo (AM) (ácido 4-(((4-Dimetilamino)fenil)azo)bencenosulfónico) como colorante objetivo a fin de analizar la posibilidad de utilizar el ultrasonido como tratamiento para aguas coloreadas. Se evalúa la degradación en un reactor batch (a escala laboratorio) y un equipo a escala piloto con flujo continuo. Se analiza el efecto del agregado de cloroformo (primera cita de su uso) que aumentaría la eficiencia del tratamiento actuando de dos maneras: a) generando radicales (además de  $\text{OH}\bullet$ ) y compuestos oxidantes, b) secuestrando radicales  $\text{H}\bullet$ .

### Materiales y métodos

Se utilizó AM grado analítico Mallinckro y cloroformo ( $\text{HCCl}_3$ ) pro – análisis Cicarelli. Las concentraciones de AM se midieron por espectrometría visible en un equipo HATCH DR/2010.

El reactor sonoquímico batch es un equipo MSE provisto de un cabezal de 13 mm de diámetro, operando a una frecuencia de 20 kHz. La potencia efectiva determinada mediante calorimetría fue de 9 Watt. Se utilizó un reactor de vidrio de 250 ml de capacidad, con camisa de refrigeración con circulación de agua regulando la temperatura de operación en  $25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ . Todos los ensayos se hicieron por triplicado.

El reactor continuo (construido por el Grupo de Química Ambiental) está compuesto por cuatro unidades: la primera de 0,117 l (20 kHz y 34 W), la segunda de 0,111 l (40 KHz y 17 W), la tercera de 0,142 l (20 kHz y 27 W) y la última de 0,142 l (40 kHz y 50 W), donde cada una descarga en la siguiente a través de un rebosadero y conforman un solo cuerpo. La alimentación se efectúa mediante una bomba sumergible. En este trabajo se fijó el caudal en 10 l/h. Cada unidad tiene un sistema de

ventilación forzada a fin de mantener temperaturas estables (en este trabajo, las mismas variaron entre 24°C y 28°C).

Se realizó un modelo del funcionamiento del reactor continuo mediante el lenguaje simbólico XCOS.

## Resultados

### a) AM en reactor batch

En la Figura 1.a se muestra la evolución de las concentraciones (expresadas en porcentajes de la concentración inicial –  $3.47 \pm 0.35$  mg/l) en función del tiempo. Las barras verticales indican los valores máximos y mínimo, mientras que las equis el valor medio. Se muestra además la ecuación de pseudo primer orden ajustada, así como el cuadrado del coeficiente de correlación. Al cabo de 45 minutos se observa una disminución del 17% de la concentración inicial.

En la Figura 1.b se presentan los resultados de los ensayos realizados con el agregado de diferentes cantidades de cloroformo (se muestran únicamente los valores medios para cada concentración de  $\text{HCCl}_3$ ) para una concentración inicial de AM =  $3.83 \pm 0.03$  mg/l. Al cabo de 80 segundos, para cualquiera de las 4 condiciones se observa una disminución superior al 90%.

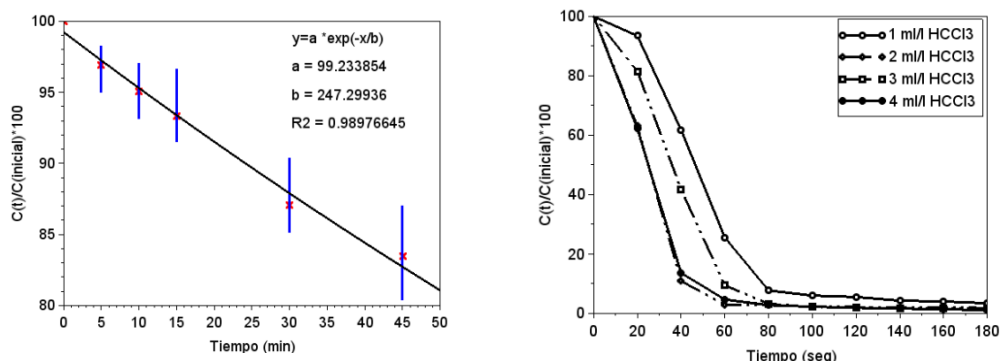


Figura 1.a (izquierda) AM sin  $\text{HCCl}_3$ , 1.b (derecha) AM con  $\text{HCCl}_3$

### b) AM en reactor continuo

En la Figura 2 se muestra el porcentaje de decoloración del AM para una concentración baja (2.1 mg/l) sin el agregado de cloroformo y para otras cuatro concentraciones mayores con el agregado de 1 ml/l de  $\text{HCCl}_3$ .

Se observa que cuando el equipo entra en estado estacionario, sin el agregado de  $\text{HCCl}_3$  se obtiene un porcentaje de decoloración inferior al 20%, mientras que con el agregado (para las cuatro concentraciones analizadas) se obtiene un porcentaje superior al 80%.

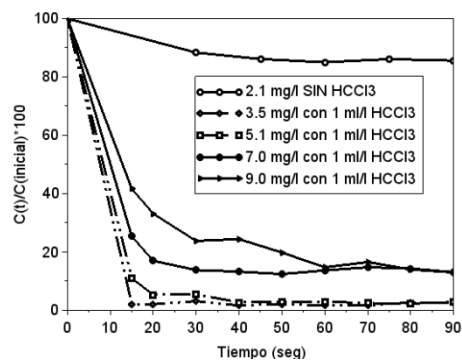


Figura 2. AM en reactor continuo

La Figura 3 muestra la salida de la simulación dinámica, para cada una de las cuatro unidades del equipo continuo (con una concentración de entrada de 9.23 mg/l de AM y el agregado de 1 ml/l de  $\text{HCCl}_3$ ).

## Conclusiones

Se demostró que la decoloración sonoquímica de AM se ve ampliamente favorecida con el agregado de bajas concentraciones de  $\text{HCCl}_3$ . En el caso del reactor batch se obtuvieron degradaciones del 17% y 90% sin y con este agregado, pero en el primer caso en el lapso de 45 minutos de tratamiento mientras que en el segundo luego de 80 segundos. En el reactor continuo se logra una mejora en la decoloración superior al 80% para las concentraciones utilizadas.

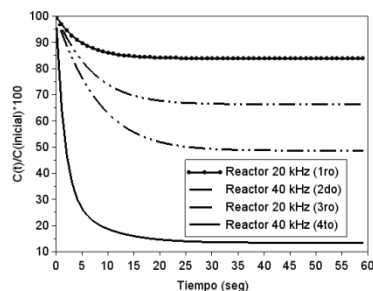


Figura 3. Simulación dinámica

## Bibliografía

- Kieffer, L.A., de la Sierra, P.M., Devercelli, M., Luna, J.A., Claret, M. y Leiz, E. (2015). *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 26(50): 224 – 243.
- Matouq, M., Al-Anber, Z., Susumu, N., Tagawa, T. y Karapanagioti, H. (2014). *Separation and Purification Technology*, 135: 42 – 47.
- Wang, X., Wang, L.G., Li, J.B., Qiu, J.J., Cai, C., Zhang, H. (2014). *Separation and Purification Technology*, 122: 41– 46.
- Wu, J., Zhang, H., Qiu, J.J. (2012). *Journal of Hazardous Materials*, 215–216: 138 – 145.