

Evaluación de la actividad fotocatalítica de los compuestos $A_2La_2Ti_3O_{10}$ (A= K, Na, H) a diferentes cargas de cocatalizador.

Evaluation of the photocatalytic activity of the compounds $A_2La_2Ti_3O_{10}$ (A = K, Na, H) the different charges of cocatalyst.

Autor 1: Gerardo Obdulio Diaz Ocampo Autor 2: Jefferson Osorio Vélez
Facultad de tecnología química, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia
Correo-e: obuliod@gmail.com ; jefosorio@utp.edu.com.

Resumen— En este artículo se presenta la evaluación de los compuestos $A_2La_2Ti_3O_{10}$ (A= K, Na y H) frente a la degradación del azul de metileno cuando dichos compuestos se impregnan con NiO, las impregnaciones se efectúan con 0.01%, 0.05%, 0.1% y 0.2% de carga de cocatalizador. Se obtuvo que la perovskita que mejor porcentaje de degradación arrojó fue $H_2La_2Ti_3O_{10}$ con 0.05% en carga de cocatalizador de NiO, el cual arrojó un porcentaje de degradación de azul de metileno de 91.51 % a las condiciones estudiadas del proceso de fotocatalisis.

Palabras clave— Cocatalizador, degradación, fotocatalisis, impregnación, perovskita.

Abstract— In this paper the evaluation of the compounds $A_2La_2Ti_3O_{10}$ (A = K, Na y H) against the degradation of the methylene blue when these compounds are impregnated with NiO, the impregnations are carried out with 0.01%, 0.05%, 0.1% and 0.2% cocatalyst loading. It was obtained that the perovskite that had the best degradation percentage was $H_2La_2Ti_3O_{10}$ with 0.05% in charge of NiO cocatalyst, which yielded a percentage of methylene blue degradation of 91.51% to the studied conditions of the photocatalysis process.

Key Word — Cocatalyst, degradation, photocatalysis, impregnation, perovskite.

I. INTRODUCCIÓN

El agua es el recurso natural más importante para la vida en nuestro planeta, debido a su uso masivo, se generan grandes cantidades de agua contaminada a nivel mundial. Tintes textiles y otros colorantes comerciales han surgido como un foco de cuestiones ambientales debido a su potencialmente tóxico y baja tasa de eliminación[1]. Para mitigar el impacto ambiental que producen los desechos de la producción farmacéutica y producción textil se ha usado TiO_2 como agente degradante por medio de la fotocatalisis heterogénea[2], también se han usado otros métodos alternativos de adsorción con materiales de

desecho industrial modificados con iones[3], y material vegetal [4].

Las perovskitas, son materiales cerámicos que poseen propiedades tales como, magneto resistencia, ferro electricidad y actividad fotocatalítica. Este tipo de material se clasifica en tres tipos principales de familias según su estructura molecular las cuales son: Aurivillius, Dion-Jacobson y las fases de Ruddlesden Popper. Esta última familia de perovskitas tiene por formula molecular $A'_2[A_{n-1}B_nO_{3n-1}]$. [5] Existen varias rutas para sintetizar este tipo de material, entre ellas la técnica de micelas inversas, el método sol-gel o Pechini, el método hidrotermico, el método de reacción en estado sólido y la coprecipitación. [6]

El método sol-gel es una alternativa efectiva para la síntesis de materiales con mejor control de partículas y morfología, este método consiste en un proceso combinado en donde se forma la polimerización orgánica de un complejo-metal in situ con una calcinación posterior de la resina para obtener el óxido deseado. La inmovilización de los metales complejos en tales enlaces rígidos del polímero orgánico, reduce la segregación de los iones del metal y produce óxidos mono-metálicos altamente puros y óxidos de metales multicomponentes homogéneos a moderadas temperaturas.[7]

En general, los cocatalizadores pueden actuar como sitios activos para la transferencia interfacial de electrones fotogenerados para mejorar la actividad fotocatalítica debido a la rápida transferencia de electrones, los conocidos cocatalizadores de electrones incluyen metales nobles (tales como Pt, Au y Ag), transición (Por ejemplo, Fe (III), Cu (II) y Cr (III)), óxidos metálicos de transición (tales como NiO, RuO₂, CoO_x y NiO_x) y sulfuros metálicos de transición (como MoS₂ y CoS₂).[8] En general un cocatalizador funciona como colector de orificios para reducir la tasa de recombinación de

los pares de electrones-agujeros y así aumentar la eficiencia de la fotocatalisis[9].

II. METODOLOGIA.

• SINTESIS

La técnica usada para sintetizar los compuestos $\text{Na}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$ y $\text{K}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$, fue el método de Pechini[10],[11],[6]. La síntesis se inició mezclando las sales de los metales alcalinos en metanol (Merck, 99,9 %), carbonato de potasio (Merck, 99%) para la síntesis de $\text{K}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$ y carbonato de sodio (Merck, 99,9 %), para el caso del compuesto $\text{Na}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$. El Nitrato de Lantano ($\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) se preparó a partir del Oxido de Lantano (La_2O_3 , Fisher Scientific, 99 %) y Ácido Nítrico concentrado (Fisher Scientific, 65 %). Luego de solubilizadas las sales metálicas, se mezclaron con el nitrato de lantano y el tetracloruro de titanio, luego se aumentó lentamente la temperatura hasta 80 °C con adición de etilenglicol. Posteriormente, bajo agitación se adiciona ácido cítrico. Una vez alcanzada la mezcla homogénea con ausencia total de partículas, se aumentó la temperatura hasta 130 °C. Se produce un gel el cual se lleva a la mufla a una temperatura de 450 °C por dos horas en un capsula de porcelana. El sólido precursor se muele en mortero de ágata con acetona, se lleva posteriormente a la mufla en nave de alta alúmina, a una temperatura de 750 °C por 24 horas. Adicionalmente, y con el fin de obtener solo la fase hidratada y libre de los metales alcalinos en exceso, los sólidos obtenidos se suspenden en agua desionizada bajo agitación durante 30 minutos, seguido de filtración y secado a 80 °C por 2 a 3 horas[12]

• INTERCAMBIO IÓNICO

El intercambio iónico se realizó mediante reflujo con HNO_3 3M, con calentamiento suave a 50 °C y agitación constante durante 24 horas. Los sólidos correspondientes se filtraron y secaron al aire.

• IMPREGNACIÓN CON NiO

Se preparó una solución madre de concentración de 2.72 g/L de nitrato de níquel ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), para impregnar tres los 3 diferentes fotocatalizadores. A una cantidad aproximada de 70 mg de las perovskitas sintetizadas, se les agrego 1 mL, 5 mL, 10 mL, y 20 mL, de tal manera que las cargas de cocatalizador para cada fotocatalizador fueran 0.01%, 0.05%, 0.1% y 0.2% esto se realiza con el fin de estudiar la actividad fotocatalítica de los diferentes compuestos sintetizados a diferentes concentraciones de cocatalizador.

III. ANALISIS Y RESULTADOS

Se realizaron los cálculos para obtener 2 g de $\text{Na}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$ y 4 g de $\text{K}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$, se llevó a cabo el proceso descrito en la metodología, luego se realizó un intercambio catiónico con

$\text{K}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$ y se obtuvieron las cantidades de compuestos mostrados en la Tabla 1.

Perovskita	Cantidad sintetizada (g).
$\text{K}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$ (1)	1,7209
$\text{K}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$ (2)	1,7781
$\text{Na}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$	1,6385
$\text{H}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$	0,4250

Tabla 1: cantidades de perovskitas preparadas para la degradación.

Ya sintetizadas las cantidades de perovskitas necesarias, posteriormente, se realizó la impregnación de cada uno de los compuestos con oxido de Níquel. Para llevar a cabo la impregnación, se realizaron los cálculos necesarios de tal manera que cada una de las perovskitas sintetizadas tuvieran una carga de cocatalizador de 0.2%, 0.1%, 0.05% y 0.01%, para ello se preparó una solución de 2.72 g/L de nitrato de níquel hexahidratado y en capsulas de porcelana con la masa de fotocatalizador aproximadamente igual a 70 mg para la degradación, se adicionaron los volúmenes necesarios de esta solución preparada para impregnar; luego se llevaron las mezclas a 250°C por 1h y a 400°C por 2h en la mufla.

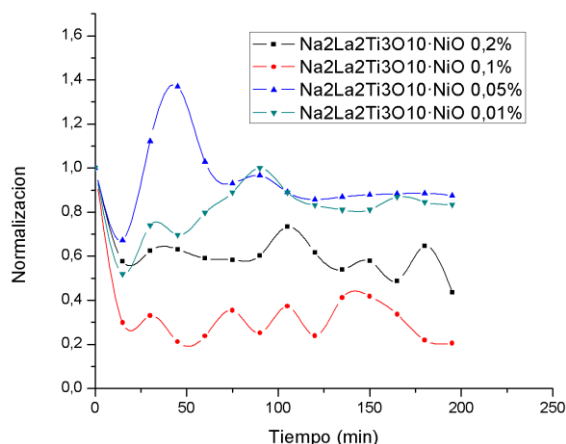
FOTODEGRADACION

La fotocatalisis heterogénea ocurre básicamente de acuerdo al siguiente esquema de cinco pasos:

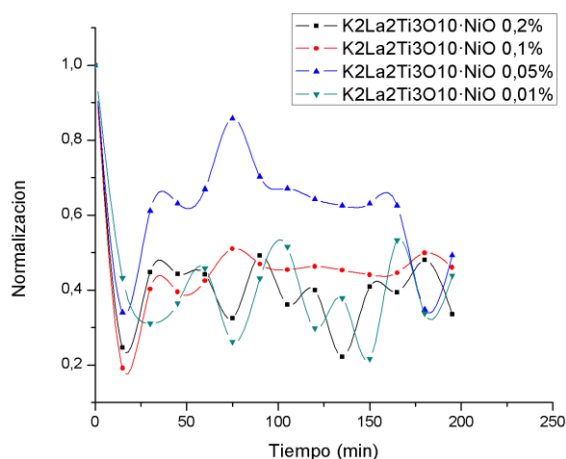
1. Transferencia de los reactivos en la fase fluida.
2. Adsorción de al menos uno de los reactivos sobre el catalizador sólido.
3. Reacción en la fase adsorbida.
 - (a) Absorción de los fotones por el sólido.
 - (b) Creación foto-inducida de electrones y huecos.
 - (c) Reacciones de transferencia de electrones (Ionosorción, neutralización de carga, formación de radicales, reacciones superficiales...).
4. Desorción de los productos de la fotocatalisis.
5. Remoción de los productos de la fotocatalisis de la fase fluida.[13]

Con el fin de determinar la influencia que tiene la carga de cocatalizador en los fotocatalizadores sintetizados sobre la actividad fotocatalítica de un sistema, se realizó la degradación del azul de metileno. Inicialmente, se preparó una solución de 2 mg/L de azul de metileno para degradar, cada una de las perovskitas impregnadas se mezclaron con 100 mL de la solución de azul de metileno y se colocaron en agitación constante durante 30 min a oscuras en un equipo el cual posee 2 lámparas de luz negra de 12 W y un sistema de ventilación. Se encendieron las lámparas y se midió la absorbancia a intervalos de 15 min, usando una longitud de onda de 665 nm. Para observar mejor el comportamiento de los datos obtenidos de las absorbancias medidas durante la degradación, se graficaron las absorbancias normalizadas contra el tiempo en

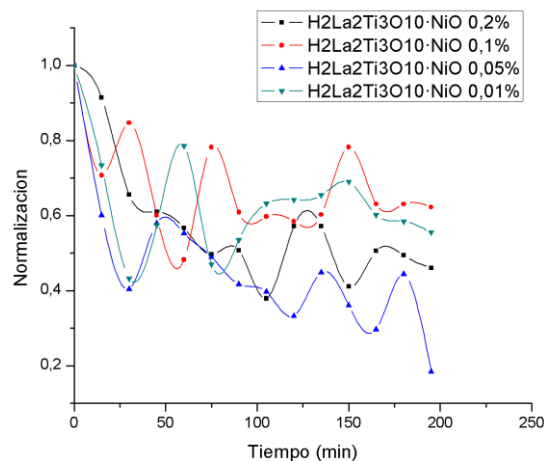
minutos del proceso de fotodegradación, ya que de esta manera se puede apreciar mejor el fenómeno en estudio y sacar el máximo provecho a la información obtenida durante el experimento. Las gráficas 1, 2 y 3 contienen las curvas que describen las oscilaciones de las absorbancias normalizadas durante el tiempo de degradación.



Gráfica 1: Normalización contra degradación del azul de metileno con $\text{Na}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$ a diferentes cargas de cocatalizador, expuesto a radiación UV cercana.



Gráfica 2: Normalización contra degradación del azul de metileno con $\text{K}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$ a diferentes cargas de cocatalizador, expuesto a radiación UV cercana.



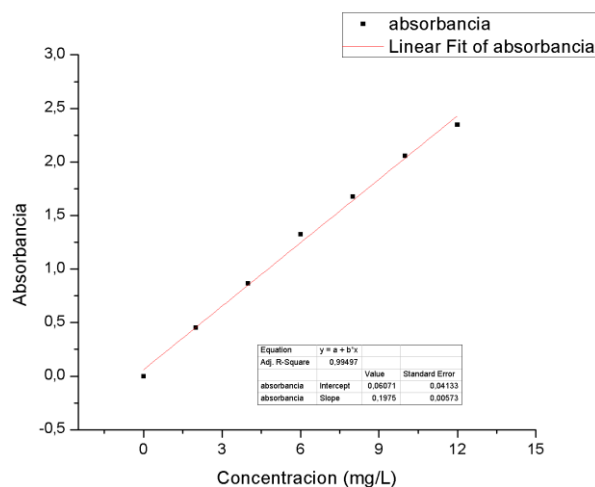
Gráfica 3: Normalización contra degradación del azul de metileno con $\text{H}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$ a diferentes cargas de cocatalizador, expuesto a radiación UV cercana.

Observando el comportamiento de cada una de las gráficas se puede apreciar inicialmente que para todos los experimentos hubo un sentido de la degradación del colorante azul de metileno, esto se demuestra con los datos de la normalización, los cuales todos finalizan en un valor menor al inicial que es 1. Para todos los sistemas estudiados, aunque el sentido de la variación de las absorbancias para los cuatro ensayos de las tres perovskitas a diferente carga de cocatalizador representan un fenómeno oscilatorio sinusoidal, no hay un patrón como tal que muestre que a través del tiempo la degradación para cada uno de los ensayos es uniforme uno respecto del otro en tanto al comportamiento, lo que demuestra que no solamente se está llevando a cabo un proceso de degradación dentro del experimento y que el fenómeno estudiado a las condiciones de laboratorio, no tiene una relación carga de cocatalizador respecto al tiempo durante el periodo de degradación.

Se elaboró una curva de calibración con patrones de azul de metileno, para luego calcular las concentraciones que corresponden en cada punto de control del proceso de degradación. La tabla 2, muestra los parámetros de linealización para los patrones preparados. La gráfica 4 muestra la curva de calibración preparada del colorante, medida a 665nm. El máximo de absorción se determinó por medio de un barrido espectral.

Equation	$y = a + b \cdot x$		
Adj. R-Square	0,99497		
		Value	Standard Error
Absorbancia	Intercept	0,06071	0,04133
Absorbancia	Slope	0,1975	0,00573

Tabla 2: ecuación de linealización para la curva de calibración del azul de metileno.



Gráfica 4: Curva de calibración del azul de metileno.

Luego de encontrar la ecuación representativa del comportamiento de la concentración del azul de metileno respecto a la absorbancia, se calcularon las concentraciones para todos los ensayos hechos. Las concentraciones calculadas se muestran en la tabla 9,10 y 11.

Tiempo (min)	Na ₂ La ₂ Ti ₃ O ₁₀ ·NiO 0,2% (mg/L)	Na ₂ La ₂ Ti ₃ O ₁₀ ·NiO 0,1% (mg/L)	Na ₂ La ₂ Ti ₃ O ₁₀ ·NiO 0,05% (mg/L)	Na ₂ La ₂ Ti ₃ O ₁₀ ·NiO 0,01% (mg/L)
0	2,3610	3,5914	1,8142	1,9914
15	1,2319	0,8572	1,1205	0,8876
30	1,3585	0,9787	2,0724	1,3939
45	1,3787	0,5180	2,5990	1,2927
60	1,2673	0,6192	1,8749	1,5256
75	1,2471	1,0749	1,6673	1,7382
90	1,3028	0,6749	1,7433	1,9914
105	1,6522	1,1458	1,5813	1,7382
120	1,3382	0,6243	1,5104	1,6015
135	1,1306	1,2977	1,5357	1,5559
150	1,2370	1,3230	1,5559	1,5559
165	0,9939	1,0041	1,5661	1,6927
180	1,4192	0,5484	1,5711	1,6370
195	0,8572	0,4927	1,5509	1,6066

Tabla 3: Concentración de la mezcla azul de metileno-perovskita durante el proceso de degradación con Na₂La₂Ti₃O₁₀ a diferentes cargas de cocatalizador, expuesto a radiación UV cercana.

Tiempo (min)	K ₂ La ₂ Ti ₃ O ₁₀ ·NiO 0,2% (mg/L)	K ₂ La ₂ Ti ₃ O ₁₀ ·NiO 0,1% (mg/L)	K ₂ La ₂ Ti ₃ O ₁₀ ·NiO 0,05% (mg/L)	K ₂ La ₂ Ti ₃ O ₁₀ ·NiO 0,01% (mg/L)
0	2,9838	3,7939	2,9078	3,4395
15	0,5028	0,4775	0,7863	1,3129
30	1,1661	1,3433	1,6572	0,8572
45	1,1509	1,3129	1,7230	1,0597
60	1,1458	1,4344	1,8446	1,4091
75	0,7610	1,7838	2,4522	0,6749
90	1,3129	1,6167	1,9509	1,3078
105	0,8825	1,5559	1,8496	1,6218
120	1,0091	1,5914	1,7585	0,8066
135	0,4218	1,5509	1,7028	1,1104
150	1,0395	1,5003	1,7230	0,5028
165	0,9889	1,5205	1,7028	1,6876
180	1,2724	1,7382	0,8116	0,9585
195	0,7965	1,5813	1,2775	1,3332

Tabla 4: Concentración de la mezcla azul de metileno-perovskita durante el proceso de degradación con K₂La₂Ti₃O₁₀ a diferentes cargas de cocatalizador, expuesto a radiación UV cercana.

Tiempo (min)	H ₂ La ₂ Ti ₃ O ₁₀ ·NiO 0,2% (mg/L)	H ₂ La ₂ Ti ₃ O ₁₀ ·NiO 0,1% (mg/L)	H ₂ La ₂ Ti ₃ O ₁₀ ·NiO 0,05% (mg/L)	H ₂ La ₂ Ti ₃ O ₁₀ ·NiO 0,01% (mg/L)
0	3,0041	2,7357	2,5230	1,7281
15	2,7205	1,8446	1,3939	1,1863
30	1,8648	2,2699	0,8370	0,5737
45	1,7129	1,5205	1,3332	0,8623
60	1,5711	1,1610	1,2572	1,2927
75	1,3382	2,0724	1,0800	0,6496
90	1,3737	1,5458	0,8724	0,7813
105	0,9484	1,5104	0,8167	0,9787
120	1,5863	1,4699	0,6344	0,9990
135	1,5863	1,5256	0,9635	1,0243
150	1,0547	2,0724	0,7154	1,0952
165	1,3686	1,6116	0,5332	0,9180
180	1,3281	1,6116	0,9484	0,8825
195	1,2192	1,5863	0,2142	0,8218

Tabla 5: Concentración de la mezcla azul de metileno-perovskita durante el proceso de degradación con H₂La₂Ti₃O₁₀ a diferentes cargas de cocatalizador, expuesto a radiación UV cercana.

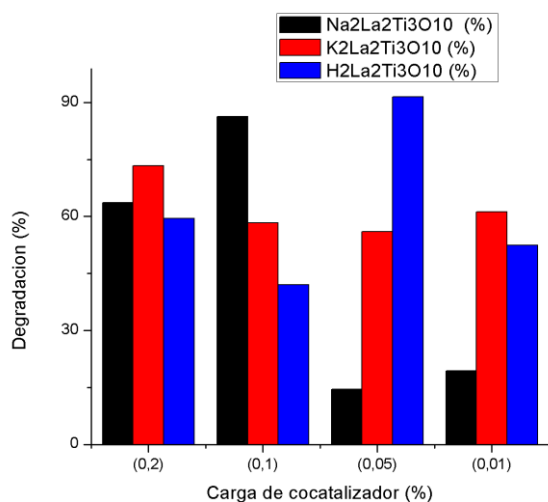
Antes de realizar la degradación, la mezcla colorante-perovskita se deja 30 min a oscuras con el fin de asegurar un equilibrio adsorción-desorción, sin embargo las oscilaciones de este equilibrio no son uniformes durante el proceso, lo que indica que posiblemente se necesita más tiempo de agitación a oscuras, para asegurar un equilibrio que describa un fenómeno de degradación en que no interfiera tanto el proceso de adsorción-desorción. Sin embargo tendría que estudiarse el comportamiento de la adsorción-desorción de los materiales sintetizados en un documento aparte, para conocer el punto exacto en que se debe iniciar la fotocatalisis. En el tiempo 0 para varios de los ensayos hechos, se muestran valores superiores a la concentración preparada de 2 mg/L, esto es debido a que la perovskitas impregnadas quedan con un residuo negro al ser calcinadas, además entre mayor es la cantidad de solución para impregnar, mayor es el residuo negro, que en su mayor cantidad debe de ser el óxido de níquel que no entro en contacto con la perovskita.

Con el fin de obtener los resultados de la degradación, y solo evaluar los resultados de remoción de colorante al tiempo final estipulado de fotocatalisis el cual eran 195 min, se determinó el porcentaje de degradación por medio de la siguiente formula.

$$\text{Removal (\%)} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100$$

Ecuación de porcentaje de degradación[14]

Donde C₀ es la concentración registrada después de asegurar el equilibrio adsorción-desorción y C_t es la concentración registrada en un tiempo t para un ensayo en específico. Se elaboró un gráfico de barras en donde se calculó el porcentaje de remoción a los 195 min de exposición de cada ensayo a la lámpara de luz negra. Los resultados se muestran en la gráfica 5.



Gráfica 5: Barras de porcentaje de degradación de las perovskitas sintetizadas a las cargas de cocatalizador asignadas.

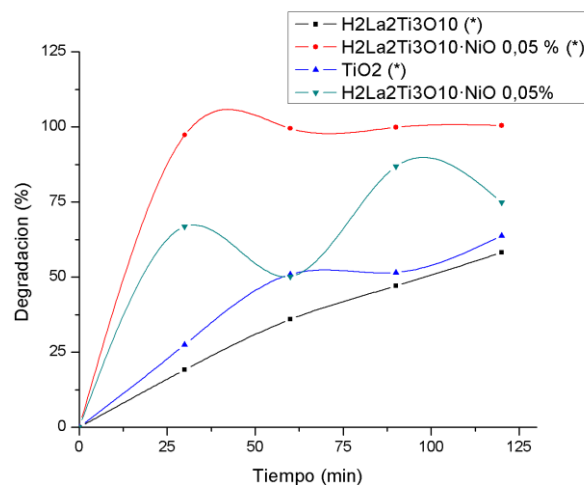
El grupo de datos que mejores resultados arrojo en promedio, fueron los fotocatalizadores con carga de cocatalizador igual a 0.2%, lo que significa que a mayor carga de cocatalizador mayor porcentaje de degradación, sin embargo hay que destacar unos casos especiales como es el $\text{Na}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$ con 0.1% de carga de cocatalizador, el cual arrojo un 86,28% de degradación del colorante y el $\text{H}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$ con carga de cocatalizador de 0.05% el cual degrado al azul de metileno en un 91.51%.

A continuación se muestra la tabla 6 la cual contiene las absorbancias obtenidas durante la degradación del azul de metileno con: TiO_2 , $\text{H}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$ y $\text{H}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}\cdot\text{NiO}$ 0.05%.

Tiempo (min)	Absorbancia			
	Azul de metileno	$\text{H}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$	$\text{H}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}\cdot\text{NiO}$ 0,05%	TiO_2
0	0,6725	0,6379	0,6418	0,6725
30	0,6954	0,5155	0,0171	0,4871
60	0,6892	0,4087	0,0032	0,3302
90	0,6914	0,3376	0,001	0,326
120	0,6858	0,2665	0,0029	0,2433

Tabla 6: Absorbancia del azul de metileno en contacto con diferentes fotocatalizadores expuesto a radiación UV cercana.[12]

Se extrajeron los datos de la tabla 6 y se realizaron los cálculos para obtener los porcentajes de degradación de los compuestos allí confinados por medio de la ecuación para evaluar el porcentaje de degradación, al mismo tiempo también se calcularon dichos porcentajes para el compuesto que arrojo mejores resultados el cual es $\text{H}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}\cdot\text{NiO}$ 0.05%.



Gráfica 6: Comparación de porcentajes de degradación.

En la gráfica 6, se muestra en la leyenda TiO_2 (*), $\text{H}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$ (*) y $\text{H}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}\cdot\text{NiO}$ 0.05% (*), estos compuestos son parte de la tesis base y $\text{H}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}\cdot\text{NiO}$ 0.05% es el compuesto que se está estudiando.

Si comparamos $\text{H}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}\cdot\text{NiO}$ 0.05% con TiO_2 (*) y $\text{H}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$ (*), en la gráfica 3 se evidencia que el compuesto estudiado $\text{H}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}\cdot\text{NiO}$ 0.05%, tiene mayor eficiencia ya que para el TiO_2 (*) se obtuvo una remoción del colorante al 120 min de 63,82 % y para el compuesto $\text{H}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$ (*) se obtuvo 58.22 % de remoción de azul de metileno.

Cabe resaltar que los compuestos TiO_2 (*), $\text{H}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$ (*) y $\text{H}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}\cdot\text{NiO}$ 0.05% (*), fueron ensayos hechos con 0.5 g del compuesto en 50 mL de azul de metileno. Se observa en la gráfica 6 como el compuesto $\text{H}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}\cdot\text{NiO}$ 0.05% (*), en los primeros 25 min de reacción logra adsorber gran cantidad del colorante y al momento de la desorción de los productos que se da aproximadamente a los 50 min, se muestra gran eficiencia en este sistema al degradar el azul de metileno, al final para este ensayo se obtiene un 99.84%.

Para el compuesto estudiado $\text{H}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}\cdot\text{NiO}$ 0.05%, que fue el que mejor porcentaje de remoción de colorante mostró, se observa que hay una buena adsorción por parte del fotocatalizador impregnado, sin embargo es evidente que no puede superar el compuesto $\text{H}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}\cdot\text{NiO}$ 0.05% (*) de la tesis base, ya que el compuesto estudiado se realizó con 70 mg de fotocatalizador con una carga de 0.05% de co-catalizador en 100 mL de azul de metileno 2 mg/L, lo que demuestra que al haber mayor masa de fotocatalizador hay una mayor superficie de contacto, lo cual se ve reflejado en una mejor adsorción del colorante y una mayor cantidad de sitios activos del compuesto para realizar la desorción de los productos de la degradación. Para el compuesto en estudio $\text{H}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}\cdot\text{NiO}$ 0.05%, también se puede observar como parte del material desorbido no es un producto de la degradación, ya que a los 50 min se observa una disminución en el porcentaje de degradación, lo que indica que

parte del azul de metileno no se degrado, sin embargo este se adsorbe nuevamente hasta los 100 min, luego este fenómeno de adsorción-desorción se repite varias veces mientras se degrada el colorante como se muestra en la gráfica 3 de datos de absorbancia normalizados, lo que finaliza en un porcentaje de remoción de 91,51% de colorante, esto indica que a una menor cantidad de $\text{H}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}\cdot\text{NiO}$ 0.05%, la degradación es efectiva, sin embargo si se quieren alcanzar mejores resultados, se debe mantener por más tiempo el sistema de foto-degradación.

IV. CONCLUSIONES

Por medio de la espectrofotometría, se pudo estudiar el fenómeno de degradación del azul de metileno, con los tres tipos de perovskitas sintetizadas a cuatro cargas diferentes de fotocatalizador usando una lámpara de luz negra.

Se realizaron las síntesis exitosamente de las perovskitas $\text{Na}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$ y $\text{K}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$ por medio del método de Pechini y partiendo del compuesto sintetizado $\text{K}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$ se realizó un intercambio catiónico, obteniéndose el compuesto $\text{H}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$.

Se impregnaron los tres compuestos sintetizados, los cuales fueron $\text{Na}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$, $\text{K}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$ y $\text{H}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$ con cargas de cocatalizador iguales a 0.2%, 0.1%, 0.05% y 0.01%, con los cuales se llevó a cabo la degradación. Hecho lo anterior se evaluó la efectividad de los fotocatalizadores impregnados con cocatalizador usando métodos estadísticos desarrollados en el software Origin 8.

REFERENCIAS

- Xing, G.T., Changhe Zhang, Bo Zhao, Lanxiao Su, Yiguo Wang, Xiaojing, *A highly uniform ZnO/NaTaO₃ nanocomposite: Enhanced self-sensitized degradation of colored pollutants under visible light*. Journal of Alloys and Compounds, 2015. **647**: p. 287-294.
- Arcadipane, E.S., Ruy Miritello, Maria Impellizzeri, Giuliana Grimaldi, Maria Grazia Privitera, Vittorio Romano, Lucia, *TiO₂ nanowires on Ti thin film for water purification*. Materials Science in Semiconductor Processing, 2016. **42, Part 1**: p. 24-27.
- Raúl E. Contreras, I.H., Ranulfo O. González, Alfonso García, María Arriaga., *Remoción de azul de metileno en medio acuoso mediante el uso del bagazo de caña de azúcar y el restroho de maíz modificados con iones SO_4^{-2} Y PO_4^{-3}* . 2012: p. 10.
- Eduardo Campos Medina, A.M.G.H., Alma Velázquez Rodríguez, *Estudio de la degradación del colorante azul de metileno usando la especie Morinda Citrocifolia L.* 2011.
- Zhenhua Lianga, b., Kaibin Tanga,b,, Qian Shaoa,b, Guocan Lia,b, Suyuan Zenga,b, Huagui Zhengb, *Synthesis, crystal structure, and photocatalytic activity of a new two-layer Ruddlesden–Popper phase, $\text{Li}_2\text{CaTa}_2\text{O}_7$* . 2008.
- Galvão, S.B.L., A. C. de Medeiros, S. N. Soares, J. M. Paskocimas, C. A., *The effect of the morphology on the magnetic properties of barium hexaferrite synthesized by Pechini method*. Materials Letters, 2014. **115**: p. 38-41.
- Del Toro, R.H., Petra Díaz, Yraida Brito, Joaquín L., *Synthesis of $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{FeO}_3$ perovskites nanocrystals by Pechini sol–gel method*. Materials Letters, 2013. **107**: p. 231-234.
- Wang, P.L., Yanggang Wang, Xuefei Yu, Huogen, *Co-modification of amorphous-Ti(IV) hole cocatalyst and Ni(OH)₂ electron cocatalyst for enhanced photocatalytic H₂ production performance of TiO₂*. Applied Surface Science, 2017. **391, Part B**: p. 259-266.
- Di, T.Z., Bicheng Zhang, Jun Cheng, Bei Yu, Jianguo, *Enhanced photocatalytic H₂ production on CdS nanorod using cobalt-phosphate as oxidation cocatalyst*. Applied Surface Science, 2016. **389**: p. 775-782.
- Oumezzine, E.H., Sobhi Hlil, El-Kebir Dhahri, Essebt Oumezzine, Mohamed, *Effect of Ni-doping on structural, magnetic and magnetocaloric properties of $\text{La}_{0.6}\text{Pr}_{0.1}\text{Ba}_{0.3}\text{Mn}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}_3$ nanocrystalline manganites synthesized by Pechini sol–gel method*. Journal of Alloys and Compounds, 2014. **615**: p. 553-560.
- Szczeszak, A.K., Konrad Grzyb, Tomasz Lis, Stefan, *Spectroscopic properties of $\text{Y}_{1-x}\text{Eu}_x\text{BO}_3$ and $\text{Y}_{1-x}\text{Tb}_x\text{BO}_3$ nanopowders obtained by the sol–gel Pechini method*. Journal of Luminescence, 2014. **155**: p. 374-383.
- Osorio, D.C.F.J., *Estudio de la incidencia tipo A' en la fase ruddlesden popper (RP) de formula $\text{A}'_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$ y su intercambio ionico para la actividad fotocatalitica en la produccion de H₂, in tecnologia quimica*. 2016, Universidad tecnologica de pereira.
- Penagos, J.A.C., *Sobre las reacciones de eliminación de compuestos contaminantes de*

aguas por fotocatalisis con TiO₂/UV: caso azul de metileno. 2013.

14. Avisar, D.H., Inna Lozzi, Luca Ruggieri, Fabrizio Baker, Mark Abel, Marie-Laure Mamane, Hadas., *Impact of water quality on removal of carbamazepine in natural waters by N-doped TiO₂ photo-catalytic thin film surfaces.* Journal of Hazardous Materials, 2013. **244–245**: p. 463-471.