

# Síntesis y catálisis de las perovskitas MgTiO<sub>3</sub> y CaTiO<sub>3</sub>.

Synthesis and catalysis of perovskites MgTiO<sub>3</sub> and CaTiO<sub>3</sub>.

Autor 1: Sindy Paola Chara Fory Autor 2: Ana Milena Benavides Benavides,  
Escuela de química, Universidad tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia  
Correo-e: spchara@utp.edu.co

**Resumen**— Las Perovskitas son una especie de sólidos cristalinos que catalizan reacciones de degradación en colorantes, en el siguiente artículo se expresa el proceso de obtención de dichas perovskitas (MgTiO<sub>3</sub> y CaTiO<sub>3</sub>) por el método de Pechini con algunas variaciones, y posteriormente se evaluó su actividad fotocatalítica en el colorante azul de metileno, bajo la radiación producida en el reactor de luz negra y el reactor de luz UV-VIS y se determinaron algunos parámetros (variación de la concentración de azul de metileno durante la reacción en determinados tiempos de reacción, % de absorción, % de degradación; que nos permitieron determinar si los sistemas son catalíticamente activos.

**Palabras clave**— fotocatalisis, método de Pechini, Perovskitas, reactor de luz negra y el reactor de luz UV-VIS

**Abstract**— The perovskites are a kind of crystalline solids catalyze degradation reactions dye, in the following article the process of obtaining such perovskites (MgTiO<sub>3</sub> and CaTiO<sub>3</sub>) is expressed by the method of Pechini with some variations, and then its activity was assessed photocatalytic in methylene blue dye under the radiation produced in the reactor blacklight and reactor UV-VIS light and some parameters (variation of the concentration of methylene blue in the reaction in certain reaction times were determined % absorption, % degradation, which allowed us to determine whether the systems are catalytically active.

**Key Word**— photocatalysis, method Pechini, perovskites, black light reactor, reactor UV-VIS.

## I. INTRODUCCIÓN

La fotocatalisis heterogénea (FH) es un método empleado principalmente para la degradación de contaminantes en agua el cual consiste en la irradiación de semiconductores empleados como catalizadores y una fase líquida que contiene el contaminante que se desea eliminar de aquí el término “heterogénea”.

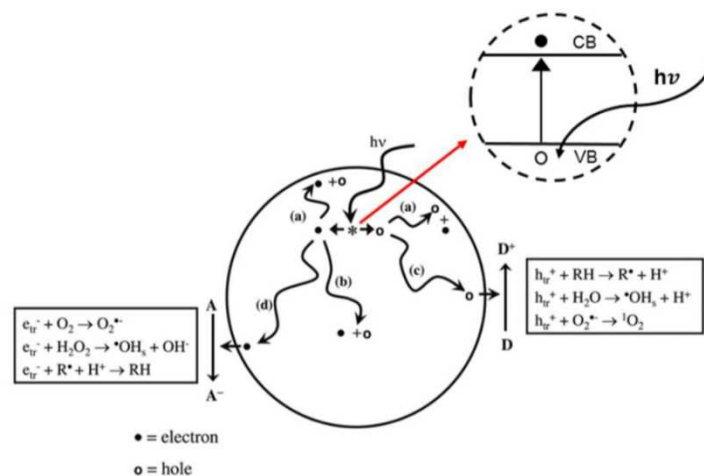
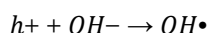
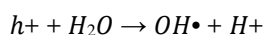


Figura 1 proceso de fotocatalisis heterogénea. [10]-[11]

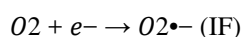
El proceso fotocatalítico se puede apreciar en el esquema de la Figura 1, y consiste en la absorción de fotones por parte del sólido semiconductor, de manera que cuando la energía de estos fotones es igual o mayor a la energía de banda prohibida del material, también conocida como band gap, se produce la excitación de electrones desde un estado basal en la banda de valencia, hacia estados electrónicos excitados de mayor energía dentro de la banda de conducción, generando la presencia de dos tipos de portadores de carga: huecos positivos en la banda de valencia, y electrones negativos libres en la banda de conducción. La formación de estos portadores de carga también se conoce como formación de pares electrón-hueco, puesto que por cada electrón promovido hacia la banda de conducción, se genera un hueco en la banda de valencia. Como cualquier otra especie reactiva, estos portadores de carga poseen un cierto tiempo de vida media, el cual se encuentra en el orden de nanosegundos, y después del mismo, los electrones tienden a regresar a su estado basal, en un proceso que conlleva la recombinación de cargas, de manera que se disminuye la

cantidad de electrones y huecos presentes en las bandas de conducción y valencia, respectivamente. Los portadores de carga previamente descritos son responsables de que ocurran reacciones redox (reducción-oxidación) en la interfase entre el catalizador sólido y la fase líquida. Tal como se muestra en las siguientes reacciones generales del proceso, la presencia de agua, junto con la generación de huecos positivos, da lugar a la formación de radicales OH, una especie reactiva con un alto potencial de oxidación. Así pues, la recombinación de cargas descrita en el párrafo anterior afecta al proceso fotocatalítico puesto que reduce la cantidad de electrones y huecos, lo cuales son indispensables para dar origen a las reacciones redox.



*Contaminante + h<sup>+</sup> → oxidación directa*

*Contaminante + OH<sup>•</sup> → oxidación indirecta*



*Contaminante + e<sup>-</sup> → reducción directa*

*Contaminante + O<sub>2</sub><sup>•-</sup> → reducción indirecta. [8]*

La fotocatalisis heterogénea, como proceso de oxidación avanzada es una de las técnicas que ha demostrado eficacia en la eliminación de afluentes contaminantes orgánicos, tanto acuosos como gaseosos presentes en grandes ciudades y zonas altamente industrializadas y donde se plantea nuevas alternativas que ayuden a reducir parte de éstos contaminantes los cuales proviene en su mayoría de industrias de gran poderío como lo es la industria farmacéutica, textil y petrolera, por ésta razón se buscan nuevas opciones como la oxidación, para reducir éste tipo de problemáticas que son de gran interés y preocupación en el mundo.

El uso de energía solar para degradar los contaminantes mediante fotocatalisis representa una alternativa económica y respetuosa del medio ambiente y una de las más prometedoras tecnologías de química verde. Esta técnica útil se basa en la eliminación de dichos contaminantes por medio de una reacción que se produce en una superficie fotocatalítica activado por luz con una longitud de onda específica. La eficiencia y la aplicación con éxito de la fotocatalisis, exige que el contaminante, catalizador y fuente de iluminación están en estrecha proximidad o contacto entre sí [1].

Las Perovskita son una especie de tierras raras que han atraído el interés de muchos científicos e investigadores debido que sus sólidos son catalíticamente activos. En las últimas décadas

varios métodos han sido estudiados para la preparación de óxidos de perovskitas. El método de cerámica ha sido uno de los más utilizados; Sin embargo, la química suave (Chemie Douce) ofrece rutas de preparación tales como sol-gel [3] que han demostrado ser una forma alternativa conveniente para obtener los materiales inorgánicos, se han estudiado diferentes métodos de obtención de cristales de perovskitas los cuales arrojan un tamaño de partícula muy pequeño y alta porosidad comparados con el método de cerámicas. Los métodos de química suave también proporcionan un mejor control de la estequiometría y reducen la temperatura de síntesis de los materiales [4]. Por lo tanto, las variaciones en el método Pechini basado sol-gel [5] se han empleado en la preparación con éxito de varios tipos de materiales de perovskita. El método de Pechini emplea complejos de cationes en un medio orgánico acuoso y hace uso de precursores de bajo costo que resulta en una distribución homogénea de iones en el nivel molecular. Se basa en el hecho de que ciertos ácidos orgánicos alfa-hidroxicarboxílicos puedan formar quelatos estables con varios cationes. Después de la adición de un alcohol polihidroxílico a esta mezcla, se calienta y el quelato se transforma en un polímero con una distribución homogénea de cationes. La parte orgánica se elimina posteriormente a temperaturas bajas como 300°C, formando así óxidos reactivos. Sin embargo, ningún informe está disponible hasta ahora en relación con la síntesis de este sistema por este método.

¿Se forman los cristales de las perovskitas MgTiO<sub>2</sub> Y CaTiO<sub>2</sub>?

¿Los sistemas de perovskitas sintetizadas son catalíticamente activos?

## II. METODOLOGIA

### A. Síntesis de las perovskitas

La síntesis de las perovskita MgTiO<sub>3</sub> Y CaTiO<sub>3</sub> fue desarrollada por el método de Sol-Gel o complejo polimerizado que consiste en un método para la obtención de materiales óxidos por medio de la preparación de un sol, la gelación del sol y la eliminación del solvente [3].

Para obtener los cristales de perovskitas (MgTiO<sub>3</sub> Y CaTiO<sub>3</sub>) se empleó la metodología de Pechini (método sol-gel), se mezcló etilenglicol con ácido cítrico bajo agitación y reflujo por 30 minutos con el fin de obtener el citrato.

Las sales utilizadas para extraer los iones de magnesio y calcio (Mg y Ca) procedentes de las sales (carbonato de magnesio y nitrato de calcio); cada una de estas sales se mezcló con tetracloruro de titanio y etanol, bajo agitación magnética constata y a una temperatura de 130°C por 1 hora (pirólisis) con el citrato de la reacción inicial. El producto obtenido se calcino

en una mufla por un tiempo de 24h a una temperatura de 700°C, en nave de alta lumina.

## B. Evaluación de la actividad catalítica de los compuestos sintetizados ( $MgTiO_3$ y $CaTiO_3$ )

A manera de aplicación alternativa de las perovskitas sintetizadas en el presente trabajo ( $MgTiO_3$  y  $CaTiO_3$ ), también se realizó la evaluación de su actividad fotocatalítica mediante la degradación del colorante azul de metileno.

### 1. TÉCNICA ANALÍTICA EMPLEADA.

Con la espectroscopia ultravioleta-visible se realizó el seguimiento de la degradación del azul de metileno y se determinó el porcentaje de degradación del mismo empleando las perovskitas sintetizadas la longitud de onda determinada.

Este análisis se efectuó en un espectrofotómetro Genesys™ 20 con un sistema óptico de rejilla de difracción de 1200 líneas/nm, lámpara de tungsteno halógena, detector CCD de 2048 elementos, exactitud de 2,0 nm e interfaces estándar RS-232C y Centronica (Figura2).



Figura 2. Espectrofotómetro Genesys™ 20.

Se tuvieron en cuenta las siguientes determinaciones:

#### 1. Preparación de la solución madre de azul de metileno (100 mg/L).

Se preparó una solución de azul de metileno con una concentración de 100 mg/L pesando 25 mg del colorante y transfiriéndolos a un matraz aforado de 250 ml, se agregó agua desionizada para disolver la muestra y completar el aforo.

#### 2. Determinación de la longitud de onda de absorción del colorante.

Se tomó una alícuota de la solución resultante del azul de metileno y se realizó un barrido espectral entre 400 y 800 nm, seleccionando la longitud de onda en la cual hay mayor absorción de radiación por parte de las moléculas azul de metileno, se determinó su mayor absorción a 664 nm.

#### 3. Preparación de la curva de calibración.

Se prepararon patrones de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7,8,9 y 10 mg/L a partir de la solución madre de azul de metileno 100ppm, Las alícuotas tomadas de esta solución se transfirieron a matraces aforados de 25mL y se completó el aforo con agua desionizada, Posteriormente, se midió la absorbancia de cada patrón a la longitud de onda determinada(664nm) y se presentó gráficamente; de esta gráfica se obtuvo la ecuación de la recta por el método de mínimos cuadrados.

#### 4. Degradación del azul de metileno con los catalizadores ( $MgTiO_3$ Y $CaTiO_3$ )

Para cada análisis se tomó un volumen de 60 ml de solución de azul de metileno de concentración inicial teórica de 5 ppm y se transfirió a un vaso de precipitados, primero se realizó la degradación del colorante sin el catalizador para estimar su degradación en ausencia de los catalizadores, en los reactores de luz negra y luz uv, seguidamente se evaluó la degradación del mismo colorante en los reactores ya mencionados y con cada uno de los catalizadores sintetizados, se agregó 42mg del catalizador ( $MgTiO_3$  Y  $CaTiO_3$ ) y se llevó al reactor de uv. Antes de iniciar la reacción fotocatalítica se agitó la suspensión con ayuda de un agitador magnético para tratar de homogenizar y propiciar el equilibrio para favorecer la adsorción catalizador-colorante durante un periodo de 30 minutos en ausencia de luz.

Después de la etapa de adsorción se encendió la lámpara de luz uv para dar inicio a la reacción fotocatalítica y se tomó como tiempo cero de reacción, manteniendo la agitación constante durante todo el ensayo.

Para el seguimiento del proceso se tomó una alícuota de 4 mL de muestra con una jeringa genérica cada 15 minutos durante un periodo de 210 minutos. El catalizador se separó de la alícuota de reacción mediante un filtro Fisherbrand con diámetro de poro de 0,22  $\mu m$  con el fin de realizar la medición sin interferencias. Las muestras filtradas se depositaron en celdas equivalentes de plástico y se midieron por espectroscopia ultravioleta-visible, calibrando el equipo con el blanco (agua destilada) a cero. Para la degradación en el reactor de luz negra se desarrolló la misma metodología cambiando el reactor de luz UV por el reactor de LUZ NEGRA.



(A)

(B)

Figura 3. Reactores usados en la degradación del colorante, uv A), luz negra (B)

### 5. Determinación de la concentración del colorante durante el proceso de degradación.

La concentración inicial real y final del colorante se determinaron con los respectivos valores de absorbancia utilizando los valores de la ecuación de la curva de calibración (Tabla 3.).

### 6. Determinación del porcentaje de adsorción del fotocatalizador.

El porcentaje de adsorción del fotocatalizador se determinó relacionando la concentración inicial del colorante ( $C_{ic}$ ) y la concentración inicial del colorante en la reacción ( $C_{ir}$ ). Cabe aclarar que este porcentaje de adsorción es a un tiempo determinado de agitación sin presencia de luz.

$$\% \text{ Adsorción} = \frac{C_{ic} - C_{ir}}{C_{ic}} \times 100 \quad (6)$$

### 7. Determinación del porcentaje de degradación del azul de metileno.

El porcentaje de degradación del colorante en estudio se realizó relacionando la concentración inicial del colorante en la reacción ( $C_{ir}$ ) y la concentración de cada alícuota en su respectivo tiempo ( $C_a$ ).

$$\% \text{ Degradación} = \frac{C_{ir} - C_a}{C_{ir}} \times 100 \quad (7)$$

## III. RESULTADOS Y ANALISIS.

### a. Cálculos estequiométricos para realizar la síntesis de las perovskitas en estudio.

Para el desarrollo de la síntesis de los catalizadores se calculó la cantidad necesaria de cada uno de los compuesto que forman parte de la red cristalina de las perovskitas en estudio, una vez realizada la reacción y con el cual se tendrá una base para realizar un tratamiento de los resultados obtenidos para concluir si se forman los cristales y si los sistemas en estudio son catalíticamente activos.

Se tomó como punto de partida para realizar los cálculos las formula moleculares  $MgTiO_3$  Y  $CaTiO_3$  y se sintetizaron dos gramos de cada catalizador. Las cantidades estequiométricas de los reactivos utilizados durante la síntesis de las perovskitas se muestran en la tabla 1.

Perovskit a	Reactivo				
	TiCl <sub>4</sub>	MgCo	CaNO	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O
<b>MgTiO<sub>3</sub></b>	1,82ml	1,40g	0	2,8ml	19,2g
<b>CaTiO<sub>3</sub></b>	1,62ml	0	1,5g	2,47ml	16,96g

Tabla 1. Cantidades estequiométricas para la síntesis de las perovskitas  $MgTiO_3$  y  $CaTiO_3$

Siendo:

TiCl<sub>4</sub>: Tetracloruro de titanio.

MgCO<sub>3</sub>: Carbonato de magnesio

CaNO<sub>3</sub>: Nitrato de calcio.

C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub>: Etilenglicol

C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>: Ácido cítrico.

La síntesis de los dos catalizadores se ejecutó por separado, es decir, la perovskita  $MgTiO_3$  se sintetizó con  $MgCO_3$  y la perovskita  $CaTiO_3$  utilizando  $CaNO_3$ .

Se obtuvieron los cristales de las perovskitas en estudio.

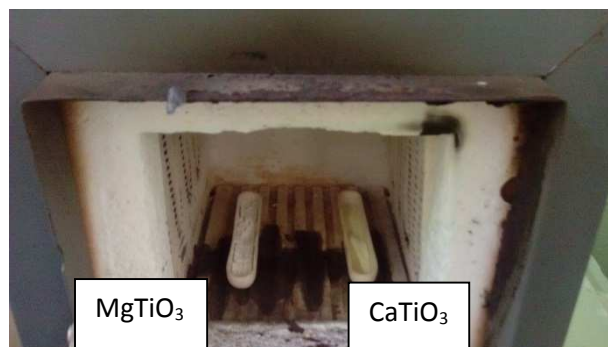


Figura 4. Cristales de las perovskitas sintetizados.

**b. ELABORACION DE LA CURVA DE CALIBRACION PARA EL COLORANTE AZUL DE METILENO**

Para la elaboración de la curva de calibración se siguió la metodología del ítem II.B.4. Obteniendo las respectivas soluciones de azul de metileno (Figura 4), en la tabla 2 se registran los valores medidos de absorbancia en cada solución, posteriormente se construyó la curva de calibración (Figura 6).



Figura 5. Patrones preparados para la curva de calibración del azul de metileno.

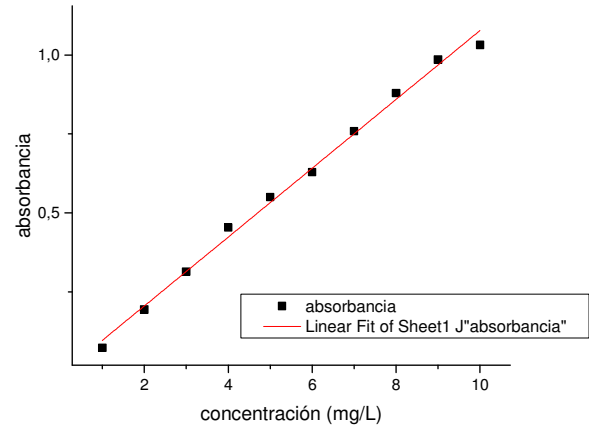


Figura 6. Curva de calibración del azul de metileno.

Parametro	Valor
Pendiente(m)	<b>0,1128</b>
Intercepto(b)	<b>-0,0266</b>
Coeficiente de correlacion lineal (R <sup>2</sup> )	
0,9978	
Ecuación de la recta	
y=mx+b	

Tabla 3. Valores de la regresión lineal de la curva de calibración del azul de metileno

Con la información suministrada en la tabla 2 se obtiene la ecuación para calcular la concentración del azul de metileno en la degradación.

$$\text{Concentración de azul de metileno} = \frac{\text{absorbancia} + 0,0266}{0,1128} \quad (8)$$

**Condiciones de reacción.**

La concentración inicial teórica de la solución de azul de metileno fue de 5 mg/L y la concentración de fotocatalizador utilizada en cada ensayo fue de 0,07g/0,1L resultado de la conversión de 0,7g/L, la cual por antecedentes se conoce como la mejor concentración de fotocatalizador para llevar a cabo reacciones de este tipo. Se realizó cada análisis por duplicado.

**DEGRADACION EN REACTOR UV VIS Y LUZ NEGRA.**

CONCENTRACIÓN(mg/L)	ABSORBANCIA(u.a)
1	1,032
2	0,985
3	0,879
4	0,759
5	0,629
6	0,55
7	0,454
8	0,314
9	0,194
10	0,073

Tabla 2. Patrones para la curva de calibración del azul de metileno

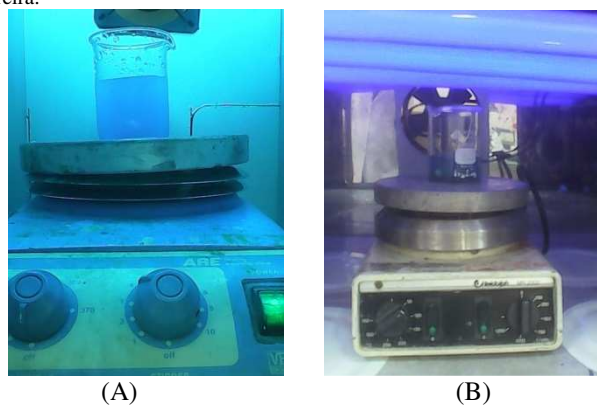


Figura 7. Degradación del azul de metileno sin catalizador en reactor UV-VIS (A) y reactor de luz negra (B).

**A. DEGRADACIÓN CON REACTOR UV.**

Se realizó la degradación del colorante azul de metileno sin catalizador, con las perovskita ( $MgTiO_3$  y  $CaTiO_3$ ),  $TiO_2$ (Anatasa), para determinar su actividad catalítica bajo la irradiación uv y luz negra, La concentración inicial real y final del colorante se determinaron con los respectivos valores de absorbancia utilizando la ecuación obtenida de la curva de calibración preparada (ecuación (8)). Los resultados obtenidos se muestran en la **tabla 4** para la degradación en Reactor uv.

Degradación en Reactor uv					
Alícuota	Tiempo	Concentración			
		Sin Catalizador	Con $MgTiO_3$	Con $CaTiO_3$	Con $TiO_2$ (Anatasa)
0	inicial	-----	5,316	5,138	5,280
1	0	5,059	5,249	5,113	5,063
2	15	4,988	5,005	4,243	4,775
3	30	4,926	4,221	3,268	4,766
4	45	4,828	3,410	2,541	4,642
5	60	4,788	2,474	2,328	4,540
6	75	4,660	2,058	1,880	4,509
7	90	4,624	1,721	1,645	4,460
8	105	4,606	1,486	1,446	4,411
9	120	4,642	1,335	1,335	4,358
10	135	4,699	1,207	1,118	4,292
11	150	4,677	0,980	0,670	4,261
12	165	4,637	0,830	0,644	4,203
13	180	4,518	0,759	0,613	3,875
14	195	4,527	0,684	0,590	3,795
15	210	4,509	0,617	0,582	3,613

Tabla 4. Concentración del azul de metileno respecto al tiempo en cada uno de los sistemas en estudio.

Degradación en reactor uv		
Alícuota	Tiempo	Porcentaje de degradación (%)

	Sin Catalizador	Con $MgTiO_3$	Con $CaTiO_3$	Con $TiO_2$ (Anatasa)	
1	0	0,000	1,258	0,495	4,111
2	15	1,412	5,844	17,421	9,568
3	30	2,638	20,603	36,401	9,736
4	45	4,566	35,862	50,549	12,086
5	60	5,354	53,456	54,690	14,017
6	75	7,895	61,294	63,404	14,605
7	90	8,596	67,631	67,976	15,528
8	105	8,947	72,050	71,858	16,452
9	120	8,246	74,885	74,015	17,459
10	135	7,107	77,303	78,242	18,718
11	150	7,545	81,556	86,956	19,306
12	165	8,333	84,391	87,473	20,397
13	180	10,699	85,725	88,077	26,610
14	195	10,524	87,142	88,509	28,121
15	210	10,874	88,393	88,681	31,563

Tabla5 . Porcentaje de degradación del azul de metileno respecto al tiempo en cada uno de los sistemas.

Catalizador	Porcentaje de adsorción (%)
$MgTiO_3$	1,251
$CaTiO_3$	0,500
$TiO_2$ (Anatasa)	4,113

Tabla6 . Porcentaje de adsorción del fotocatalizador.

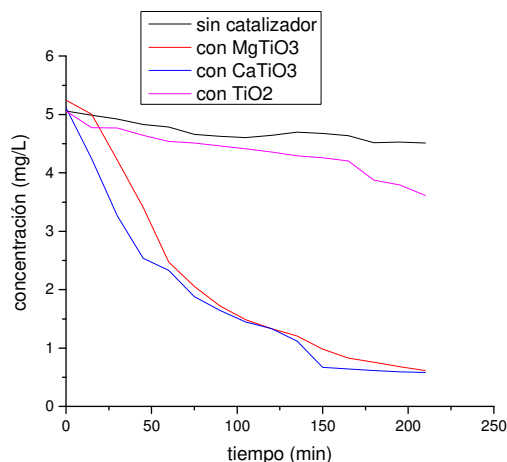


Figura 8. Variación de la concentración del azul de metileno por efecto de cada uno de los sistemas en estudio.

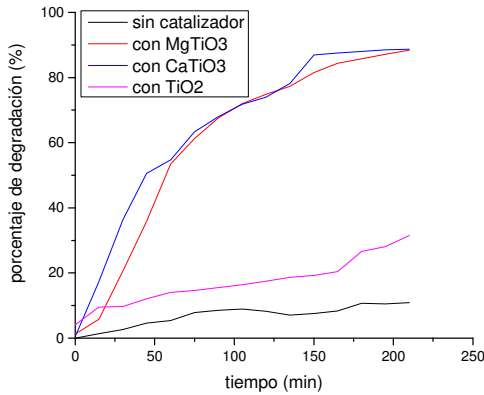


Figura 9. Perfil de actividad fotocatalítica para cada uno de los sistemas en el reactor de luz uv.

La figura9. Muestra una pequeña diferencia entre los porcentajes de degradación del colorante azul de metileno, siendo mayor este valor cuando se emplea como fotocatalizador la perovskita  $CaTiO_3$  y menor cuando se emplea la perovskita  $MgTiO_3$ .

Las perovskitas sintetizadas no presentaron mayor porcentaje de adsorción comparado con el arrojado por el  $TiO_2$  (Anatasa), indicando que este último presenta mayor facilidad para efectuar reacciones en la interfase solución-superficie del mismo y promover la descomposición del colorante en diferentes especies haciendo que la reacción de degradación se produzca en la disolución o de presentar mayor recombinación electrón-hueco, pero para su mayor activación es necesario suministrar radiación de mayor longitud de onda para lograr una mayor excitación y alcanzar un porcentaje de degradación mayor al arrojado por las perovskitas sintetizadas.

**B. DEGRADACIÓN CON REACTOR DE LUZ NEGRA.**

Al igual que en la degradación en el reactor uv Se realizó la degradación del colorante azul de metileno sin catalizador, con la perovskita ( $MgTiO_3$ , con la perovskita  $CaTiO_3$ ), y  $TiO_2$ (Anatasa.) para determinar su actividad catalítica bajo la irradiación uv y luz negra, La concentración inicial real y final del colorante se determinaron con los respectivos valores de absorbancia utilizando la ecuación obtenida de la curva de calibración preparada(ecuación (8)). Los resultados obtenidos se muestran en la **tabla7**.

Degradación en reactor de luz negra					
Alícuota	Tiempo	Concentración			
		Sin Catalizador	Con $MgTiO_3$	Con $CaTiO_3$	Con $TiO_2$ (Anatasa)
0	inicial	-----	5,098	5,125	5,280
1	0	5,280	4,934	4,912	5,160
2	15	4,988	4,793	4,278	5,129
3	30	4,939	4,637	4,145	5,129
4	45	4,868	4,544	3,853	4,699
5	60	4,832	4,513	3,764	4,686
6	75	4,735	4,438	3,693	4,713
7	90	4,611	4,429	3,343	4,651
8	105	4,589	4,389	3,228	4,566
9	120	4,491	4,243	3,175	4,442
10	135	4,460	4,172	2,656	4,358
11	150	4,593	4,043	2,559	4,296
12	165	4,558	3,968	2,448	4,247
13	180	4,247	3,928	1,761	4,185
14	195	4,243	3,910	1,309	4,141
15	210	4,225	3,893	1,277	4,079

Tabla7. Concentración del azul de metileno respecto al tiempo en cada uno de los sistemas en estudio.

Degradación en reactor de luz negra.					
Alícuota	Tiempo	Porcentaje de degradación (%)			
		Sin Catalizador	Con $MgTiO_3$	Con $CaTiO_3$	Con $TiO_2$ (Anatasa)
1	0	0	3,719	4,152	5,590
2	15	4,232	6,487	16,520	6,157
3	30	5,168	9,514	19,114	6,157
4	45	6,530	11,330	24,823	14,024
5	60	7,211	11,936	26,552	14,267
6	75	9,084	13,406	27,936	13,780
7	90	11,467	13,579	34,769	14,916
8	105	11,892	14,357	37,018	16,456
9	120	13,765	17,212	38,056	18,727
10	135	14,360	18,595	48,175	20,268
11	150	11,807	21,104	50,078	21,403
12	165	12,488	22,574	52,240	22,295
13	180	18,446	23,352	65,646	23,431
14	195	18,531	23,698	74,468	24,242
15	210	18,871	24,044	75,074	25,377

Tabla8 . Porcentaje de degradación del azul de metileno respecto al tiempo en cada uno de los sistemas

Catalizador	Porcentaje de adsorción (%)
$MgTiO_3$	3,217
$CaTiO_3$	4,151
$TiO_2$ (Anatasa)	2,267

Tabla9 . Porcentaje de adsorción del fotocatalizador.

produzca en la disolución o de presentar mayor recombinación electrón-hueco, bajo luz uv-cercana (luz negra).

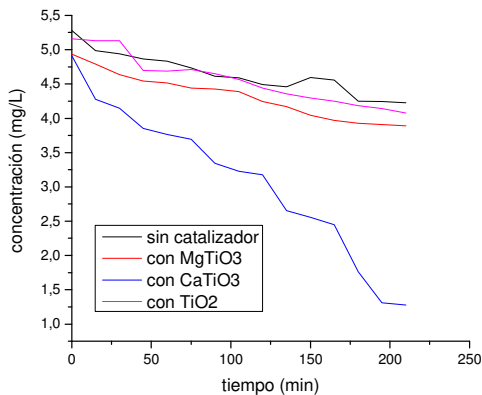


Figura 10. Variación de la concentración del azul de metileno por efecto de cada uno de los sistemas en estudio.

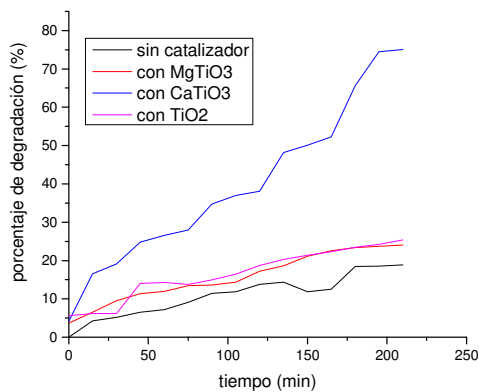


Figura 11. Perfil de actividad fotocatalítica para cada uno de los sistemas en el reactor de luz negra.

La actividad catalítica de la perovskita  $\text{CaTiO}_3$  se puede evidenciar en la **figura 11** de porcentajes de degradación del azul de metileno con los diferentes catalizadores, permitiendo una alta excitación al emplear luz negra. El fotocatalizador  $\text{CaTiO}_3$  presentó un mayor porcentaje de adsorción (4,151%) que el  $\text{MgTiO}_3$  (3,217%) y el  $\text{TiO}_2$  (Anatasa, 2,267%) indicando que presenta mayor facilidad para efectuar reacciones en la interfase solución-superficie del mismo y promover la descomposición del colorante en diferentes especies haciendo que la reacción de degradación se

#### IV. CONCLUSIONES

Se sintetizaron las perovskitas ( $\text{MgTiO}_3$  Y  $\text{CaTiO}_3$ ) a partir del carbonato de magnesio ( $\text{MgCO}_3$ ) y el nitrato de calcio ( $\text{CaNO}_3$ ) mediante la metodología propuesta en el presente trabajo de investigación, obteniendo como resultado los respectivos sólidos cristalinos.

La metodología empleada para la síntesis de las perovskitas presenta una desventaja considerable, el tiempo de síntesis, ya que se necesita de 24 horas para tener información sobre la hipótesis si se formaron o no los cristales.

La existencia de los reactores (uv y luz negra) permitió llevar a cabo el proceso de degradación evaluando la actividad fotocatalítica de las perovskitas en la degradación del azul de metileno

Se degradó una solución de azul de metileno (5ppm) por fotocatalisis heterogénea, utilizando como catalizador las perovskitas sintetizadas ( $\text{MgTiO}_3$  Y  $\text{CaTiO}_3$ ), manera de comparación se realizó la misma degradación con dióxido de titanio (anatasa), y empleando los reactores uv-vis y reactor de luz negra, encontrándose actividad fotocatalítica por parte de las perovskitas sintetizadas

#### V. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar análisis de microscopía electrónica de barrido (**SEM**) y microscopía electrónica de transmisión (**TEM**), esto ayudara a confirmar aspectos importantes la degradación de colorantes ya que la morfología de los catalizadores  $\text{MgTiO}_3$  y  $\text{CaTiO}_3$  depende del tamaño de las partículas, lo que ayuda a contar con un espacio superficial mayor para que una mayor cantidad de moléculas de solución a degradar se adsorban en la superficie del sólido, pudiendo originar una mayor cantidad de reacciones de óxido-reducción en la interface entre el sólido y el líquido en estudio.

hacer un análisis por difracción de rayos X para confirmar la estructura de los compuestos sintetizados y su cristalinidad.

Efectuar el estudio de la actividad fotocatalítica de las muestras obtenidas, en la degradación de otros colorantes orgánicos bajo las mismas condiciones de reacción para comprobar si el fotocatalizador actúa de forma similar y verificar el procedimiento de degradación realizado.



## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Borges M Sierra M Cuevas E García R Esparza P. (2016 ). Photocatalysis with solar energy: Sunlight-responsive photocatalyst based on TiO<sub>2</sub> loaded on a natural material for wastewater treatment. *Solar Energy*, vol: 135, pp: 527-535.
- [2] J. Brinker, W. S. (1990). Sol-gel Science: The Physics and Chemistry of Sol-gel Processing. *Sol-gel Science*, 303-343.
- [3] Ximena Delgado J, J. M. (2013). PREPARACIÓN DE PEROVSKITAS PZT DOPADAS CON BARIO/LANTANO Y. *Revista de Investigaciones - Universidad del Quindío*, 112-117.
- [4] A.M. Huízar-Félix, T. H. ( 2012). Sol-gel based Pechini method synthesis and characterization of Sm<sub>1-x</sub>Ca<sub>x</sub>FeO<sub>3</sub>. *Powder Technology*, 290-293.
- [5] M. Galceran, M. C. Pujol, M. Aguiló, F. Díaz, Sol-gel Modified Pechini Method for Obtaining Nanocrystalline KRE(WO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> (RE = Gd and Yb). *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 42, 79-88 (2007)10.1007/s10971-006-1517-3).
- [6] Fabbri D, Bianco A, Pramauro E. *Appl. Catal. B*, 62, 21-27. 2006.
- [7] Kang S, Kim J, Kim H, Sung Y. *J. Ind. Eng. Chem.*, 14, 52-59. 2008.
- [8] L. M. Lozano-Sánchez, Soo-Wohn Lee, Tohoru Sekino and V. Rodríguez-González. Practical microwave-induced hydrothermal synthesis of rectangular prism-like CaTiO<sub>3</sub>. *Cryst. Eng. Comm.* 15, 2359-2362 (2013)
- [9] Asahi R.M, Morikawa T, Ohwaki T, Aoki K, Taga Y. Visible-light photocatalysis in nitrogen-doped titanium oxides. *Science*; 293:269–71. 2001.
- [10] A. L. Linsebigler, G. Lu and J. T. Yates, Jr. “Photocatalysis on TiO<sub>2</sub> surfaces: principles, mechanisms, and selected results”, *Chem. Rev.*, 95, 735-758 (1995).
- [11] A. Fujishima, X. Zhang and D. A. Tryk. “TiO<sub>2</sub> photocatalysis and related surface phenomena”, *Surf. Sci. Rep.* 63, 515-582 (2008).
- [12] Colón G, Hidalgo M, Navío J. *Appl. Catal. B*, 45, 39-50. 2003.