

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente apartado, se exponen los resultados obtenidos en la degradación del contaminante modelo (Fenol) con cada tipo de material (1.1.1-2.2.2), en función del tratamiento realizado, para conocer qué material (o materiales) funciona mejor como catalizador. Además, se compararán los resultados obtenidos con cada tratamiento para discutir con cual se obtienen los mejores resultados de degradación y en qué condiciones.

4.1. Proceso de adsorción

En primer lugar se ha llevado a cabo un estudio de adsorción, tanto a pH 3 como a pH 5, puesto que son los niveles óptimos para los tratamientos en los que intervienen reacciones Fenton y catalíticas, respectivamente.

Lo que se pretende conocer a través de estos ensayos de adsorción, es qué cantidad de contaminante medido en forma de COT, se puede eliminar de la solución mediante adsorción sobre el catalizador en oscuridad, por agitación en el equipo Jar – Test. De esta forma, se podrá evaluar posteriormente en los distintos tratamientos, qué cantidad de COT se ha eliminado realmente mediante el correspondiente tratamiento y qué fracción del COT eliminado corresponde al proceso de adsorción. Esto permitirá optimizar el tiempo de tratamiento necesario, así como la cantidad de recursos necesarios para llevar a cabo dicho tratamiento, lo que se traducirá en un ahorro en cuanto a costes de energía y materiales.

Tras llevar a cabo el proceso de adsorción tal y como se describió en el apartado de **Materiales y métodos** (ver tabla 3.9), se presentan a continuación las gráficas que muestran la evolución del porcentaje de eliminación de COT frente al tiempo, correspondientes a cada tipo de catalizador, para los dos valores de pH ensayados (Figura 4.1, paneles 1.1.1-2.2.2).

En la Figura 4.1 también se puede observar el resultado del ensayo llevado a cabo sobre un blanco, tanto a pH 3 como a pH 5 (paneles 1.1.1-2.2.2). Estos ensayos en blanco se llevaron a cabo tras observar en los resultados de los ensayos de adsorción, que la concentración de COT aumentó ligeramente en algunos casos por encima de la concentración de COT de la disolución inicial de Fenol. Estos resultados hicieron sospechar que posiblemente el catalizador estaba aportando carbono a las muestras como parte de un proceso de solubilización de la fracción de cenizas volantes que contiene el material.

Como se puede observar en la Figura 4.1 (paneles 1.1.1-2.2.2), la concentración de COT se mantuvo constante durante el proceso de adsorción, como tendencia general, para todos los catalizadores, tanto para la adsorción a pH 3 como a pH 5, llegando incluso a aumentar en algunas zonas de la curva (Figura 4.1, paneles 1.1.1, 1.1.2 y 2.2.2). Sin embargo, se puede apreciar como dicho aumento de concentración fue algo más acusado en el proceso a pH 3, mientras que en el proceso a pH 5, dicha concentración tendió a mantenerse prácticamente constante e incluso decreciente en algunos casos (Figura 4.1, panel 2.1.1).

Por otro lado, se puede observar que efectivamente, los ensayos en blanco mostraron un aporte de carbono a la disolución, aumentando levemente su concentración. Y de acuerdo con el párrafo anterior, se aprecia que dicho aporte fue ligeramente superior cuando el ensayo se realizó a pH 3 que a pH 5.

Oxidación Avanzada de Fenol con Hierro y Dióxido de Titanio Soportados sobre Matriz Geopolimérica

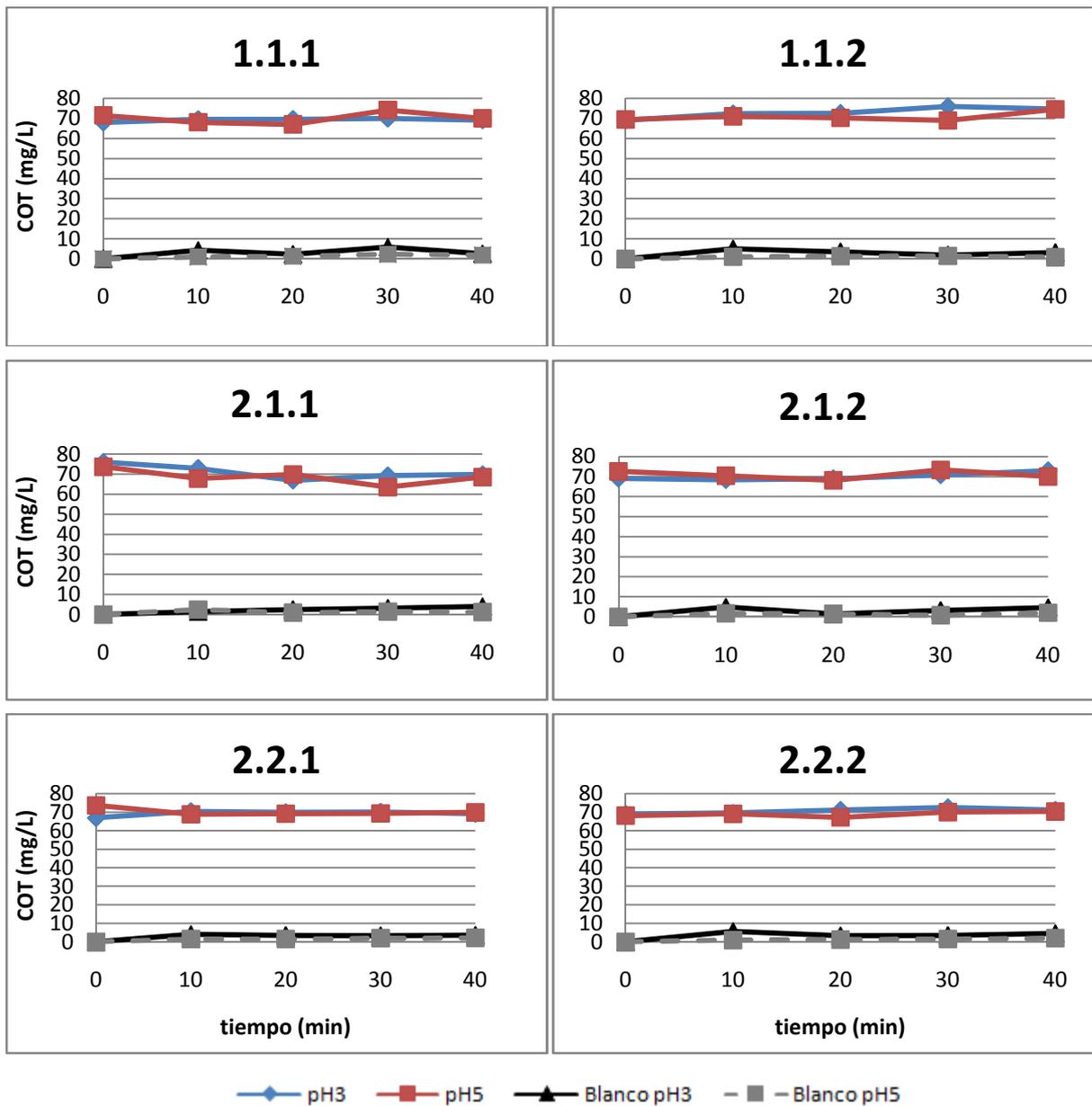


Figura 4.1: Evolución de concentración de COT (mg/L) frente al tiempo (min) tras ensayo de adsorción a pH3, ensayo de adsorción a pH5, ensayo en blanco a pH3 y ensayo en blanco a pH5

Por otro lado, la Figura 4.2 muestra el grado de eliminación de materia orgánica (COT) que se eliminó durante el proceso de adsorción para cada tipo de material, tanto a pH 3 como a pH 5. Se puede observar con claridad que en todos los casos se llegó a un valor aproximado de eliminación, no superior al 10%, alcanzándose dicho valor máximo en ambas condiciones de pH cuando se empleó como catalizador el material 2.1.1 (mayor fracción de solución activadora, curado a temperatura ambiente, con granulometría entre 250 μm y 1 mm).

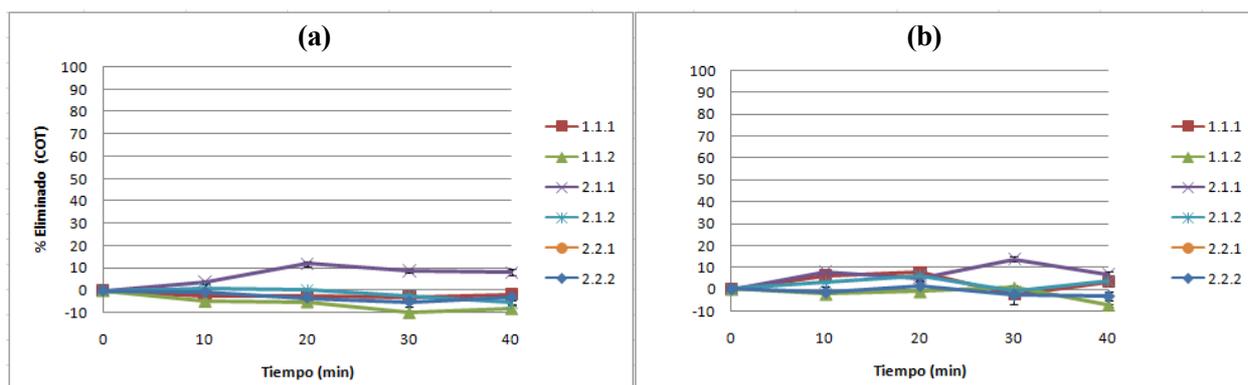


Figura 4.2: (a) Porcentaje de eliminación de COT durante el proceso de adsorción a pH 3; (b) Porcentaje de eliminación de COT durante el proceso de adsorción a pH 5

4.2. Tratamiento Fenton

El tratamiento Fenton se llevó a cabo sobre los seis tipos de catalizadores, en muestras de 300 mL de disolución inicial de Fenol (100 mg/L de Fenol) con una concentración de catalizador de 1 g/L.

La Tabla 4.1 refleja los datos del ensayo, donde puede observarse las concentraciones de catalizador, volumen de muestra, concentración de fenol, así como la concentración de hierro y TiO_2 que aporta 1 g/L de catalizador.

Tabla 4.1: Datos de composición de las muestras a ensayo Fenton

Volumen de reactor	[Fenol]	[H_2O_2]	[Catalizador]	[Fe^{2+}]	[TiO_2]	pH
300 mL	100 mg/L	1,764 mM	1 g/L	0,3 mM	57,94 mg/L	3

Para cada tipo de catalizador, se realizó el ensayo por triplicado, mostrándose el resultado del valor medio en la Figura 4.3 (a) y (b), en la que se puede observar el rendimiento de eliminación mediante el tratamiento Fenton, para todos los catalizadores.

Oxidación Avanzada de Fenol con Hierro y Dióxido de Titanio Soportados sobre Matriz Geopolimérica

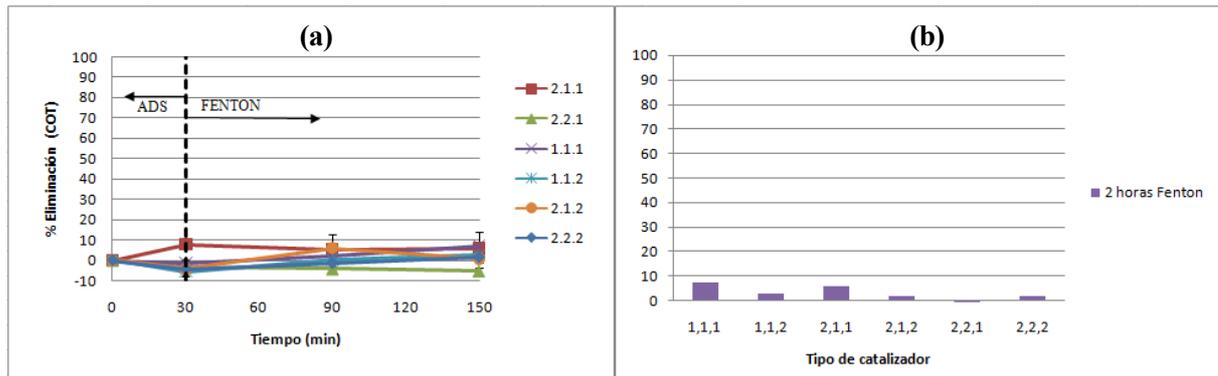


Figura 4.3: (a) Evolución del porcentaje de eliminación de COT (%) frente al tiempo para cada tipo de catalizador durante el proceso Fenton; (b) Comparativa entre la eficacia de eliminación al final del tratamiento Fenton entre todos los tipos de catalizadores

Como se puede observar, en términos generales no se produjo eliminación alguna durante los 30 min de adsorción, tal y como se ha explicado anteriormente. Aunque destaca el catalizador 2.1.1 con el que se alcanzó un rendimiento de eliminación de COT del 10 % tras los 30 min de adsorción.

En la gráfica 4.3 (a) se puede apreciar cómo el catalizador 2.1.1, es el que ofreció un porcentaje de eliminación más constante a lo largo de todo el tratamiento, alcanzando además el valor máximo de rendimiento de eliminación, en torno al 10%, tras 120 min de reacción. Sin embargo ya se había alcanzado ese porcentaje de eliminación durante el proceso de adsorción. Cabe recordar las características de dicho catalizador, que contiene una fracción de solución activadora de 0,76 p/p, ha sido curado a temperatura ambiente y cuya granulometría corresponde al tamaño menor.

Este resultado se refleja también en la gráfica 4.3 (b), donde además se puede apreciar con mayor claridad que no sólo el catalizador 2.1.1, sino también el catalizador 1.1.1 (fracción de solución activadora de 0,5 p/p, curado a temperatura ambiente y granulometría menor), alcanzaron los mejores rendimientos de eliminación al final del tratamiento. En este último caso, se obtuvo un rendimiento máximo aproximado del 8% sólo al final del tratamiento, mientras que a los 90 min de tratamiento sólo se había eliminado un 3% de COT.

Estos resultados contrastan con los resultados obtenidos en diversos estudios por algunos autores, como Esplugas, et al. (2002) que estudiaron la degradación de fenol mediante diferentes POAs, comparando los resultados obtenidos para cada tratamiento y estudiando la influencia de las diferentes variables implicadas en el proceso.

En este caso, obtuvieron una degradación de Fenol del 100% a los 9 minutos de tratamiento cuando emplearon una mayor dosis de peróxido de hidrógeno y la menor concentración de hierro como catalizador, sin emplear el TiO_2 (26). De la misma forma, en otro estudio, Rey, et al. (2011) observaron como en un proceso Fenton convencional sin TiO_2 , la concentración de Fenol disminuye bruscamente en la primera hora de tratamiento, desapareciendo por completo dicho contaminante a partir de ese momento (14).

En cuanto al uso de catalizadores sobre soporte de base de cenizas volantes, ha resultado en algunos estudios que es posible reducir la demanda química de oxígeno (DQO). Soon y Hammed (2011) consiguieron reducir la DQO hasta en un 80% al cabo de dos horas de tratamiento Fenton, usando una cantidad estequiométrica de H_2O_2 y usando como catalizador el hierro contenido en un residuo de cenizas volantes (25).

En cuanto a la cantidad de hierro disuelta durante el tratamiento, cabe destacar que de acuerdo con los objetivos, uno de los intereses de la aplicación de estos materiales geopoliméricos en los POAs, radica en el deseo de mantener el catalizador de hierro atrapado en el soporte sólido para poder reutilizar el material catalítico en varios ciclos y no aportar una cantidad de hierro al efluente tratado que pueda provocar una contaminación secundaria. Atendiendo a esto, lo deseable sería conseguir que durante el tratamiento se disuelva la menor cantidad posible de hierro. Tras el tratamiento Fenton, todas las muestras fueron analizadas en el EAA para conocer la concentración de hierro contenida en las mismas, encontrándose los resultados que se presentan a continuación en la Figura 4.4.

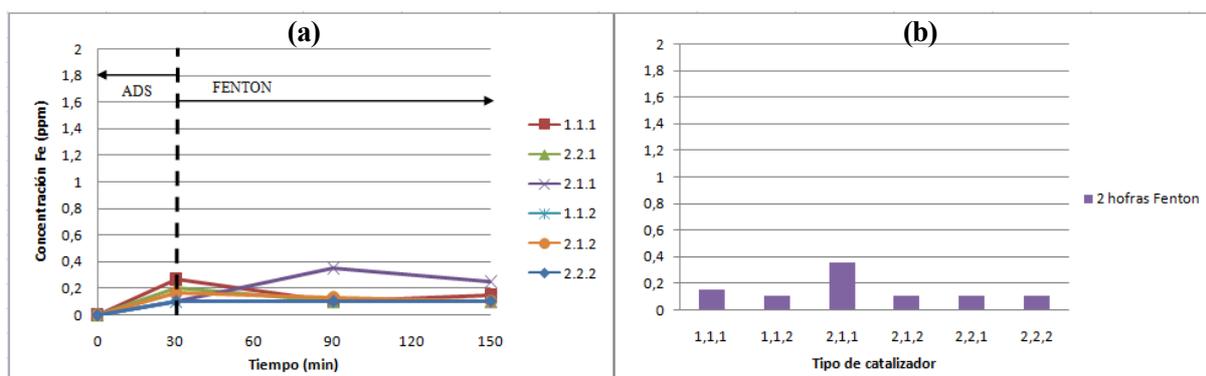


Figura 4.4: (a) Evolución de la concentración de hierro (ppm) en las muestras frente al tipo, para cada tipo de catalizado, durante el tratamiento Fenton; (b) Concentración total de hierro en las muestras al final del tratamiento Fenton, para cada catalizador

En el caso del hierro disuelto, se puede apreciar en la gráfica 4.4 (a) cómo la concentración aumentó en todos los casos durante la etapa de adsorción, alcanzándose una concentración máxima de hierro disuelto de unos 0,3 ppm, cuando se empleó como catalizador el material 1.1.1. Sin embargo, se puede decir que prácticamente no se disuelve hierro a partir de los 30 minutos de adsorción, manteniéndose la concentración prácticamente constante salvo en el caso del catalizador 2.1.1, que a los 90 min de tratamiento había disuelto aproximadamente 0,4 ppm de hierro, que como se observa en la gráfica 4.4 (b), es la cantidad mayor de hierro que se disolvió a lo largo de todo el tratamiento. Puesto que la cantidad total de hierro contenida en los catalizadores es de 17 ppm, en principio estos resultados están de acuerdo con la idea de mantener el catalizador fijo sobre el soporte sólido.

4.3. Tratamiento de Fotocatálisis

En este caso, el tratamiento de fotocatálisis llevado a cabo según el procedimiento ya descrito, se realizó en las condiciones que se recuerdan en la Tabla 4.2:

Tabla 4.2: Datos de composición de las muestras sometidas a ensayo de fotocatálisis

Volumen de reactor	[Fenol]	[H ₂ O ₂]	[Catalizador]	[Fe ²⁺]	[TiO ₂]	pH
600 mL	100 mg/L	0	1 g/L	0,3 mM	57,94 mg/L	5

Como se puede observar, existen tres claras diferencias entre las condiciones en que se llevó a cabo el ensayo de fotocatálisis y las condiciones del tratamiento Fenton. En este caso se valoró únicamente el efecto fotocatalítico que produce el TiO₂ cuando se irradia con luz UV. Por lo que al no dosificar H₂O₂, el hierro que posee el material no tiene efecto alguno en el tratamiento de degradación. Por otro lado, se trabajó a pH 5 que es el valor óptimo para este tratamiento. En principio cabe esperar que los resultados obtenidos por fotocatálisis sean mejores respecto a los del tratamiento Fenton.

En la Figura 4.5 se pueden observar los resultados que se obtuvieron en la degradación de fenol mediante fotocatálisis.

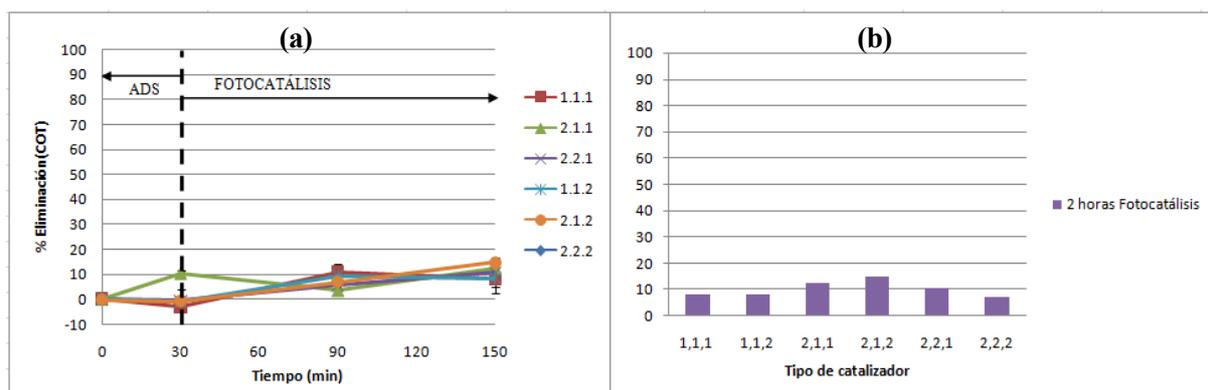


Figura 4.5: (a) Evolución del porcentaje de eliminación de COT (%) frente al tiempo, para todos los catalizadores, durante el tratamiento de fotocatalisis. (b) Eficiencia de eliminación de COT (%) al final de la fotocatalisis, para todos los tipos de catalizadores

Los resultados obtenidos son similares a los que mostró el tratamiento Fenton, pues el porcentaje de eliminación para este tratamiento fue sólo del 10%, quizás por el bajo contenido de TiO_2 que poseen los catalizadores que no supera el 6% de la composición total. Se puede observar como a los 30 min de adsorción, no se eliminó materia orgánica, salvo en el caso del catalizador 2.1.1 que durante la adsorción eliminó hasta el 10% del COT. Además es el que presentó un rendimiento de degradación más constante a lo largo del tiempo, alcanzando uno de los valores de eliminación más elevados, junto con el catalizador 2.1.2, 13% y 15% respectivamente a los 120 min de fotocatalisis.

Al comparar estos resultados con los resultados obtenidos por algunos autores en procesos de fotocatalisis con TiO_2 , vuelve a destacar la gran diferencia entre dichos resultados. Esplugas, et al. (2002) llevaron a cabo varios POAs para comparar los resultados de degradación de Fenol con cada uno de ellos, empleando sólo TiO_2 como fotocatalizador disuelto, en condiciones de pH prácticamente neutro (entre 6 y 7) y con una concentración de TiO_2 muy cercana a la empleada en este caso (0,05 g/L vs. 0,05794 g/L). En su estudio se alcanzó un rendimiento de eliminación de Fenol del 42,2% a los 150 min de iniciar el tratamiento (26).

Por otro lado, Adán, et al. (2009) investigaron la eficacia de la fotocatalisis en la degradación de Fenol empleando como catalizadores TiO_2 y TiO_2 dopado con hierro, tanto a pH 3 como a pH 6. Cuando la concentración inicial de Fenol fue de 50 mg/L, se obtuvo en todos los casos un rendimiento de eliminación de COT entre 10 y 40%. Cabe destacar que el tratamiento más efectivo fue llevado a cabo empleando como fotocatalizador únicamente el TiO_2 a pH 6, alcanzando el máximo rendimiento al cabo de 5 horas de tratamiento.

Oxidación Avanzada de Fenol con Hierro y Dióxido de Titanio Soportados sobre Matriz Geopolimérica

Sin embargo, el tratamiento llevado a cabo en dicho estudio, con catalizador de TiO_2 dopado con hierro a pH 6 mostró un rendimiento de eliminación máximo del 29% al cabo de las 5 horas de tratamiento. En este caso, en que las condiciones de operación fueron similares a las empleadas en el tratamiento de fotocatalisis llevado a cabo en el presente trabajo, al cabo de las dos horas de fotocatalisis (tras los 30 minutos previos de adsorción), el rendimiento de eliminación obtenido fue aproximadamente del 10 %, lo que concuerda perfectamente con los resultados obtenidos en este caso (63).

Por último, se muestra en la Figura 4.6, la concentración de hierro disuelto a lo largo del tratamiento de fotocatalisis.

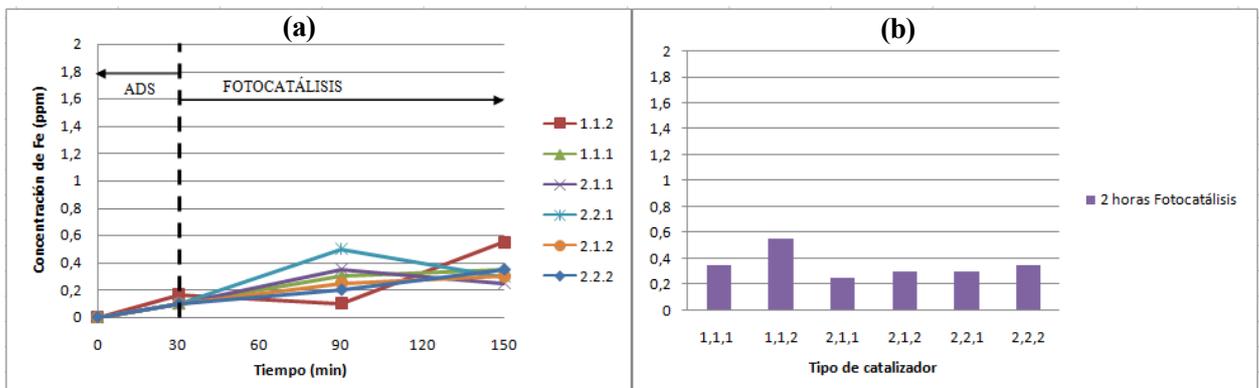


Figura 4.6: (a) Evolución de la concentración de hierro a lo largo del tiempo, durante la fotocatalisis, para todos los catalizadores; (b) Concentración de hierro disuelto al final del tratamiento de fotocatalisis, para todos los catalizadores

En comparación con los resultados de concentración de hierro que se obtuvieron en el tratamiento Fenton, en la fotocatalisis se puede observar como la concentración aumentó progresivamente a lo largo de todo el tratamiento (Figura 4.6 (a)), alcanzándose una concentración máxima de hierro disuelto no superior a las 0,6 ppm en todos los casos. En concreto se alcanzó un valor máximo de hierro disuelto de 0,55 ppm a los 120 min de fotocatalisis, que corresponde al catalizador 1.1.2 el cual posee la fracción menor de solución activadora, con curado a temperatura ambiente y granulometría mayor. Sin embargo, el catalizador 2.1.1, encontrado como aquél que mostró el mejor y más constante resultado de eliminación de COT, presentó el menor aporte de hierro a la disolución. Se puede observar en la Figura 4.6 (a) que la cantidad de hierro que disolvió el material 2.1.1 alcanzó un máximo de 0,35 ppm a los 90 min de fotocatalisis, resultado satisfactorio en cuanto a los objetivos descritos.

4.4. Tratamiento foto – Fenton

Al contrario que los tratamientos anteriores, el tratamiento foto – Fenton se llevó a cabo a dos valores de pH distintos, con el objetivo de observar los resultados que podrían producirse debidos a la sinergia entre el catalizador de hierro y el TiO_2 . El valor de pH óptimo para el tratamiento Fenton y sus derivados es pH 3, mientras que para la fotocatalisis con TiO_2 el valor óptimo es pH 5. Por tanto se llevaron a cabo dos tratamientos foto – Fenton completos, uno a pH 3 y otro a pH 5. En la Tabla 4.3 se muestran las condiciones de ensayo durante este tratamiento.

Tabla 4.3: Composición de las muestras sometidas a tratamiento foto – Fenton

Volumen de reactor	[Fenol]	[H_2O_2]	[Catalizador]	[Fe^{2+}]	[TiO_2]	pH
600 mL	100 mg/L	1,764 mM	1 g/L	0,3 mM	57,94 mg/L	3, 5

En la Figura 4.7 se observan los resultados obtenidos en el ensayo a pH 3 y en la Figura 4.8, los resultados a pH 5, para cada tipo de catalizador en ambos casos. En ambas figuras se observa además una comparativa entre el grado de depuración obtenido por cada catalizador al final del tratamiento.

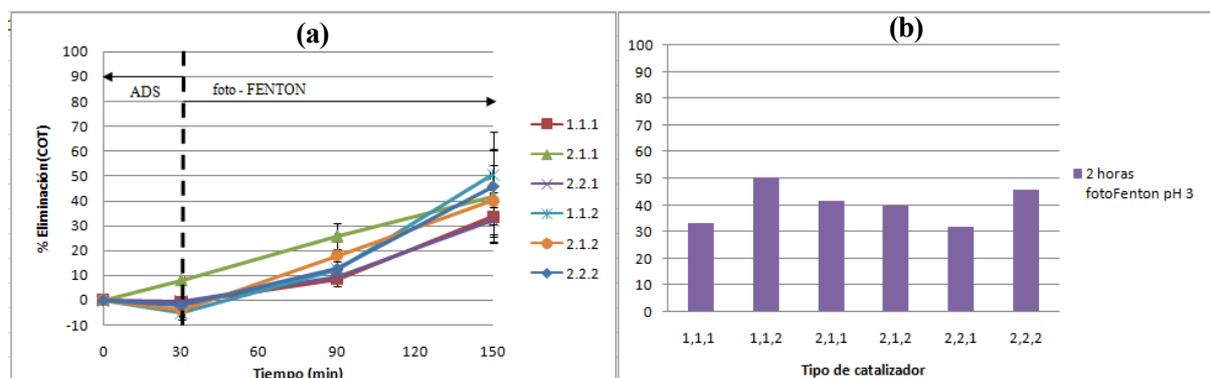


Figura 4.7: (a) Evolución del porcentaje de eliminación de COT (%) frente al tiempo, para cada tipo de catalizador, en tratamiento foto - Fenton a pH3; (b) Rendimiento de eliminación de COT (%) para cada catalizador, al final del tratamiento foto - Fenton

Oxidación Avanzada de Fenol con Hierro y Dióxido de Titanio Soportados sobre Matriz Geopolimérica

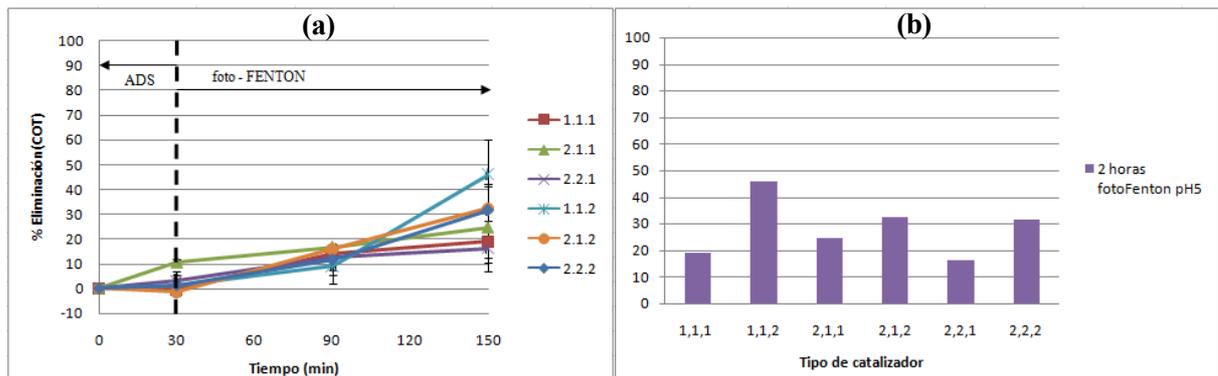


Figura 4.8: (a) Evolución del porcentaje de eliminación de COT (%) frente al tiempo, para cada tipo de catalizador, en tratamiento foto - Fenton a pH5; (b) Rendimiento de eliminación de COT (%) para cada catalizador, al final del tratamiento foto - Fenton

El tratamiento foto - Fenton proporcionó un rendimiento de eliminación de COT mejor que cualquiera de los dos tratamientos anteriores, tanto a pH 3 como a pH 5. Todavía mejor es el resultado cuando el tratamiento se llevó a cabo a pH 3 que a pH 5, aunque se obtuvieron rendimientos de degradación comprendidos entre el 20 y el 60%, en ambos casos.

El catalizador que mostró un mejor comportamiento durante el tratamiento fue el 1.1.2 (menor fracción de solución activadora, curado a temperatura ambiente y granulometría mayor), con el que se consiguió un grado de eliminación de COT del 50% en el ensayo a pH 3 y del 46% a pH 5. En las Figuras 4.7 (a) y 4.8 (a) se puede apreciar como la curva de porcentaje de eliminación de COT correspondiente al material 1.1.2, aumenta desde el inicio del tratamiento, de forma progresiva, sin llegar a alcanzar un rendimiento constante, lo que probablemente significa que el máximo grado de eliminación se alcanza en tiempos mayores.

Así mismo, es interesante destacar el catalizador 2.1.1, del que ya se habló anteriormente en el proceso Fenton, con el que se llegó a degradar hasta el 42% y 25% a pH 3 y pH 5, respectivamente a los 120 min de tratamiento. Y es que, aún no alcanzándose con dicho catalizador el mayor porcentaje de eliminación de COT, es el que presenta una mayor linealidad en la dependencia de la eficacia de degradación frente al tiempo.

En este caso los resultados obtenidos son más satisfactorios y como se verá a continuación, concuerdan con los datos bibliográficos encontrados acerca de estudios similares.

En una investigación llevada a cabo por Adán, et al. (2009) en la que se estudió la fotodegradación de Fenol con oxígeno y peróxido de hidrógeno, sobre catalizador de TiO_2 y TiO_2 dopado con hierro, se obtuvieron resultados similares a los obtenidos en el presente trabajo.

En dicho estudio las concentraciones iniciales de Fenol y peróxido fueron respectivamente 50 y 250 mg/L y tras realizar los ensayos tanto a pH 6 como a pH 3, se observó que el catalizador de titanio dopado con hierro fue el que mostró los mejores resultados, alcanzándose un rendimiento de eliminación de COT de aproximadamente el 60% cuando el pH se ajustó a 3 y de un 40 % cuando el ensayo se realizó a pH 6 (63).

En los ensayos del tratamiento foto – Fenton llevados a cabo en este trabajo, se obtuvo un rendimiento de eliminación máximo del 50% cuando se trabajó a pH 3 y un valor máximo del 45% cuando el pH se ajustó a 5. Sin embargo, los mejores resultados mostrados en el estudio de Adán, et al. se obtuvieron tras cinco horas de tratamiento (63), mientras en este caso dichos resultados se obtuvieron al cabo de las dos horas de tratamiento.

Resultados similares se han obtenido también en estudios sobre otros contaminantes modelos tales como el bromuro de etidio, en cuyo caso, Carbajo, et al. (2011) observaron una primera etapa de adsorción de 30 min en la que prácticamente no hubo eliminación de materia orgánica. En este estudio se pudo observar una elevada tasa de eliminación de COT, tanto a pH 3 como a pH 6, alcanzando valores máximos muy similares. Sin embargo, en este caso llama la atención cómo durante lo primera hora y media de tratamiento foto – Fenton la curva de degradación de COT a pH 6 tiene una pendiente más acusada, pero que se va estabilizando a partir de dicho instante, aumentando en ese momento la degradación a pH 3 por encima de la anterior (65).

En cuanto al hierro disuelto, las Figuras 4.9 y 4.10 muestran las gráficas correspondientes a la concentración de hierro disuelto en las muestras tras el tratamiento foto – Fenton, tanto a pH 3 como a pH 5.

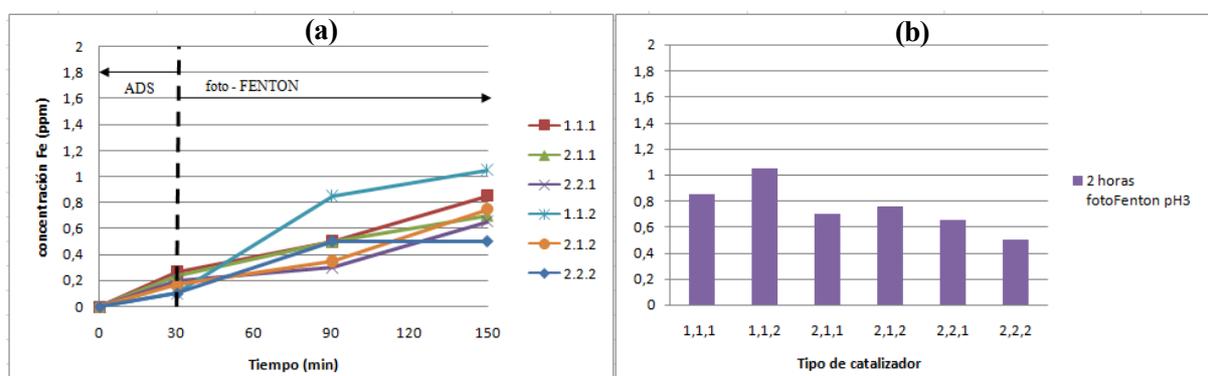


Figura 4.9: (a) Evolución de la concentración de hierro disuelto frente al tiempo, para cada catalizador durante el tratamiento foto - Fenton a pH3; (b) Concentración de hierro disuelto para cada catalizador, al final del tratamiento foto - Fenton a pH3

Oxidación Avanzada de Fenol con Hierro y Dióxido de Titanio Soportados sobre Matriz Geopolimérica

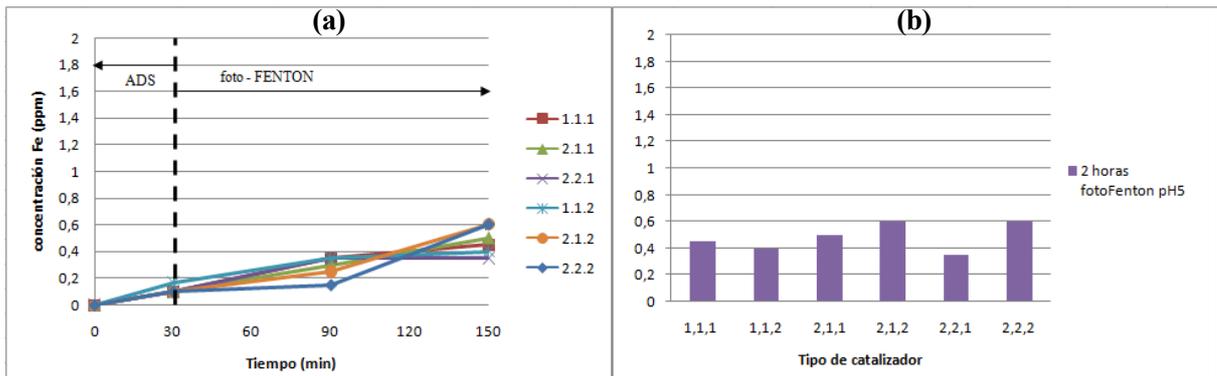


Figura 4.10: (a) Evolución de la concentración de hierro disuelto frente al tiempo, para cada catalizador durante el tratamiento foto - Fenton a pH5; (b) Concentración de hierro disuelto para cada catalizador, al final del tratamiento foto – Fenton a pH5

En este caso se aprecia claramente cómo la disolución de hierro fue más acusada en el tratamiento a pH 3 alcanzándose una concentración máxima de 1,05 ppm y no sólo más que en el mismo tratamiento a pH 5 en el que la concentración máxima sólo llega a 0,6 ppm, sino que el tratamiento foto – Fenton a pH 3 fue el que presentó la mayor disolución de hierro, de entre todos los tratamientos ensayados. Esto podría significar que el rendimiento obtenido con los POAs es mejor cuando el catalizador se encuentra formando una misma fase con la disolución a tratar. Aunque atendiendo a los objetivos planteados para este trabajo, no sería la situación deseada. Se puede ver en la Figura 4.9 (b), como el catalizador 1.1.2 con el que se obtuvieron los mejores rendimientos de eliminación de COT, es el que mayor concentración de hierro aportó a las disoluciones, llegando a concentraciones superiores a 1 ppm. No obstante, esta cantidad de hierro disuelto sigue siendo ínfima en comparación con la cantidad total de hierro que contienen los catalizadores.

La Figura 4.11 presenta a modo de comparación de todos los tratamientos aplicados, los resultados de degradación de COT obtenidos con todos los tipos de catalizadores.

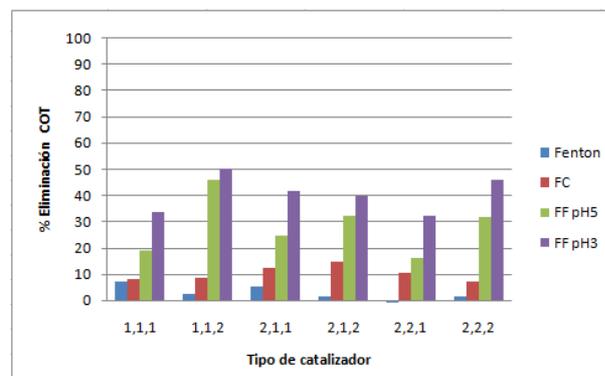


Figura 4.11: Comparación del porcentaje de eliminación de COT entre todos los tratamientos, para cada catalizador

Se puede observar (Figura 4.11) como los dos tratamientos foto – Fenton llevados a cabo destacan ampliamente sobre el tratamiento Fenton o la Fotocatálisis, alzándose dicho tratamiento como el mejor para cualquiera de los tipos de catalizadores ensayados. Del mismo modo se puede observar que los mejores rendimientos de eliminación se obtuvieron sin duda alguna con el catalizador 1.1.2 durante el tratamiento foto – Fenton, con el que se llegó a degradar hasta un 50% del COT.

Adán, et al. (2009) en su estudio sobre la Fotocatálisis de Fenol con TiO_2 , obtuvieron mejores resultados de eliminación de COT mediante este tratamiento, que los obtenidos en este proyecto. Sin embargo, el tiempo de aplicación del tratamiento en el primer caso fue de aproximadamente unas 5 horas (63). Esto hace pensar que podría llegar a obtenerse un rendimiento de eliminación del COT con la Fotocatálisis, similar a los obtenidos mediante tratamiento foto – Fenton, en las mismas condiciones que se ha trabajado, pero a costa de un mayor tiempo de funcionamiento que implica un mayor gasto energético. Habría que sopesar mediante un balance económico adecuado, la conveniencia de llevar a cabo un tratamiento foto – Fenton o uno de fotocatalisis para obtener unos resultados de eliminación de COT adecuados.

Por un lado, para conseguir unos resultados satisfactorios mediante Fotocatálisis, habría que aumentar el tiempo de tratamiento que implica un incremento del gasto energético. Sin embargo, supondría un ahorro en cuanto a materiales, pues no requiere aporte de peróxido y además se podría eliminar el catalizador de hierro que a la vista de los resultados, no interviene en el proceso sin la presencia del peróxido.

Por otro lado, en las condiciones descritas se obtienen resultados satisfactorios mediante tratamiento foto – Fenton, en un período de dos horas de aplicación. Esto significa sobre todo una ventaja sobre la Fotocatálisis en cuanto al coste energético, aunque el proceso lleva asociado otros costes que no están presentes en la Fotocatálisis. Además del coste del peróxido de hidrógeno, un efluente tratado mediante proceso foto – Fenton en condiciones de pH ácido, debe ser sometido a un proceso de neutralización previo a su vertido, lo que supone un gasto extra.

La Figura 4.12 muestra una última comparativa entre los resultados obtenidos por Pouloupoulos, et al. (2006), en el tratamiento de aguas contaminadas con Fenol mediante POAs (4), donde se puede ver que los resultados obtenidos concuerdan con los datos bibliográficos, ya que tanto la Fotocatálisis como el tratamiento Fenton no ofrecen rendimientos superiores al 10% de eliminación, mientras el tratamiento foto – Fenton muestra resultados más satisfactorios.

Oxidación Avanzada de Fenol con Hierro y Dióxido de Titanio Soportados sobre Matriz Geopolimérica

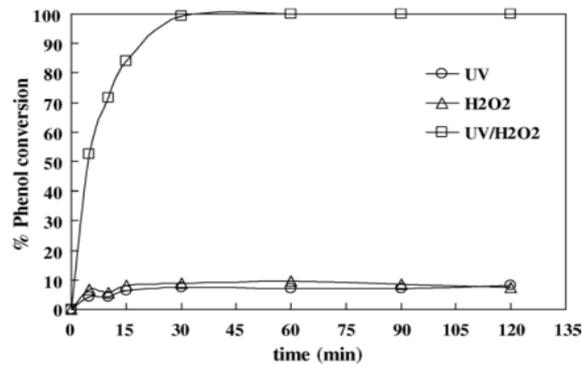


Figura 4.12: Comparación de la conversión de fenol obtenida mediante fotocatalisis, tratamiento Fenton y tratamiento foto - Fenton (9)

4.5. Comparación de los resultados con los obtenidos en otro trabajo llevado a cabo con residuo de TiO_2 como catalizador, sin geopolimerizar

En un trabajo llevado a cabo anteriormente en el mismo departamento, se estudió la “Revalorización de un residuo de la industria de TiO_2 en Procesos de Oxidación Avanzada” (10). En dicho trabajo se estudió la degradación mediante POAs tanto de ácidos húmicos como de Fenol, empleando el residuo de TiO_2 que contiene una cierta fracción de hierro, como catalizador. Se utilizó una concentración inicial de contaminante de 50 ppm y se añadió 1 g/L del residuo de titanio, el cual aporta una concentración de hierro de 33 mg/L aproximadamente, o lo que es lo mismo de 0,6 mM, el doble de la concentración de hierro que contiene 1 g/L de los geopolímeros empleados como catalizadores.

Se analizó la eficacia de degradación de los tratamientos Fenton, foto – Fenton, en los que se dosificó peróxido de hidrógeno en dos concentraciones diferentes (3,34 y 6,68 mM) y Fotocatalisis. En el caso de los procesos Fenton y foto – Fenton, se trabajó a pH 2, todavía más ácido que el empleado en el presente trabajo, mientras que en la Fotocatalisis también se trabajó a pH 5.

En las Figuras 4.13 – 4.15, se presentan los resultados obtenidos en dicho trabajo, con el objetivo de poder compararlos con los que se han obtenido trabajando con los geopolímeros.

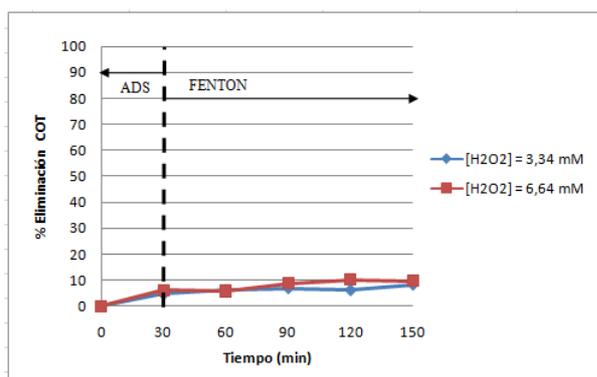


Figura 4.13: Porcentaje eliminación COT.

Proceso Fenton

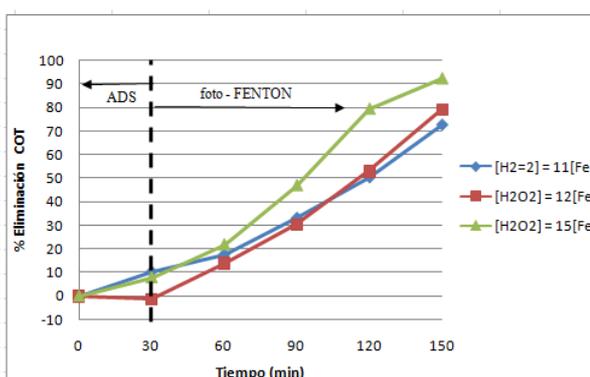


Figura 4.14: Porcentaje eliminación COT.

Proceso foto-Fenton

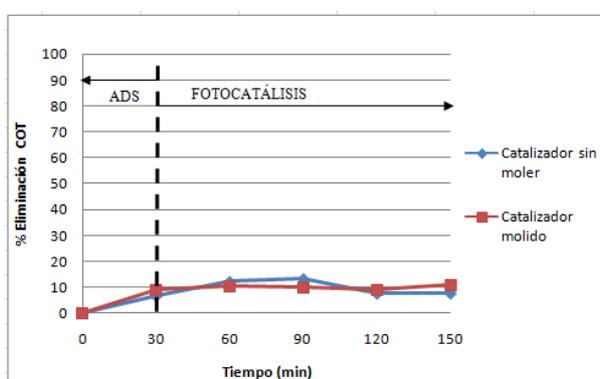


Figura 4.15: Porcentaje eliminación COT. Proceso de fotocatalisis

De las Figuras anteriores (4.13-4.15) se puede comentar que los resultados que presentan concuerdan con los obtenidos en este trabajo, para todos los tratamientos. En efecto, en este caso se obtuvo un rendimiento de eliminación de entorno al 10% en los procesos Fenton y Fotocatalisis, mientras que el tratamiento foto – Fenton a pH 3 fue el que mostró el mejor rendimiento de eliminación de COT. Cabe destacar que en este último caso, se obtuvieron mejores resultados cuanto mayor fue la concentración de H₂O₂ dosificada, llegándose a alcanzar un rendimiento máximo del 90% al final de las dos horas de tratamiento, como se puede observar en la Figura 4.14. Sin embargo también se observa que las curvas de eliminación de COT en el tratamiento foto – Fenton, no tienen a un valor constante. Quizás esto se deba a que el tiempo de tratamiento fue insuficiente, de forma tal que con un mayor tiempo de tratamiento se podrían haber alcanzado valores de eliminación de COT mayores y constantes, pero a costa de un aumento del coste de reactivos y energía, que por otra parte, probablemente no merecería la pena llevar a cabo dado que el incremento de rendimiento sería muy bajo.

En este aspecto, los resultados obtenidos son similares tanto si el catalizador se encuentra en solución o sobre un soporte sólido de base geopolimérica. Esto significa que el uso de materiales geopoliméricos con TiO_2 y hierro solo se puede justificar en el caso de que dicho material realmente pueda ser reutilizable en varios ciclos sin pérdida de eficacia. Aún así, también sería necesario realizar un balance económico a modo de comparación entre los costes generados por la fabricación de los geopolímeros y los costes asociados a la no reutilización del catalizador. De esta forma se podría saber con mayor claridad si es más conveniente fabricar unos catalizadores de base geopolimérica que puedan ser reutilizados en varios ciclos de depuración, aún costa de los gastos que supone la fabricación de dichos geopolímeros, o por el contrario resulta económicamente más eficiente emplear los catalizadores en fase homogénea con el efluente, aunque no puedan recuperarse para su reutilización.