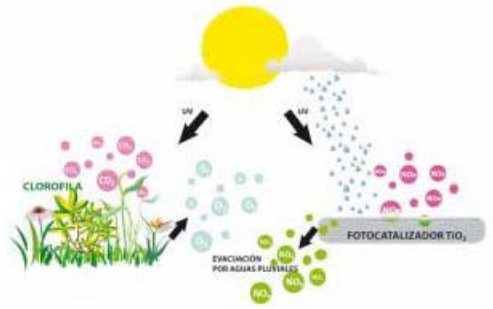




Nuevo concepto de **construcción sostenible** con **impacto ambiental positivo**.



¿ QUÉ ES LA FOTOCATÁLISIS ?

La fotocatalisis parte del principio natural de descontaminación de la propia naturaleza. Al igual que la fotosíntesis, gracias a la luz solar, es capaz de eliminar CO₂ para generar materia orgánica, la fotocatalisis elimina otros contaminantes habituales en la atmósfera, como son los NO_x, SO_x, COVs, mediante un proceso de oxidación activado por la energía solar.

La fotocatalisis es una reacción fotoquímica que convierte la energía solar en energía química en la superficie de un catalizador o sustrato, consistente en un material semiconductor que acelera la velocidad de reacción. Durante el proceso tienen lugar reacciones tanto de oxidación como de reducción. De esta forma se promueve la eliminación de la mayor parte de los contaminantes en las ciudades.

Por medio de la fotocatalisis se puede eliminar la mayor parte de los contaminantes presentes en las zonas urbanas: NO_x, SO_x, compuestos orgánicos volátiles (VOCs), CO, metil mercaptano, formaldehído, compuestos orgánicos clorados, compuestos poli aromáticos. Los materiales de construcción tratados con un fotocatalizador eliminan sobre todo las partículas NO_x que están producidas por los vehículos, la industria y la producción de energía.

El fotocatalizador más comúnmente utilizado es el dióxido de Titanio (TiO₂) y productos derivados de él.

Destrucción de los NO_x (ver imagen):

- El contaminante se absorbe en la superficie del material.
- El contaminante absorbido es oxidado en dos etapas a un compuesto inerte, los nitratos (NO₃).
- El compuesto inerte es eliminado de la superficie del material por efecto de la lluvia.

Fotocatálisis

Cuando se habla de **fotocatálisis** se hace referencia a una **reacción catalítica** que involucra la absorción de **luz** por parte de un **catalizador** o **sustrato**.

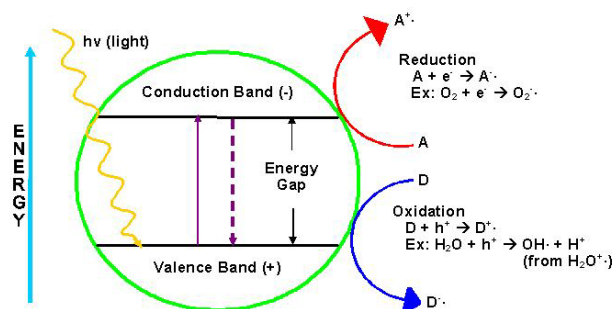
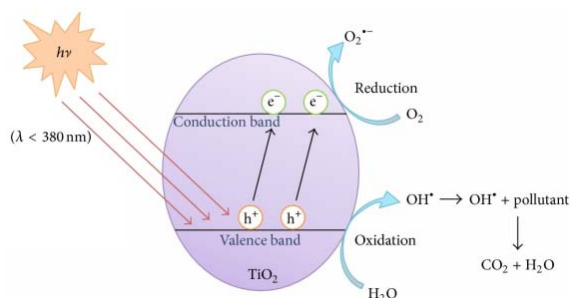
En la química, la fotocatalisis es la aceleración de una fotorreacción en presencia de un catalizador. En la catálisis fotogenerada, la actividad fotocatalítica (PCA) depende de la capacidad del catalizador para crear pares electrón-hueco, que generan radicales libres (por ejemplo, radicales hidroxilo : •OH) capaces de sufrir reacciones secundarias. Se hizo posible su aplicación práctica por el descubrimiento de la electrolisis del agua por medio de dióxido de titanio . El proceso utilizado comercialmente se llama el proceso de oxidación avanzada (AOP). Hay varias formas de que la AOP se puede llevar a cabo, los cuales pueden (pero no necesariamente) implicar el TiO₂ o incluso el uso de la luz UV. En general, el factor de definición es la producción y el uso del radical hidroxilo.

Durante el proceso fotocatalítico, tal como se explica más adelante, ocurren tanto reacciones de **oxidación** como de **reducción**, por lo que no sólo se puede aplicar la fotocatalisis a la oxidación de **compuestos orgánicos**, sino también a la reducción de **iones** inorgánicos y a la reducción de otros compuestos orgánicos.

Proceso fotocatalítico

La fotocatalisis implica la combinación de la fotoquímica con la catálisis. Ambos, luz y catalizador, son necesarios para alcanzar o acelerar una reacción química. Así, la fotocatalisis puede ser definida como la aceleración de una fotorreacción mediante un catalizador.

La etapa inicial del proceso consiste en la generación de un par **electrón-hueco** en las partículas del **semiconductor**. Cuando un **fotón** con energía , que iguala o supera la energía del salto de **banda** del semiconductor,, incide sobre éste, se promueve un electrón, **e⁻**, de la **banda de valencia** hacia la **banda de conducción**, generándose un **hueco**, **h⁺**, en la banda de valencia. La energía de **banda prohibida** se define como la diferencia **energética** de la banda de valencia y la banda de conducción de un fotocatalizador.



Tipos de fotocatalisis

Fotocatalisis Heterogénea

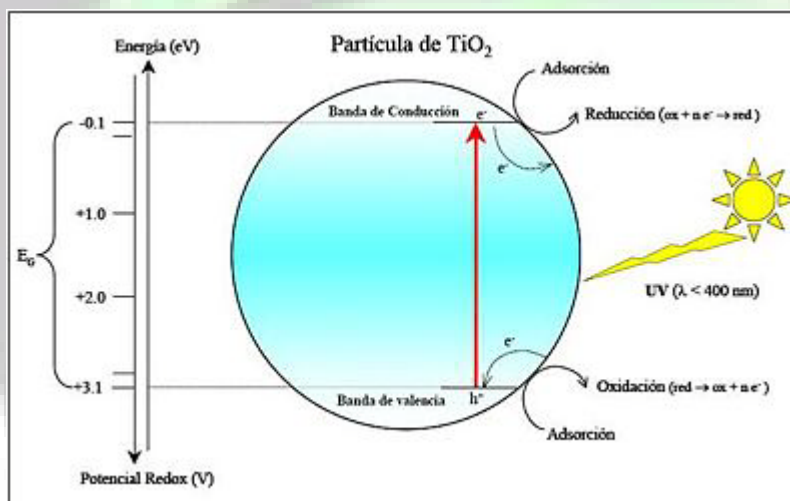
La **fotocatalisis heterogénea** utilizando **Dióxido de Titanio** como catalizador consiste básicamente en la producción de radicales hidroxilos $\cdot\text{OH}$ por medio de la activación de un **catalizador**, por acción de la luz UV. Esencialmente ocurre una promoción de **electrones** de la banda de valencia a la de conducción, lo que a su vez forma un hueco positivo en dicha banda de valencia, y estos interactúan con iones hidróxido y agua para formar el radical libre $\cdot\text{OH}$. Los electrones en la banda de conducción interactúan con el Oxígeno molecular para formar el radical Superóxido ($\cdot\text{O}_2$) y Peróxido de Hidrógeno (H_2O_2) que a su vez generan radicales $\cdot\text{OH}$.

Mecanismo Fotocatalítico

El TiO_2 es el **semiconductor** más usado en fotocatalisis, debido a que es **química** y biológicamente inerte, no es **tóxico**, es estable a corrosión **fotoquímica** y química, es abundante y económico, además posee un gap de energía de 3.2 eV que puede ser excitado con luz UV de $\lambda < 387 \text{ nm}$, la cual puede ser aportada por la luz solar. El TiO_2 se encuentra en tres formas cristalinas: **brookita**, **rutilo** y **anatasa**, siendo las dos últimas las más efectivas en tratamientos de **aguas residuales**. La anatasa es termodinámicamente menos estable que el rutilo, sin embargo, posee mayor área superficial y alta densidad superficial de sitios activos para la adsorción y la catálisis. Las energías del gap son de 3.2 eV para la anatasa y 3.0 eV para el rutilo, no obstante los procesos oxidativos son similares. Con el fin de que los resultados obtenidos en diferentes investigaciones sean reproducibles muchos investigadores han seleccionado una fuente particular de TiO_2 , el cual es reconocido por su alta actividad fotocatalítica.

El dióxido de titanio **Degussa P-25**, lo que hace que sea el material más usado en aplicaciones fotocatalíticas ambientales. El producto es una mezcla de las fases cristalinas anatasa: rutilo en proporción 80:20 en un 99.5% de pureza, posee un área superficial específica de $50 \pm 15 \text{ m}^2/\text{g}$ y un diámetro promedio de 21 nm. En solución se encuentra típicamente en agregados primarios de $0.1 \mu\text{m}$ de diámetro. Las posiciones de las **bandas de valencia** y de conducción han sido calculadas en $+2.9$ y -0.3 eV , respectivamente, a pH 0. Con la absorción de un fotón de longitud de energía mayor que la E_{gap} (3.2 eV) un electrón de la banda de valencia es promovido a la banda de conducción, generándose un hueco en la primera. Tanto el **electrón** promovido como el hueco pueden participar en reacciones redox con diversas especies químicas debido a que el hueco es fuertemente oxidante y el electrón en la banda de conducción es moderadamente reductor.

El **mecanismo** simplificado del semiconductor en la Fotocatalisis Heterogénea se Muestra en la Figura:



Mecanismo Indirecto de la Fotocatalisis Heterogénea.

Parámetros que influyen en el proceso de Fotocatalisis con TiO_2

Existen varios parámetros que influyen cualitativa y cuantitativamente en el proceso de oxido-reducción fotocatalítico, se presentan los más importantes:

- **Temperatura**

La variación de la **temperatura** no afecta significativamente la velocidad de las reacciones fotocatalíticas. La interfase óxido/electrolito es una superficie cargada eléctricamente la cual depende fuertemente del pH del medio y la carga movilizada sobre la superficie determina la estabilidad coloidal de las partículas del óxido en suspensión.²

- **pH**

El **pH** de la solución acuosa afecta significativamente la carga de la partícula de catalizador y por tanto el tamaño de sus agregados y las posiciones de los máximos y mínimos de las bandas del TiO_2 debido a su carácter anfotérico. Debe trabajarse a un pH diferente al punto de carga cero donde la superficie del óxido no está cargada. El punto de carga cero (isoelectrico) del TiO_2 se encuentra alrededor de pH 7. Por encima o por debajo de este valor, el catalizador se carga positiva o negativamente. Valores cercanos a la neutralidad no tienen efecto significativo sobre la operación. Un análisis detallado del pH óptimo no solo incluye su incidencia sobre el sustrato inicial sino también la incidencia que tiene el mismo sobre el resto de los compuestos intermedios generados en la degradación.³

- **Influencia del Oxígeno**

El **oxígeno** es necesario para la mineralización completa del contaminante y no debe competir con las otras especies durante la adsorción sobre el catalizador. El oxígeno disminuye la recombinación del electrón-hueco generado y además forma radicales muy reactivos del tipo



O₂. La concentración de oxígeno afecta directamente velocidad de reacción la cual aumenta con la presión parcial del oxígeno (O₂P) en el agua.⁴

- **Intensidad de la Luz**

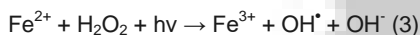
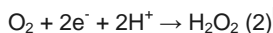
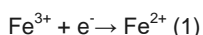
La velocidad de reacción es proporcional a la intensidad de la luz hasta cierta intensidad específica para cada proceso. A partir de esta intensidad característica, la velocidad de reacción se hace proporcional a la raíz cuadrada de la intensidad de la luz debido a una mayor recombinación **electrón-hueco**.⁵ En el proceso de degradación fotocatalítica de contaminantes influyen una serie de parámetros que van desde la naturaleza del catalizador, la configuración del foto-reactor, la fuente de luz empleada, hasta los procesos de adsorción del contaminante sobre el catalizador, que estarán afectados por las propiedades de éste. Las reacciones pueden ser de orden 1, ½ ó 0, según la intensidad de la irradiación.⁶

Fotocatalisis Homogénea(foto fenton)

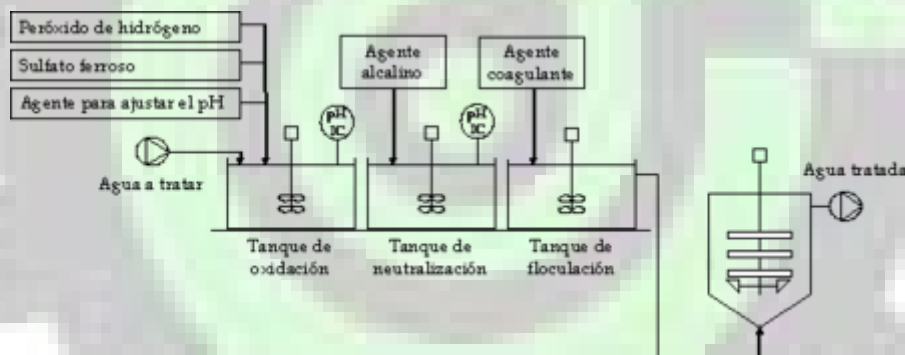
La **fotocatalisis homogénea** o **foto fenton** hace referencia a la reacción del peróxido de hidrógeno con sales ferrosas, generando radicales hidroxilo en condiciones de pH ácido a temperaturas moderadas y la descomposición foto-asistida del peróxido de hidrógeno con sales ferrosas, los cuales forman parte de los procesos de oxidación avanzada.

Foto Fenton

Este método, se produce al catalizar el peróxido de hidrógeno con hierro, dando como resultado la formación de radicales libres altamente reactivos del oxhidrilo (OH). Es una reacción llamada así por su descubridor en 1894, Henry John Horstman Fenton (1854-1929), ingeniero químico británico.) Las reacciones en camino de la producción de radicales OH[•] electroquímicamente se puede representar con las reacciones dadas a continuación:



*OH es un agente oxidante no selectivo, muy potente que reacciona con compuestos orgánicos hasta que se consigue su mineralización (conversión en iones de CO₂ e inorgánicos). En este sistema catalítico la reacción puede ser propagada a través de la regeneración de Fe₂₊ que tiene lugar principalmente por la reducción de Fe₃₊ con especies electro generadas H₂O₂. H₂O₂ se produce a través de la reacción (2) por borboteo de gas O₂ a través de la solución ácida con una pequeña concentración de Fe²⁺ o Fe³⁺ en el compartimiento catódico. Los contaminantes se destruyen por la acción de forma OH[•] en la reacción (3). Este sistema ha sido utilizado con éxito en la hidroxilación de algunos compuestos orgánicos.⁷



Esquema general del proceso fenton.

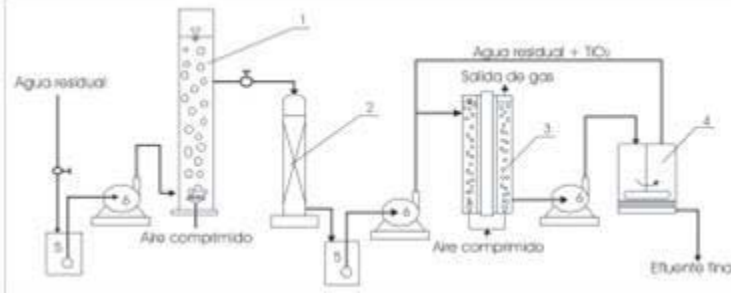
Antecedentes en el uso del Foto Fenton y el dióxido de titanio en el tratamiento de aguas

Uno de los procesos actuales en cuanto al tratamiento del agua, es la destoxificación fotocatalítica con **radiación solar**, es una tecnología que lleva menos de tres décadas de investigación al nivel industrial con muy buenos avances, en países como Estados Unidos, **Canadá**, **Japón** y **España**. Dicha tecnología, utiliza sustancias que ayudan en las diferentes reacciones que ocurren. Tales sustancias son, entre otras, el reactivo fenton y el **dióxido de titanio**. Estos compuestos han sido utilizados a lo largo del tiempo en distintos procesos, manifestando, cada uno de ellos, características diferentes que lo hacen especial y diferente comparativamente con otros.

Uno de los casos donde se evidencia el uso del dióxido de titanio (TiO₂) se encuentra en una de las industrias más contaminantes en el Japón: la **industria textil**, en la que se utilizan **procesos biológicos** para el **tratamiento de las aguas residuales**, presentando dificultades en la remoción de algunos químicos, ya que las aguas residuales presentan altos contenidos de **carbono orgánico total (COT)** y **colorantes**.

Se han realizado ensayos usando procesos físicos y químicos para reducir estas altas cantidades de COT y de colorantes. Para ello se está utilizando la fotocatalisis en presencia de TiO₂ que degradan gran cantidad de colorantes químicos, con una eficiente separación y reutilización del TiO₂

Igualmente, en **Hong Kong**, la industria textil ha tratado sus aguas residuales mediante el tratamiento IDEA: (Intermittently Decant Extended Aeration) que consiste en el uso de la fotocatalisis con TiO₂ después de un tratamiento biológico, obteniéndose agua de muy buena calidad que permite reutilizarse, 'ya que se obtienen muy buenas remociones de COT y Color'.⁸



Tratamiento IDEA.

Referencias

1. Menéndez Carreño, José. «Fotocatálisis». Archivado desde el original el 23 de enero de 2010. Consultado el 9 de marzo de 2010.
2. R. Bauer, G. Waldner, H. Fallmann, S. Hager, M. Klare, T. Krutzler, S. Malato, P. Maletzky., The Photo-Fenton Reaction and the TiO₂/UV Process For Waste Water Treatment- Novel Developments., Catalysis Today 53 (1999) 131-144
3. B. Bayarri, J. Giménez, D. Curcó, S. Esplugas, Photocatalytic degradation of 2,4- dichlorophenol by TiO₂/UV: Kinetics, actinometries and models, Catalysis Today.101, 3-4 (2005) 227-236.
4. Malato S. Solar Detoxification, chapter 4, Edition of UNESCO, 2002.
5. Blesa, Miguel A., Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea, 2001, ISBN 987-43-3809-1
6. Sixto Malato, Julian Blanco, Alfonso Vidal, Christoph Richter, Photocatalysis with solar energy at a pilot-plant scale: an overview, Applied Catalysis B: Environmental 37(2002) 1–15
7. Kusvuran, Erdal. Gulnaz, Osman. Irmak, Sibel. Atanur, Osman M. Yavuz, H. Ibrahim. Erbatur, Oktay. Comparison of several advanced oxidation processes for the decolorization of Reactive Red 120 azo dye in aqueous solution. Elsevier, B109 (2004) 85–93
8. GARCÉS GIRALDO Luis Fernando & RODRÍGUEZ RESTREPO Alejandra. Corporación Universitaria Lasallista Correspondencia: Luis Fernando Garcés Giraldo. e-mail: lugarcés@lasallista.edu.co Línea de investigación: Tratamiento de Aguas. Semillero de investigación en Gestión y Medio Ambiente SIGMA

Aplicaciones

- Tratamiento de aguas residuales.
- El uso de dióxido de titanio en el vidrio de auto-limpieza . Los radicales libres generada a partir de TiO₂ oxidar materia orgánica.
- La desinfección del agua por soportados de dióxido de titanio fotocatalizadores, una forma de desinfección solar del agua.
- La oxidación de orgánicos contaminantes utilizando magnéticos partículas que están recubiertas con dióxido de titanio nanopartículas y agitaron usando un campo magnético durante la exposición a la luz UV.
- La descomposición del crudo con TiO₂ nanopartículas

