

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSTGRADO EN INGENIERÍA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍA.**

Protocolo de proyecto de doctorado

1. Título del proyecto tesis: Diseño de una planta solar de degradación fotocatalítica de aguas contaminadas

Nombre del alumno: **Iván Salgado Transito**

2. Postgrado en Ingeniería en Energía

Área: Fuentes Renovables

Campo disciplinario: Solar Fototérmica

3. Palabras clave (máximo 5).

Fotocatálisis Heterogénea, Concentración Solar, Concentradores Solares CPC, Planta solar de degradación fotocatalítica, Tratamiento de aguas residuales, Desarrollo de Fotocatalizadores.

4. Tutor Responsable.

Nombre	Grado Acad.	Departamento de Adscripción	Nivel SNI
Antonio Esteban. Jiménez González	Dr.	Materiales Solares	II

5. Miembros del comité tutorial (Propuestos)

Nombre	Grado Acad	Departamento de Adscripción	Nivel SNI
Claudio Alejandro Estrada Gasca	Dr.	Sistemas energéticos	III
Camilo Alberto Arancibia Bulnes	Dr.	Sistemas Energéticos	I

6. INTRODUCCIÓN.

El agua es un elemento fundamental para la existencia de la vida en nuestro planeta. No solo debe de ser prioridad dotar del recurso a la sociedad, sino también asegurar su saneamiento cuando esta sea devuelta medio ambiente. Ya que la disponibilidad actual del agua en nuestro país es crítica, las consecuencias tanto para el hombre como para el medio ambiente pueden ser catastróficas. Su explotación excesiva por los sectores urbano, rural, industrial, agrícola, energético, etc. ha diezmado nuestro recurso hídrico seriamente. Por lo tanto, es fundamental combatir su desabasto, desperdicio y contaminación de manera efectiva, ya que de no darle un uso racional y sustentable, el daño será irreversible. Actualmente, en nuestro país existe la necesidad de una cultura en el cuidado y manejo del agua y de un amplio conocimiento a nivel salud, tanto en zonas populares como rurales, acerca del daño que ocasionan al hombre microorganismos patógenos en el agua.

Adicionalmente, uno encuentra serias carencias en manejo aguas de deshecho como lo son la falta de sistemas de tratamiento adecuados de aguas residuales. Debido a la contaminación de nuestra agua tanto a nivel urbano como industrial y rural, existe la necesidad de mejorar e innovar nuevos métodos de tratamiento como una alternativa a las técnicas de tratamiento convencionales buscando siempre que las nuevas tecnologías sean más económicas y efectivas, y que resulten adecuadas a las necesidades del medio ambiente [Bahnemann, 1991].

Los Procesos de Oxidación Avanzada, debido a sus efectos amigables en el medio ambiente, son cada vez más aplicados en la descontaminación de aguas residuales, generalmente en pequeña o mediana escala [Blanco, 2002], [Hashimoto, 2005]. De manera específica, uno de estos Procesos de Oxidación Avanzada es la Fotocatálisis Heterogénea, la cual utiliza luz solar la radiación solar como fuente de excitación. Como reacción fotoquímica, en fotocátalisis heterogénea se contempla la aceleración de reacción química mediante la presencia de un catalizador el cual tiene la capacidad de absorber fotones. De manera natural una reacción fotoquímica la podemos observar en al fotosíntesis, la cual constituye la base de la vida en la tierra. En un evento fotocatalítico, se produce una alteración de una sustancia química como resultado de la absorción de radiación por otra especie fotosensible, el catalizador. La absorción de un fotón por el catalizador induce una transición electrónica de la banda de valencia a la banda de conducción generando así un par electrón-hueco. Posteriormente huecos en la banda de valencia y electrones en la banda de conducción son capaces de inducir reacciones químicas para generar radicales hidroxilo, los cuales son agentes oxidantes sumamente agresivos capaces de destruir compuestos orgánicos tóxicos [Fujishima, 1969], [Fujishima, 1972]. A partir de 1972, año en que los investigadores japoneses Honda y Fujishima reportaron los primeros estudios de estudios en fotocátalisis con luz ultravioleta en agua, surgieron muchas otras investigaciones en esta área.

En cuanto al catalizador, el TiO_2 es el fotocatalizador más comúnmente utilizado, debido a su gran estabilidad en medios acuosos, resistencia al envenenamiento y alta eficiencia catalítica. Sin embargo, existen muchos otros compuestos que presentan propiedades fotocatalíticas y que pueden ser utilizados en procesos de degradación. Para proporcionar fotones de longitud de onda adecuada, es posible utilizar radiación solar.

Durante las dos últimas décadas se han desarrollado concentradores solares de canal parabólico compuesto sin sistema de seguimiento aparente del sol, los cuales prometen ser una alternativa adecuada como fuente de fotones en el rango del ultravioleta cercano para excitación del catalizador.

7. Antecedentes.

7.1 Contaminación del agua

Es ampliamente conocido que el aire, el agua, e incluso los alimentos, contienen sustancias químicas indeseables. La naturaleza de estas sustancias químicas puede variar considerablemente si se considera la amplia diversidad de compuestos químicos que existe. Nars (1982) refiere el uso cotidiano de 63,000 sustancias y el ingreso anual de 600 a 800 nuevos compuestos químicos al mercado, por lo que una proyección modesta al día de hoy, permite estimar la circulación de unos 70,000 compuestos. Cabe aclarar que esto no implica que todos ellos puedan considerarse contaminantes y mucho menos tóxicos. Los tóxicos comunes en aire incluyen óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y ozono entre otros oxidantes así como una amplia variedad de compuestos orgánicos y materia particulada. Los contaminantes presentes en el agua son tan numerosos que resulta difícil su conteo. Sin embargo, no hay duda de que trazas de la mayoría de los compuestos orgánicos que han sido detectados en agua causan efectos adversos al hombre.

La contaminación del agua se refiere a la alteración de los sistemas acuáticos a un nivel tal que la vida acuática pueda ser dañada o destruida o bien, su uso implique una amenaza para la salud humana. Esta alteración puede ocurrir por sustancias químicas, sedimentos, e inclusive entes biológicos. En 1988, la Agencia de Protección Ambiental estadounidense (US-EPA) catalogó las fuentes de contaminación de agua en: industriales, municipales, desechos combinados (que incluyen a las dos ya mencionadas), descargas agrícolas, silvícolas, de la construcción, descargas de la industria extractiva, escurrimientos de rellenos sanitarios y sitios de disposición de desechos peligrosos, así como hidrológicas; refiriéndose a la construcción de presas, canales, etc. [Cheremisinoff y Graffia, 1996]. El agua puede ser contaminada por las fuentes ya mencionadas principalmente con los siguientes contaminantes: nutrientes (nitratos y fosfatos); sedimentos; bacterias, virus y protozoarios; enriquecimiento orgánico; químicos tóxicos orgánicos, metales pesados y plaguicidas. Considerando el grado de toxicidad, la US-EPA ha establecido diez categorías de contaminantes tóxicos prioritarios. Estas son: Plaguicidas, bifenilos policlorados, metales, otros inorgánicos (asbestos y cianuros), alifáticos halogenados, ésteres ftálicos, aromáticos monocíclicos (no incluye fenoles, cresoles ni ftalatos), éteres, fenoles, hidrocarburos aromáticos policíclicos y nitrosaminas.

Por las características tóxicas de estos compuestos y, de las aguas contaminadas con estas sustancias, los tratamientos tradicionales, generalmente de tipo biológico, se ven limitados considerablemente cuando se aplican a la depuración de estas aguas. Por otra parte, un método de desinfección del agua ampliamente utilizado es la cloración. Sin embargo se ha demostrado que la cloración convierte los contaminantes hidrocarbureados en hidrocarbureados clorados, aun mas dañinos [Bahnmann, 1991].

Por el momento se sugiere que la fotocatálisis heterogénea sea aplicada en procesos de purificación de aguas residuales con bajas concentraciones de contaminantes, tales como las aguas arrojadas por la industria textil y farmacéutica. [Blanco, 1999].

7.2 Desarrollo de plantas fotocatalíticas para tratamiento de aguas residuales

Con el propósito de proporcionar la radiación electromagnética que excite de manera considerable del fotocatalizador en un procesos de degradación, se han diseñado una serie de alternativas que van desde el diseño de lámparas de radiación ultravioleta (UV) hasta el diseño de concentradores solares, los cuales además concentran gran parte del espectro solar. En lo que sigue se presentan varios diseños de concentradores solares que ya han sido probados en diferentes partes del mundo.

Planta piloto en Alburquerque Nuevo México

La primera planta fotocatalítica solar pre-industrial fue construida en USA en los hoy llamados laboratorios Nacionales Sandia, en Alburquerque Nuevo México en 1991. Dicha planta estaba constituida de 6 concentradores cilíndrico-parabólicos con seguimiento en un eje, cada concentrador estaba diseñado con una área de apertura de 2.13 m. La longitud total de los 6 concentradores alineados era de 36.4 m. El área de captación de la planta por lo tanto era de 465 m². La superficie reflectiva de cada concentrador cilíndrico-parabólico estaba fabricado de polímetro aluminizado de la firma 3M. La razón de concentración de cada colector era de 50 soles. La planta estaba diseñada para tratar hasta 4000 l de agua con caudales de 25-100 l/minuto [Anderson,1991]

Plantas piloto en Almería España.

De manera casi inmediata en 1991 surgió la segunda planta piloto de fotocatálisis en la plataforma solar de Almería, en España. Al igual que la planta solar en estados Unidos, estaba construida con concentradores solares cilíndrico-parabólicos solo que en este caso contaban con seguimiento es 2 ejes, de tipo Helioman. Cada concentrador estaba formado por 32 espejos con una superficie altamente reflectiva. Los espejos estaban acomodados de tal forma que formaban una parábola con una razón de concentración de 10 soles y una longitud de 16 m. La planta estaba integrada por 4 colectores, con una longitud total de captación de 64 m y un área de captación de 128 m². El tubo absorbedor era de vidrio borosilicatado de 5.6 cm. de diámetro. La planta fue diseñada para operar con un volumen desde 500 hasta 4000 l/h [Malato, 2004].

Posteriormente se diseñaron y construyeron nuevas plantas fotocatalíticas, en esta ocasión integradas por concentradores solares parabólico compuesto, CPC. Este tipo de concentradores de baja concentración posean la ventaja de no necesitar de sistemas de seguimiento aparente del sol, y que captan tanto la radiación difusa como la directa. El material del que fue fabricada la superficie reflectiva fue aluminio anodizado. En la actualidad, en Almería hay tres plantas que funcionan con CPC. La primera consta de 2 módulos con área de captación de 6 m² y maneja un volumen de 190 l, la segunda son 2 dispositivos gemelos con un área de captación de 3 m² y esta diseñada para trabajar con 40 l, su fin es realizar experimentos en paralelo y optimizar la concentración del catalizador.

La tercera se le llamo SOLFIN (solar Síntesis of fine Chemical) esta integrada por CPC de varios tamaños y geometrías. [Blanco. 2002]

Planta de Detoxificación Sola. HIDROCEN S.L. (Arganda del Rey, Madrid)

Esta es la primera planta solar industrial para eliminación de contaminantes que fue instalada en España. Su objetivo era el tratamiento de aguas para el lavado, la cual estaba contaminada con plaguicidas procedentes del reciclado de envases de productos fitosanitarios utilizados en la agricultura. La energía solar se capta mediante colectores tipo Cilindro Parabólico Compuesto (CPC) diseñados y optimizados para este proceso, con una superficie total de 100 m², para tratar un volumen de 3 m³ en un intervalo de 2-3 horas y con un volumen de operación de 800 l. Esta planta opera de manera automática y su aplicación es la oxidación de CN⁻ a OCN⁻.



Figura 1. Planta de Detoxificación Solar. HIDROCEN S.L

Dispositivos fotocatalíticos en México.

El DICEF-1

Es un dispositivo construido en el Centro de Investigación en Energía CIE-UNAM en 1995. [Román, 2001]. Es un dispositivo formado por un concentrador cilíndrico parabólico con seguimiento aparente del sol en un eje. El DICEF I fue diseñado para llevar a cabo estudios de degradación de contaminantes orgánicos por medio de la fotocátalisis, utilizando la radiación solar concentrada. El área de apertura de la parábola es de 1.06 m, una distancia focal de 26 cm, un ángulo de apertura de 90° y una longitud de 1.72 m. La superficie reflectiva está fabricada con aluminio calibre 22 pulido mecánicamente. El receptor es un tubo de vidrio pyrex de 2.54 cm. de diámetro con una longitud de 183 cm. El dispositivo cuenta con un sistema automático para el seguimiento del movimiento aparente del sol y está diseñado para concentrar la radiación solar a una razón de 40 soles.

El DICEF- 2

Es un dispositivo, construido e instalado en el CIE-UNAM, ubicado en el municipio de Temixco, Morelos. Fue diseñado por investigadores del CIE, y esta constituido por 2 concentradores cilíndrico-parabólicos y un sistema de seguimiento de 2 ejes. El dispositivo consta de un pedestal, una torreta de seguimiento, una estructura de soporte y dos concentradores solares de canal parabólico. Cada concentrador tiene una apertura de 1.064 m, un ángulo de apertura de 90° y una longitud de 3.m. La superficie reflectiva está fabricada con aluminio calibre 22 pulida mecánicamente. El receptor del sistema es un tubo de vidrio pyrex de 2.54 cm de diámetro y 3.1 m de largo. El dispositivo cuenta además con un sistema automático para el seguimiento del movimiento aparente del sol.

El concentrador CPCM

Con el propósito de estudiar los procesos de degradación fotocatalítica de contaminantes orgánicos se desarrollaron concentradores CPC entre 1 y 2 soles de concentración integrados en un sistema denominado Concentrador Parabólico Compuesto Múltiple (CPCM), el cual utiliza un fotocatalizador de TiO_2 inmovilizado en forma de película delgada sobre tubos de vidrio pyrex. La ventaja de utilizar un catalizador inmovilizado es que no se requiere recuperar el catalizador al finalizar el proceso, como sucede con catalizadores en forma de polvo, lo cual también ahorra tiempo y costo por mano de obra. En la figura se puede observar el CPCM, cuya la superficie reflectiva es de aluminio de alta reflectividad. El CPCM es un dispositivo de bajo costo, de fácil manufactura y casi nulo mantenimiento. Los resultados obtenidos con el CPCM en la degradación fotocatalítica del plaguicida carbarilo demuestran que dicho diseño resultó muy adecuado para este tipo de estudios y además nos permite asegurar que es posible utilizar CPC de 2 soles de manera mas apropiada que concentradores con 1 sol de concentración [Jiménez, 2006].

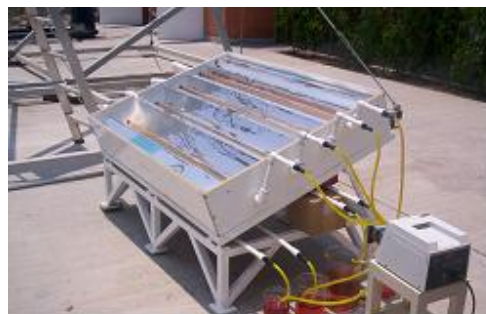


Figura 2. El concentrador parabólico compuesto CPCM.

8. OBJETIVOS.

- Contribuir de manera relevante al desarrollo de una técnica de tratamiento de aguas residuales ambientalmente amigable como lo es la fotocatalisis heterogénea utilizando la radiación solar como fuente de excitación.
- Desarrollar fotocatalizadores inmovilizados sobre sustratos de vidrio que puedan ser utilizados en reactores fotocatalíticos integrados a concentradores solares para llevar a cabo procesos de degradación fotocatalítica de compuestos orgánicos tóxicos contenidos en aguas residuales.
- Elaborar el proyecto de diseño, construcción y puesta en marcha de la planta solar de degradación fotocatalítica de aguas contaminadas.
- Implementar los dispositivos concentradores de la radiación solar tales como reactores de cama fija e inclinada, y concentradores solares CPC para proporcionar la radiación solar necesaria para la excitación de los fotocatalizadores durante los procesos de degradación
- Llevar a cabo los procesos de degradación fotocatalítica de aguas procedentes de la industria textil, farmacéutica, y del sector urbano, a nivel de planta piloto, determinando concentración de carbón orgánico total antes y después del tratamiento.
- Llevar a cabo la evaluación de los procesos degradación fotocatalítica de contaminantes utilizando los diferentes dispositivos fotocatalíticos construidos.
- Se diseñará una estrategia adecuada para generar las gestiones adecuadas para llevar a cabo la transferencia tecnológica de estas plantas de tratamiento fotocatalítico.

9. METAS.

- Una metodología eficaz en el proceso de degradación fotocatalítica de compuestos orgánicos tóxicos.
- Fotocatalizadores inmovilizados de TiO_2 sobre sustratos con geometría (cilíndrica) para ser utilizados en los procesos de degradación fotocatalítica.
- Una planta solar de degradación fotocatalítica de aguas contaminadas que manejen volúmenes representativos de al menos de 100 litros
- Dispositivos de concentración solar de cama fija e inclinada, y concentradores solares CPC entre 1, y 2 soles de concentración

- Un estudio de los procesos de degradación fotocatalítica de contaminantes en el agua en función del dispositivo de concentración.
- Un estudio de la certificación de que el agua en la planta piloto cumpla con los parámetros de la norma oficial mexicana.
- Publicación de al menos 2 artículos (1 internacional y 1 nacional).
- Un especialista en fotocátalisis Heterogénea utilizando concentración solar
- Escritura de la tesis de Doctorado.

10. JUSTIFICACIÓN.

El estado actual de investigación ha demostrado que la Fotocatálisis Heterogénea presenta un gran potencial para aplicaciones tecnológicas en el tratamiento de aguas residuales, principalmente en la degradación de contaminantes orgánicos. En el transcurso de los años se han realizados avances científicos que han hecho que la Fotocatálisis Heterogénea se convierta en una tecnología viable en procesos de tratamiento de aguas reales [Blanco, 2002], por lo que en distintas partes del mundo se han construido laboratorios y plantas prototipo con fines tecnológicos.

Para el caso de México, durante más de 10 años se ha estudiado este tema por diferentes grupos de investigación, especialmente en el Centro de Investigación Energía, CIE-UNAM. Las investigaciones fueron primeramente bajo condiciones a nivel laboratorio y posteriormente a nivel prototipo en la plataforma solar del CIE-UNAM. La experiencia acumulada en la evaluación de distintos tipos de concentradores solares y el diseño de fotocatalizadores, al día de hoy nos exige emprender nuevos retos, esto es, es muy importante que en el Centro de Investigación en Energía se diseñe y construya una planta piloto de fotocátalisis heterogénea de mayor capacidad para tratar procesos fotocatalíticos que representen muestras mas representativas de reales de agua, como surgen en los diferentes sectores de la sociedad. De esta manera se plantea la degradación de aguas procedentes de la industria textil, farmacéutica y descargas de los sectores urbano y rural a escala más real.

La construcción de una planta piloto de fotocátalisis de aguas representa un nuevo reto que nos permitirá observar circunstancias a gran escala que no se presentan en experimentos a nivel laboratorio. Finalmente, después de evaluar los residuos presentes, con la vista puesta no solo en desarrollar y fomentar la investigación, sino también contribuir a la transferencia tecnología, será adecuado proponer una planta general de tratamiento de aguas que incluya un sistema de tratamiento con sistemas de concentración solar para fotocátalisis heterogénea y su posible integración a los procesos de tratamiento convencionales.

11. Hipótesis.

En el CIE-UNAM se cuenta con una gran experiencia en fotocátalisis Heterogénea tanto a nivel de investigación básica como aplicada en una gran cantidad de procesos de degradación fotocatalítica de una gran variedad de contaminantes orgánicos. Dicha experiencia, mas de 10 años de investigación realizada por varios investigadores del CIE-UNAM, incluye tres partes principales como son a) el desarrollo de materiales fotocatalizadores para aplicación en procesos de degradación, b) el desarrollo de concentradores solares (CP y CPC) para proporcionar la radiación electromagnética adecuada (UV-VIS) y c) el desarrollo de procesos de degradación fotocatalítica de contaminantes. Con esta experiencia se plantea la construcción y puesta en marcha de una planta solar fotocatalítica para tratamiento de aguas residuales.

Dichas expectativas también están fundamentadas y respaldadas por la experiencia de grupos de investigación en todo el mundo, donde también se han construido plantas solares fotocatalíticas y se han logrado degradar distintos tipos de contaminantes tanto en agua y como en aire. De esta manera se espera contar con la primera planta piloto de fotocátalisis heterogénea en el país, con capacidades de degradación de volúmenes más representativos (mayores a los 100 l de agua) de procesos que ocurren en los diferentes sectores de la sociedad. Con la planta solar fotocatalítica para tratamiento de aguas residuales se espera eliminar los contaminantes orgánicos de aguas de procedentes de la industria textil, farmacéutica y urbana, de tal forma que al finalizar los dichos tratamientos, la aguas degradadas se encuentren por debajo de los límites permisibles de contaminación autorizados por la Norma Oficial Mexicana de aguas residuales.

12. Metodología.

- Recopilación de información bibliográfica. Esta se realizara desde el inicio y durante todo el transcurso del doctorado, en las instalaciones del CIE y la plataforma solar de Almería.
- Revisión bibliográfica de dispositivos fotocatalíticos CP, CPC, cama fija, cama inclinada, reactores chicos, con lámpara UV, etc.
- Revisión de diseño de reactores fotocatalíticos. Posterior a ello se diseñaran y fabricaran reactores fotocatalíticos de acuerdo a los concentradores solares diseñados (cama fija azimutal e inclinada, y concentradores solares CPC).
- Diseño de la planta piloto de fotocátalisis. Se diseñaran las instalaciones de la planta solar fotocatalítica para lo cual, se evaluará el terreno y definirán los dispositivos fotocatalíticos de concentración solar con que se contará, CP, CPC, cama fija, cama inclinada, reactores fotocatalíticos, lámparas UV, etc. Posteriormente se llevará a cabo la instalación y puesta en marcha.
- Preparación de fotocatalizadores inmovilizados. Se trabajara con los fotocatalizadores inmovilizados de TiO_2 , para lo cual se utilizarán los Laboratorio de

Óxidos Metálicos y Nanocarbon, Sistemas Fotovoltaicos I y Superficies e Interfaces. Se llevarán a cabo estudios XRD, espectrofotometría UV-Vis, medición de espesores, conductividad y fotoconductividad eléctrica.

- Se llevará a cabo la colección de muestras de aguas residuales para lo cual se gestionará que alguna industria textil o farmacéutica trabaje de manera conjunta con el CIUE-UNAM y ceda muestras de las aguas residuales de sus plantas. Se creará una metodología de colección, etiquetamiento, medición y evaluación de resultados de muestras procedentes de los diferentes sectores.
- Se analizarán los contaminantes presentes en agua procedentes de alguna industria textil, farmacéutica y del sector urbano. Se evaluará su degradación después del tratamiento fotocatalítico, en los distintos concentradores en la planta piloto. Las mediciones se realizarán de manera cuantitativa para lo cual se utilizará la espectrofotometría UV-VIS, cromatografía de líquidos y la determinación de carbón orgánico total (COT).
- Los resultados de las degradaciones fotocatalíticas serán evaluados, para determinar la cantidad degradada de los contaminantes.
- Se planea la realización de una estancia técnica de 12 meses en la plataforma solar de Almería, con el propósito de adquirir nuevos conocimientos sobre el desarrollo de nuevos dispositivos concentradores para el estudio de la fotocatálisis.
- Posteriormente, a los resultados obtenidos, de manera de fomentar la transferencia tecnológica en nuestro país, se propondrá el diseño de una planta tratadora de aguas, la cual integre en su proceso, un sistema fotocatalítico. El diseño deberá cumplir con las especificaciones técnicas y con un análisis de costos. Para lo cual se contactará a especialistas en el diseño y construcción de plantas tratadoras de agua.
- Elaborar el documento que describa lo realizado en este proyecto.

14. BIBLIOGRAFIA.

1. Anderson, J, Link H, Bohn M, Gupta B, “*Development of US solar Detoxification Technology, an Introduction*”. Solar Energy and Materials. 5389-549 (1991).
2. Arancibia Bulnes A, Bandala E. R, Orozco S, Estrada C. “*Solar photoreactors comparison on oxilic acid photocatalytic degradation*”. Solar Energy 77 (2004)
3. Bahnemann D., D. Bockelmann and R. *Mechanistic studies of water detoxification in illuminated TiO₂ suspensions*. Goslich. Solar Energy Materials. 24 (1991).
4. Bahnemann D, *Photocatalytic water treatment: solar energy applications*. Solar Energy 77 (2004) 445-449.
5. Blanco J , S. Malato, P. Fernandez, A. Vidal, A. Morales, P. Trincado, J. C. Oliveira, C. Minero, M. Musci, C. Casalle, M. Brunotte, S. Tratzky, N. Dischinger, K. -H. Funken, C. Sattler, M. Vincent, M. Collares-Pereira, J. F. Mendes And C. M. Rangel. *Compound parabolic concentrator technology development to commercial solar detoxification applications*. Solar Energy vol. 67, nos. 4–6, pp. 317–330, 1999
6. Blanco Galvez J. “*Desarrollo de colectores solares CPC para aplicaciones fotoquímicas de degradación de contaminantes persistentes en agua*”. CIEMAT, 2002.
7. Cheremisinoff N. P. and Graffia M. *Handbook of Pollution and Hazardous Materials Compliance*. Marcel Dekker, Inc. Chapter 4 (1996).
8. Frank A. and Bard, J. Journal of the American Chemistry Society, 99, 303 (1977).
9. Fujishima A, K. Honda and S. Kikuchi: Kogyo Kagaku Zasshi 72 (1969) 108 [in Japanese]
10. Fujishima Akira and Honda Kenichi, “*Electrochemical Photolysis of Water at a Semiconductor Electrode*”. Nature **238**, 37 - 38 (07 July 1972).
11. Hashimoto Kazuhito, Hiroshi Irie and Akira Fujishima, “*TiO₂ Photocatalysis: A Historical Overview and Future Prospects*” Japanese Journal of Applied Physics Vol 44 No. 12 2005.
12. Ibusuki, Takachi And Takeuchi K. *Heterogeneous Photochemical Reactions and processes in the Troposphere*. Encyclopedia of Environmental Control Technology .279 (1989).
13. Jiménez González A, Salgado Tránsito I, Payan Martínez. *Desarrollo de concentradores solares cpc y fotocatalizadores de tio₂ para uso en procesos de descontaminacion*. Memoria ANES 2006.

14. Kaneko, M. Okura, I. "*Photocatalysis*". Biomedical and Medical Physics Series
15. Malato Rodriguez, Blanco Galvez J. "*Engineering of solar photocatalytic collectors*". Solar Energy 77 (2004) 513–524.
16. Nasr A. En: *Environmental Risk Analysis for Chemicals*. Editor, Conway R. A. Van Nostrand Reinhold Company. Chapter 9 (1982).
17. Román Rodríguez, A. "*Estudios de fotocatalisis en los compuestos organicos toxicos DBSNA y carbarilo en solucion acuosa*" Tesis DEPMI-UNAM. Morelos, (2001).

Firma de conformidad.

Dr. Antonio E. Jiménez González _____

Dr. Claudio Estrada Gasca _____

Dr. Camilo Arancibia Bulnes _____