

# GACETA

DEL INSTITUTO  
DE INGENIERÍA  
UNAM

COORDINACIÓN  
DE MECÁNICA  
Y ENERGÍA

Transmisiones  
de engranes magnéticos

Reductor de velocidad  
de gran capacidad de carga,  
gran reducción  
y elevada eficiencia

Laboratorio de pruebas  
no destructivas,  
cavitación aplicada

Energía solar en México

Planta Solar del Instituto de Ingeniería, UNAM



NÚMERO 126, JULIO-AGOSTO, 2017

ISSN 1870-347X

Este número de la Gaceta del Instituto de Ingeniería está dedicado a presentar a la Coordinación de Mecánica y Energía (CME), ubicada en Ciudad Universitaria, en la Ciudad de México, así como los temas y líneas de investigación cultivadas.

El objetivo del grupo de investigación de la Coordinación es estudiar mecánica aplicada, fluidos, materiales nuevos y fenómenos no lineales, concebir y desarrollar sistemas para i) aprovechar la energía solar, ii) generar energía, iii) tratamientos ambientales, iv) procesos para el ahorro y uso eficiente de energía, y v) la sustentabilidad energética. Todo lo anterior tomando en cuenta la mitigación y adaptación ante el cambio climático.

Las actividades han permitido la vinculación entre el propio grupo de la Coordinación, el Instituto, la UNAM, e instituciones tanto nacionales como internacionales, con el fin de lograr financiamiento para los estudios, impacto y adopción por usuarios de los productos.

Con una gran producción académica como artículos indizados, tesis de estudiantes, publicaciones de difusión y congresos, liga con la docencia en todos los niveles y patentes transferidas a la industria.

A forma de introducción a los trabajos que se realizan en la Coordinación se presentan los relacionados con la energía solar en México, cavitación aplicada, transmisiones de engranes magnéticos, y reductor de velocidad de gran capacidad de carga, reducción y elevada eficiencia.

Nuevas líneas en mecánica y energía en la Coordinación permitirán nuevas formas de trabajo y nuevos paradigmas enfocados hacia el futuro del Instituto de Ingeniería y de la UNAM.

**David Morillón Gálvez**  
Coordinador de Mecánica y Energía

## UNAM

Rector  
Dr. Enrique L. Graue Wiechers  
Secretario General  
Dr. Leonardo Lomelí Vanegas  
Secretario Administrativo  
Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez  
Secretario de Desarrollo Institucional  
Dr. Alberto Ken Oyama Nakagawa  
Secretario de Atención a la Comunidad Universitaria  
Dr. César Iván Astudillo Reyes  
Abogada General  
Dra. Mónica González Contró  
Coordinador de la Investigación Científica  
Dr. William H. Lee Alardín  
Director General de Comunicación Social  
Mtro. Néstor Martínez Cristo

## GACETA DEL IIUNAM

## IIUNAM

Director  
Dr. Luis A. Álvarez Icaza Longoria  
Secretaría Académica  
Dra. Rosa María Ramírez Zamora  
Subdirector de Estructuras y Geotecnia  
Dr. Efraín Ovando Shelley  
Subdirector de Hidráulica y Ambiental  
Dr. Moisés Berezowsky Verduzco  
Subdirector de Electromecánica  
Dr. Arturo Palacio Pérez  
Subdirector de Unidades Académicas Foráneas  
Dr. Germán Buitrón Méndez  
Secretario Administrativo  
Lic. Salvador Barba Echavarría  
Secretario Técnico  
Arq. Aurelio López Espíndola  
Secretario de Telecomunicaciones e Informática  
Ing. Marco Ambriz Maguey  
Secretario Técnico de Vinculación  
Lic. Luis Francisco Sañudo Chávez  
Jefe de la Unidad de Promoción y Comunicación  
Lic. Israel Chávez Reséndiz

## GACETA DEL IIUNAM

Editor responsable  
Lic. Israel Chávez Reséndiz  
Reportera  
Lic. Verónica Benítez Escudero  
Fotografías  
Archivo Fotográfico del IIUNAM  
Natalia Cristel Gómez Cabral  
Sandra Lozano Bolaños  
Verónica Benítez Escudero  
Fotografía de portada  
*Planta Solar del IIUNAM*, Sandra Lozano Bolaños  
Diseño  
Sandra Lozano Bolaños  
Corrección de estilo  
Gabriel Sánchez Domínguez  
Impresión  
Grupo Espinosa  
Distribución  
Guadalupe De Gante Ramírez



## LA COORDINACIÓN DE MECÁNICA Y ENERGÍA

En 1968 el Ing. Alberto Camacho inició algunas investigaciones teóricas y aplicadas en el área de diseño mecánico; dos años más tarde, en 1970 inicia formalmente esta coordinación con el nombre de Mecánica, Térmica y Fluidos; y en octubre de 2007, cambió a Coordinación de Mecánica y Energía (CME). Las investigaciones realizadas en esta Coordinación se engloban en: a) el diseño de dispositivos mecánicos, con énfasis en el transporte y acarreo, como un tractor y un carro eléctrico; b) productos y dispositivos para aprovechar la energía solar y biomasa como superficies selectivas, espejos, filtros solares, concentradores, calentadores solares de agua, estanques solares, destiladores solares, digestores anaeróbicos y generación eléctrica termosolar; c) caracterización no destructiva de los materiales; y entre 2000 y 2005 se agregaron d) mecánica de fluidos no-Newtonianos-Reología y e) el diseño bioclimático, sustentable, ahorro y eficiencia energética en edificios.

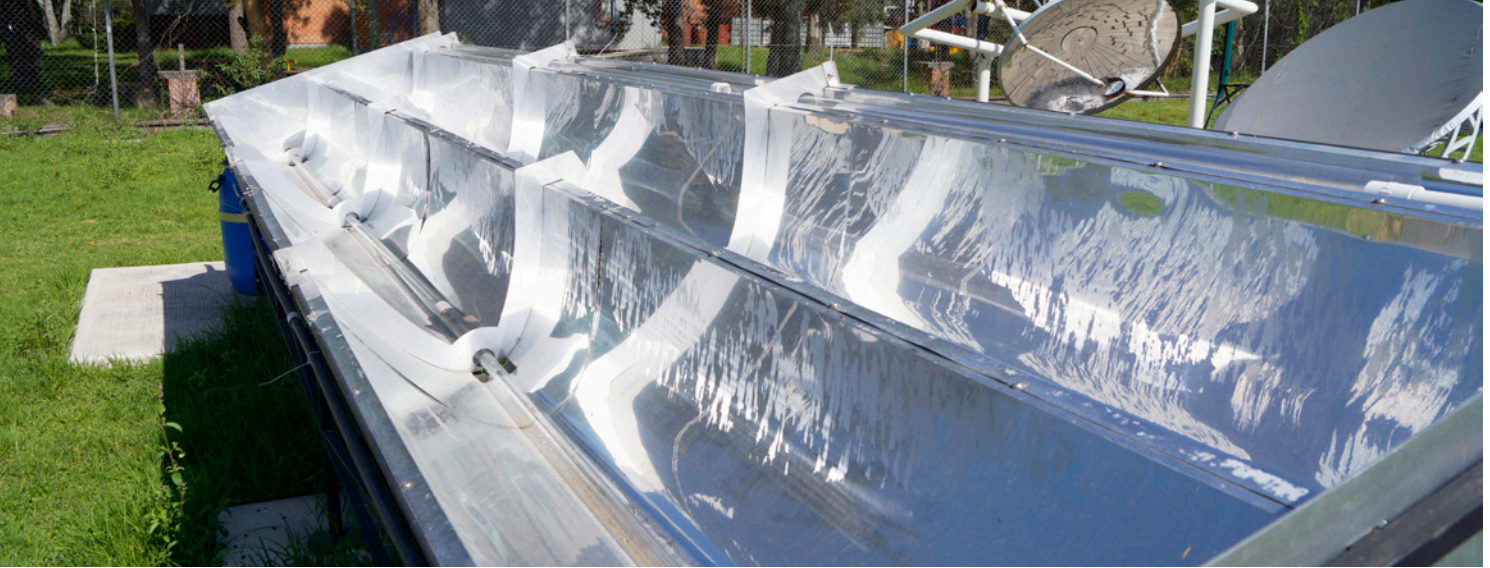
Se han realizado innumerables publicaciones en revistas, libros, congresos y periódicos, así como pláticas y conferencias en diversos foros, radio y televisión con el fin de difundir los

resultados de las investigaciones tanto a nivel nacional como internacional. Además, también se cuenta con varias patentes. La Coordinación se conforma con ocho investigadores, cinco con grado de doctor y tres de maestro, la mayoría pertenece al SNI, tres de ellos con el premio Universidad Nacional. Además se cuenta con un técnico académico con el grado de maestro. Se tiene también a personal de apoyo como laboratoristas, empleados del taller mecánico y una secretaria. Una gran cantidad de estudiantes de licenciatura, maestría, doctorado y posdoctorado han colaborado y colaboran en las investigaciones y se les ha reconocido su participación en diversas publicaciones; actualmente se tienen 35 estudiantes de los diversos niveles académicos, dos de ellos en posdoctorado.

Físicamente, las actividades se realizan en el edificio 12, 2º piso, en el Taller Mecánico, en laboratorios en el edificio 18 y en la Planta Solar.

Las líneas de investigación actuales son:

- Desarrollo de metodologías con técnicas no destructivas para la caracterización (mecánica, térmica y óptica) de medios condensados (metales, polímeros, cerámicos y complejos).
- Modificación o desarrollo de materiales para su aplicación como detectores y transductores.
- Implementación de dispositivos optoelectrónicos para el estudio de los fluidos y para aplicaciones específicas.
- Cavitación aplicada.



- Energía solar fototérmica, fotovoltaica y fotoquímica.
- Bombas de desplazamiento positivo.
- Expansores (máquinas de vapor) y motores de combustión interna.
- Mecánica de sólidos.
- Mecánica teórica y aplicada.
- Desarrollo de vehículos.
- Transmisiones mecánicas.
- Diseño bioclimático.
- Urbanismo y edificación sustentable.
- Cambio climático relacionado con el uso de la energía.
- Aprovechamiento de las energías renovables en edificios.
- Proceso y ahorro de energía en edificios.
- Desalación de aguas de mar.
- Aprovechamiento energético de la biomasa.
- Impactos ambientales de la energía.
- Materiales de caracterización térmica.
- Mecánica de fluidos no-Newtonianos-Reología.
- Transporte lubricado de aceites pesados en tuberías.
- Medios granulados-propagación de ondas en medios granulares en movimiento.
- Electrónica de potencia.
- Desarrollo de sistemas para recuperación de energía.

Los proyectos que se llevan a cabo en la CME reciben patrocinio por parte del sector público y privado nacional, así como colaboraciones internacionales; por citar algunos ejemplos, se han tenidos recursos del Banco Interamericano de Desarrollo, SEMARNAT, Centro Mario Molina, PEMEX, CFE, SENER, etc. Actualmente se tienen fondos del Centro Mexicano de Innovación en Energía del Océano (CEMIE-O), patrocinado por el Fondo SENER-CONACYT, la empresa Módulo Solar, Fondo CONAVI-CONACYT, DGAPA-UNAM, SECITI, etc. |

**David Morillón Gálvez**  
Coordinador de Mecánica y Energía

## TRANSMISIONES DE ENGRANES MAGNÉTICOS

RICARDO CHICUREL UZIEL

Gracias a las altas fuerzas de atracción de los imanes permanentes de aleaciones de neodimio disponibles hoy en día, se han vuelto viables las transmisiones magnéticas en las que, en lugar de que se transmitan fuerzas entre dientes de engranes, se transmitan entre polos magnéticos. Así, surgen los “engranes magnéticos” con imanes en su periferia en vez de dientes. Los imanes se orientan con sus ejes magnéticos en dirección radial de manera que los polos expuestos presenten polaridades alternantes N y S. Un par de imanes de polaridades opuestas equivale a un diente de un engrane convencional. Es sorprendente que las transmisiones magnéticas ya están en el umbral de competencia con las de engranes convencionales en cuanto a capacidad de par por unidad de volumen, y prometen en algunos casos, superarlas en eficiencia. Las ventajas que presentan son que: no se dañan por sobrecargas, no requieren lubricación, prácticamente no tienen desgaste y, son silenciosas.

En la figura 1 se muestran diagramas de transmisiones que constan de un engrane magnético de imanes externos y uno anular de imanes internos. Como es evidente, hay una interacción más amplia entre ellos en la transmisión mostrada del lado derecho que en la del lado izquierdo. Dicha interacción es mayor mientras menor sea la diferencia en los diámetros de ambos engranes, aunque también la relación de velocidades

se acerca más a la unidad, perdiéndose la posibilidad de utilización del arreglo como reductor de velocidad; sin embargo, mediante una inversión del mecanismo, se puede obtener una reducción de velocidad que aumenta al reducirse la diferencia en los diámetros. El resultado de tal inversión es un reductor cicloidal. En él, el engrane anular es fijo, y el engrane de dientes externos es impulsado en una órbita circular mediante una manivela de la flecha de entrada de alta velocidad. El radio de la manivela es igual a la excentricidad entre los dos engranes. Así, el movimiento relativo entre ambos engranes, y en particular, la diferencia en sus velocidades angulares queda igual que en el mecanismo original. Entonces, en el mecanismo invertido, dicha diferencia es igual a la velocidad angular del engrane móvil. Este último tiene, además del movimiento rotacional, un movimiento de traslación circular a la velocidad de la flecha de entrada. La figura 2 es una fotografía de un reductor cicloidal de engranes convencionales. En reductores de ese tipo, usualmente se utiliza un acoplamiento entre el engrane móvil y la flecha de salida (de baja velocidad) capaz de transmitir mecánicamente el movimiento rotacional de dicho engrane pero no el de traslación orbital del mismo. En dicho acoplamiento, la transmisión de par se hace por medio de un número de pernos axiales distribuidos uniformemente en un disco integrado a la flecha de baja velocidad, los cuales penetran en un número igual de agujeros circulares en el engrane móvil. En los reductores cicloidales de engranes magnéticos del Instituto de Ingeniería, se utiliza un acoplamiento de este tipo pero incorporando adicionalmente rodamientos montados en los pernos antes mencionados para reducir la pérdida de potencia por fricción entre éstos y las superficies de los agujeros del engrane móvil. Dicha mejora ha sido patentada.

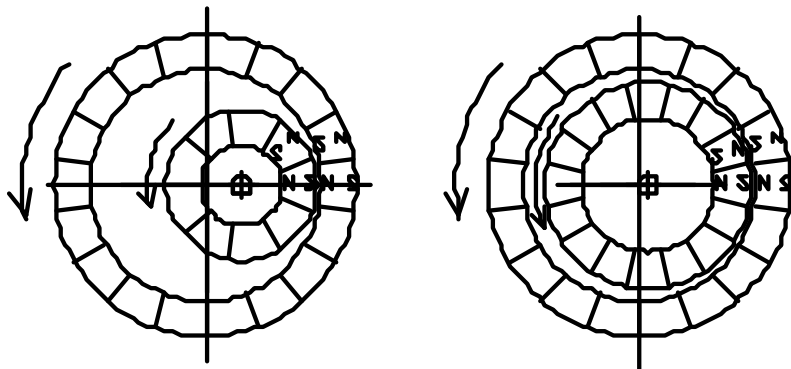


Figura 1. Transmisión de engranes magnéticos consistente en un engrane de imanes externos y uno anular de imanes internos



Figura 2. Transmisión cicloidal de engranes convencionales

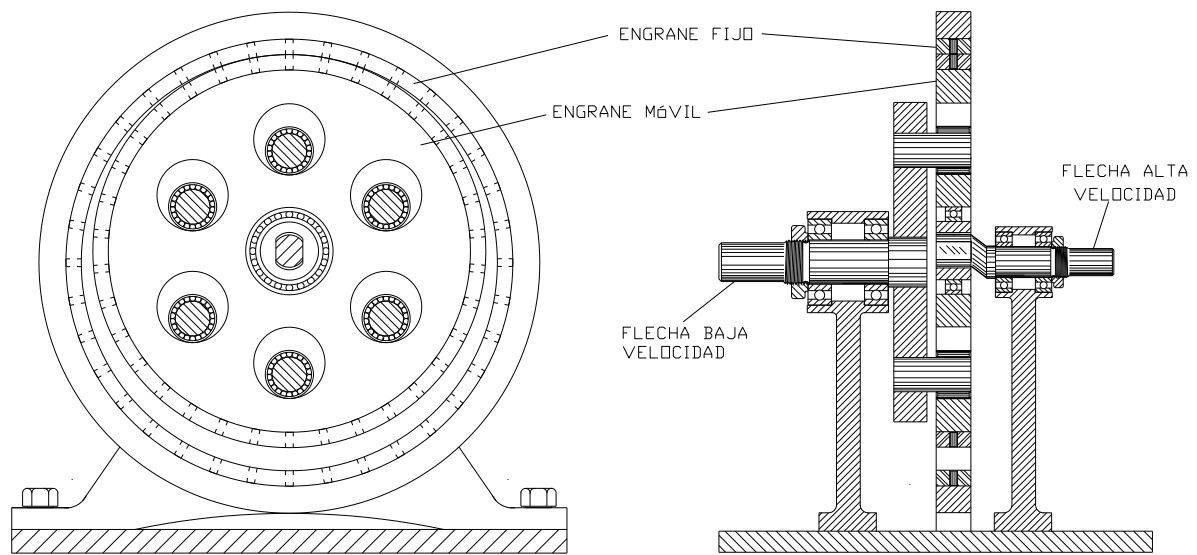


Figura 3. Primer reductor de velocidad cicloidal de engranes magnéticos del Instituto de Ingeniería.  
Sección transversal del lado izquierdo y sección longitudinal del lado derecho

En la figura 3 se muestran una sección transversal y una sección longitudinal del primer prototipo construido.

En los reductores de engranes magnéticos reportados en la literatura, la transmisión de fuerzas ocurre a través de pequeños claros entre dichos engranes, sin que exista contacto entre ellos. Contrastando con esta característica, en los reductores del Instituto de Ingeniería, existe contacto rodante de la superficie externa del engrane móvil y la interna del engrane fijo, debido a que el primero está libre para desplazarse radialmente bajo la acción del campo magnético y la fuerza centrífuga, hasta hacer contacto y presionar contra el engrane fijo. Para que pueda haber rodadura entre ambos engranes, los imanes de éstos deben penetrar totalmente en sus alojamientos sin sobresalir de las superficies de contacto entre engranes. Lo anterior presenta las siguientes ventajas: 1) se incrementa la capacidad de transmisión de par, pues se transmite además de una fuerza magnética, una fuerza de fricción entre los engranes gracias a la fuerza normal de contacto; 2) se elimina la carga radial en el rodamiento donde va montado el engrane móvil; 3) se elimina la necesidad de controlar cuidadosamente la separación entre los imanes de ambos engranes.

Debido al movimiento orbital del engrane móvil, se genera una fuerza de desbalance, lo cual constituye una desventaja del mecanismo cicloidal. En el primer reductor del Instituto de Ingeniería, se elimina este desbalance mediante un contrapeso. La figura 4 es una fotografía de dicho reductor. En otro prototipo, de tipo ligero, mostrado en la figura 5, las cubiertas y la base se fabricaron por impresión 3D en plástico ABS. El desbalance en ese reductor se elimina mediante un sistema, protegido por una patente pendiente, basado en un elemento excéntrico rodante.

En una nueva fase del proyecto, se trabaja en engranes magnéticos que requieren de sólo un imán. En ellos, hay dos discos dentados idénticos de un material de alta permeabilidad magnética estando el imán, que es de forma anular, entre ambos y concéntrico con ambos. El eje magnético del imán está orientado axialmente, de manera que sus caras planas corresponden a los polos Norte y Sur. En vez de un imán anular, se pueden tener varios imanes pequeños igualmente magnetizados axialmente y distribuidos en la periferia. La transmisión de movimiento y potencia entre dos engranes tales es posible porque el campo magnético que los enlaza obliga a que estén alineados los dientes de uno y otro. Para la protección de este concepto, se ha preparado una solicitud de patente al Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial y otra al US Patent Office. Actualmente se diseña una transmisión planetaria con engranes de este tipo. |



Figura 4. Reductor de velocidad de engranes magnéticos de IUNAM. Primer prototipo

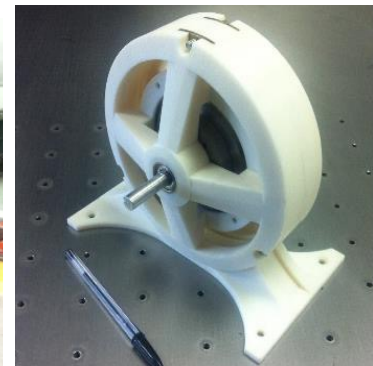


Figura 5. Reductor de velocidad ligero de engranes magnéticos del IUNAM

## REDUCTOR DE VELOCIDAD DE GRAN CAPACIDAD DE CARGA, GRAN REDUCCIÓN Y ELEVADA EFICIENCIA

ENRIQUE CHICUREL, FILIBERTO GUTIÉRREZ, ALFREDO CORONA, LUIS GONZÁLEZ Y CARLOS SOLÍS

Los reductores de velocidad se usan en prácticamente todas las máquinas industriales porque funcionan a baja velocidad, movidas por motores de alta velocidad, en su gran mayoría eléctricos.

Nuestro reductor tiene las siguientes ventajas: gran capacidad de carga, gran resistencia al desgaste, gran razón de reducción y alta eficiencia, es decir, que es ahorrador de energía.

Se puede considerar como una variante de un reductor de sinfín y corona, pero a diferencia de éste, en lugar de la corona, se tiene una cadena roscada, es decir, con eslabones roscados semejantes a una tuerca. En lugar del tornillo sinfín se tiene un tornillo impulsor que puede ser un tornillo de rodillos o un tornillo de bolas. El tornillo de rodillos se usa casi exclusivamente en actuadores mecánicos y es mucho más eficiente que un sinfín. El tornillo de bolas es menos eficiente que el tornillo de rodillos pero todavía más eficiente que un sinfín. También estamos desarrollando otra variante con tornillo convencional de traslación, que para ángulos de avance grandes tiene una eficiencia comparable con la del sinfín, y que, además, tiene la ventaja de ser mucho menos costoso que los tornillos de rodillos y de bolas. Nuestro reductor tiene una capacidad de carga bastante mayor que un reductor de sinfín y corona, para iguales diámetros de las ruedas dentadas (catarinas) del primero y de la corona del segundo, porque el tornillo impulsa a la cadena en un tramo

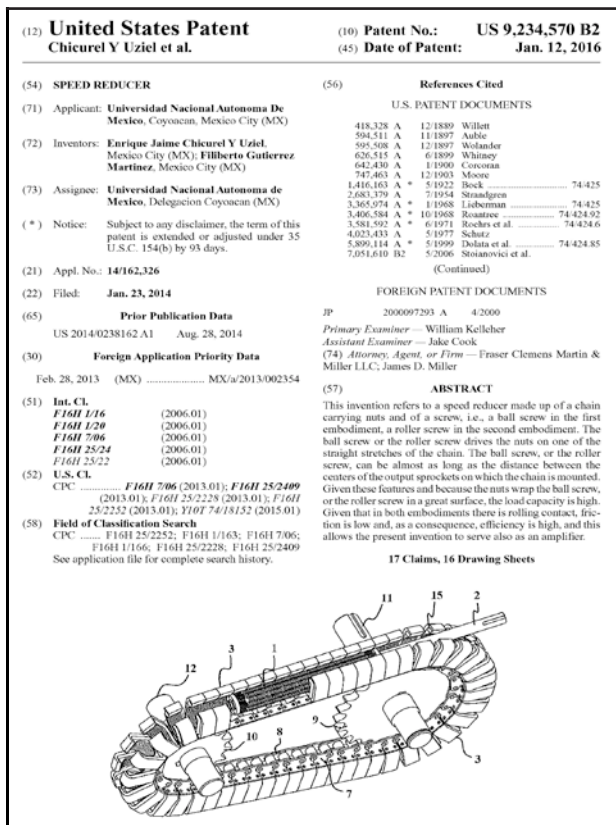


Figura 1. Patente estadounidense de la primera versión del reductor de velocidad

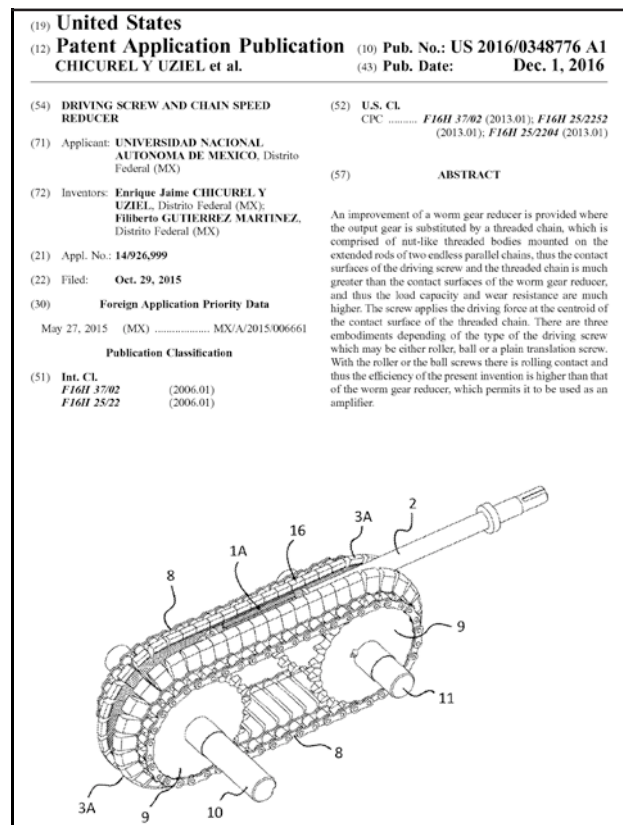
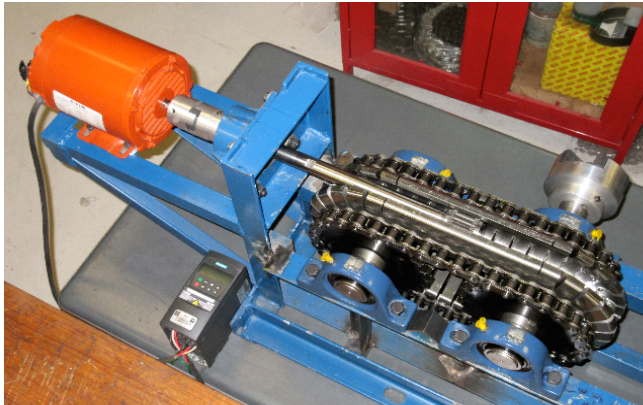


Figura 2. Solicitud de patente estadounidense de la segunda versión del reductor de velocidad

recto de la misma, por lo que involucra a varios cuerpos roscados simultáneamente distribuyendo así la carga entre los mismos. La razón de reducción puede ser mucho mayor que la del reductor de sinfín y corona, del orden de 200 a 1, en una sola etapa, porque hay la posibilidad de utilizar un tornillo de rodillos, disponible comercialmente, con el paso requerido.

En la actualidad estamos desarrollando una metodología de diseño racional, es decir, de suerte que todas las piezas susceptibles de fallar, fallen al mismo tiempo. Así mismo, estamos diseñando las pruebas dinámicas. Como no tenemos un dinamómetro de suficiente capacidad, estamos trabajando en un malacate que levante una carga para hacer las veces de dinamómetro. Cuando emprendimos este proyecto teníamos



una gran duda referente a su funcionamiento cinemático, por lo que nuestro primer prototipo se proporcionó dimensionalmente con el objeto de determinar si su realización, mediante maquinado con control numérico, sería lo suficientemente precisa para este propósito. Quedamos muy sorprendidos porque el funcionamiento cinemático fue, por demás, satisfactorio hasta una velocidad de 350 rpm.

Para acelerar la realización del prototipo omitimos el diseño de una carcasa, que ahora estamos llevando a cabo.

Actualmente trabajamos en una segunda versión de nuestro reductor, porque en la primera versión se tiene una sola cadena de rodillos con aditamentos semejantes a "orejas", y el centroide de la superficie roscada de los eslabones está

Figura 3. Primer prototipo de la segunda versión del reductor, con tornillo de rodillos, motor de  $\frac{3}{4}$  HP y reducción de 46 a 1. Para nuestro propósito, el tornillo de rodillos debe tener una longitud igual a la longitud del tramo recto de la cadena. Pero es mucho más corto porque tiene las proporciones requeridas para un actuador mecánico y es lo único que pudimos conseguir comercialmente

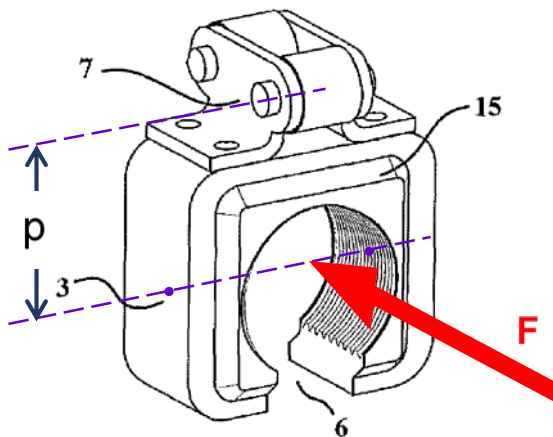


Figura 4. En la primera versión de nuestro reductor, la fuerza  $F$  del tornillo impulsor sobre los cuerpos roscados tiene un brazo palanca  $p$ , por lo que se tiene un momento de volteo  $M=Fp$  respecto a los pernos de la cadena, que es potencialmente atrancador

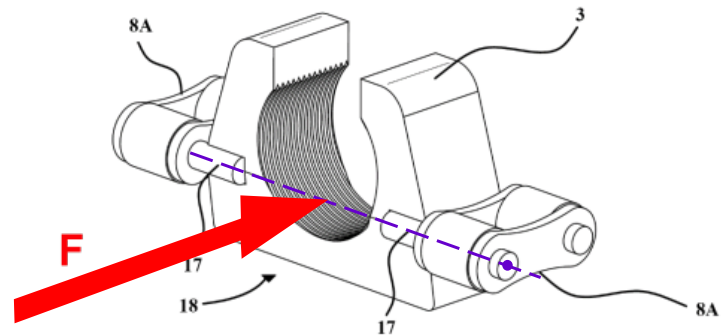


Figura 5. En la segunda versión de nuestro reductor, la fuerza  $F$  del tornillo impulsor coincide con el plano determinado por las líneas de centro de los pernos extendidos de la cadena, por lo que no hay un momento de volteo que pudiera ocasionar un atrancamiento



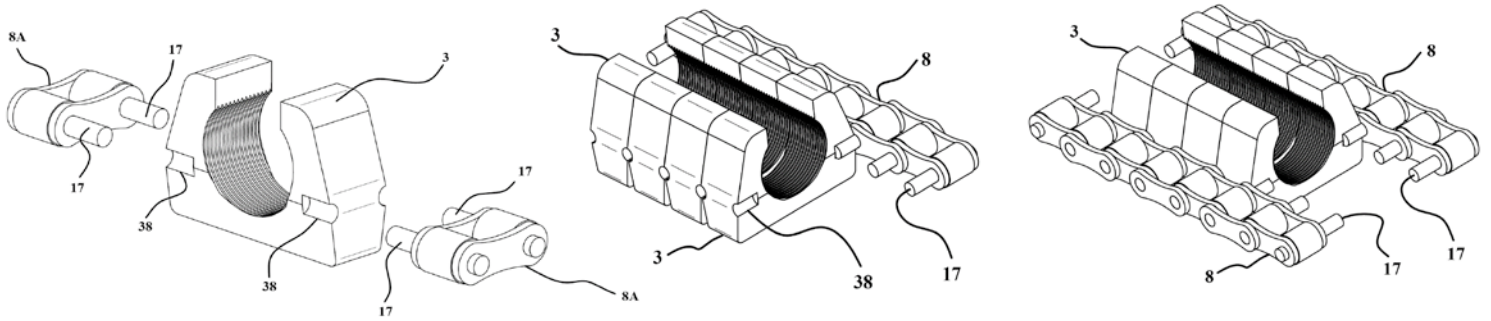


Figura 6. Se muestran detalles del ensamble de la cadena roscada

distante de los pernos de la cadena de rodillos, por lo que hay un momento de volteo que tiende a atrancar los cuerpos roscados contra el tornillo (Fig. 4). Además, la cadena de rodillos comercial tiene las orejas demasiado disparejas para nuestro propósito. En la segunda versión se superan estos problemas, (Figs. 2, 3, 5-10).

Hace algún tiempo solicitamos patentes tanto en México como en E.U. de la primera versión y ya obtuvimos la patente US 9 234 570 (Fig. 1) pero no la de México, solicitud MX/a/2013/002354. Ahora estamos involucrados en las solicitudes de patente de nuestra segunda versión, MX/a/2015/006661 y US 14/926,999 (Fig. 2), así como en la defensa de las mismas. La referente a E.U. es particularmente laboriosa y tortuosa.

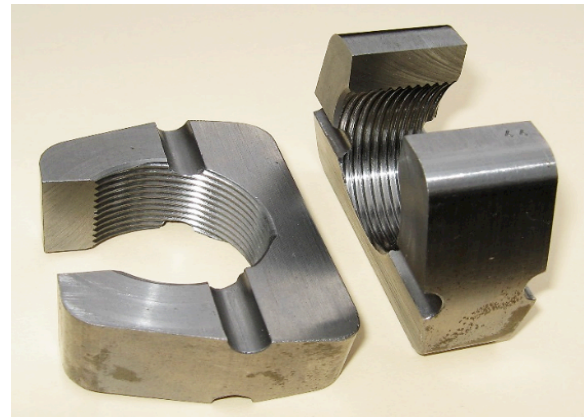


Figura 7. Cuerpos roscados. Las depresiones semicilíndricas son los alojamientos de los pernos extendidos de dos cadenas de rodillos; sus ejes están en el plano horizontal que contiene al centroide de la superficie cilíndrica, interna roscada

### Cadena de rodillos

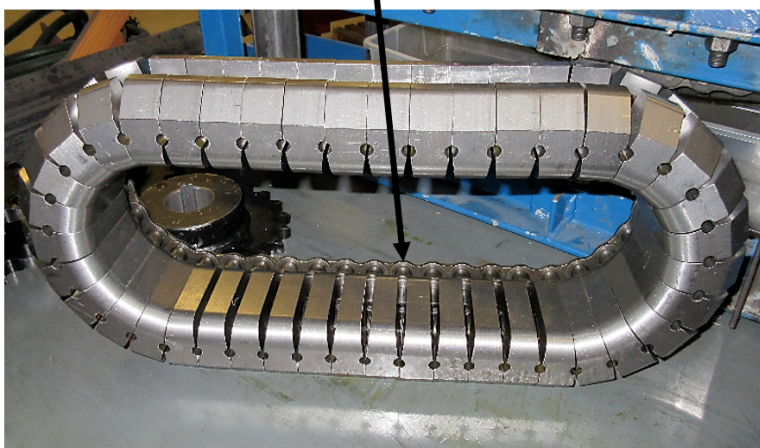


Figura 8. La cadena roscada, armada sobre una sola cadena de rodillos con pernos extendidos, dispuesta para recibir la segunda cadena en el primer plano de la foto



Figura 9. Tornillo de traslación convencional montado en el segundo prototipo de la segunda versión del reductor

Deseamos expresar nuestra gratitud al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) por el apoyo recibido en los proyectos: IT106411, IT100714 e IT101217.

Además, se agradece a la Coordinación de Innovación y Desarrollo (CID) por el apoyo con relación a las patentes. |

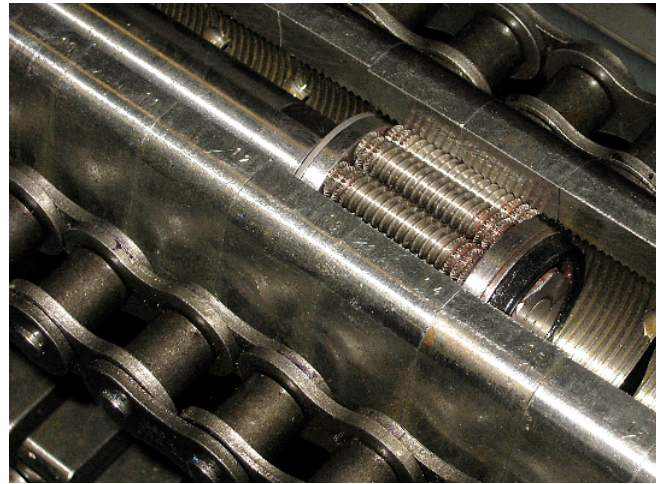


Figura 10. Tornillo de rodillos montado en el primer prototipo de la segunda versión del reductor. Para nuestro propósito, el tornillo de rodillos debe tener una longitud igual a la longitud del tramo recto de la cadena pero más corto porque tiene las proporciones requeridas para un actuador mecánico y es lo único que pudimos conseguir comercialmente

## LABORATORIO DE PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS, CAVITACIÓN APLICADA

MARGARITA NAVARRETE MONTESINOS

Presentamos los avances del proyecto Cavitación aplicada desarrollado en el Laboratorio de Pruebas no Destructivas.

Cuando la presión de un flujo confinado decrece hasta llegar a un valor inferior a la presión de su vapor, la cavitación aparece. Estas discontinuidades llenas de vapor y gas se presentan como burbujas, y luego como conglomerados formando superficies, nubes, vórtices, etc. Su apariencia y estructura dependen de las características hidrodinámicas de dicho flujo y de la geometría que lo conduce. En la mayoría de los casos, la cavitación tiene un efecto negativo, el fenómeno es responsable de problemas como la erosión, ruido

y vibraciones, los cuales conllevan a un mal funcionamiento de las turbomáquinas y dispositivos hidráulicos. Por otra parte, en algunos casos particulares tiene un efecto positivo, por ejemplo, se logra reducir el arrastre, como en el caso de los vehículos submarinos, aumentando la eficiencia de las reacciones químicas para procesos de limpieza o preparación de nanopartículas, entre otras cosas. Para aplicaciones industriales, la cavitación ofrece un inmenso potencial para la intensificación de procesos físico-químicos de manera eficiente utilizando reactores. Cuando la cavitación se produce en un reactor, genera condiciones de temperaturas y presiones altas a nivel local (~100 atmósferas y 5000 K), genera turbulencia local y micro-circulación, aumenta los procesos de transporte, además, elimina resistencia en la transferencia de masa en sistemas heterogéneos pero manteniendo las condiciones macroscópicas generales del fluido casi sin cambios. Basados en el grado de intensidad (número de cavitación) se clasifica en transitoria o estable. Según la forma como se genere la cavitación se clasifica como: acústica, hidrodinámica, óptica, y de partículas. A la fecha, solamente se ha probado que la cavitación

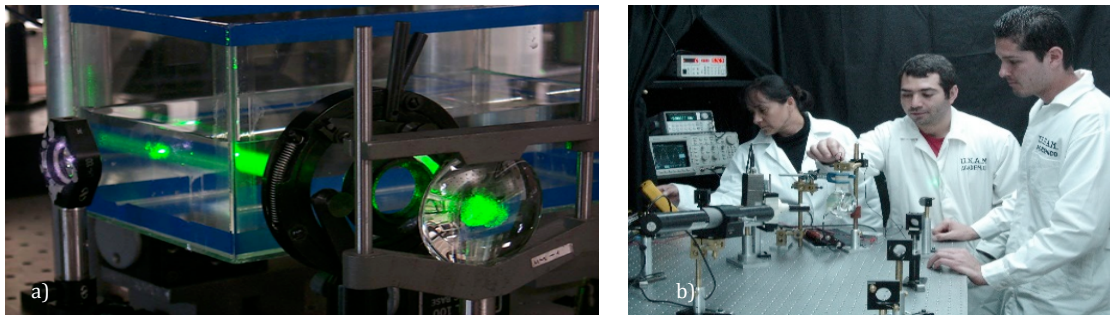


Figura 1. a) Cavitación por pulso láser, b) Sonoluminiscencia de una sola burbuja

acústica e hidrodinámica presentan alta eficiencia para producir cambios químico-físicos en los procesos industriales. Sus áreas de aplicación abarcan: interrupción celular microbiana; desinfección de microorganismos; intensificación del tratamiento biológico de aguas residuales (mejoramiento de la biodegradabilidad, digestión anaeróbica, lodos activados, deshidratación de biosólidos, etc.); cristalización; síntesis de biodiesel; emulsificación, extracción, etc.

En el Laboratorio de Pruebas no Destructivas empezamos a estudiar el fenómeno de la cavitación desde 2006 con apoyo de proyectos PAPIIT-UNAM, II-Internos e II-FI. El primero denominado “1. Estudios experimentales de la sonoluminiscencia y su análisis teórico por cuantización dinámica” (2006-2008); bajo este proyecto se estudió tanto teórica como experimentalmente la dinámica de una sola burbuja luminiscente usando campos ultrasónicos; luego en el proyecto “2. Aplicaciones de la luminiscencia acuosa por cavitación hidrodinámica en la

fotocatálisis: limpieza y desinfección de agua” (2009-2011), se diseñó, construyó, instrumentó y se probó un circuito hidráulico donde se emula la cavitación hidrodinámica usando un tubo Venturi. En el proyecto “3. Rompimiento de hidrocarburos de alta viscosidad inducidos por cavitación hidrodinámica rotatoria” (2012-2014), se rediseñó y adecuó al circuito hidráulico y al impulsor de la bomba para intensificar el proceso cavitante, para así alcanzar el rompimiento de enlaces secundarios y primarios de moléculas de bajo peso molecular. Con el proyecto “4. Dinámica de cápsulas esféricas de material hiperelástico inmersas en un líquido viscoelástico, sometidas a un campo de presiones ultrasónico: estudios experimentales y desarrollo del modelo teórico” (2014-2015), por primera vez estudiamos las burbujas con “cáscara” polimérica bajo campo ultrasónico. Entre 2014 y 2015 empezamos a estudiar la cavitación usando pulsos láser bajo el proyecto “5. Estudio de las ondas acústicas generadas por un pulso láser en bancos

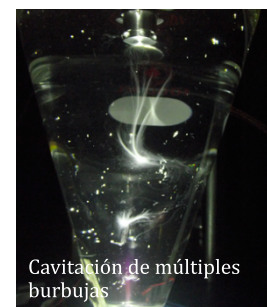
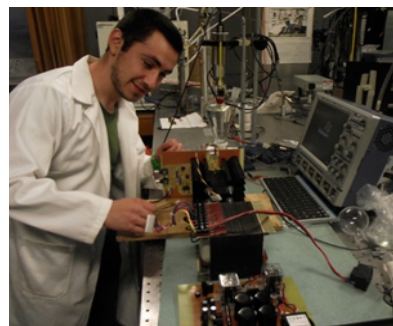
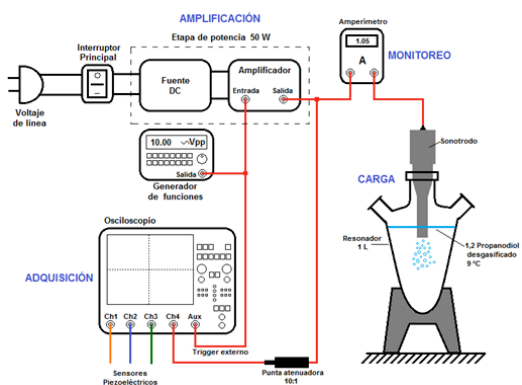


Figura 2. Aparato para el estudio de muchas burbujas usando campos acústicos en reactor cónico

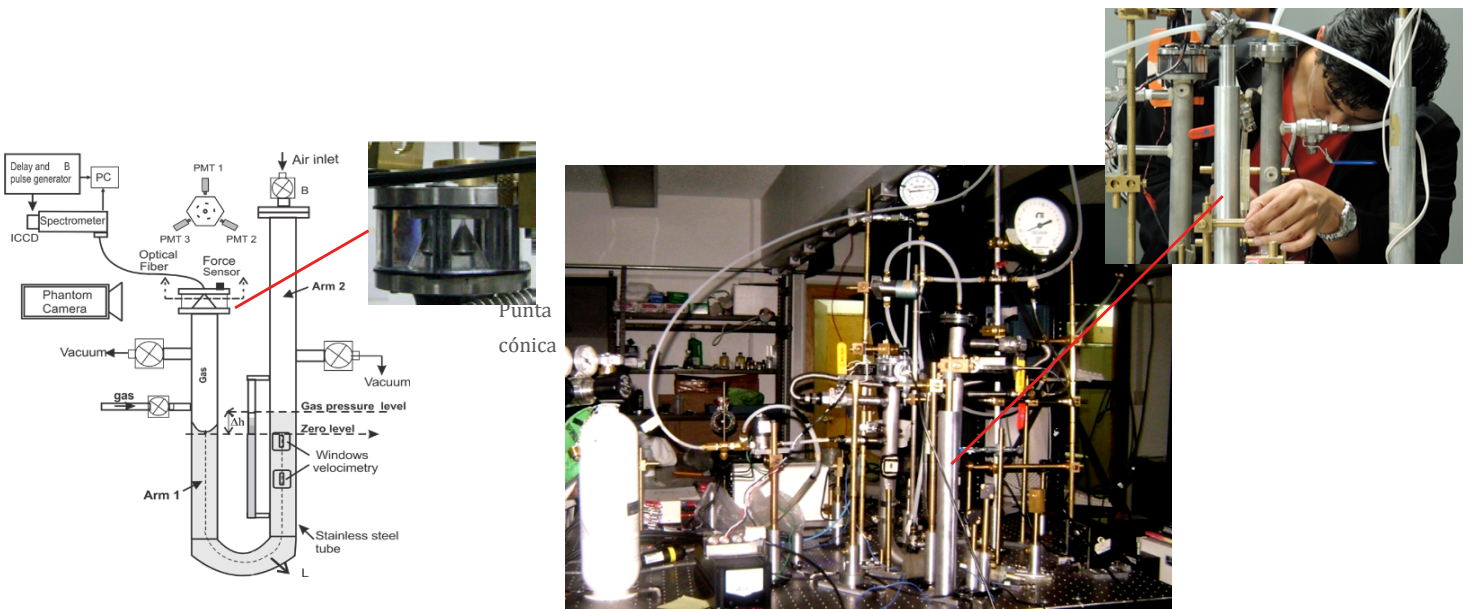
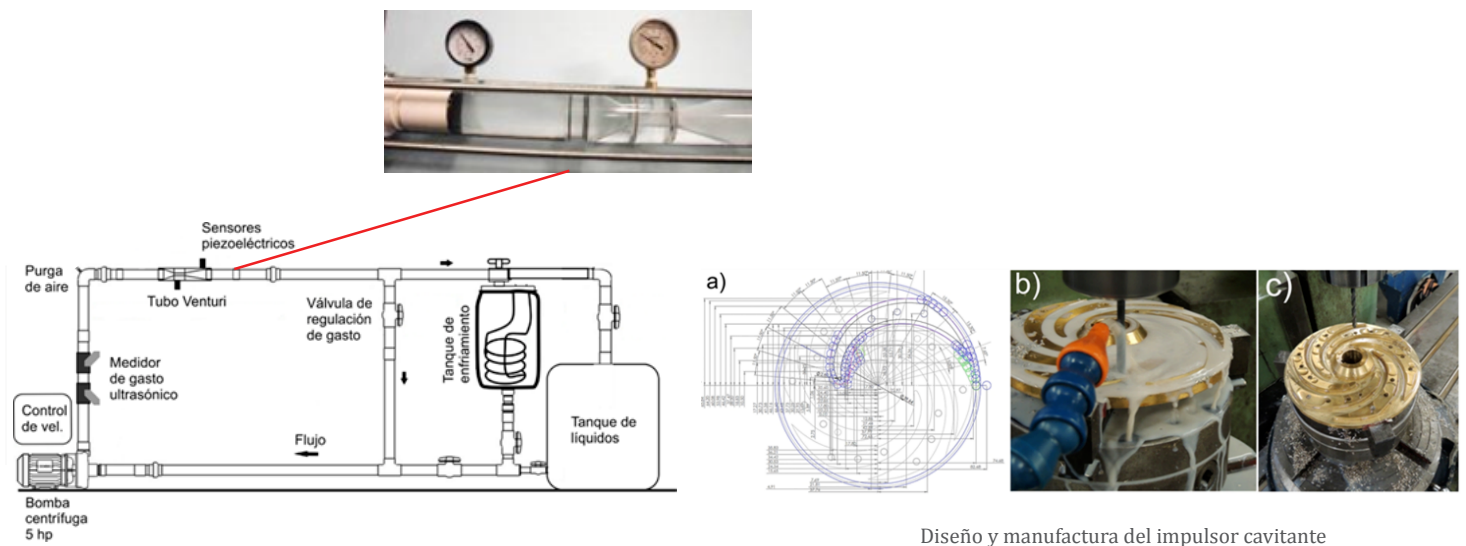


Figura 3. Aparato para el estudio del colapso de una burbuja cónica



Diseño y manufactura del impulsor cavitante

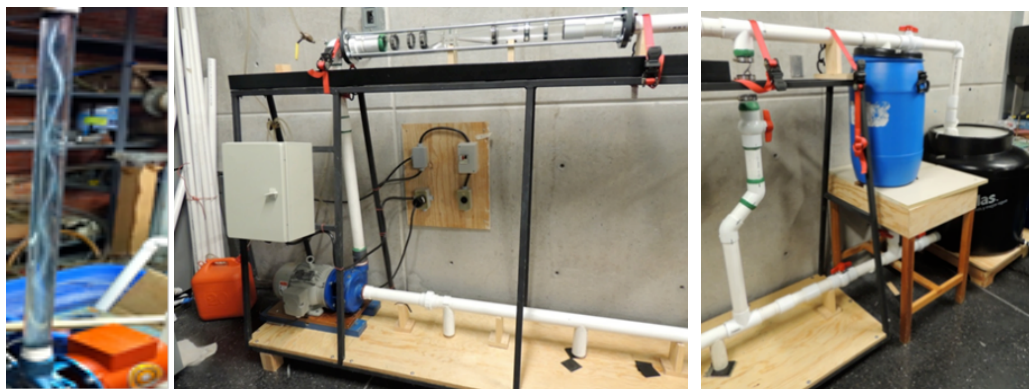


Figura 4. Circuito hidráulico para el estudio de la cavitación hidrodinámica

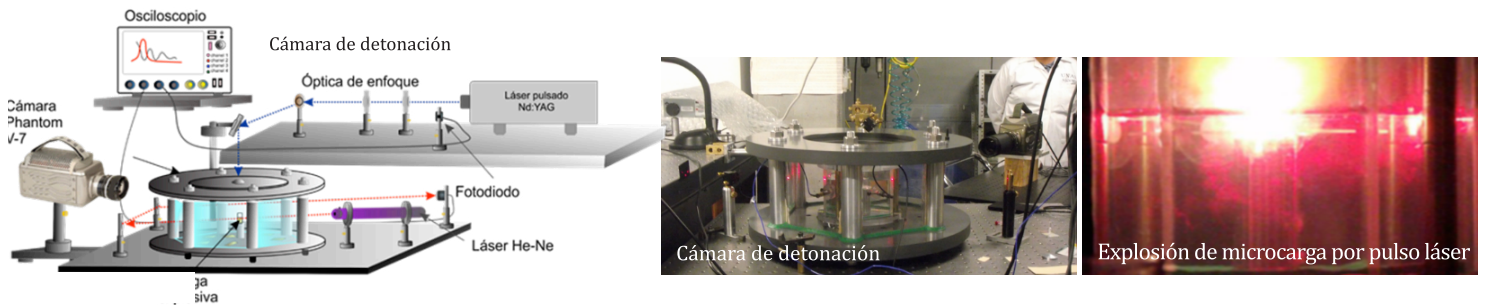


Figura 5. Cámara de detonación para el estudio de microcargas explosivas detonadas por pulso láser

de burbujas, refracción y reflexión en la acumulación de energía”. Aquí nos dimos cuenta que el proceso cavitante mediante pulsos láser es realmente deficiente debido a que la onda de choque no rebasa números de Mach cercanos a 1. Lo anterior, nos envió en la ruta para considerar que, para generar ondas de choque con números de Mach superiores a 1 tendríamos que utilizar explosivos. Así se abrió el proyecto “6. Estudios de los fenómenos físicos y químicos involucrados en la emisión de frentes de choque” (2015-2016); y para darle otra oportunidad a la cavitación óptica aplicamos el proyecto “7. Cavitación óptica utilizando vórtices de luz” (2017). Terminamos nuestro recorrido en el estudio de la cavitación con el proyecto “8. Erosión por cavitación óptica, ultrasónica e hidrodinámica” (2017-2018) que actualmente desarrollamos para determinar ventajas y desventajas que cada una nos da y determinar en su justa perspectiva sus aplicaciones potenciales y daños.

No alcanzaríamos a describir los logros tanto experimentales como teóricos en el estudio de la cavitación, pero sí podemos decirles que nuestra producción abarca: ocho artículos en revista indexada; doce artículos en *proceedings*, tres artículos en congresos; veinte presentaciones en congresos y, una patente en trámite.

Artículos más importantes: Revista Mexicana de Física S 55(1) (2009) 85-89, Journal of Physics: Conference series, 274 (2011) 012095, 18 pp., Physical Review E 84, 016312(10) (2011) Ultrasonics Sonochemistry, 19 (2012), 668-681, Journal of Applied Mathematics 2012 (2012)591058 20 pp., Revista Mexicana de Física S, 59(1) (2013)77-83, Research Communications, 60 (2014) 15-20, International Journal of Multiphase Flow 76 (2015) 86-100.

Tesis de licenciatura desarrolladas: 7 (11 estudiantes titulados a nivel licenciatura), cuatro tesis de maestría y una en desarrollo (cuatro estudiantes titulados en maestría), dos de doctorado en desarrollo. |

## ENERGÍA SOLAR EN MÉXICO

RAFAEL ALMANZA SALGADO

Hace poco más de 40 años, en México, el estudio del recurso solar era un tema nuevo que motivaba la curiosidad de investigadores; sin embargo, fuimos pocos quienes iniciamos y aportamos hacia una investigación científica en este tema con la seriedad, rigurosidad y formalidad que el Instituto de Ingeniería exige. Fue así como inició la Planta Solar, ubicada en una de las reservas ecológicas de la UNAM, donde se albergó, en un terreno a campo abierto, a un grupo de investigación pionero en

el diseño, construcción y puesta en marcha de concentradores solares tipo cilindro parabólico para la conversión de energía térmica a eléctrica. Tiempo después se abrió el laboratorio de óptica solar donde se iniciaron estudios de materiales, superficies reflejantes y películas en vidrio de forma pionera en México y en Iberoamérica. También en este grupo se obtuvieron los primeros mapas de radiación solar de la República Mexicana.

Desde su origen a principios de 1975, el Grupo de Energía Solar ha impulsado la creación de líneas de investigación en las que el uso del recurso solar se encuentra involucrado en nuevos desarrollos tecnológicos para un amplio espectro de aplicaciones. Algunos de los temas y líneas de investigación abordados desde que se inició la investigación en energía solar en el Instituto de Ingeniería son:

1) Evaluación de la irradiación global en la República Mexicana, 2) Películas selectivas, 3) Generación de energía mecánica y eléctrica por procesos fototérmicos, 4) Concentradores solares, 5) Estanques solares, 6) Espejos solares, 7) Fisicoquímica de arcillas, 8) Aplicación de la energía solar en comunidades rurales, 9) Tubos evacuados para absorbedores solares, 10) Plantas termosolares de canal parabólico, 11) Filtros solares, 12) Generación directa de vapor en sistemas híbridos solar-geotermia, 13) Propiedades térmicas de materiales de construcción, 14) Desintoxicación de agua con fotorreactores con películas de  $\text{TiO}_2$ , 15) Irradiación ultravioleta en la República Mexicana, 16) Sistemas híbridos fototérmica-fotoquímica, y 17) Cámara de envejecimiento para paneles fotovoltaicos y otros materiales.

Dentro de los desarrollos tecnológicos más sobresalientes se pueden mencionar los siguientes: películas selectivas sobre sustratos de Cu, Fe y Al con propiedades ópticas, concentradores solares tipo canal parabólico, desarrollo de bomba solar de 1 kW, colectores solares planos para el calentamiento de agua y uso posterior en baños rurales y digestores, desarrollo de la Planta Solar de 10 kW para generación directa de vapor en concentradores tipo canal parabólico (16 módulos de concentradores solares de 14.5 m de longitud y apertura de la parábola de 2.5 m), digestores de metano de 15 y 40  $\text{m}^3$ , espejos solares de primera superficie, desarrollo de impermeabilizantes con base en arcillas para estanques solares, filtros solares ( $\text{Cu}_2\text{O}+\text{CuS}$  y  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  tipo pasivo y de  $\text{VO}_2$  tipo activo), tubo absorbedor bimetálico Fe-Cu para la generación directa de vapor con esfuerzos térmicos reducidos, suelos arcillosos impermeabilizantes mejorados, fotocatalisis con películas de  $\text{TiO}_2$ , fotorreactores CPC con  $\text{TiO}_2$ , radiación ultravioleta, sustentabilidad energética con energía solar y cámara de envejecimiento con lámparas ultravioleta para una evaluación correspondiente a 25 años de irradiación.

No ha sido menor el esfuerzo que lo anterior supone. Quien tiene experiencia en el trabajo de investigación con dispositivos solares reconocerá inmediatamente que la labor en su puesta en marcha, control y mantenimiento, requiere de una ardua tarea de planeación y coordinación, así como de patrocinios y apoyos económicos que mantengan dichas instalaciones en condiciones para su correcto uso. Esta energía renovable se sitúa como una de las de mayor relevancia en nuestro país debido a la cantidad anual recibida, así como por el abanico de posibilidades en su aplicación.

A continuación se explican algunos de los proyectos que están adelantados en su estudio, desarrollo, puesta en marcha y aplicación.

### **Mapas de radiación solar usando imágenes de satélites y cámara de envejecimiento por radiación UV**

Lourdes Angélica Quiñones Juárez

El primer objetivo de este proyecto fue desarrollar un modelo para determinar la cantidad de radiación UV que incide sobre la República Mexicana tomando como base datos de radiación global, albedo (cantidad de radiación reflejada debido al tipo de suelo), altitud e índice de claridad (disposición de las nubes alrededor del círculo solar). Gracias a los resultados de la aplicación de dicho modelo podemos determinar el tiempo máximo que un mexicano se puede exponer a la Radiación Solar para que su salud no sufra algún daño.

Posteriormente se diseñó e implementó una Cámara de Envejecimiento por Radiación UV (simulador de Radiación Ultravioleta), en la cual se evaluó el comportamiento de los Sistemas Fotovoltaicos simulando la cantidad de radiación UV que recibirán en los próximos veinticinco años, lo que permitió conocer cómo será su eficiencia y nivel de deterioro después de este periodo.





## Fotoquímica solar

Fabiola Méndez Arriaga

La Fotoquímica, es el área que estudia las reacciones químicas de la materia al interactuar con la luz y es una de las sub-disciplinas de la química moderna. Tratándose de la fotoquímica solar, estas reacciones se desarrollan según el efecto de la radiación electromagnética que emite el sol, principalmente en su rango ultravioleta y visible (UV-Vis). Una tarea de especial interés dentro de la fotoquímica solar es el desarrollo de nuevos materiales. Esta área ha sido ampliamente abordada en nuestro grupo de investigación.

Si bien, los aspectos teóricos en los que se fundamenta y explica la fotoquímica solar han logrado avances sobresalientes a partir de conceptos desarrollados por Albert Einstein, no ha sido menor el desarrollo que se ha logrado alcanzar en la ingeniería de los aparatos, reactores y dispositivos donde se llevan a cabo dichas reacciones.

En una reacción fotoquímica se requiere que la energía lumínica sea absorbida por la o las sustancias químicas reactantes. Para que esto se dé, es necesario que el dispositivo contenga materiales de alta transmisividad como lo es el vidrio Pyrex. Otro punto importante es coleccionar y/o concentrar la mayor

cantidad de radiación en el medio de reacción, lo cual se logra al emplear materiales de alta reflectividad como el aluminio de alta pureza en superficies con geometrías de foco lineal o puntual. Todos estos elementos son esenciales y cruciales en el diseño de los fotorreactores solares.

Otros de los materiales fundamentales en diversas reacciones fotoquímicas son los catalizadores semiconductores activados por el efecto de la radiación solar. Estos materiales, aceleran la velocidad de una reacción fotoquímica promoviendo a su vez especies reactivas de tiempo de vida corto y elevado potencial redox. En este sentido, nuestro grupo de investigación ha desarrollado estudios destacados para la obtención de materiales fotocatalíticos inmovilizados (en película fina sobre superficies sólidas con diferentes composiciones y geometrías o bien mediante manufactura por capas) para ser confinados en reactores tubulares de vidrio, los cuales permiten reducir el tiempo de reacción para aplicarlos por ejemplo a la eliminación y mineralización de compuestos contaminantes como los farmacéuticos y de cuidado personal que son de particular preocupación científica dado su reciente hallazgo en diversos entornos del medio ambiente.

Es así como en nuestro grupo de investigación nos hemos interesado en diseñar y construir reactores solares a nivel planta piloto logrando un substancial cúmulo de conocimientos,

experiencias y aportaciones en diversas áreas. Por ejemplo, hemos desarrollado un prototipo experimental para estudiar la absorción de fotones en un medio líquido actinométrico en tres colectores de forma paralela con geometría parabólica compuesta (CPC), variando la concentración del flujo radiante. También se han acondicionado concentradores de geometría cilíndrica-parabólica (CP), para analizar el efecto tanto de la absorción de la radiación UV-Vis, así como del rango infrarrojo (IR) del espectro solar, que en conjunto, logran mayor fotorreactividad en efluentes con alto contenido de compuestos orgánicos volátiles.

Otro desarrollo que se encuentra actualmente en marcha se refiere al horno solar y campo de helióstatos con el que pretendemos alcanzar temperaturas por encima de 300°C para lograr fundir y reciclar materiales de interés medio ambiental, como el PET o el aluminio, así como para analizar sus alcances en otras aplicaciones sustentables como la generación de energía eléctrica mediante motores Stirling o combustibles como el hidrógeno.

### **Acondicionamiento fotoquímico-fototérmico solar de agua para uso industrial**

Julio César Morales Mejía

En este proyecto (PAPIIT, vigente) se desarrolla y diseña un sistema combinado fotoquímico y fototérmico solar para conseguir

agua caliente y/o vapor de servicio a partir de agua municipal, a la que habrá que removérsele los remanentes de materia orgánica y de microorganismos mediante fotocatalisis heterogénea solar; esta agua tratada se utilizará en aguas de servicio y/o proceso del sector industrial o comercial.

Para obtener el agua caliente y/o vapor con el fin de eliminar los microorganismos y la materia orgánica utilizamos los concentradores solares del Instituto de Ingeniería, UNAM. Posteriormente, evaluaremos la eficiencia de remoción en la etapa fotoquímica y el desempeño de los colectores en la etapa fototérmica; dichas etapas se han llevado a cabo en colectores de canal parabólico con espejos de aluminio electropulido de 14 m de longitud y 2.5 m de ancho de apertura con los que hemos logrado calentar agua desde 15 hasta 60-70 °C, rango de temperaturas en el que las oxidaciones fotoquímicas suelen ser eficientes.

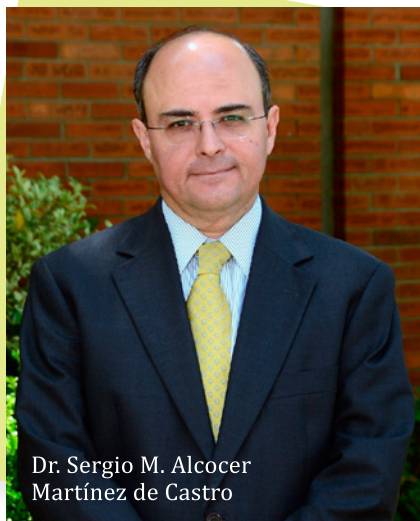
Con este proyecto se espera generar conocimiento y desarrollo de esta tecnología relacionados con el acoplamiento entre un sistema fotoquímico y uno fototérmico en serie, para aplicación industrial o comercial, ya sea para producir agua caliente y/o vapor con muy bajos contenidos de materia orgánica y de bacterias. También se formarán recursos humanos especializados en energía solar (licenciatura y maestría).

En el desarrollo de éstos y otros proyectos del área de energía solar, participan principalmente los maestros Lourdes Angélica Quiñones, Lauro Santiago y Filiberto Gutiérrez así como los doctores Fabiola Méndez y Julio César Morales. |

**REDES SOCIALES DEL IIUNAM**

-  <https://www.facebook.com/InstitutoIngenieriaUNAM>
-  <https://twitter.com/IIUNAM>
-  <https://www.youtube.com/user/IINGENUNAM>
-  <https://www.linkedin.com/company/instituto-de-ingenier-a-de-la-unam>
-  <https://www.instagram.com/iiunam>
-  <https://plus.google.com/102848256908461141106>





Dr. Sergio M. Alcocer  
Martínez de Castro

## DOCTORADO HONORIS CAUSA

Nos da mucho gusto felicitar al Dr. Sergio M. Alcocer Martínez de Castro, por ser acreedor al Doctorado Honoris Causa en Ciencias que otorga la Universidad de Arizona, como reconocimiento a su labor de promoción de asociación académica entre los Estados Unidos y México en materia de ciencia e ingeniería. El Dr. Alcocer es Investigador Titular de nuestro Instituto y exdirector del mismo.

¡Enhorabuena por esta distinción!

## PREMIO FUNDACIÓN UNAM-CFE DE ENERGÍA 2016

Héctor Miguel Aviña Jiménez, técnico académico del IIUNAM, recibió de manos del Sr. Rector Enrique Graue Wiechers el Premio Fundación UNAM-CFE de Energía 2016, que otorgan la UNAM y la CFE, por la investigación: Análisis del acoplamiento de sistemas de generación eléctrica y desalación de agua de mar, vía los flujos geotérmicos de rechazo del sistema PWG y del flujo de alimentación del sistema MED-LE empleando recursos geotérmicos de baja entalpía.

Con este tema, Héctor Aviña obtuvo el grado de Doctor bajo la dirección del Dr. Gabriel León de los Santos. El tema es interesante porque presenta un análisis de oportunidad para apoyar al suministro de agua potable por medio de la desalación y la generación de electricidad ocupando la energía geotérmica en la península de Baja California, México.

Este Premio está dirigido a estudiantes que realizan tesis de licenciatura y posgrado; el Rector estuvo acompañado en el presídium por el Director General de la CFE, Dr. Jaime F. Hernández Martínez, y por el Presidente de la Fundación UNAM, Lic. Dionisio A. Meade.

¡Enhorabuena!



Dr. Héctor M. Aviña Jiménez



## NUEVA EDICIÓN DEL LIBRO “EL SUBSUELO DE LA CIUDAD DE MÉXICO”

Al dar la bienvenida a la presentación del libro *El subsuelo de la Ciudad de México*, el Dr. Luis Álvarez Icaza, director del Instituto de Ingeniería, dijo que esta obra consta de tres volúmenes; los dos primeros son una reimpresión de la obra original, el tercero es nuevo y estuvo a cargo del Dr. Gabriel Auvinet con la colaboración de Edgar Méndez y Moisés Juárez, personal académico del laboratorio de Geoinformática.

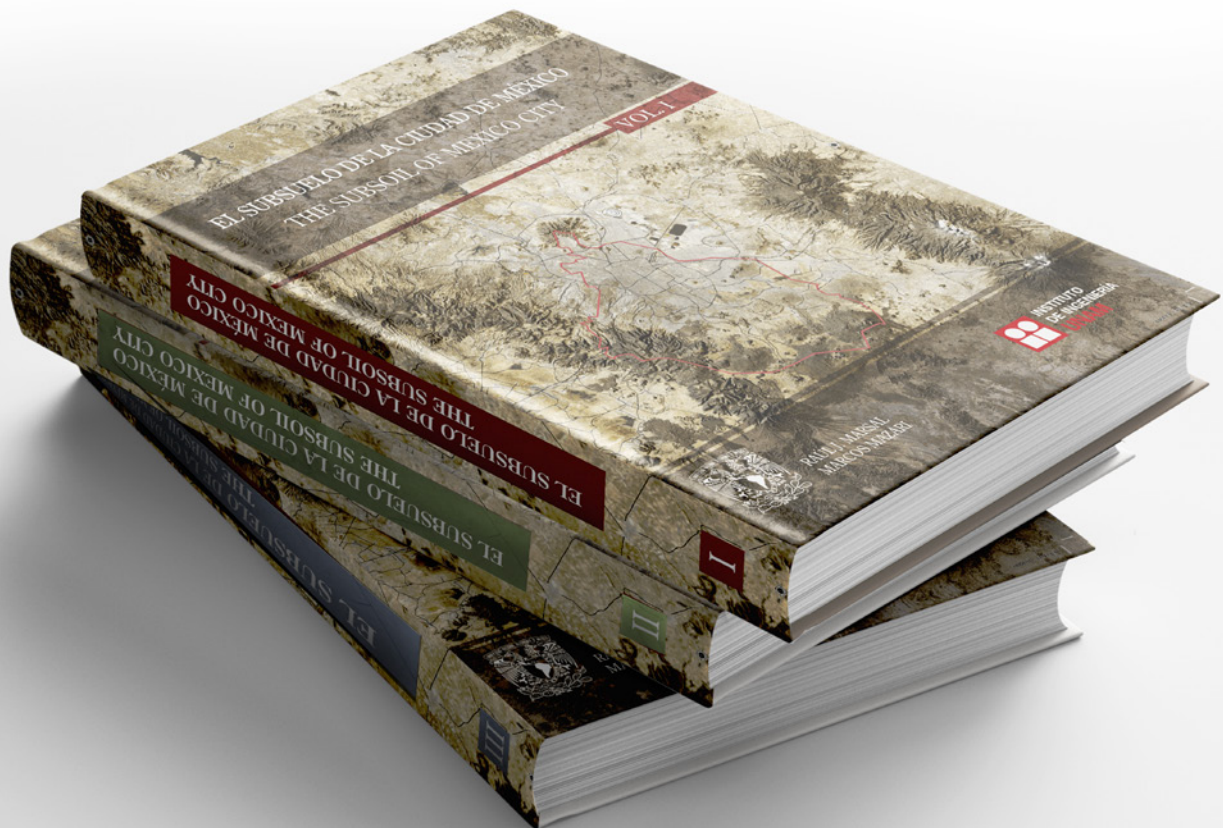
Para celebrar el 60 aniversario del IIUNAM –comentó el Dr. Álvarez Icaza– hemos hecho un esfuerzo para recuperar las obras más importantes producidas a lo largo de todos estos años. Con la reimpresión de este material hemos querido marcar, de manera significativa, nuestra historia. Este libro que se refiere a aspectos geotécnicos de la CDMX marca una de las líneas de investigación que han sido características y fundamentales en la historia del Instituto, hoy por hoy, es una de las disciplinas con las que se reconoce el prestigio de nuestra institución como profesionales de la ingeniería, en este sentido, es muy grato recuperar esta obra que se ha convertido en un clásico. Con

este acto estamos cerrando los festejos del 60 aniversario de nuestra dependencia –concluyó–.

Posteriormente, el Dr. Gabriel Auvinet hizo una pequeña reseña sobre los antecedentes del libro *El subsuelo de la Ciudad de México*. Afirmó que esta obra, publicada en inglés y español, se convirtió en el material más consultado para los expertos en geotecnia por lo que se agotaron los ejemplares. De ahí la decisión de realizar una tercera edición, enriquecida, en la que se mostrara un panorama de los avances en el conocimiento del subsuelo del valle de México, desde la publicación del libro de Marsal y Mazari en 1959 hasta la fecha.

El reto era enorme, pero fue superado de manera ejemplar, la información presentada corresponde a las investigaciones realizadas durante los últimos veinticinco años en el Laboratorio de Geoinformática del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. El libro refleja los avances en el diseño y construcción de las cimentaciones que han llevado a las nuevas Normas Técnicas para Diseño y Construcción de Cimentaciones.

La información resumida presentada en este tercer volumen, será suficiente para apreciar que, en poco más de medio siglo, la Ciudad de México se ha transformado drásticamente, y que la Mecánica de Suelos, ahora más comúnmente llamada Ingeniería Geotécnica, también ha cambiado.



Otro de los comentaristas en esta presentación fue el Ing. Guillermo Guerrero Villalobos quien dijo que “esta reunión trae a mi memoria a distinguidos ingenieros que desde la primera mitad del siglo pasado se percataron de las peculiaridades de los suelos de la Ciudad de México y de los problemas que representan. El hundimiento del valle de México ha provocado daños en edificaciones, vialidades, tuberías de agua potable y drenaje; sabemos que el origen de este hundimiento es la sobreexplotación del acuífero, dicha sobreexplotación debe ser reducida hasta llevar a niveles sustentables el balance hídrico en el valle de México y así dar solución a este problema”.

Es justo reconocer que destacados ingenieros entre los que se encuentra Marsal, Mazari y Daniel Reséndiz, todos ellos personal del IIUNAM, han aportado sus conocimientos y realizado una labor importante en la formación de especialistas en geotecnia y otros campos de la ingeniería. Finalmente se debe estimular la participación de jóvenes ingenieros en estos temas para dar continuidad a los trabajos que se han logrado hasta ahora.

Por su parte, el Ing. Juan Jacobo Schmitter, comenzó diciendo que esta tercera edición conmemorativa por los primeros 60 años del Instituto de Ingeniería contiene agradables sorpresas, una de ellas, es el tercer volumen elaborado magistralmente por Gabriel Auvinet, Edgar Méndez y Moisés Juárez, quienes realizaron una cuidadosa selección de temas geotécnicos que incluye extraordinarios planos en relieve sombreado; mostrando la configuración topográfica del terreno; el rescate de planos históricos; la clasificación geotécnica que incluye a todo el valle de México; la descripción de los rellenos denominados Tlateles que permiten explicar el peculiar comportamiento de algunos puntos singulares de la Ciudad; los canales y diques de Nezahualcóyotl e Iztapalapa; los agrietamientos, tanto por el secado superficial de la capa arcillosa, como por su cercanía a los puntos rígidos del valle; y la inexorable propagación del fenómeno del hundimiento regional, detonado por la sobreexplotación del agua del subsuelo, que ahora se ha extendido a zonas circunvecinas de la ciudad capital.

Los interesados en la geotecnia sabemos que las arcillas de la CDMX a la que me permito llamar “muy noble y leal arcilla de la Ciudad de México”, ha sido calificada como “difícil” en algunos escenarios y de “imposible” en otros, por ello, este tema es de gran relevancia para los ingenieros.

Para finalizar, el Dr. Daniel Reséndiz reiteró que los volúmenes originales, a pesar de la antigüedad de su edición,

siguen siendo usados cotidianamente por los profesionales relacionados con la Ingeniería. Esta nueva edición requería un tercer volumen que resultó muy valiosa por el cuidado y esmero que pusieron sus responsables, el Dr. Auvinet, así como nuestros colegas Edgar Méndez y Moisés Juárez.

Estas importantes contribuciones no se hubieran podido lograr sin la participación de grandes instituciones, principalmente Comisión Federal de Electricidad (CFE) y el grupo ICA, quienes han sido algunos de los patrocinadores de estas investigaciones que han dejado profunda huella en la ingeniería mexicana.

El Subsuelo de la Ciudad de México –continúo el Dr. Reséndiz– sigue siendo de gran utilidad no solamente para ingenieros, también para autoridades que tienen alguna responsabilidad en el funcionamiento de la Ciudad de México, para los inversionistas, para diseñadores, especialistas de distintos campos que participan en el diseño y construcción de las obras que se construyen en esta enorme ciudad, y para los operadores de la infraestructura que sufren cotidianamente las consecuencias del hundimiento de la Ciudad, y que no podrían tomar decisiones inteligentes sin conocer un poco el fondo del problema, es decir, el origen del hundimiento, sus causas, sus remedios y las propiedades del suelo en que se encuentra desplantada la Ciudad de México, la reedición de estos libros, agregará vida útil a esa publicación clásica original. |



# SENSORES DE FIBRA ÓPTICA Y EL MONITOREO ESTRUCTURAL

La Coordinación de Ingeniería Estructural organizó un seminario donde el maestro Gerardo Rodríguez Gutiérrez presentó el tema de su investigación doctoral: Los sensores de fibra óptica distribuidos: una alternativa de monitoreo en la ingeniería estructural. Comentó que este tipo de sensores sirven básicamente para obtener información referente a la deformación y la variación de la temperatura en una estructura. La medición con sensores de fibra óptica distribuidos se puede aplicar tanto en obras civiles ya construidas que estén en servicio, o bien en pruebas de laboratorio a nivel experimental.

En general -afirmó el maestro Rodríguez- me interesaron los sensores con fibra óptica, porque son de tamaño compacto, de fácil instalación, tienen la capacidad de trabajar a la velocidad de la luz, y transmiten la información sin interferencias electromagnéticas. En forma particular, un sensor distribuido como tal, es solamente un cable de la fibra óptica que en uno de sus extremos está conectado a un sistema de medición que capta un fenómeno óptico conocido como retro-dispersión y al final de este cable no hay ningún instrumento que reciba la información como tradicionalmente se acostumbra. Si este cable de fibra óptica se encuentra adherido en forma continua a la superficie de un sistema estructural que se deforma, el cable de fibra óptica sufrirá una deformación similar a dicho sistema, y es así como podemos conocer y estudiar la deformación que sufre una estructura que se encuentre en servicio, o sea, parte de un programa de pruebas de laboratorio.

La investigación sobre sensores de fibra óptica distribuidos, la realicé en la Universidad Politécnica de Catalunya en Barcelona. El IUNAM tuvo interés en este tema porque es novedoso, y es una posibilidad para ampliar las prácticas de monitoreo estructural que se realizan en el instituto.

Los sensores de fibra óptica distribuidos tiene varios beneficios, entre los que se encuentra la posibilidad de tener un monitoreo continuo que nos informa cómo se está comportando una obra civil determinada. Esta información nos puede servir para que en determinado momento, anticipemos algún fallo importante que pudiera tener una estructura, o bien, aumentemos su seguridad estructural. Estos problemas se estudian en un área de la ingeniería civil que actualmente se conoce

como Monitoreo de la Salud Estructural. El objetivo de estos estudios es anticiparse y prevenir sucesos que pueden costar vidas humanas y cuya reparación puede ser económicamente muy costosa.

Si bien es cierto que los sensores de fibra óptica distribuidos han requerido del desarrollo de una tecnología muy sofisticada para captar la información y por tanto su costo es alto, la instalación y operación es relativamente muy sencilla. Desde un punto de vista práctico, aunque su adquisición es costosa, puede ser rentable conforme el sistema basado en sensores de fibra óptica distribuidos se aplique en diversos casos de monitoreo de la salud estructural que se requiera llevar a cabo, y que pudieran resultar de mayor complejidad al realizarse con sensores tradicionales y de tipo discreto. Actualmente esta tecnología se aplica en el monitoreo de estructuras reales y estudios de laboratorio básicamente en Japón, Estados Unidos, Canadá, y varios países de Europa -concluyó-.

**INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM**  
SEMINARIOS DE LA COORDINACIÓN DE INGENIERÍA ESTRUCTURAL  
**LOS SENSORES DE FIBRA ÓPTICA DISTRIBUIDOS:**  
UNA ALTERNATIVA DE MONITOREO EN LA INGENIERÍA ESTRUCTURAL

**GERARDO RODRÍGUEZ GUTIÉRREZ**  
CANDIDATO A DOCTOR

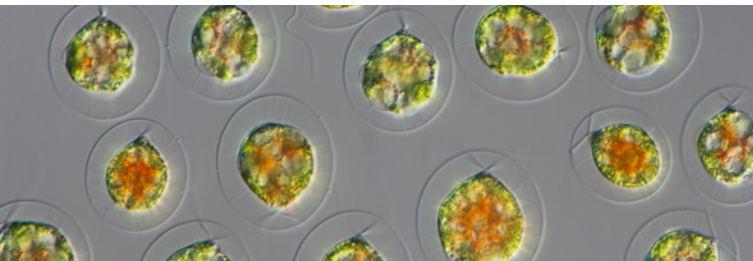
Actualmente dentro del campo del monitoreo estructural, el uso conjunto de sensores convencionales y algún tipo de sistema alternativo de medición es cada vez más frecuente y precisión es cada vez más frecuente y precisión es cada vez más frecuente. Una de las tecnologías recientes o de punta, que ofrecen la posibilidad de adquirir información que complementa, o sea difícil de obtener en procesos de monitoreo estructural con sensores convencionales, consiste en el uso de un sistema de medición en el que un cable de fibra óptica es el sensor y no solamente una vía para conducir información. Lo anterior, se traduce en el concepto de sensor de fibra óptica distribuido (SFOD) y en la posibilidad de medir en forma continua y en toda la longitud de un cable de fibra óptica, la variación de parámetros como la deformación y/o la temperatura en una estructura, en la cual, dicho SFOD se adhiere a su superficie. Esta presentación se centra en la descripción básica de los principios de funcionamiento de los SFOD y en algunas experiencias derivadas de su aplicación en la ingeniería estructural.

**Entrada Libre**

**23 de Mayo de 2017**  
**13:00hrs**  
Instituto de Ingeniería UNAM - Edificio 1  
Salón de Seminarios Emilio Rosenblueth

Informes: Dr. Fernando Peña Mondragón  
Correo electrónico: fpena@pumas.ingen.unam.mx

Sigue el evento en:  
<http://bit.ly/1J67Sr4>



## TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL UTILIZANDO MICROALGAS

La Dra. Ruth Gabriela Ulloa Mercado, investigadora del Instituto Tecnológico de Sonora, impartió una conferencia sobre Aislamiento y aplicación de microalgas en el tratamiento de aguas residuales y otras áreas, el pasado 16 de mayo en el Salón de Seminarios Emilio Rosenblueth del Instituto de Ingeniería. Durante su presentación expuso el caso de estudio aplicado en una granja porcina al Sur del estado de Sonora, indicó que la experimentación y los ensayos se llevaron a cabo en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Sonora. Elegimos a las microalgas de agua dulce para la remoción de contaminantes –comentó la Dra Ulloa– porque observamos que éstas se encuentran adaptadas a muy altas temperaturas (alrededor de los 42 °C) que son nativas de esta zona lo que las hace más efectivas. El agua residual a la que se le aplicó el tratamiento es la que se generó en la granja porcícola, la que a pesar de la alta carga de contaminantes es de baja salinidad, por tanto se utilizó una microalga de agua dulce logrando una remoción de alrededor de 80% de DQO por día. Comprobamos que este proceso comparado con otros sistemas de remoción tiene un gasto energético menor al de otros sistemas.

El agua tratada puede ser reutilizada en el riego agrícola en Sonora, donde se siembra principalmente trigo, maíz, cereales en general, productos que no son de consumo fresco por lo que el reúso del agua tratada está permitida, pues no tiene una remoción total de nutrientes lo que es favorable para estos cultivos.

La Dra. Ulloa tiene una colaboración con el Dr. Ulises Durán Hinojosa, investigador de la Coordinación de Ingeniería Ambiental del IIUNAM, para desarrollar bioprocesos ambientales de tratamiento de aguas residuales con tres cepas de microalgas aisladas del Sur de Sonora. |

## VISITA DE LA UNIVERSIDAD DE DELAWARE AL IIUNAM

El 29 de mayo académicos de la Universidad de Delaware visitaron el Instituto de Ingeniería de la UNAM para conocer las capacidades de investigación tanto de personal, como de equipo e infraestructura de las dos instituciones, así como para desarrollar y discutir ideas para establecer colaboración potencial y fijar los mecanismos de intercambio. La idea principal es establecer colaboración en actividades académicas organizadas de manera conjunta bajo la elaboración de un convenio entre ambas universidades.

A partir de 2014 el Laboratorio de Ingeniería y Procesos Costeros del IIUNAM y el Center for Applied Coastal Research de la Universidad de Delaware han trabajado de manera conjunta en el marco de un proyecto de Colaboración Institucional financiado por el Instituto de Ingeniería. La experiencia ha sido tan positiva que los motivó a organizar una reunión que permitiera extender la colaboración a otros temas en ingeniería como el oceánico, los riesgos y desastres, el transporte, las estructuras, la construcción y ciclo de vida, la geotecnia, y el ambiental. Investigadores de las dos instituciones presentaron cada uno de estos temas para identificar sinergías.

La firma de un convenio entre el Instituto de Ingeniería de la UNAM y el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de Delaware facilitará y fomentará el intercambio de estudios en varios temas de la Ingeniería –afirmó el Dr. Alec Torres, investigador del IIUNAM sede Sisal-. |



# DESARROLLO TECNOLÓGICO EN LA INDIA

## (3<sup>ra</sup> ECONOMÍA (PPP) MUNDIAL): CONTRASTES Y CONTRADICCIONES



PONENTE

**José Luis Herce-Vigil**

Profesor visitante del Departamento de Ingeniería Química  
de la Universidad Rovira i Virgili de Tarragona

Durante más de treinta años, el Dr. José Luis Herce-Vigil ha seguido de cerca los procesos de innovación y blindaje tecnológico de las empresas, primero como responsable de información industrial en la Organización de Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) en Viena (1986-1992), después como director adjunto y jefe de Servicios de Información de Propiedad Industrial (1992-2008) en Ginebra, y posteriormente como director del Programa de la Oficina de Singapur (2009-2011) de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI). Herce-Vigil ha conducido como experto en estos temas cursos, seminarios y conferencias en más de 110 países en seis idiomas.



Miércoles 30 de agosto de 2017, 12:00 hrs.

Salón de Seminarios Emilio Rosenblueth, Instituto de Ingeniería UNAM



UNIVERSITAT  
ROVIRA I VIRGILI



## MARCADORES DISCURSIVOS PARTE 2

Se presenta el complemento de los Marcadores Discursivos, recordando que estas partículas nos sirven para conectar y unir ideas en español. Su importancia radica en que son elementos básicos para tener un buen nivel del idioma tanto al escribir como al hablar.

**3.-Reformuladores:** se dice lo mismo, pero en otras palabras

**Explicativos:** introducen nuevos argumentos que afectan la información anterior

- sea, es decir, esto es, a saber, etc.

**De rectificación:** corrigen o modifican algunos datos de la información anterior

- mejor dicho, mejor aún, más bien, etc.

**De distanciamiento:** quitan importancia al argumento anterior

- en cualquier caso, en todo caso, de todos modos, etc.

**Recapitulativos:** introducen una conclusión o sirven de cierre

- en suma, en conclusión, en definitiva, en fin, al fin y al cabo, etc.

**4.-Operadores argumentativos: aportan más datos al texto, reforzando y concretando el tema principal**

**De refuerzo argumentativo:** aportan más argumentos y detalles al texto

- en realidad, en el fondo, de hecho, etc.

**De concreción:** sirven para dar ejemplos y concretar la información

- por ejemplo, en particular, etc.

**5.-Marcadores conversacionales: son los que aparecen con frecuencia en la conversación, se usan para matizar la información, llamar la atención, llenar pausas, expresar opiniones**

**De modalidad epistémica:** se usan para presentar un hecho como obvio

- claro, desde luego, por lo visto, etc.

**De modalidad deóntica:** reflejan actitudes del hablante relacionadas con la expresión de la voluntad)

- bueno, bien, vale, etc.

**Enfocadores de alteridad:** llaman la atención de nuestro interlocutor

- hombre, mira, oye, etc.

**Metadiscursivos conversacionales:** se usan para llenar pausas en una conversación

- bueno, eh, este, etc.

### Referencias

<http://lenguas.azc.uam.mx/investigacion/redaccionU/marcadores.pdf>

<http://redactarmeior.blogspot.mx/2012/01/los-marcadores-del-discurso.html>

<https://www.blogdelenguaje.com/marcadores-discursivos.html>

[http://cvc.cervantes.es/ensenanza/biblioteca\\_ele/diccio\\_ele/diccionario/marcadoresdiscurso.htm](http://cvc.cervantes.es/ensenanza/biblioteca_ele/diccio_ele/diccionario/marcadoresdiscurso.htm)

<https://www.profedelee.es/gramatica/marcadores-discursivos-conectores/>

[https://es.wikipedia.org/wiki/Marcadores\\_del\\_discurso](https://es.wikipedia.org/wiki/Marcadores_del_discurso)

<https://es.scribd.com/doc/63778977/Marcadores-Discursivos>

**UNAM  
Global**

**A un clic de  
la información**

**¡Consúltala!**

**Comunicación para la era digital.  
Noticias, innovación y vida cotidiana.  
De la Universidad y del mundo.**

<http://www.unamglobal.unam.mx>



# EL SUBSUELO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

## VOLÚMENES I, II Y III



PRECIO GENERAL

**\$ 1000**

TRES VOLÚMENES

**\$ 500**

CADA EJEMPLAR

PRECIO ESPECIAL  
PARA LA COMUNIDAD UNAM

**\$ 500**

TRES VOLÚMENES

**\$ 250**

CADA EJEMPLAR

**A LA VENTA EN LA UNIDAD DE PROMOCIÓN Y COMUNICACIÓN  
EDIFICIO 1 DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM**

Solicitar a **Guadalupe De Gante**

GDeGanteR@iingen.unam.mx/Tel. 56233615  
Horarios de 9:00 a 13:00 y de 17:00 a 19:00 hrs.