

Trabajos de revisión
apropiados para la
actualización docente

Chan K'iin: Las fuentes de las energías renovables

Rafael Sánchez-Dirzo*

Abstract (*Chan K'iin: Sources of Renewable Energies*)

Although marginal, technology development to make use of sun, wind and hydrodynamic energy is already considered as an option for modern societies to fulfill the energy requirements they need to develop.

This paper introduces some engineering processes for integral use of several renewable sources of energy which coupled to Rankine's power cycle generate electricity without polluting and increase its efficiency. This is possible due to the progress in hydrogen-based technologies.

This paper was entitled Chan K'iin—"Little Sun"—in honor to sage guides of the Mayan Bonampak city.

Reflexiones sobre la fuerza motriz del fuego (Carnot, 1824).

Desde hace siglos se sabe que a las máquinas hay que alimentarlas con hidrocarburos para que puedan funcionar. En otras palabras, se conoce que la energía motriz que producen se origina con el calor de la combustión.

El hombre conoce el fuego desde que comenzó a respirar sobre la Tierra. Los volcanes y los relámpagos seguramente fueron los primeros dioses en mostrarle lo caliente de las llamas sobre todo cuando su furia caía sobre su cabeza y su morada, y las incendiaba.

Posteriormente (nadie sabe cuándo ni cómo), produjo y manipuló a voluntad las flamas dentro de pequeñas fogatas que mantenía obsesivamente encendidas y que en el caso de Mesoamérica, religiosamente se apagaban para volverlas a prender cada 52 largos años, simbolizando así el inicio de una nueva oportunidad de vivir.

Esta invención de ritos alrededor del fuego es común de todas las culturas humanas donde la "fogata" más venerada sigue siendo la que chisporrotea todos los días sobre nuestras cabezas: el sol.

Hasta hace 200 años, la leña era la fuente primaria de energía que el hombre disponía para iluminarse, calentarse, protegerse y asar sus alimentos; aún hoy, la cuarta parte de la humanidad sigue utilizándola sin variar el rito un ápice.

Cuando el carbón sustituyó a la madera como combustible, provocó no sólo que las máquinas produjeran más trabajo sino que parió a la madre de todas las revoluciones de los siglos XIX, XX, y seguramente del XXI; las primeras máquinas térmicas fueron puestas a desalojar agua en minas inundadas; luego fueron acopladas a las fábricas, barcos y ferrocarriles; posteriormente se adaptaron a autos, generadores, aviones, submarinos y cohetes. Formas superiores de producción y distribución de bienes y servicios estaban ya en operación. En fin, ¿dónde no se encuentra la energía motriz del fuego?

Nuestra civilización está sostenida por la luminosa fragilidad de la flama de una fogata en sus infinitas presentaciones y, cada que se apaga, aquella cruje espectacularmente amenazando con desmoronarse. A la fecha, esa flama se alimenta si no religiosamente como en la antigüedad, sí afanosamente a través de millones de ductos de todos los diámetros imaginables que le llevan el petróleo y el gas natural, cual si fueran modernas ofrendas consagradas a su honor.

Las sociedades industrializadas contemporáneas consumen entre 50 y 70 millones de barriles de petróleo todos los días sin parar. Tan sólo Estados Unidos de Norteamérica consume más petróleo que América Latina, África y Asia juntas.

El petróleo y el gas natural alimentan el fuego que mueve aviones, barcos, helicópteros, trasatlánticos, lanchas, termoeléctricas, autobuses, tanques, calderas, estufas, portaaviones, camionetas, velitas y velotas y hacen posible todo el sistema de iluminación artificial que hay en el mundo.

Nunca como hoy el fuego ha moldeado el camino de nuestro destino y nunca como hoy nos encontramos en medio del lujo, el derroche y la pobreza. Nunca antes nuestro planeta estuvo tan manchado y ahogado en humos, basura y desperdicios producto de la actividad industrial y, nunca como en la actualidad, el hombre dispone del conocimiento necesario para rectificar e incidir precisamente en el "alimento" de las chispeantes llamas sobre las que se sostiene toda su civilización.

Estamos en el inicio de un periodo de transición energética donde el petróleo dejará de ser la principal fuente de energía primaria. Estamos pues, al inicio de una nueva aventura del hombre, ¿querrá el amable lector participar en ella?

* FES-Zaragoza, UNAM, Departamento de Ingeniería Química

Recibido: 23 de septiembre de 1997.

Aceptado: 2 de febrero de 1998.

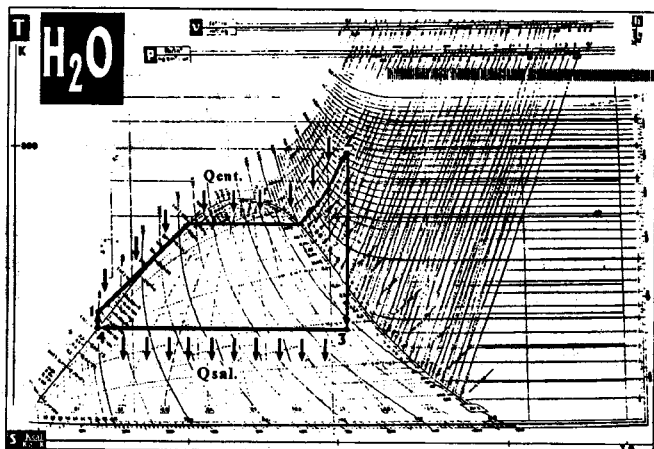
El ciclo termodinámico de potencia Rankine

Nuestra civilización es inconcebible sin la operación continua e ininterrumpida de las formidables centrales termo-, geo-, hidro-, núcleo- y carboeléctricas.

En México se tienen instaladas las suficientes centrales como para generar unos 30 gigawatts de potencia (Reséndiz, 1994): ¿es mucho o es poco? En otra ocasión discutiré cómo el consumo energético es función del modelo de desarrollo instaurado por el grupo político en el poder; esto es, la corresponsabilidad de las decisiones políticas entre gobernados y gobernantes condiciona el para qué y cuántos joules de energía hay que producir y cómo y a quién hay que distribuirlos. Cuando dicha responsabilidad compartida no existe, las distorsiones sociales una vez aparecidas tardan en ser corregidas (Illich, 1974).

Dejemos para otro momento la polémica relación entre energía y política e intentemos responder cómo el calor es transformado en electricidad, bien imprescindible de nuestra sociedad que requiere consumirse casi en el mismo instante que es producida.

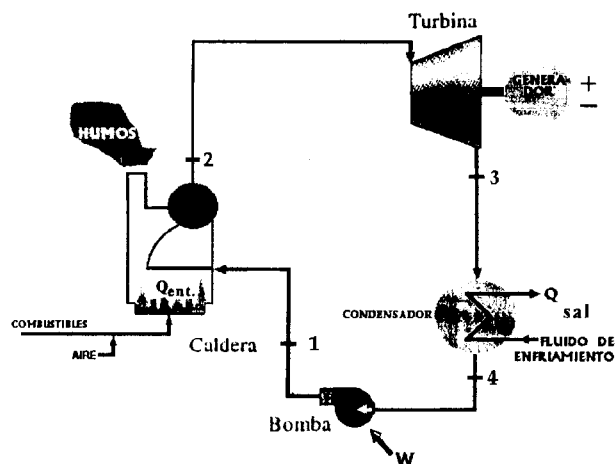
La transformación del calor de la combustión de los hidrocarburos en energía eléctrica se realiza conforme lo establece la teoría termodinámica. Observe el atento lector el diagrama "Temperatura-Entropía" del agua sobre el que se ha dibujado con líneas gruesas el ciclo de potencia Rankine (Haywood, 1986):



El ciclo Rankine es el ciclo termodinámico que permite que el agua líquida en el estado 1 absorba el calor de combustión Q_{ent} de los hidrocarburos quemados dentro de una caldera vaporizándose hasta el estado 2. El agua en estado vapor se inyecta a una turbina acoplada a un generador donde al expandirse, moviendo sus álabes cual rehetiles de acero, hace posible la producción de electricidad. El

vapor extenuado por el trabajo realizado alcanza el estado 3 donde lo recibe un condensador que lo licua extrayéndole el calor Q_{sal} hasta el estado 4. El agua otra vez en fase líquida se bombea de nueva cuenta a la caldera iniciándose así otro ciclo termodinámico más.

El esquema con los equipos principales del ciclo Rankine es el siguiente (Jones, 1997):



La transición energética

El ciclo Rankine no es el único que la termodinámica nos proporciona para llevar a cabo la conversión de calor en trabajo aunque es el más importante en la producción de electricidad en el mundo. De hecho, una invaluable herencia cultural se resume en los nombres y apellidos Rankine, Otto, Diesel, Brayton y sobre todos: Carnot.

La termodinámica, descrita en la simplicidad y elegancia de los ciclos de potencia, ha sido siempre causa de admiración desde que por primera vez se dibujaron sobre papel; admiración transformada en estupor cuando uno se encuentra dentro de las gigantescas centrales de energía construidas con base en aquellas curvas geométricas donde las verdades termodinámicas son descritas.

Sin embargo, desde que se inició la construcción y operación de esas inmensas moles productoras de electricidad, las mismas han sido causantes de un importante número de males que nuestra civilización ha considerado desde entonces como "males necesarios". Uno de ellos es, sin duda alguna, la terrible contaminación (Rangel, 1995) y el consecuente deterioro de la región donde las centrales son asentadas.

Los costos del impacto ambiental todavía hoy no son cabalmente asumidas por comunidades que aún reaccionan

negativamente a los programas de racionamiento y ahorro energético y a la elevación de tarifas a pagar mensualmente (Metzger, 1982).

Consideramos que los avances científicos y tecnológicos de las últimas décadas nos colocan de manera privilegiada al inicio de un periodo de transición de la base energética de nuestra civilización.

Un combustible capaz de sustituir al petróleo como la fuente primaria de energía de nuestras sociedades y con ello inaugurar una nueva relación con la naturaleza basada en su respeto y conservación, lo es, sin duda alguna, el hidrógeno (Veziroglu, 1992).

El cambio de la base energética petrolera al hidrógeno no será rápida ni fácil pero es el momento de iniciarla en México como ha sido ya iniciada en Estados Unidos, Japón (González, 1994) y Alemania (Marschoff, 1992). Pensamos que los mayores obstáculos serán políticos y culturales más que económicos o tecnológicos, toda vez que el conocimiento que se tiene sobre el tema es ya susceptible de presentarse en forma de proyectos de ingeniería para construcción y operación (Bockris, 1994).

Este periodo de transición durará buen tramo del siguiente siglo y el final feliz será, ¡qué duda cabe!, un arco iris de alternativas energéticas girando alrededor de la fuente primaria conocida como sol: ¡el sueño ecologista convertido en realidad! El petróleo dejará entonces absurdamente quemarse en forma de combustibles para ser únicamente insumo de las industrias de transformación petroquímica. Pero no sólo el petróleo disminuirá drásticamente su presencia como combustible; en general, el resto de los hidrocarburos tendrá el mismo destino: en especial la leña y el carbón—fuentes primarias de energía para 1,500 millones de seres humanos en el mundo—la cuarta parte de la población total (Zoran, 1981). Planteamientos demasiado optimistas, dirá el lector informado, tal vez así sea. Pero Gaia (Lovelock, 1995), nuestra Tierra viviente, lo merece.

Las fuentes alternas de energía

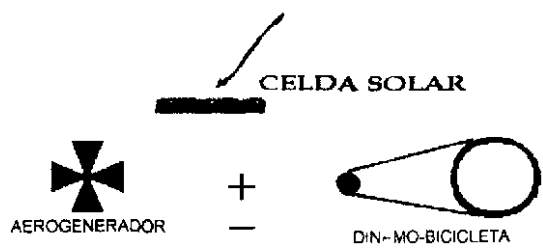
Una de las áreas estratégicas de desarrollo tecnológico más abandonadas en México lo son las llamadas fuentes alternas de las energías renovables que, pese a los esfuerzos realizados (Castellanos, 1980) (Concheiro, 1985), éstos son insignificantes frente a las millonarias partidas de Pemex y la CFE para sus proyectos de "reconversión" energética.

Aún se cree que nadamos sobre petróleo (Castillo, 1980), y las inversiones para su uso como combustible hacen palidecer a los centavitos dedicados a la transformación de la radiación solar, el viento y el oleaje marino en electricidad. Somos conscientes de la presencia absoluta que sobre nuestra economía y nuestro ánimo ejerce el petróleo (Bauer, 1989).

No obstante, tiene que seguirse insistiendo en esas magníficas áreas de la termodinámica y ciencias afines aplicadas a las fuentes alternas, y para esto, no hay otro camino que difundirlas de manera provocativa, intentando que las instituciones volteen hacia ellas para apoyarlas, entusiasmando a su vez, a un mayor número de jóvenes para que dediquen estudios y talento a su desarrollo, ya que los pocos especialistas mexicanos envejecen sin los suficientes herederos formados para el futuro.

Variadas son las posibilidades de aplicación de las fuentes alternas (Rau, 1984) pero una nos interesa resaltar: su captación y conversión a electricidad por medio de semiconductores para la energía solar (Acevedo, 1996), de aerogeneradores para la energía eólica (Muñoz, 1994), de turbogeneradores para la energía hidráulica (Bizec, 1995) y de dinamos-bicicleta para la energía humana (Illich, 1974).

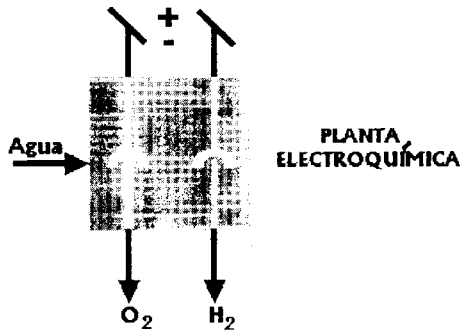
El esquema que describe tales procesos de captación y conversión a electricidad por parte de las fuentes alternas es el siguiente:



Dos son los inconvenientes de la electricidad generada directamente por las fuentes renovables. La primera es que su potencia es irregular, lo que significa que su energía en la unidad de tiempo y área no se ajusta a los requerimientos energéticos de los procesos industriales y tampoco a nuestras necesidades domésticas; por esto, se dice que son energías difusas. La segunda es que son intermitentes, lo que significa que no siempre se encuentran a nuestra disposición en el momento que se requieren.

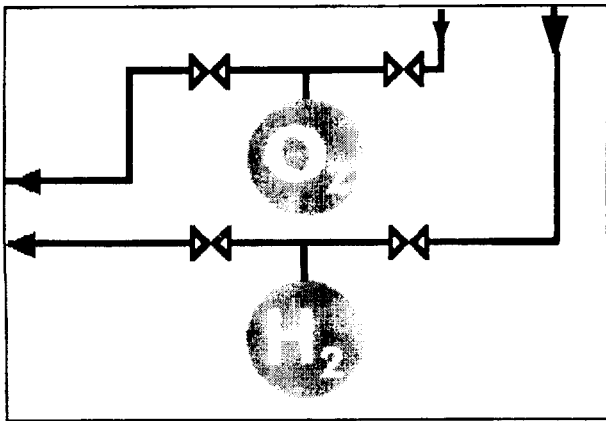
Para superar estos inconvenientes se han desarrollado diferentes técnicas para almacenar la energía proveniente de las fuentes alternas. Una de ellas nos interesa resaltar siendo conocida desde el siglo pasado; la electrólisis del agua (Wendt, 1990). Romper la molécula del agua requiere en teoría de 1.23 volts. Este relativamente bajo voltaje es el que permite que la difusa energía de las fuentes renovables pueda ser almacenada en forma de hidrógeno!

La electrólisis del agua la simbolizaremos con el siguiente esquema:



La técnica para almacenar y distribuir los gases hidrógeno y oxígeno está tan desarrollada (Kelley, 1980) que forma parte de la actividad cotidiana de empresas como Pemex, AGA e Infra, por sólo citar a tres de las más conocidas.

El almacenamiento del oxígeno e hidrógeno lo esquematizaremos de la siguiente manera:



En la actualidad conocemos cuatro formas de *quemar* el hidrógeno:

1. Uniendo sus núcleos dentro de un reactor llamado tokamak durante el proceso conocido como fusión nuclear (Energía, 1992).

2. Combinándolo electroquímicamente con el oxígeno sin generar flama para producir directamente electricidad dentro de un reactor llamado celda de combustible (Wendt, 1990).

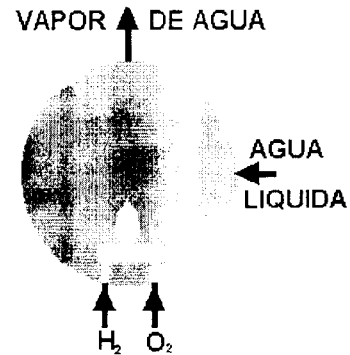
3. Combinándolo químicamente con el oxígeno del aire a través de quemadores convencionales con una amplia y asombrosa aplicación doméstica (Veziroglu, 1987).

4. Combinándolo químicamente con el oxígeno en me-

dio acuoso dentro de una caldera no convencional para producir vapor motriz (Kumakura, 1992).

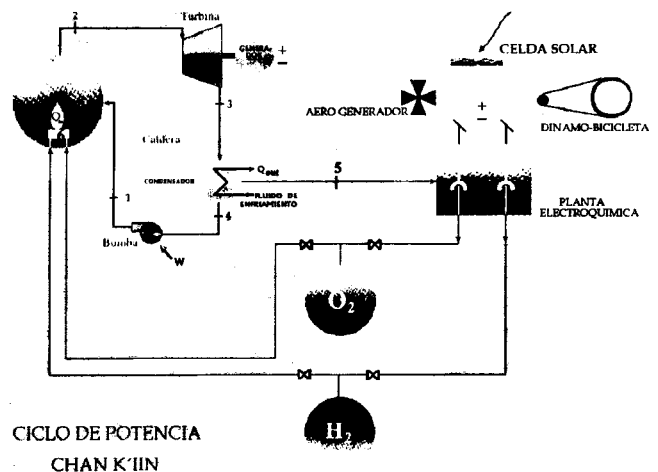
Es este último proceso el que nos interesa resaltar toda vez que es el que mayores posibilidades tiene de producir un impacto industrial a corto plazo.

El símbolo que manejaremos para la combustión química del hidrógeno en medio acuoso será:

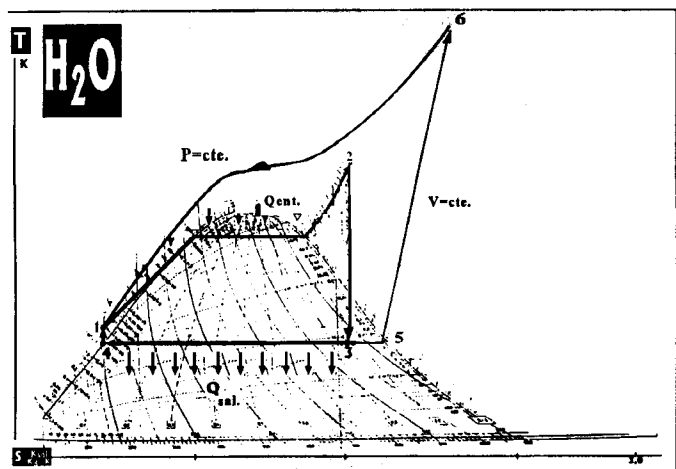


Los ciclos de potencia Chan K'iin

Estas cuatro áreas de desarrollo tecnológico de las fuentes renovables descritas anteriormente, por sí solas, son de extraordinaria importancia. Las mismas son integradas y acopladas al ciclo de potencia Rankine en una propuesta que lo innova y a la que llamaremos ciclos de potencia Chan K'iin. Un primer esquema es el siguiente:



Sobre el diagrama $T-S$, este esquema de ciclo Chan K'iin es:



Chan K'iin consta de dos ciclos acoplados y cerrados:

1. El de potencia clásico 1-2-3-4-1.
2. El del combustible 1-2-3-5-6-1.

Las singulares propiedades de la combustión química del hidrógeno permiten modelar los procesos de electrólisis y combustión a través de la trayectoria isocórica 5-6, describiendo también la aceptable constancia volumétrica de la flama de hidrógeno que es, agua gaseosa a más de 2,000 grados Celsius!

El proceso 6-1 describe el mezclado isobárico y la transferencia de calor del agua gaseosa al agua líquida para producir el vapor motriz durante el proceso 1-2.

El ciclo cerrado del combustible permite disminuir el calor requerido para generar un kilowatt-hora de potencia eléctrica aumentado por consiguiente la eficiencia del ciclo isin enviar humos y polvos al medio, reciclando continuamente el mismo combustible!

Lo anterior desde el punto de vista de la construcción de la base energética de cualquier modelo de auténtico desarrollo sustentable, es definitivo.

Conclusiones

Que las instituciones públicas y privadas incrementen de manera importante el apoyo al desarrollo de las fuentes de energía renovables es un objetivo necesario a corto y largo plazo. Sustituir a los hidrocarburos y a la fisión nuclear como las fuentes primarias de energía es el gran reto de las modernas y novedosas técnicas desarrolladas con el objeto de aprovechar la energía del sol, el viento e hidráulica en general, no obstante que todos los pronósticos apuestan a que la combustión de los hidrocarburos seguirá reinando todo el siglo XXI. La base científica y tecnológica para hacer

de las fuentes renovables la plataforma de la nueva base energética de nuestra civilización, crece año con año, y el número de ingenieros mexicanos que las asimilen e innovan de acuerdo con las necesidades específicas de su país, no sólo es escaso, sino que su formación carece de un plan educativo a nivel nacional que, simplemente, refleja la ausencia de una política de gobierno respecto al sector energético: es más fácil seguir dependiendo de la ilusoria ganancia de la extracción y venta de petróleo crudo.

Pese a todo, si no es posible racionalizar la perforación de los mantos petrolíferos, al menos el 0.001% de los miles de millones de dólares obtenidos por su venta, deberían invertirse en la formación de ingenieros para, ya no digamos crear, sino asimilar e innovar las modernas tecnologías de las fuentes alternas de energía, desarrolladas por las naciones industrializadas. Una voz más se suma al coro que insiste en una reforma a fondo y con recursos de nuestros sistemas educativos, investigación científica y desarrollo tecnológico.

Diversas y numerosas son ya las aplicaciones de las energías renovables y aunque importantes, aún son marginales. Chan K'iin es una propuesta que integra el uso de las mismas con la pretensión de iniciar el escalamiento a nivel de planta piloto de la producción de electricidad con base en el hidrógeno como combustible, y, permitir posteriormente, su generación a niveles industriales dentro de un periodo de transición lo suficientemente largo que haga confiable y seguro el tránsito, pero lo suficientemente corto que permita empezar a disminuir el tremendo impacto que sobre el ambiente se tiene. Tenemos poco tiempo para decidir. ¿A quién le corresponde la mayor responsabilidad al respecto? ■

Bibliografía

- Acevedo A. M., *La electricidad que viene del Sol*, Grupo Editorial Iberoamérica, 1996.
- Bauer E. M., García Colín L. (coordinadores), *Energía en México: el arranque del siglo XXI*, UNAM/El Colegio Nacional, 1989.
- Bizac R. F., *Las nuevas energías*, RBA editores, 1995.
- Bockris J. O'M., Veziroglu N., Smith D., *Hidrógeno solar*, Cuatro Vientos, 1994.
- Bockris J. O'M., The economics of hydrogen as a fuel, *Int. J. Hydrogen Energy*, 6 (3) 1981, p. 223-241.
- Carnot S., *Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego*, Alianza Universidad, 1987.
- Castellanos A., Escobedo M., *La energía solar en México*, Centro de Ecodesarrollo, 1980.
- Castillo H., Viqueira J., *Los energéticos, el petróleo... ¿y nuestro futuro?* Representaciones y servicios de ingeniería, 1980.
- Concheiro A. A., Rodríguez V. L., *Alternativas energéticas*, CONACYT, 1985.
- Chopey N. P., Hydrogen: Tomorrow's fuel?, *Chem. Eng.*, December 25, p. 24-26, 1972.

- Energía: *Perspectivas mundiales 1985-2000* (compilación), Fondo de Cultura Económica, 1981.
- Energía, *Expo-92 Sevilla España*, P.O.E.T., S.A., 1992.
- González V. J. L., Hidrógeno, el combustible del futuro, *Investigación hoy*, IPN, Nov-Dic. 1994.
- Haywood R. W., *Análisis termodinámico de plantas eléctricas*, Limusa, 1986.
- Illich I., *Energía y equidad*, Posada, 1974.
- Jones J. B., Dugan R. E., *Ingeniería termodinámica*, Prentice Hall, 1997.
- Kelley J. H., Hagler R., Storage, Transmission and Distribution of Hydrogen, *J. Hydrogen Energy*, Vol. 5, pp. 35-54, 1980.
- Kumakura T., Hiraoka K., Ikame M., Morishita T., Combustion characteristics of stoichiometric hydrogen and oxygen mixture in water, *J. Hydrogen Energy*, 17, (11), p. 887-894, 1992.
- Lovelock J., *Las edades de Gaia*, Tusquets, 1995.
- Marschoff C. M., *Las fuentes de energía en el siglo XXI*, Fondo de Cultura Económica, 1992.
- Metzger N., *Energía: Crisis continua*, Edamex, 1982.
- Muñoz C. E., *La generación de electricidad con energía eólica en México*, Boletín IIE, pp. 161-171, julio-agosto 1994.
- Pemex, *El petróleo* 2 (24) Sep. 1985.
- Rangel G. J. B., *Identificación de los contaminantes generados por el proceso de combustión en fuentes fijas*, (en mimeo), UNAM-Zaragoza, 1995.
- Rau H., *Energía solar: Aplicaciones prácticas*, Marcombo, 1984.
- Reséndiz-N. D. (coordinador), *El sector eléctrico de México*, CFE-FCE, 1994.
- Strohm R. T., *Oil Fuel for Steam Boilers*, Mc.Graw Hill, 1914.
- UNAM, *El agua y la energía en la cadena alimentaria*, 1994.
- UNAM, *El auge petrolero: de la euforia al desencanto*, 1987.
- Veziroglu T. N., Barbir F., Hydrogen: The Wonder Fuel, *J. Hydrogen*, 17 (16), p. 391-404, 1992.
- Veziroglu T.N. Hydrogen Technology for energy needs of human settlements, *J. Hydrogen Energy*, 12 (2) pp. 99-129, 1987.
- Wallace J. S., Ward C. A., Hydrogen as a fuel, *Int. J. Hydrogen Energy*, 8 (4) 1983. pp. 225-268.
- Wendt H., *Electrochemical hydrogen technologies (electrochemical production and combustion of hydrogen)*, Elsevier, 1990.
- Wionczek M. S. (coordinador), *Mercados mundiales de hidrocarburos*, El Colegio de México, 1983.
- Zoran-Z., *Inventario mundial de la energía*, *El Correo de la UNESCO*, año xxxiv, pp. 17-31, julio 1981.



Universidad Autónoma del
Estado De Hidalgo



Instituto Nacional de
Investigaciones Nucleares

**“Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas”
Opción Química Analítica (por investigación)
Tercera Promoción 1999-2003**

Cursos de preparación para el examen de admisión del 2 de septiembre al 27 de noviembre de 1998.
Exámenes de admisión 15 y 16 de diciembre.
Inicio de clases: enero de cada año.

Requisitos de ingreso:

Aprobar examen de admisión.
Título de licenciatura o grado de maestría en áreas afines a la química.
Promedio mínimo de 7.0.
Certificado de calificaciones.
Constancia de comprensión del idioma inglés.
Carta de exposición de motivos.

Informes y entrega de documentos:

Ing. Víctor Martínez Martínez. Coordinación de Investigación y Posgrado del Instituto de Ciencias Exactas. Tel. 91(771)72000 ext. 6301 y 6302 Fax. 72109. Área académica de Química, Instituto de Ciencias Exactas. UAEH.

Dr. José Roberto Villagmez Ibarra. Coordinador del Programa por la UAEH. Unidad Universitaria, carr. Pachuca-Tulancingo km. 4.5 Tel. 01(771) 72000. Ext. 6710. e-mail: jrvi@cevide.reduaeh.mx

Dr. Jaime Vite Torres. Coordinador del Programa por el ININ carr. México-Toluca, Edo. de México km. 36.5 Tel. conmutador 3 29 72 00 ext. 2631 y 2633