INDICE

LA REVISTA SOLAR

ASOCIACIÓN NACIONAL DE ENERGÍA SOLAR, A. C.

Sección Mexicana de International Solar Energy Society

Consejo XII Número 48 Julio 2003

LA REVISTA SOLAR

ENERGÍA EÓLICA Y VEHÍCULOS DE AIRE COMPRIMIDO

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LAS ENERGÍAS RENOVABLES

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA PARA EL ESTUDIO DEL POTENCIAL SOLAR Y EÓLICO EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN

CONCENTRADOR SOLAR DE 4KW TÉRMICOS

ANES

www.anes.org

Universidad de Sonora

www.uson.mx

Caborca y Santa Ana | Hermosillo | Navojoa

Población estudiantil: 30 mil alumnos

La Universidad de Sonora, fundada el 12 de octubre de 1942, es una institución autónoma de servicio público, con personalidad jurídica y capacidad para autogobernarse.
Ejerce a plenitud la libertad de enseñanza, investigación y difusión de la cultura.

Por la magnitud y calidad de sus recursos humanos y materiales, el número de estudiantes, la presencia de sus egresados y por ser partícipes de la historia regional, es el más valioso patrimonio cultural y científico de los sonorenses.

Valores

- *Autonomía universitaria*
- *Libertad de cátedra e Investigación*
- *Vocación social y humanística*

Misión

Formar profesionales creativos, competentes, comprometidos en la solución de problemas, generar conocimientos útiles para vivir mejor, así como difundir los productos científicos, tecnológicos y artísticos para engrandecer la cultura, promover la justicia, favorecer la democracia, la equidad social y la igualdad de oportunidades.

La mejor oferta educativa del NOROESTE

64 Programas educativos a nivel Licenciatura, Posgrado, Lenguas Extranjeras y Academias de Arte

La calidad y pertinencia de nuestros planes y programas de estudio garantizan una sólida formación profesional

DOCTORADOS
- Ciencias en Materiales
- Ciencias en Física

MAESTRÍAS
- Derecho Internacional Privado
- Psicología
- Administración
- Ciencias de la Ingeniería
- Innovación Educativa
- Lingüística
- Ciencias en Geología
- Ciencias en Matemática Educativa
- Polímeros y Materiales
- Ciencias en Física
- Maestría Interinstitucional de
- Ciencias en Acuacultura
- Ciencias en Horticultura
- Ciencias y Tecnologías en Alimentos
- Ciencias Agropecuarias
- Metalurgia Extractiva

POSGRADOS
- Biotecnología
- Derecho y Psicología de la Familia
- Derecho Penal y Criminología
- Comercio Exterior y Aduanas
- Desarrollo Sustentable
- Inmunohematología Diagnóstica

INGENIERÍAS
- Industrial y de Sistemas
- Agrónomo Fitotecnista
- Agrónomo Zootecnista
- Agrónomo
- Minero
- Civil
- Químico

LICENCIATURAS:
- Sociología
- Administración Pública
- Derecho
- Psicología
- Ciencias de la Comunicación
- Historia
- Trabajo Social
- Economía
- Administración
- Agronegocios Internacionales
- Literaturas Hispánicas
- Lingüística
- Enseñanza del Idioma Inglés
- Artes
- Física
- Matemáticas
- Ciencias de la Computación
- Tecnología Electrónica
- Enfermería
- Medicina
- Desarrollo Regional y Administración de Recursos Naturales
- Contaduría Pública
- Arquitectura
- Geólogo
- Químico Biólogo

"El Saber de mis Hijos Hará Mi Grandeza"

Aportes:

- Absorbe el 40% de la matrícula en el Estado con varios programas educativos; 33 licenciaturas, 2 doctorados, 15 maestrías, 6 especialidades, 4 academias de arte y 7 de lenguas extranjeras.
- Participa en el Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP), lo que permite alcanzar mayores niveles de preparación para los académicos en universidades extranjeras y nacionales.
- Áreas de investigación con mayor desarrollo y liderazgo nacional e internacional: Metalurgia, Alimentos; Física, Polímeros y Materiales.
- Ha consolidado importantes grupos de investigación en medio ambiente, energía, biotecnología, hidrología, recursos naturales, desarrollo regional y lengua indígena.
- Mantiene cooperación científica con instituciones nacionales y extranjeras a través de convenios de colaboración para la formación e intercambio de profesores, cátedras patrimoniales, movilidad estudiantil e investigación científica.
- Ofrece servicios básicos en: Salud, Centros de cómputo, Bancos de datos, Servicio de internet, Bibliotecas, Laboratorios y Talleres.
- Sistema de educación continua abierta y a distancia con programas impartidos desde cualquier parte del mundo, tales como: Maestrías, Diplomados, Cursos, Seminarios y Videoconferencias.
- Impulso a la enseñanza y la ejecución de las bellas artes.
- Fomento de actividades artísticas, culturales y deportivas.

XII CONSEJO DIRECTIVO

Presidente:
M.I. Eduardo Rincón Mejía,
UAEMex,
erincon@ uaemex.mx

Vicepresidente.
Dr. David Morillón Gálvez,
Instituto Ingeniería UNAM
damg@pumas.iingen.unam.mx

Secretario General:
Ing. Ricardo Saldaña Flores,
IIE
rsf@iie.org.mx

Tesorero:
Ing. Rodolfo Martínez Strevel
BUTECSA
strevel@avantel.net

Secretario de Asuntos Internacionales
CENIDET
Dr. Arnoldo Bautista Corral
abautista@cenidet.edu.mx

Secretario de Asuntos Industriales:
Lic. Sven Feldhaus
IMPREMA
imprema@avantel.net

Secretario de Planeación
M.I. Odón de buen Rodríguez
demofilo@prodigy.net.mx

Secretario de Organización
Dr. Yasuhiro Matsumoto
CINVESTAV
ymatsumoto@mail.cinvestav.mx

Secretario de Secciones Regionales:
M. en I. Fernando Vera Noguez
fvera@imcyta.org

Secretario de Vocalías
M.I. Álvaro Lentz Herrera
Instituto Ingeniería UNAM
alh@pumas.iingen.unam.mx

Secretaria de Educación
F. Helga Jaeger
hejag@mail.udg.mx

Directora Ejecutiva
M.S. Laura E. Hernández
a45l44@prodigy.net.mx
a45l44@cableonline.com.mx

CONTENIDO

EDITORIAL 2

MENSAJE DEL PRESIDENTE 3

ENERGÍA EÓLICA Y VEHÍCULOS DE AIRE COMPRIMIDO 5

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LAS ENERGÍAS RENOVABLES 9

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA PARA EL ESTUDIO DEL POTENCIAL SOLAR Y EÓLICO EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN 13

CONCENTRADOR SOLAR DE 4KW TÉRMICOS 23

Editorial

Nuevamente con el entusiasmo de siempre estamos con ustedes, compartiendo información sobre el apasionante campo de las Energías Renovables. En esta ocasión incluimos una gama variada de artículos a diferencia de otras en que la revista ha tenido un carácter temático. Ahora presentamos lo que está sucediendo en otras latitudes pero haciendo hincapié en las actividades que se hacen en diferentes partes de nuestro país.

El primer artículo de ***La Revista Solar*** es un tema novedoso, interesante y con un potencial formidable: el uso de energía eólica en el transporte. Su autor Enrique Caldera nos acerca al horizonte que ya se inicia en Europa y que esperamos muy pronto también sea una realidad en nuestro país: el uso de aire comprimido para vehículos automotores (en México ya se vendieron 10 licencias para la fabricación de estos automóviles). La empresa comercializadora de este automotor en España, nos dice que el costo de trasladarse un Km. es de una peseta, esto es aproximadamente 7 centavos de un peso mexicano. Esto representa una magnífica oportunidad para lugares como la ciudad de México que viven situaciones de alta contaminación, además de la posibilidad de que en un futuro no muy lejano se pueda reducir los costos del transporte público.

En el artículo de *Desarrollo de un Sistema de Información Geográfica para las Energías Renovables*, investigadores del Instituto de Investigaciones Eléctricas nos dan un panorama de cómo se inició y cual fue el plan para desarrollar este sistema de información geográfica. En estos momentos su importancia crece por la coyuntura que atraviesa nuestro país que es la de la Reforma Eléctrica, asignatura todavía pendiente. Es importante señalar que otra derivación del sistema de información geográfica promueve la evaluación de los recursos renovables con que cuenta nuestro país, base muy importante, para planear y tomar decisiones.

Rolando Soler, María M. Pérez y Francisco J. Solís, nos presentan en su artículo *Diseño y Desarrollo de un sistema para el estudio del potencial Solar y Eólico en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán*, el desarrollo de la infraestructura para que en su facultad cuenten con las herramientas fundamentales para evaluar los recursos solar y de viento, necesarias para el desarrollo de proyectos de investigación, y recursos humanos y posteriormente traducirlos en aplicaciones útiles a la comunidad.

La Universidad de Sonora y el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste nos hacen una aportación que versa sobre el desarrollo y resultados de un *Concentrador Solar de 4 KW Térmicos*, utilizando un disco parabólico, que incluye también el desarrollo de un seguidor solar y el software de control. Los autores, además de ofrecer al lector los avances que en materia de concentración han conseguido, también nos dan una lección de reciclaje, pues utilizan para este proyecto los discos parabólicos que en otros tiempos se usaron como antenas de televisión. Lo anterior permite aprovechar dispositivos que ya no cumplen con su función porque la nueva tecnología los hizo obsoletos pero que al mismo tiempo disminuye el material de desecho que se acumula y termina por contaminar.

Aprovechamos este espacio para agradecer a las personas e instituciones que participaron en este número, en especial a la ***Universidad de Sonora*** que está apoyando la impresión de este ejemplar y el próximo. Un reconocimiento también porque sus participaciones nos muestran que están trabajando y aportando a sus localidades como al resto del país sus conocimientos y experiencia.

De nuevo hacemos una extensa invitación para todos aquellos que deseen compartir sus proyectos ó trabajos con el resto de la comunidad solar que afortunadamente sigue creciendo, se comuniquen con nosotros.

Esperando que disfruten del contenido del presente número de ***La Revista Solar,*** les enviamos un cordial saludo

Laura E. Hernández G.

MENSAJE DEL PRESIDENTE

Estimados colegas:

Nuestra Asociación Nacional de Energía Solar continúa creciendo. El pasado 7 de marzo en la Universidad Tecnológica de San Juan del Río, Querétaro, tomó posesión el Consejo Directivo de la Sección Querétaro de la ANES, presidido por el M. en C. Alejandro Franco Pérez. En los próximos meses se tomará la protesta estatutaria a los Consejos Directivos de las Secciones de Chiapas, Colima, Hidalgo y Jalisco, y están en proceso de integración nuevas secciones en los estados de Nuevo León, Sinaloa y Campeche, con lo que se atenderá las necesidades e inquietudes de varias decenas de nuevos miembros en regiones vitales del país.

El crecimiento no sólo es en la cantidad de secciones y miembros, sino en la organización de eventos y foros técnicos y científicos de muy alta calidad dedicados a las muchas áreas específicas de las fuentes renovables de energía. Así, el pasado 23 de junio se celebró en el Auditorio "*Jaime Torres Bodet*" del majestuoso Museo Nacional de Antropología e Historia, la ***"2ª Reunión Nacional de Arquitectura Bioclimática"***, a convocatoria de la ANES y la UAM-Azcapotzalco. Como resultado de esta reunión, se tomó el acuerdo de formar la *Red Mexicana de Arquitectura Bioclimática*, hospedada por la ANES a través de su División de Arquitectura Bioclimática, que será coordinada por el C. Dr. Víctor Fuentes Freixanet. Se acordó también celebrar la próxima reunión de la Red en Mexicali en mayo de 2004. En el mismo auditorio, del 24 al 27 de junio, se llevó a cabo el ***"Seminario Internacional de Arquitectura Bioclimática"***, convocado por las mismas instituciones, en el que participaron como conferencistas los Doctores Francisco Arumí Noé, John Martin Evans, David Morillón Gálvez, Alejandro Arena Granados y José García Chávez, entre otros destacados investigadores, resultando un excelente evento para todos los especialistas en la materia. Durante la misma semana, pero en la ciudad de Morelia, se celebró del 26 al 28 el ***"Seminario Internacional sobre Bioenergía y Desarrollo Rural Sustentable"***, con la presencia de especialistas de más de 20 países. Este evento, sin costo de inscripción, fue organizado por la ANES, la UNAM, la LAMNET,

la FAO y el Gobierno del Estado de Michoacán, y resultó extraordinariamente exitoso. Entre sus resultados se tiene la creación de la *Red Mexicana de*

Bioenergía, también hospedada por la ANES y coordinada por su Presidente de la División de Bioenergía, el Dr. Omar Masera Cerutti. Anteriormente, el 13 y 14 de febrero se realizó en el Instituto de Investigaciones Eléctricas, ubicado en Cuernavaca, Morelos, el **Taller Internacional: *"Potencial del Hidrógeno en el Desarrollo Energético Nacional"***, evento convocado por la Sociedad Mexicana del Hidrógeno A. C., en colaboración con el *Partnership for Advancing the Transition to Hydrogen* (el H-PATH), la

ANES y el IIE. A este evento, también sin costo de inscripción, asistieron expertos del más alto nivel en la materia de Japón, Estados Unidos, Canadá y México. Además de estos importantes eventos internacionales, la ANES ha organizado Foros Solares, Ferias y cursos de actualización en los estados de Chihuahua, Oaxaca y Querétaro.

Para la XVII Semana Nacional de Energía Solar, a celebrarse del 6 al 10 de octubre en la ciudad de Chihuahua, se tienen registrados más de 120 trabajos para presentarse en las

sesiones técnicas paralelas, y como conferencistas magistrales se ha invitado a los Doctores Manuel Romero, Director de la Plataforma Solar de Almería, España; al Dr. Eduardo González, destacadísimo Profesor de Arquitectura Bioclimática, quien desde hace dos años se ha vuelto un asiduo visitante de nuestro país y al Dr. Omar Masera, investigador de la UNAM mundialmente reconocido. Queda aún por confirmar un cuarto conferencista magistral.

Debido al reconocimiento internacional de nuestra asociación, el próximo año la XXVIII Semana Nacional de Energía Solar muy probablemente incluirá al Congreso ISES - ANES Iberoamericano, y se celebrará en la ciudad de Oaxaca, simultáneamente con el SolarPACES 2004 de la Agencia Internacional de Energía, y muy probablemente también con otros dos eventos internacionales sobre energía solar. El cambio de sede de Zacatecas a Oaxaca se debió a la coyuntura que planteó el realizar simultáneamente dentro la XXVIII Semana Nacional de Energía Solar varios eventos internacionales de primera magnitud, en vez de realizarlos separadamente, lo que habría dificultado la participación de nuestros colegas a varios de ellos. He enviado una misiva al Sr. Rector de la Universidad Autónoma de Zacatecas para compensar a tan reconocida institución con la organización de un evento internacional sobre alguno de los tópicos de la Energía Solar, que resulte de particular interés para el estado de Zacatecas.

En fecha muy próxima, el XII Consejo Directivo de la ANES anunciará una Convocatoria para actualizar nuestros estatutos y hacer una propuesta formal de cambios en la Asamblea General Ordinaria que se tendrá lugar en la XXVII Semana Nacional de Energía Solar, evento este último que esperamos sea atendido por la mayoría de nuestros socios.

En resumen, nuestra Asociación avanza a pasos firmes a pesar de las dificultades de índole económica, y de otros tipos, que enfrentan los investigadores, empresarios, estudiantes y demás miembros de nuestra ANES.

Muchos saludos, estoy siempre a sus órdenes.

Eduardo A. Rincón Mejía

ENERGÍA EÓLICA Y VEHÍCULOS DE AIRE COMPRIMIDO

Enrique Caldera M.
Director General
Grupo de Acción Interdisciplinaria
Ambiental A. C., Marzo 2003.
ecaldera@infosel.net.mx

La inminente aparición comercial de vehículos automotores impulsados por aire comprimido, constituye una formidable oportunidad de diversificación y ahorro energético, ya que la energía primaria para accionar los compresores en las estaciones de recarga pueden depender de fuentes de energía renovable y destacadamente de la energía eólica, dando incluso la posibilidad del suministro de aire comprimido en áreas rurales aisladas, sustentando flotillas de vehículos de trabajo, con estaciones de recarga privadas, comunitarias y como empresas cooperativas o privadas de servicio al público, en una amplia gama de capacidades y varias modalidades, como sistemas aislados, interconectados o incluso centrales eoloeléctricas en esquemas de autoabastecimiento, con la generación acreditada al consumo de un conjunto de estaciones de recarga de aire comprimido en zonas urbanas.

INTRUDUCCIÓN

La energía eólica ha venido siendo aprovechada por el hombre desde al menos tres milenios. Los modelos más antiguos corresponden a los molinos de eje vertical construidos en Persia para moler granos. Se estima que durante las Cruzadas el molino de viento se introdujo a Europa. Sus aplicaciones más significativas fueron la molienda, aunque para finales del siglo XVIII se aplicaban también en aserraderos y talleres de fundición y forja. En Holanda su uso más extendido fue en el bombeo de agua, con lo que le pudo reclamar al mar las superficies ganadas. A finales del siglo IXX, en Askov, Dinamarca, se inician los proyectos para producir electricidad en la escala necesaria para el servicio eléctrico.

Para la generación eléctrica en gran escala, la intermitencia del viento no representa problema alguno, ya que la propia dispersión de la generación y la naturaleza despachable del sistema total, compensa las variaciones resultantes. Para la generación en pequeña escala, menor a 50 kW, las configuraciones híbridas o el almacenamiento en baterías, constituyen la solución convencional a la intermitencia de la energía eólica. Otra forma de almacenamiento energético es como aire comprimido, que si bien, es tecnológicamente conocido desde hace mucho tiempo, no ha tenido una aplicación comercial significativa hasta ahora.

Almacenamiento de energía como aire comprimido

Desde hace más de treinta años se construyó en Alemania un sistema de almacenamiento de energía, como aire comprimido, con el que se alimentaba una turbina de gas natural para carga pico, mejorando su eficiencia significativamente. En horas de baja demanda se comprimía aire en una mina abandonada, habilitada como tanque de almacenamiento, cuya energía se recuperaba en las horas pico. Esta tecnología tiene una eficiencia global de 75%, en tanto que el rebombeo hidroeléctrico es de 65%, si las condiciones topográficas limitan esta aplicación, las condiciones geológicas determinan la primera.

La aparición comercial de vehículos con motor de aire comprimido a principios del año 2002, representa un nicho de mercado muy importante para la energía eólica, como fuente de energía primaria para la compresión de aire en las estaciones de recarga de los vehículos de aire comprimido, en forma directa para las estaciones rurales y de manera indirecta para las estaciones urbanas, utilizando unidades desde varios kW, pasando por unidades de 500 a 750 kW, hasta llegar a centrales eoloeléctricas de varios MW cuya energía se acredite al conjunto de estaciones de recarga de aire comprimido.

La red de recarga para vehículos de aire comprimido

La forma convencional de obtener aire comprimido es utilizando motores eléctricos para accionar los compresores. Si esta energía proviniera del sistema eléctrico convencional, a la larga representaría una carga energética muy onerosa e ineficiente en apoyo del sector transporte. Sin embargo, el uso de energías renovables, y por ahora principalmente la energía eólica, representan una formidable oportunidad de sustitución energética, desplazamiento de combustibles fósiles y mitigación de emisiones de CO_2.

Las energías renovables se caracterizan por su naturaleza distribuida y su baja densidad energética, ello las hace propicias para aplicaciones distribuidas, y una de esas aplicaciones sería la recarga de tanques de aire comprimido en el medio rural. Un solitario aerogenerador de 500 kW sería suficiente para proporcionar 100 recargas diarias en tanques de 90 litros con aire a 300 bares de presión, o 4350 PSI, lo que significa una jornada completa de 8 horas, dedicándole 5 minutos a cada cliente.

La utilización de aerogeneradores presenta un panorama muy variado, desde unidades pequeñas de 5 kW para servicio de una granja, de 10 a 100 kW en cooperativas de recarga, para flotillas de vehículos de trabajo, reparto o taxis. Hasta estaciones comerciales de recarga en el medio rural con unidades de 500 a 750 kW operando en forma autónoma, todo esto daría un amplio soporte de recarga en el medio rural, aun en condiciones de gran aislamiento geográfico.

Estaciones comerciales de recarga en el medio urbano, interconectadas a la red de distribución eléctrica convencional, pueden disponer de su propia central eoloeléctrica fuera del área urbana y su propia generación eléctrica ser alimentada a esa red de distribución. Contablemente se haría el acreditamiento energético a cada estación de recarga, con la posibilidad incluso de vender excedentes a la empresa eléctrica. Se podría también, administrar la demanda, para recargar preferentemente los tanques de almacenamiento de las estaciones de recarga durante las horas de menor demanda eléctrica y la generación eléctrica durante las horas de demanda pico entregársela integra a la empresa eléctrica, con un mejor precio.

La generación eléctrica para energizar las estaciones de compresión y almacenamiento de aire comprimido, tendrían así tres modalidades básicas:

a) Sistemas aislados.

b) Sistemas interconectados, con intercambio energético en ambos sentidos con la red eléctrica.

c) Centrales eoloeléctricas para autoabastecimiento, de conjuntos de estaciones comerciales de recarga en zonas urbanas.

Impacto energético en el Sector Transporte y mitigación de emisiones de CO_2

Un vehículo convencional a gasolina requiere del orden de 1 kWh/km, en tanto que el de aire comprimido consume del orden de 0.1 kWh/km. Esta diferencia es tanto por la eficiencia del motor, como por la eficiencia de la transmisión y el modo de operación.

En un motor de combustión interna, del orden de dos tercios de la energía del combustible se disipa como calor.

El motor de aire comprimido no tiene ninguna disipación térmica, por el contrario, es capaz de proporcionar adicionalmente, el aire acondicionado, ya que al expandirse el aire comprimido para accionar el motor, el aire de escape lo hace a temperaturas bajo cero.
En su operación es semejante al motor eléctrico, ya que solo consume energía mientras está en movimiento, con la posibilidad en ambos casos de frenos regenerativos, es decir, con recuperación energética.

Si la energía para comprimir el aire proviniera del sistema eléctrico nacional, aparte de constituir una pesada carga adicional, del orden del 60% de la energía primaria sería de combustibles fósiles, pero utilizando energía eólica, el 100% de la energía primaria sería renovable, y los barriles de petróleo equivalentes a la gasolina desplazada, corresponderían a 10 veces el valor energético del aire comprimido utilizado. Equivaldría a tener un coche compacto que en lugar de 15 km/litro nos proporcionara 150 km/litro.

Las estaciones de compresión de aire, pueden tener recuperación del calor de rechazo durante la compresión y en las estaciones de recarga de aire, proporcionar incluso agua caliente para fines de calefacción de los vehículos en el invierno, en donde solo se tienen ocasionalmente temperaturas del orden de los cero grados. El agua caliente también serviría en las estaciones de recarga para los baños y el servicio de regaderas a transportistas.

Para México están previstas inicialmente 10 fábricas de vehículos de aire comprimido, con una producción anual de 2000 unidades en un turno, ampliándose a 6000 unidades por año con tres turnos. Esto significaría una producción total anual de 60,000 unidades, y en un plazo de treinta años, significaría una flota de vehículos de aire del orden del millón de unidades, descontando los construidos durante la primera década, y los dados de baja por accidentes.

Esta flota de 1 millón de unidades en operación y considerando un recorrido anual promedio de 40,000 km, requieren del orden de 4000 GWh de energía eléctrica para los compresores, y una capacidad instalada de generación eléctrica del orden de 2,500 MW eoloeléctricos, asumiendo un 75% de eficiencia del ciclo de almacenamiento energético como aire comprimido. Estos 4000 GWh corresponden a 14.4 Petajoules. El Sector Transporte en México, consumió 1,478.14 Petajoules en 1997, lo que en forma directa correspondería al 1%, pero asumiendo las eficiencias energéticas, representaría el 10% del consumo de ese año.

Es evidente que para el 2030, la capacidad del Sector Transporte se incremente, pero también que será mucho

más eficiente energéticamente y mucho más racional en su composición (Ferrocarril, cabotaje, autos y camiones, transporte aéreo, etc.) como en sus energéticos (Combustibles fósiles, biocombustibles, electricidad, hidrógeno, aire comprimido, etc.)

Lo que es evidente, es que el vehículo con motor de aire comprimido, constituye una oportunidad formidable de desplazamiento de combustibles fósiles y de ahorro de energía. Un millón de unidades de aire comprimido, evitarían quemar por año 4,138,000 m3 de gasolina y las correspondientes emisiones a la atmósfera.

Conclusiones

En el Sector Transporte, el desarrollo sustentable no solo es tecnológicamente posible, sino que también constituye una gran oportunidad económica. Los vehículos de aire comprimido, desempeñaran un papel importante entre los vehículos automotores, sustituyendo importantes cantidades de gasolina y evitando las consecuentes emisiones a la atmósfera, además de que darán lugar a una infraestructura de estaciones de recarga aprovechando recursos naturales y humanos locales, contribuyendo a la creación de empleos productivos y bien remunerados en el medio rural.

Fig.1 Aerogenerador en granja, con posible aplicación en vehículos de aire comprimido

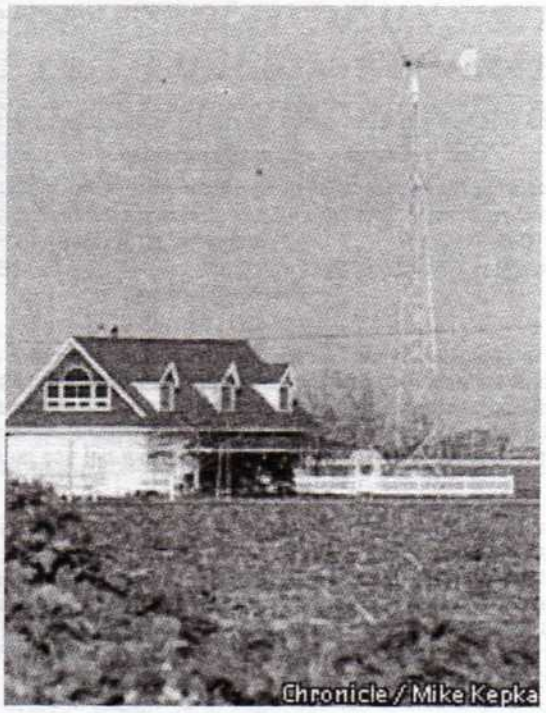


Fig.2 Aerogenerador al servicio de una vivienda, con la aplicación adicional posible de recargar tanques de aire comprimido.

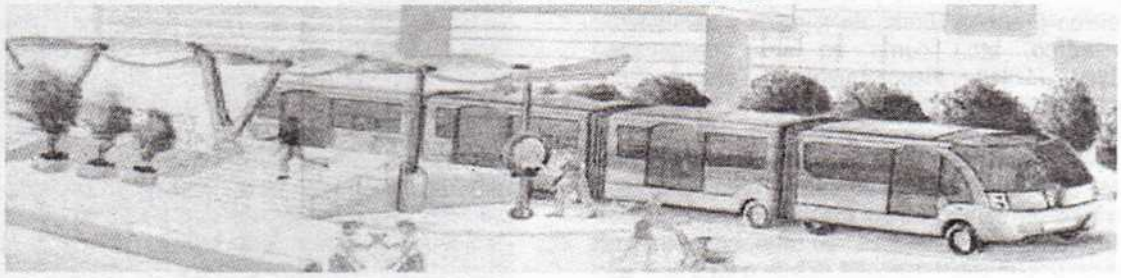
Referencias Bibliográficas:

MDI Industrias www.motordeaire.com

Energy, Resources & Policy
Richard C. Dorf
Addison-Wesley Publishing Co.
1978

Balance Nacional de Energía, 1997
Secretaria de Energía
México.

DE LA PAGINA de www.motordeaire.com



Aunque el propósito de MDI en los futuros meses será sacar al mercado el tan esperado CityCat's, las ideas de desarrollo no se detienen con aquel coche excepcional. MDI ha desarrollado diversos vehículos y dospositivos que prometen cambiar drásticamente el panorama del transporte público y del uso de la energía.

EL CONCEPTO DE TRANSPORTE URBANO DE CONTAMINACIÓN CERO:
Nuevo concepto de transporte público urbano, el MULTICAT se presenta en forma de un tren sobre ruedas constituido de varios módulos seguidores que incluyen:

- Un módulo de pilotaje (Locomotora)
- Los módulos de transporte (Vagones)

Generalidades técnicas. Cada módulo es automotor y está equipado con un motor MDI de tipo CAT' s (Compressed Air Tecnologie systems).

Cada módulo tiene sus tanques de aire comprimido. Cada módulo de transporte es guiado por cable desde el módulo de pilotaje y tiene su propia dirección (eléctrica/electrónica) que reproduce los mismos cambios de dirección que el módulo de pilotaje y permite seguir rigurosamente la trayectoria:

- Facilidad de conducción
- Agilidad urbana

La aceleración y el frenado de los módulos se coordinan con los del módulo de pilotaje, si bien dispone de sensores de localización inter-modulares que garantizan una gran precisión y mantienen la distancia entre cada módulo.

El módulo de pilotaje dispone de todos los mandos de los módulos de transporte como : apertura de las puertas, luz, calefacción, aire acondicionado y demás.

Los módulos de pilotaje y transporte se benefician de las tecnologías desarrolladas por MDI para sus coches no contaminantes:

- Chasis aluminio pegado.
- Carrocería doble piel estratificada con un alma de espuma de poliuretano.
- Circuito eléctrico mono hilo.
- Los módulos se equiparán con suspensión neumática

Los grupos electrógenos de ayuda sin combustible y los grupos de cogeneración.

Objeto de patentes específicas MDI, los motocompresores/motoalternateurs CAT' s serie 34 son también grupos electrógenos sin combustible, muy seguros y potentes.

En su funcionamiento, el motoalternador, en modo motor, recibe su energía de la red eléctrica de la ciudad, y mueve el motocompresor en modo compresor, que rellena o mantiene lleno los tanques de aire comprimido de alta presión.

En un corte de alimentación eléctrico o de una avería de red, el motocompresor se conmuta automáticamente en modo motriz y, abastecido en energía por el aire comprimido contenido en los tanques de almacenamiento, mueve el motoalternador también automáticamente conmutado en método alternador para proporcionar electricidad.

El motor básico 34 P02 permite realizar grupos electrogenos de 15 a 20 kW con un precio muy atractivo.

Para potencias superiores, MDI propone una solución original y económica (también patentada) según la cual varios grupos electrógenos de escasas potencias son agrupados en un rack, interconectados y administrados por una central de energía. Los motocompresores motoalternadores pueden así ser puesto en servicios sucesivamente, uno por otro o todos conjuntamente en función de las necesidades.

EL GRUPO ELECTRÓGENO CON CARBURANTE FÓSIL
Para necesidades sin interrupción, el grupo motocompresor motoalternador de serie CAT's 34 es perfectamente adaptable a la realización de grupos electrógenos con combustible fósil como gas, gasóleo o gasolina.

En una versión con energía fósil, un grupo CAT' s de serie 34 es capaz de proporcionar una potencia de aproximadamente 40 kW. Utilizando el concepto grupos multi en racks, es posible constituir una gama de producto que puede llegar hasta potencias de 1000 kW agrupando hasta 25 unidades interconectadas en un rack.

Paralelamente al suministro de electricidad, los grupos electrógenos CAT' s serie 34 pueden producir el aire comprimido que permite abastecer por ejemplo una estación de servicio de llenado de coches.

Ventajas de los grupos electrógenos CAT' s

- No hay preocupaciones de suministro de combustible
- Seguridad absoluta de arranque
- Seguridad de utilización
- Precio de compra interesante
- Coste de utilización sin precedentes

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LAS ENERGÍAS RENOVABLES

Ricardo Saldaña Flores, Ubaldo Miranda Miranda, Flor Morales Reyes
Gerencia de Energías No Convencionales, Instituto de Investigaciones Eléctricas,
Reforma 113 Col. Palmira, Cuernavaca, Mor., C. P. Postal 62490, México.
Teléfono 01 (777) 3 183811 ext. 7254, Fax: 01 (777) 3182436, e-mail: rsf@iie.org.mx

La planeación y el desarrollo de proyectos de aplicación de las energías renovables en un territorio con amplia diversidad como el de México, exige el manejo de información precisa y oportuna que apoye la búsqueda de la mejor opción para la solución de un problema específico.

En 1992, la Gerencia de Energías no Convencionales del IIE inició el desarrollo de un sistema de información para apoyar los proyectos de electrificación rural de la CFE. El proyecto se detuvo algunos meses después por la falta de financiamiento. Posteriormente, en octubre de 1997 el proyecto fue retomado con el apoyo de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) con el objeto de facilitar la planeación y promocionar la aplicación de estos recursos energéticos renovables a nivel nacional. El proyecto fue dividido en las siguientes cuatro etapas:

1. Etapa I: Desarrollo de la plataforma del sistema de información.
2. Etapa II: Habilitación y aplicación a zonas específicas.
3. Etapa III: Expansión y aplicación a nivel nacional.
4. Etapa IV: Operación y mantenimiento.

La etapa I concluyó en 1998 y consistió en la identificación, selección y adquisición del software y hardware requerido para el desarrollo de la plataforma del sistema.

La etapa II consistió en la incorporación de información al sistema sobre energías solar, eólica, microhidráulica y biomasa en zonas específicas. Esta etapa fue financiada por la Secretaría de Energía (SENER) y concluyó en diciembre de 2000.

La etapa III consistió en incorporar nueva información al sistema sobre los recursos ampliando la cobertura a nivel nacional. Esta etapa fue ejecutada con financiamiento de la SENER y concluyó en diciembre de 2002.

En la etapa IV se contempla la incorporación de nueva información al sistema y su aplicación como herramienta regular de trabajo.

INTRODUCCION

El sistema de información geográfica para las energías renovables en México (SIGER) pretende ser una herramienta que promueva la aplicación de las energías renovables para la generación de energía eléctrica en aquellas áreas del territorio donde sea factible el uso de estas tecnologías.

En la actualidad diversas instituciones en México se han avocado a la tarea de estudiar la disponibilidad de los recursos renovables, sin embargo no se había realizado un esfuerzo por concentrar toda esta información.

Uno de los problemas graves de no contar con un sistema como el SIGER es la duplicidad de esfuerzos y falta de un criterio uniforme que permita evaluar adecuadamente los recursos energéticos, dado que al existir una diversidad de maneras de llevar a cabo este tipo de acciones, diferentes grupos de un país pueden optar por muchos caminos para lograr un mismo objetivo.

El IIE, soporte tecnológico del sector eléctrico mexicano, se ha dado a la tarea de encauzar esfuerzos a nivel nacional para desarrollar aplicaciones de las energías renovables, sistematizando técnicas y métodos apegados a estándares internacionales y utilizando sistemas de aseguramiento de calidad, garantizando con ello el logro de resultados acordes con las expectativas de los posibles usuarios de las energías renovables.

En este sentido el SIGER será una herramienta poderosa para que instituciones, gobiernos, inversionistas y empresarios planeen la aplicación de proyectos que involucren el uso de las energías renovables en México.

DESARROLLO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

El desarrollo del SIGER fue planeado en cuatro etapas:

1ª Etapa:	Desarrollo de la plataforma del sistema.
2ª Etapa:	Descripción de los recursos renovables para áreas específicas e introducción de información sobre infraestructura.
3ª Etapa:	Descripción de los recursos renovables a nivel nacional e incorporación de herramientas de análisis de tecnologías para su explotación energética.
4ª. Etapa	Incorporación continua de información y mantenimiento del sistema.

En la figuras 1 a 4 se muestran de manera esquemática los conceptos de las diferentes etapas del proyecto.

Desarrollo de la plataforma del sistema

Esta etapa del proyecto de desarrollo del SIGER se llevó a cabo de octubre de 1997 a febrero de 1998 y fue apoyada económicamente por la CONAE.

Las actividades realizadas fueron las siguientes:

a) Diseño conceptual del sistema
b) Análisis de plataformas comerciales para el soporte del sistema
c) Selección y adquisición de plataforma
d) Selección de software y hardware de soporte
e) Integración general del sistema

Como requisito para evaluar la plataforma adecuada del sistema se consideró: homogeneidad de datos, consulta y recuperación de información, actualización pronta de datos en formato digital, despliegue cartográfico preciso y visualización de atributos, capacidad de análisis espacial y de redes sobre variables seleccionadas y distribución de información.

Esta etapa de desarrollo del SIGER concluyó con un sistema capaz de: visualizar áreas a través de acercamientos sucesivos, recuperar acercamientos previos y desplazamientos, relacionar la información estadística con el espacio geográfico y representar tal relación a través de mapas temáticos.

Descripción de los recursos renovables para áreas específicas e introducción de información sobre infraestructura

Esta segunda etapa del proyecto se llevó a cabo de enero a diciembre de 2000 e incluyó las siguientes actividades:

a) Elaboración de mapas de densidad de potencia de viento en la Región Pacífico-Norte, B.C.S, La Ventosa, Oax., Riviera Maya, Q. Roo, Moroncarit, Son., Laguna Verde, Ver. y Cerro de la Virgen, Zac.
b) Elaboración de mapas de irradiación solar global, directa y difusa a nivel nacional.
c) Elaboración de base de datos del potencial biomásico disponible en el estado de Veracruz.
d) Elaboración de mapas de las cuencas y subcuencas de los ríos Colorado, Tomatlán, Tehuantepec, Verde, Actópan y Tuxpan, indicando la potencia hidráulica disponible.
e) Se incluyó además información sobre: climas, precipitación, evapotranspiración, escurrimiento, temperatura ambiente, división municipal, carreteras y líneas eléctricas.

Descripción de los recursos renovables a nivel nacional e incorporación de nuevas herramientas de análisis

La tercera etapa del proyecto concluyó el 31 de diciembre del 2002 y su ejecución incluyó las siguientes actividades:

a) Integración al SIGER de nueva información sobre los recursos solar, eólico y biomásico a nivel nacional.
b) Adaptación de modelos de predicción para el recurso solar y eólico.
c) Acoplamiento al SIGER programas de apoyo para estudios enfocados a la explotación energética de los recursos renovables.
d) Vinculación con organismos e instituciones para el desarrollo del SIGER.
e) Elaboración de archivos con los principales resultados del sistema para su manejo a través de Internet.

OBSERVACIONES

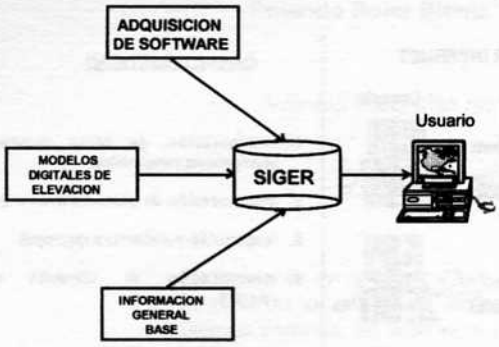
El desarrollo del Sistema de Información Geográfica para las Energías Renovables prevé una 4ª etapa cuyo inicio será en el 2003 y en ella se incluirá cualquier nueva información disponible tanto de los recursos renovables como de otros conceptos de interés como lo son tecnologías de aprovechamiento, mercados, gestión ambiental, bioclimatología, etc.

El SIGER en el mediano plazo será un medio con el cual se podrá llevar a cabo estudios de prefactibilidad técnico-económica de proyectos de aplicación de las energías renovables en México, lo que permitirá canalizar recursos para la inversión en este menester.

BIBLIOGRAFÍA

1. Saldaña R., Torres V., Origel G., Morales M. F., Miranda U. Sistema de Información sobre el Potencial de Aplicación de Energías Renovables en México (Primera Etapa). Informe Final. IIE/01/14/11340/I01/F. Instituto de Investigaciones Eléctricas. Enero de 1998. Cuernavaca, Morelos. México.
2. Saldaña R., Miranda U., Morales M. F. Caracterización del Recurso Eólico en la Región Pacífico-Norte, San Juanico y Bahía Magdalena, B.C.S., el cerro Palma del Zopilote, Pachuca, Hgo., la Central Eoloeléctrica La Venta, Oax., Playa Paraíso, Q. Roo e Isla del Carmen, Camp. Informe Anual. IIE/14/10114/I006/P. Instituto de Investigaciones Eléctricas. Enero de 1998. Cuernavaca, Morelos. México.
3. Torres V., Urzúa R., Origel G. Sistema de Información Geográfica sobre Energías Solar, Eólica y Microhidráulica en Áreas Prioritarias de México. Informe Final. IIE/UG/11349-F. Octubre de 1998. Cuernavaca, Morelos. México.
4. Saldaña R., Miranda U. Diseño Conceptual del Sistema de Información Geográfica sobre Energías Renovables en México. Informe Parcial. IIE/01/14/11778/I01/P. Instituto de Investigaciones Eléctricas. Enero de 2001. Cuernavaca, Morelos. México.
5. Saldaña R., Miranda U., Castañeda, Morales M. F., Basurto A. Desarrollo del Sistema de Información Geográfica para las Energías Renovables en México. 2ª Etapa. Informe Anual. IIE/01/14/11778/I02/A. Instituto de Investigaciones Eléctricas. Enero de 2001. Cuernavaca, Morelos. México.
6. Miranda U., Saldaña R. Elaboración de Mapas de Potencial Eólico en Áreas de Interés. Informe Parcial. Informe Parcial. IIE/01/14/11387/I01/P. Instituto de Investigaciones Eléctricas. Enero de 2001. Cuernavaca, Morelos. México.

DESARROLLO DE LA PLATAFORMA DEL SISTEMA DE INFORMACION (1a Etapa)



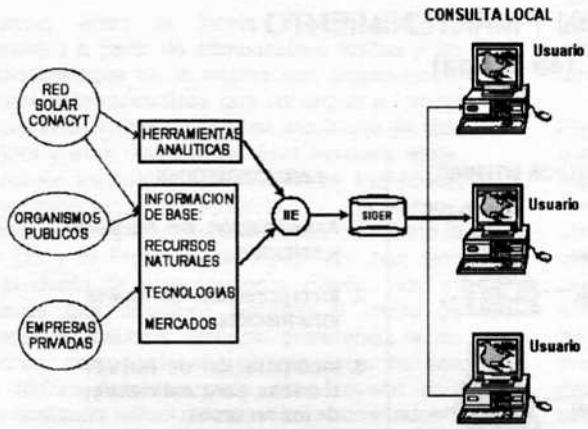
CARACTERISTICAS

1. Selección y adquisición del software.
2. Selección y adquisición del hardware.
3. Incorporación de información base sobre infraestructura.
4. Desarrollo de la plataforma del sistema.

DURACION: 5 MESES (CONCLUIDA)

Figura 1

HABILITACION Y APLICACION A ZONAS ESPECIFICAS (2a Etapa)



CARACTERISTICAS

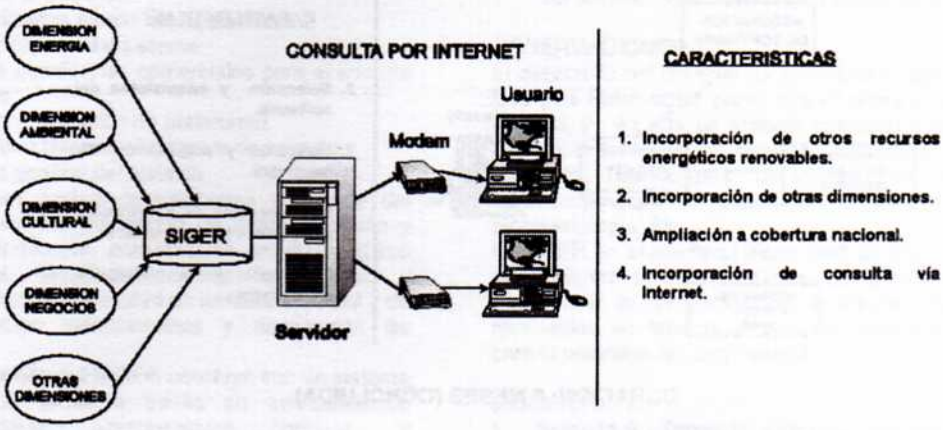
1. Incorporación de información sobre los recursos solar, eólico y microhidráulico para zonas especificas.
2. Bases de datos manipulables por el usuario.
3. Capacidad de realizar operaciones lógicas entre imágenes.
4. Operación a través de una red departamental.

DURACION: 12 MESES (CONCLUIDA)

Figura 2

EXPANSION Y APLICACION A NIVEL NACIONAL

(3a Etapa)

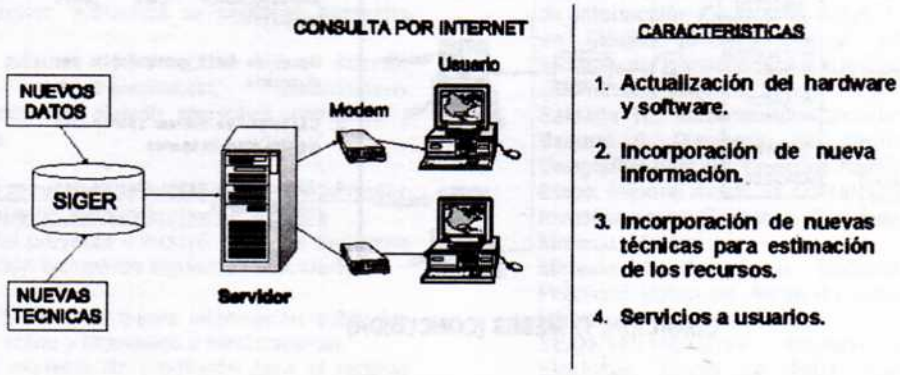


Duración: 24 meses (2001-2002)

Figura 3

OPERACION Y MANTENIMIENTO

(4a Etapa)



Duración: Indefinida

Figura 4

Diseño y Desarrollo de un Sistema para el estudio del potencial Solar y Eólico en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán.

Rolando Soler Bientz[1,a] , María Milagrosa Pérez[1], Francisco Javier Solís Baeza[2]

[1]Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán
Avenida Industrias no Contaminantes x Anillo periférico norte s/n. Mérida. Yucatán.
Tel. +(999) 9410191, ext. 147, Fax: +(999) 9410189:
[a]email: sbientz@tunku.uady.mx
[2]Energías Alternas CONDUMEX.

El desarrollo de infraestructura en las universidades para investigaciones que promuevan el empleo de las energías renovables se ha incrementando de manera significativa en los últimos tiempos, en todo el mundo. En el presente trabajo los autores presentan el diseño, instalación y puesta a punto de un sistema para el análisis y aprovechamiento de los recursos renovables solar y eólico, en La Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán. La infraestructura instalada permite estudiar los regímenes de trabajo de los sistemas empleados para explotar la energía solar y la eólica. Equipos para adquisición, control y procesamiento de datos han sido desarrollados para monitorear la generación de energía eléctrica por vía renovable. El uso del sistema potenciará las aplicaciones de formas limpias de generación de energía en el Sureste de México, sirviendo de fundamento para futuros proyectos de investigación, relacionados con aplicaciones de las energías renovables. Con este trabajo se crearon las bases materiales para la formación de recursos humanos mediante la realización de Tesis de Licenciatura, Maestría y Doctorado.

I. Introducción.

Las contradicciones entre la forma convencional de producción de energía a partir de combustibles fósiles y las consecuencias bioclimáticas de la misma han propiciado el desarrollo de tecnologías renovables que conducen a formas limpias de generación de energía y ofrecen una forma de vida menos depredadora y más sustentable. Esta temática atrae, cada vez con mayor intensidad, el interés de individuos, grupos de investigación, instituciones y gobiernos. Importantes eventos y convenios internacionales, como son la Cumbre de Río (1) y el Protocolo de Kyoto (2), han sido logrados como producto de este creciente interés. Hoy se hace más evidente que debemos cambiar el modo de producción de energía eléctrica, dándole preferencia a las energías renovables, pero hasta el presente éstas no son competitivas en términos del mercado. Para revertir esta situación se han realizado esfuerzos no sólo encaminados a mejorar la eficiencia de los sistemas, sino también, a reducir los costos a partir de la producción a gran escala (3). Añadido a esto, la estrategia de desarrollar proyectos arquitectónicos, en donde se integren las fuentes renovables desde la etapa de diseño, ha permitido en países europeos ejecutar ambiciosos proyectos comunitarios (4). En esta misma dirección se han desarrollado investigaciones para mejorar el diseño y simplificar la elaboración de módulos fotovoltaicos, añadiéndole cierto grado de resistencia al fuego, para integrarlos con mayor seguridad a los techos residenciales (5). Para el desarrollo de estos y otros proyectos de aplicación de las energías renovables, ha sido de capital importancia la identificación de los factores técnicos, sociales, financieros y geopolíticos que se erigen como barreras y restricciones entorpecedoras del crecimiento del mercado de energías renovables (6).

Por su parte las universidades y los centros de investigación, como formadores de recursos humanos, tienen un importante papel a desempeñar en el desarrollo de una conciencia sustentable en la comunidad en general. En este sentido se han realizado varios esfuerzos con el objetivo de integrar y estandarizar la información y los métodos empleados en la enseñanza de las energías renovables y el ahorro de energía (7). Igualmente importante resulta para las universidades, el desarrollo de infraestructura de investigación que permita estudiar y evaluar el potencial necesario para mejorar el desempeño de los sistemas autónomos de generación de energía, a partir de fuentes renovables (8). Como parte de la infraestructura de investigación para estudiar las energías renovables, se encuentran los sistemas de medición, almacenamiento y procesamiento de los datos involucrados en la generación de energía, el desarrollo de este tipo de sistemas ocupa también los esfuerzos de investigadores en las universidades (9).

El proceso de inserción en el mercado, así como la economía y la fiabilidad, de las tecnologías renovables es fuertemente dependiente de un estudio correcto de los

recursos renovables disponibles, en la etapa de proyecto. Por lo tanto, evaluar el potencial de explotación energética de los recursos renovables, realizar tareas de recuperación, calificación y estandarización de la información meteorológica disponible ha tenido particular importancia en los proyectos de energías renovables (10). En muchas ocasiones, esta información está incompleta o ausente para una localidad concreta o un período de tiempo determinado y es necesario recurrir a modelos que permitan estimar los datos faltantes, para con estos simular la operación de los sistemas de generación de energía y realizar análisis preliminares de su comportamiento operativo (11). Esto con el objetivo de evitar los costos de sobredimensionar los sistemas manteniendo la fiabilidad de los mismos.

El desempeño de diferentes generadores fotovoltaicos, bajo condiciones reales de operación, resulta esencial para decidir la selección correcta de productos y las predicciones precisas de su capacidad de producción de electricidad. Con este objetivo se han desarrollado trabajos de creación de infraestructuras de prueba que caracterizan el comportamiento eléctrico de un generador fotovoltaico bajo condiciones de cargas variables en función de la insolación y la temperatura (12).

Cuando la disponibilidad de los recursos lo admite, la combinación de los sistemas fotovoltaicos con otras fuentes de energía en sistemas híbridos, permite desarrollar aplicaciones más robustas para la generación de energía eléctrica. Entre ellos se encuentran los Fotovoltaicos-Diesel que han sido evaluados, desde el punto de vista técnico y económico, con el objetivo de estudiar sus índices de factibilidad económica y financiera (13). La inclusión de baterías en estos sistemas aumenta la autonomía de los mismos, mas con el objetivo de acotar los costos de operación del sistema es necesario considerar el costo del combustible y el deterioro de las baterías bajo el régimen específico de trabajo de las cargas (14)

Una versión aún más renovable y robusta de los sistemas híbridos se logra cuando se involucran sistemas de generación de energía que explotan no solo la radiación solar, sino también la energía del viento. En este contexto se han realizado análisis técnico-económicos considerando como variables el nivel de autonomía y el costo del sistema. Estos análisis están destinados a optimizar la operación de dichos sistemas y estimar la factibilidad de emplearlos como fuentes de energía, que maximicen el uso de energías renovables y satisfagan la demanda de energía eléctrica de las cargas (15).

En el presente artículo se presentan, fundamentan y analizan los trabajos de creación de una infraestructura de investigación que permite evaluar las fuentes renovables, Solar y Eólica, disponibles en la zona de Yucatán; así como estudiar los sistemas de generación de energía empleados para explotar dichas fuentes. Los mismos han sido realizados por los autores en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán.

II. Diseño general del Sistema.

El sistema fue diseñado con el objetivo de crear las herramientas básicas que permitieran el desarrollo de proyectos de investigación aplicados al aprovechamiento de los recursos renovables Solar y Eólico en Yucatán. El primer aspecto a considerar fue el de configurar e instalar los instrumentos necesarios para evaluar la energía disponible en la radiación solar y el viento, en el sitio de la Facultad de Ingeniería. Para ello se consideró una estación de monitoreo de la radiación solar en sus componentes: global, directa y difusa, y una estación de medición de la velocidad y dirección de viento, en donde también podrá ser evaluado el impacto en la energía disponible de: la temperatura, la humedad relativa y la presión atmosférica. Con las mediciones de todos estos parámetros podrán realizarse evaluaciones sobre el potencial de energía Solar y Eólica, así como las condiciones para su explotación. Luego se procedió a diseñar los sistemas de generación de energía eléctrica para lo cual fueron considerados los siguientes equipos: un generador fotovoltaico estático (no varía ninguno de sus ángulos de inclinación) y dos generadores fotovoltaicos dinámicos o seguidores solares, uno de doble eje y el otro de sólo un eje. Ambos seguidores tienen principios de operación diferentes con lo cual se garantizó no solo el estudio de la generación fotovoltaica dinámica sino el de dos tecnologías diferentes de seguimiento solar.

Todos los sistemas fotovoltaicos fueron diseñados para operar a 48 V de corriente directa Este voltaje fue escogido atendiendo a razones de seguridad y disponibilidad de espacio, pues desde el área física de generación fotovoltaica, situada en el techo del edifico de laboratorios, hasta los sistemas de almacenamiento, control de carga y el inversor, situados en piso inferior de dicho edificio, existe una distancia de 20 metros. Con está medida se evitó aumentar el calibre del cableado de corriente directa y con ello disminuir el costo del sistema y simplificar las tareas de instalación y mantenimiento. En lo que respecta al generador eólico, y en consecuencia a lo ya mencionado, se considero emplear un equipo de 48 V de corriente directa, lo cual es logrado mediante un rectificador que también opera como cargador.

A estos sistemas de generación se les acopló un banco de baterías para dotar de autonomía al sistema y potenciar estudios de los diferentes regímenes de carga y descarga. Todo el sistema fue integrado en un sistema híbrido gobernado por un inversor, de 48 V de corriente directa y 110 V de corriente alterna, que permitió añadir dos fuentes de energía adicionales: un generador eléctrico convencional y la línea de alimentación de energía eléctrica de CFE.

Para monitorear la operación del sistema híbrido se diseñó un sistema de captación de datos el cual lee periódicamente los valores de voltaje y corriente de las diferentes fuentes de energía. Este sistema de monitoreo cuenta además con opciones de control, de forma tal que posibilita el estudio del sistema en su conjunto o combinaciones seleccionadas de cada una de las fuentes de energía. Para completar el diseño se creó un software para administrar los regímenes de trabajo del sistema híbrido, almacenar los valores de corriente y voltaje de los sistemas de generación y visualizar, en tiempo real o el historial, las variables fundamentales de generación de cada elemento del sistema.

III. Caracterización de los medios de monitoreo de los recursos Fotovoltaicos y Eólicos.

Como ya fue expuesto, la tarea de evaluar la disponibilidad de los recursos Solar y Eólico, corre a cargo de dos estaciones de monitoreo: una estación solarimétrica y una estación anemométrica. Cada una de estas estaciones de monitoreo están conectadas a un sistema de adquisición de

datos modelo CR10X de Campbell, mediante el cual se realiza la captación y almacenamiento de las señales leídas por cada sensor. Luego mediante un enlace vía puerto serial RS232, la información puede ser almacenada en una base de datos en el servidor de la Red.

Estación Solarimétrica

En esta estación de monitoreo se caracteriza la radiación solar en sus componentes básicas: directa y difusa, así como también la componente ultravioleta del espectro solar. Por lo tanto en su configuración se incluyeron los siguientes elementos:
Estación de seguimiento solar con sistema de sombreado.

- Piranómetro.
- Radiómetro ultravioleta.
- Pyrheliómetro.

Las características técnicas principales de estos elementos son:

Características	Sensores Kipp & Zone		
	Piranómetro	Radiómetro Ultravioleta	Pyrheliómetro
Modelo	CM 11	CUV 3	CH 1
Rango de espectral	305nm – 2800nm	290nm – 400nm	200nm - 4000nm
Sensibilidad	4 - 6 $\mu V/Wm^{-2}$	4 - 6 $\mu V/Wm^{-2}$	7 – 15 $\mu V/Wm^{-2}$

En las Figuras 1-2 se muestran imágenes de la estación solarimétrica. Como se observa en las figuras la estación de seguimiento tiene montados sobre su base horizontal el piranómetro y el radiómetro ultravioleta, mientras que solidario con el brazo del mecanismo de sombreado se encuentra el pyrheliómetro. De esta forma cuando el sistema de seguimiento orienta a las esferas de sombreado en la dirección del Sol, éstas proyectan su sombra sobre el piranómetro y el radiómetro ultravioleta, eliminando así la componente directa de la radiación, al tiempo que el pyrheliómetro quedará como consecuencia, orientado en la dirección de los rayos del Sol, midiendo así la radiación directa.

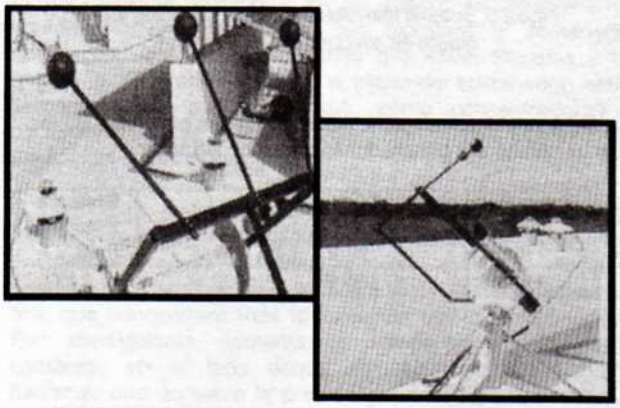


Figura 1. Estación solarimétrica. Se aprecia la vista lateral del seguidor solar con los sensores instalados y la vista superior en donde se observan las sombras de las esferas sobre los sensores eliminando la radiación solar directa.

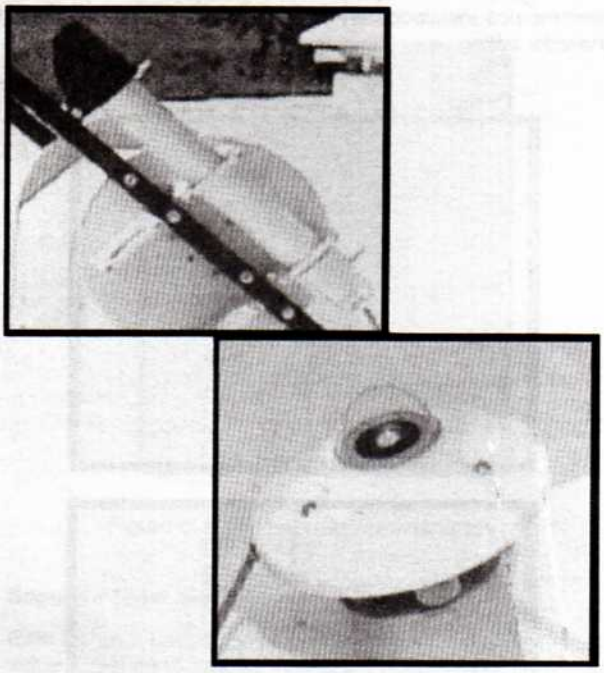


Figura 2. Sensores empleados en la estación solarimétrica, de izquierda a derecha se muestra: el piranómetro, el radiómetro ultravioleta y el pyrheliómetro.

Estación Anemométrica.

En esta estación sé monitorean las variables involucradas en la generación eólica, está compuesta por dos pares de sensores de velocidad y dirección del viento. Los sensores de velocidad y dirección del viento están situados a 10 metros y a 30 metros, que es la altura aproximada a la que se encuentra el generador Eólico. Con esta configuración es posible determinar la rugosidad del terreno y con ello se podrá estimar la velocidad del viento a cualquier otra altura. Adicionalmente, con el objetivo de obtener los valores de las principales variables meteorológicas, que pueden impactar en la energía disponible en el viento, se incluyeron: un sensor de temperatura, un sensor de humedad relativa y un sensor de presión atmosférica. Los 7 sensores son de marca "Campbell Scientific" y tienen las siguientes características técnicas:

Características	Sensores Campbell Scientific		
	Velocidad y dirección del viento	Temperatura y humedad relativa	Presión
Modelo	030001	CS500	CS105
Rango de operación	0-50 m/s	-40°C / +60°C	600 – 1060 mb

En la Figura 3 se muestran los sensores de la estación anemométrica instalados en el cuerpo de la torre de soporte del generador eólico.

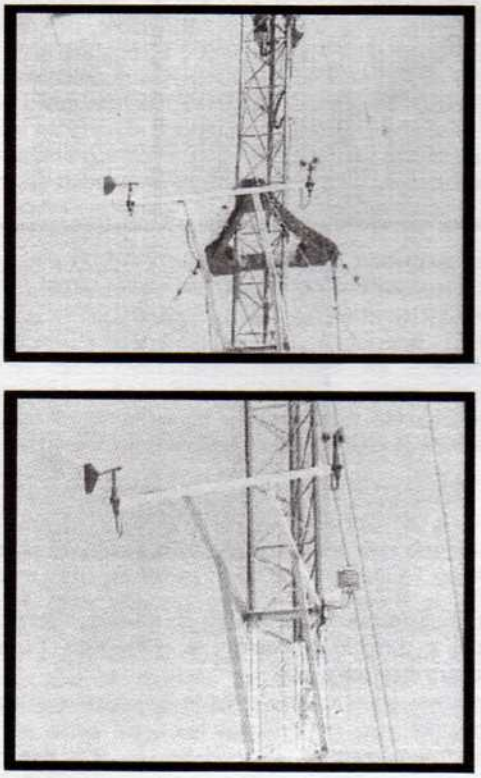


Figura 3. Estación Anemométrica, a la izquierda se observan los sensores que están situados a 10 metros de altura y a la derecha, los sensores de velocidad y dirección de viento situados a 30 metros de altura (altura de generación).

IV. Bloque de generadores de energía.

IV.1 Generador Fotovoltaico.

Para la generación fotovoltaica se emplearon tres generadores, en cada uno de ellos es diferente la posición que ocupan los módulos fotovoltaicos respecto a los rayos del Sol, durante los ciclos diarios y anuales de éste. El primer generador es estático, los dos restantes, son generadores dinámicos (seguidores solares). Tanto el sistema estático como los dos seguidores solares están conectados entre sí en una configuración en paralelo, formando un sistema de generación fotovoltaica de 2 kW de capacidad de generación a 48 V. Antes de conectarse con el banco de baterías, mediante un bus de corriente directa, los sistemas de generación fotovoltaica, están conectados a un controlador de carga con las siguientes características técnicas:

Controlador de carga	
Marca	CONDUMEX
Modelo	CCX 48
Voltaje de entrada	48 V
Corriente máxima	50 A

Mediante este controlador, se regulan los ciclos de carga-descarga de las baterías y se evitan las sobrecargas excesivas y las descargas demasiado profundas de las baterías, que deterioran el tiempo de vida de las mismas. El diagrama en bloque que se muestra en la Figura 4 ilustra la organización de los generadores fotovoltaicos.

Generador fotovoltaico estático.

Este sistema, como su nombre lo indica, se encuentra en una misma posición a lo largo del día y durante todas las estaciones del año. Considerando nuestra posición geográfica, ciudad de Mérida, se situó a unos 21 grados de inclinación con respecto a la horizontal, en dirección Sur. Está conformado por un conjunto de 3 subarreglos en paralelo de 400 W cada uno. Cada subarreglo cuenta con cuatro módulos fotovoltaicos de 100 W cada uno conectados en serie como se ve en la Figura 5.

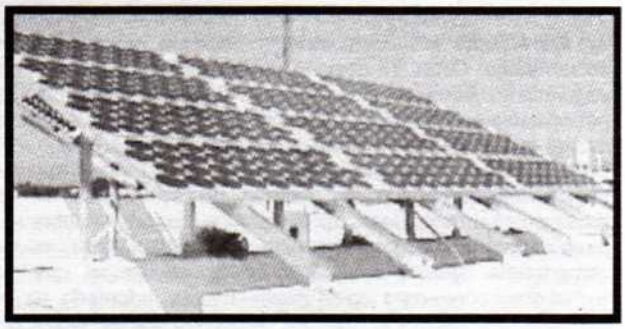


Figura 5. Sistema fotovoltaico estático, orientado a 21 grados en dirección Sur.

La siguiente tabla muestra las propiedades eléctricas de los componentes del generador fotovoltaico estático:

Características eléctricas	Módulo	Subarreglo	Sistema Estático
Voltaje	12 V	48 V	48 V
Potencia	100 W	400 W	1.2 kW

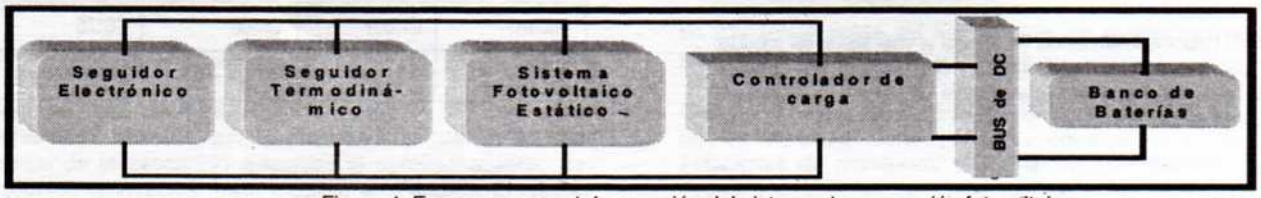


Figura 4. Esquema general de conexión del sistema de generación fotovoltaica

Generadores fotovoltaicos dinámicos.

Con el objetivo de evaluar el incremento en la generación de energía que se produce al colocar el plano de los módulos fotovoltaicos en la posición más cercana a la normal con respecto a los rayos del Sol, se instalaron dos tipos de sistemas dinámicos o seguidores solares, uno que rastreara el movimiento diario Este-Oste del Sol, manteniendo fijo el ángulo en la dirección Norte-Sur, y otro seguidor que variara ambos ángulos de inclinación de forma tal que, en todo momento del día y en toda época del año, enfrente el plano de los módulos bajo un ángulo de 90 grados respecto a los rayos del Sol. En cada seguidor fue instalado un subarreglo de módulos fotovoltaicos, compatible eléctricamente con la configuración del generador estático. Las características principales de este subarreglo son:

Tipo de módulos	
Marca	Siemens
Modelo	SR100
Voltaje	12 V
Potencia	100 W
Subarreglo	
Módulos en serie	4
Voltaje	48 V
Potencia	400 W

Teniendo en cuenta los principios de funcionamiento de cada seguidor, éstos se denominaron: Seguidor Solar Termodinámico y Seguidor Solar Electrónico.

Seguidor Solar Termodinámico.

Es un seguidor solar marca Zomeworks, que opera bajo principios termodinámicos, es de un solo eje de rotación que le permite seguir el movimiento del Sol durante los ciclos diarios. Consta de un mástil, un sistema de amortiguamiento, que permite que el plano de los módulos rote en torno al punto de apoyo, y la base de los módulos que es un sostenedor hueco en forma de "H". El sostenedor está herméticamente cerrado y en su interior se almacena un líquido altamente volátil. En sus extremos el sostenedor cuenta con dos placas solidarias que están situadas a un ángulo de 45 grados respecto al plano del sostenedor, estas placas actúan, según el caso, como concentradoras o dispersoras de la radiación solar que intenta llegar a los brazos del sostenedor.

El principio de funcionamiento de este seguidor se fundamenta en el hecho de que, cuando sobre el plano del sostenedor no arriba la radiación solar de manera homogénea, habrá un lado del sostenedor, el más alejado del Sol, que concentrará más la radiación que el lado opuesto. Por consiguiente aumenta la temperatura del líquido contenido en el lado donde se concentra la radiación haciendo que aumente la presión y que el líquido se mueva hacia el lado opuesto del sostenedor, el más cercano al Sol, con lo cual el sistema se desequilibra, rotando en la misma dirección en la que se mueve el líquido. Este proceso cesará cuando los rayos de Sol arriben en forma equidistante respecto de ambos lados del sostenedor, situación en la cual la presión sobre todo el gas en el interior del sostenedor es la misma y el sistema se equilibra. En la Figura 6 se muestra una fotografía del Seguidor solar Termodinámico.

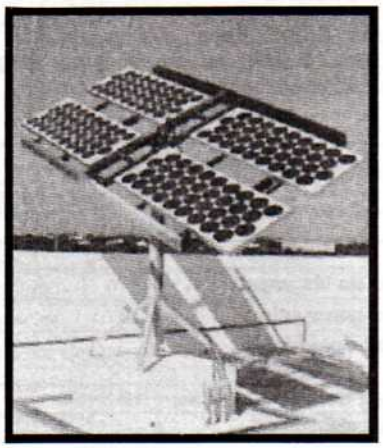


Figura 6. Seguidor solar termodinámico.

Seguidor Solar Electrónico.

Este es un seguidor solar de doble eje marca Watsun, que sigue al Sol en todos sus movimientos aparentes: movimiento de este-oeste, norte-sur y sur-norte. Para ello emplea un sistema electromecánico consistente en un motor de pasos, que permite hacer rotaciones alrededor del eje vertical y de un elevador hidráulico que cambia el ángulo de inclinación. Este sistema electromecánico recibe señales eléctricas de un arreglo de fotodiodos que se encuentra situado en el plano de los módulos fotovoltaicos. Estos movimientos, tiene por objetivo realizar un proceso de aproximaciones sucesivas, buscando la condición en la que la señal de luz recibida por el arreglo de fotodiodos sea la máxima posible y de igual magnitud en cada uno de los fotodiodos que conforman el arreglo. En el momento en el que esta condición se cumpla, el plano de los módulos se encontrará en dirección perpendicular a los rayos del Sol. En cuanto el Sol se mueva variará la magnitud de la radiación que arriba a cada fotodiodo del arreglo y el proceso de rastreo se iniciará nuevamente. En la Figura 7 se muestra una fotografía del Seguidor solar electrónico.

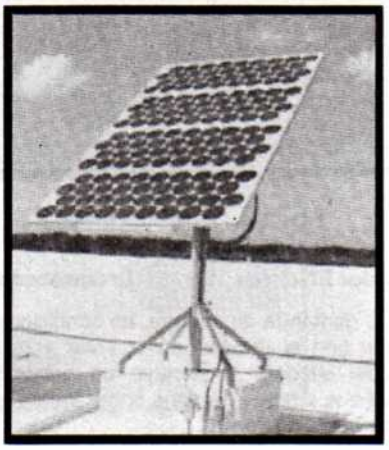


Figura 7. Seguidor solar electrónico.

IV.2 Generador Eólico.

El generador Eólico tiene una capacidad nominal de generación de 1.5 kW, es de la firma Bergey, con las siguientes características técnicas:

Generador Eólico	
Marca	BERGEY WINDPOWER
Modelo	BWC 1500
Peso	76 Kg
Diámetro de las aspas	3 m
Altura de generación	33 m
Velocidad del viento mínima	3.6 m/s
Velocidad del viento media	12.5 m/s
Velocidad del viento máxima	54 m/s
Potencia	1.5 kW
Controlador rectificador (VCS)	
VCS Entrada	3 fases de 110 V
VCS Salida	48 VDC
Corriente máxima	35 A

En la Figura 8 se muestra una fotografía de este generador. El sistema de control que desconecta el generador eólico del sistema híbrido tiene acoplado un arreglo de relevadores que automáticamente conecta un freno dinámico, resistencias para disipar la energía que se esta generando, al generador eólico como un mecanismo de protección. Cuando se activa la señal de conexión, del generador eólico al sistema híbrido, el freno dinámico es igualmente desconectado para permitir que la energía generada sea aprovechada por el sistema híbrido.

Figura 8. Generador eólico.

IV.3 Generador Eléctrico a motor de combustión interna.

Para cubrir la demanda de energía, en condiciones en las que no se cuente con el recurso eólico-solar y manteniendo la autonomía del sistema se incluyó un generador eléctrico convencional que emplea gasolina como fuente energía en un motor de combustión interna:

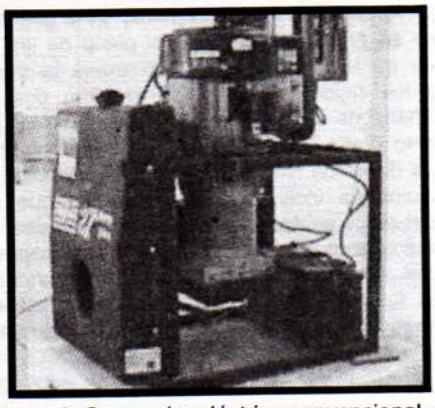


Figura 9. Generador eléctrico convencional.

El generador eléctrico se conecta directamente al inversor y es activado de forma automática por el mismo, cuando la energía producida por el generador fotovoltaico, el generador eólico y la almacenada en las baterías no es suficiente para alimentar las cargas. En esta condición, el generador eléctrico abastece el déficit de energía de las cargas, y recarga en banco de baterías. En la Figura 9 se muestra una fotografía de este generador.

Generador Eléctrico		Motor	
Marca	Evans	**Combustible**	Gasolina 4 ciclos
Modelo	Gv-70	**Flecha**	Vertical
Potencia	7 KW	**Velocidad de Operación**	3600 rpm
Voltaje	110/220 V, 60Hz	**Arranque**	Eléctrico

V. Sistema Híbrido.

El sistema híbrido está formado por la combinación del sistema estático y los dos seguidores solares (potencia combinada de 2 kW), el generador eólico Bergen (1.5 kW) que están acoplados mediante el Bus de DC al banco de baterías y al inversor. Por último se conectan directamente al inversor, en entradas separadas de 110 VAC, el generador eléctrico convencional a gasolina y línea de alimentación de la red eléctrica de CFE. Las características más importantes del inversor se muestran a continuación:

Inversor	
Marca	Trace Engineering
Modelo	SW 4048
Voltaje nominal de entrada	48 VDC
Voltaje de salida	105 VAC
Potencia de salida	4.5 kVA
Eficiencia	96 %
Corriente máxima de carga	60 A de CD
Forma de la onda de salida	Sinusoidal de 34 a 52 pasos / ciclo
Regulación del Voltaje	± 2 %

El bus de conexiones se diseño para permitir la interconexión de los sistemas de directa en paralelo. En la caja que lo alberga fueron situados interruptores de desconexión manual, relevadores para el control desde la computadora y los transductores de corriente y voltaje de cada generador. En la Figura 10 se muestra una fotografía del bus de conexiones y en la Figura 11 el esquema de conexiones del sistema híbrido.

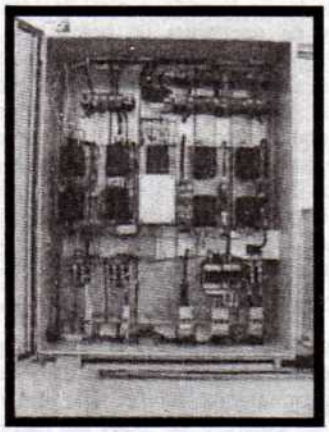


Figura 10. Bus de conexiones del sistema híbrido.

Para el banco de baterías se emplearon baterías de 6 V cada una. Como el banco de baterías debe operar a 48 V, se crearon subarreglos de 8 baterías conectadas en serie. Para aumentar la capacidad de almacenamiento se conformó el banco de batería con 3 de los mencionados subarreglos conectados en paralelo. Resultando un arreglo como el que se esquematiza en la Figura 12, que es el que se conecta al sistema híbrido.

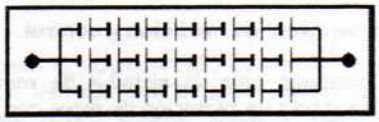


Figura 12. Arreglo de baterías.

Las baterías empleadas tienen las siguientes características:

Baterías	
Marca	Trotan
Modelo	T105
Material	Plomo ácido
Tipo de descarga	Profunda
Voltaje	6 V
Autonomía	217 Ah

Las baterías en esta configuración actúan como fuentes de energía cuando la energía proporcionada por el generador fotovoltaico y el eólico no es suficiente para cubrir la demanda de las cargas. Cuando las cargas no consumen toda la energía generada, entonces el excedente es dirigido hacia las baterías hasta restablecer totalmente su nivel de carga.

La línea de alimentación de energía de CFE, la cual se conecta directamente al inversor, es empleada en el sistema híbrido como una fuente de energía para alimentar las cargas y para cargar las baterías. El inversor cuenta con la potencialidad de configurarse en un modo de operación en el cual la energía generada por las fuentes renovables solar y eólica, que no es consumida por las cargas, se inyecta a través de la línea de alimentación de CFE a la Red pública de energía, contribuyendo así al aprovechamiento máximo de toda la energía eléctrica generada por medios renovables.

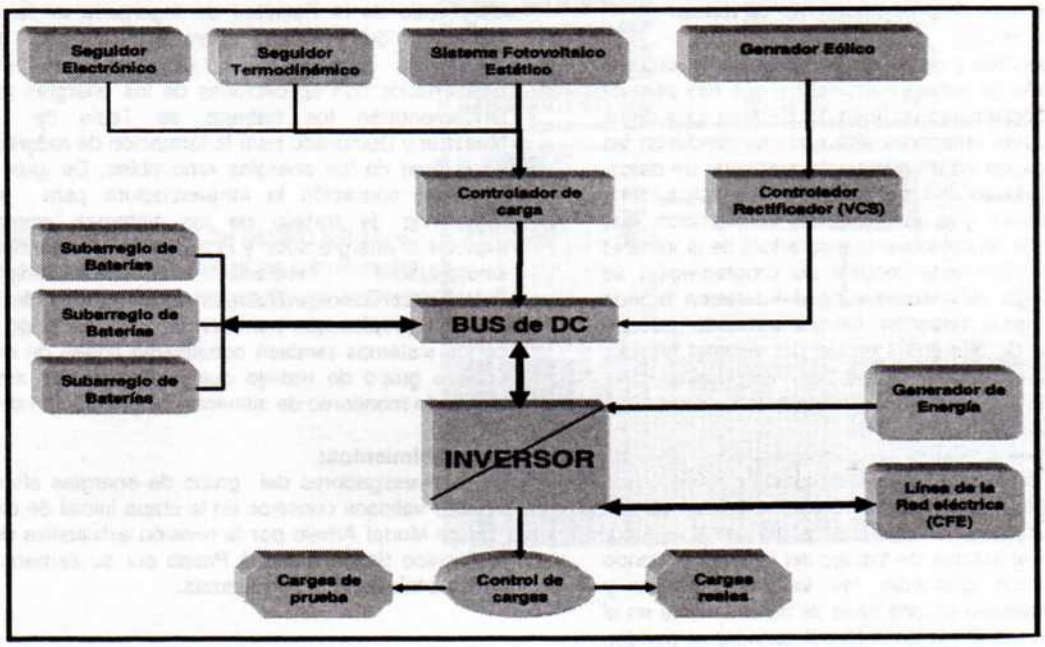


Figura 11. Esquema de conexiones del sistema híbrido.

VI. Diseño de hardware de medición y control.

El hardware diseñado para el sistema de medición está formado por una tarjeta de captación de datos con un ADC de 16 canales, la cual permite leer las señales de corriente y voltaje de los tres generadores de energía, del banco de baterías, de la línea de CFE y de las cargas. Las señales de corriente y voltaje son acondicionadas por transductores que generan señales de salida en el rango de trabajo del ADC (0 a 5 V).

El control del sistema es operado por una tarjeta con un chip 8255 mediante el cual se envían las señales de activación de los relevadores que permiten la conexión y desconexión selectiva del sistema híbrido de los generadores fotovoltaico, eólico y el generador eléctrico convencional.

Adicionalmente las cargas conectadas al sistema híbrido fueron clasificadas en cargas reales y cargas de prueba. Como cargas reales fueron consideradas todas las cargas (Lámparas, equipos y computadoras) que se encuentran en el edifico del Laboratorio de energía, con una potencia aproximada de 1 kW. Como carga de prueba fue considerado un pupitre de conexiones que permite que se conecten cargas resistivas, inductivas o capacitivas, en forma aislada o combinadas, con el objetivo de estudiar el comportamiento de las fuentes de energía bajo diferentes regímenes de consumo energético. El sistema de control permite que el sistema híbrido pueda enviar energía hacia las cargas reales del laboratorio o hacia el pupitre de prueba. En este último caso un arreglo de relevadores se encarga de enviar alimentación directa desde la red CFE a las cargas reales para que el laboratorio cuente con energía, por el tiempo en el que el sistema híbrido se encuentra conectado a las cargas de prueba. La Figura 13 muestra la pantalla de conexión de todos los elementos del sistema.

VII. Diseño de Software de procesamiento de datos.

Para capturar, almacenar y visualizar los datos generados por el sistema, se diseño un software específico que nos permite monitorear el comportamiento en línea del sistema y los datos capturados en los días anteriores. Para ello se dividieron las tareas de programación en un núcleo de captación de datos, el cual está instalado en una computadora que actúa como servidor de mediciones, y la aplicación de visualización, que puede estar instalada en cualquier computadora de la Intranet de la Universidad. Con este modelo de programación se descentraliza la tarea de visualización del sistema híbrido permitiendo que varios usuarios simultáneamente puedan visualizar los datos de diferentes partes del sistema híbrido, en diferentes computadoras de la red, sin necesidad de estar presentes en el lugar físico de ubicación del sistema de captación de datos.

El software diseñado para el núcleo de captación de datos lee cada un segundo los valores de corriente y voltaje de los generadores y las baterías, calcula la potencia consumida por las cargas y revisa el estatus de trabajo del inversor. Cuando transcurre un minuto promedia los valores medidos y calculados y los almacena en una base de datos situada en el servidor de mediciones. En la pantalla del servidor se pueden apreciar los valores instantáneos que están siendo capturados para cada componente del sistema híbrido, tal como se aprecia en la Figura 14.

El software de visualización por su parte consta de una pantalla general de control, en donde se presenta el sistema híbrido esquematizado; tal como muestra la Figura 13. En esta pantalla la imagen de cada sistema constituye un botón de acceso que permite que el usuario ejecute saltos hacia las pantallas de graficación de los valores medidos. Cada imagen de cada sistema tiene asociado un interruptor que le permite al usuario conectar o desconectar las fuentes de energía del sistema híbrido. En la parte central de esta pantalla, saliendo del inversor se encuentra un botón que dirige la energía generada hacía las cargas reales o hacía las cargas de prueba. Para cada fuente de energía existe una pantalla con dos gráficas que muestran información sobre la potencia generada, una grafica pequeña muestra el comportamiento del sistema en el último minuto y el segundo gráfico permite visualizar los datos generados desde la última hora hasta las últimas 24 horas. En la figura 15 se muestra un ejemplo con la pantalla de visualización del generador fotovoltaico, se ha mostrado la potencia generada por el sistema fotovoltaico durante las 12 horas útiles de Sol.

En el software de visualización también fue programada la opción, mediante el botón "Fuentes de energía", de visualizar de manera simultanea en un solo gráfico las curvas de generación de potencia de todas las fuentes de energía del sistema híbrido. En la Figura 16 se muestra un ejemplo de esta pantalla en donde se observan las curvas de generación fotovoltaicas y generación eólica. Las salidas del generador de gasolina y del banco de batería fueron bloqueadas en el gráfico para que poder apreciar mejor el comportamiento de las curvas de potencia de los sistemas renovables.

VIII. Conclusiones

Se diseñó y desarrolló un sistema para el análisis y aprovechamiento de los recursos renovables solar y eólico. Este sistema permitirá realizar evaluaciones preliminares de disponibilidad de energía en la radiación solar y en el viento, en el sitio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán. Estas evaluaciones servirán de referencias para futuros proyectos de investigación relacionados con aplicaciones de las energías renovables y fundamentarán los trabajos de Tesis de Licenciatura, Maestría y Doctorado para la formación de recursos humanos en el área de las energías renovables. De igual manera se puso en operación la infraestructura para estudiar los regímenes de trabajo de los sistemas empleados para explotar la energía solar y la eólica en forma independiente o sincronizada, mediante un sistema híbrido Solar/Eólico/Gasolina/Baterías. El desarrollo de hardware y software propios que permiten la caracterización y el control de los sistemas también constituyen líneas de desarrollo de nuestro grupo de trabajo que nos permitirán simplificar las tareas de monitoreo de sistemas de generación de energía.

Agradecimientos:
A los investigadores del grupo de energías alternas del IIE por sus valiosos consejos en la etapa inicial de diseño, al Dr. Andrés Martel Arbelo por la revisión exhaustiva del artículo y al Técnico Sergio Canché Pacab por su esmerado esfuerzo en la instalación de los sistemas.

Referencias:

[1]. Report of the United Nations Conference on Environment and Development. 2003 (activo mayo de 2003). Earth Summit - Rio Declaration. http://www.un.org/documents/ga/conf151/aconf15126-1annex1.htm

[2]. United Nations Framework Conventions on Climate Change. 2003 (activo mayo de 2003). The Kyoto Protocol. http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf

[3]. Bahaj A. S. 2002. Means of enhancing and promoting the use of solar energy. Renewable Energy. 27(1): 97-105.

[4]. Schoen Tony J. N. 2001. Building-integrated PV installations in the Netherlands: Examples and operational experiences. Solar Energy. 70(6): 467-477.

[5]. Murata Kenji, Yagiura Toshio, Takeda Katsutoshi, Tanaka Makoto y Kiyama Seiichi. 2003. New type of photovoltaic module integrated with roofing material. Solar Energy Materials and Solar Cells. 75(3-4): 647-653.

[6]. Muntasser M. A., Bara M. F., Quadri H. A., EL-Tarabelsi R. y La-azebi I. F. 2000. Photovoltaic marketing in developing countries. Applied Energy. 65(1-4): 67-72.

[7]. Bhattacharya S. C. 2001. Renewable energy education at the university level. Renewable Energy. 22(1-3): 91-97.

[8]. Wichert B., Dymond M., Lawrance W. and Friese T. 2001. Development of a test facility for photovoltaic-diesel hybrid energy systems. Renewable Energy. 22(1-3): 311-319.

[9]. Koutroulis Eftichios y Kalaitzakis Kostas. 2003. Development of an integrated data-acquisition system for renewable energy sources systems monitoring. Renewable Energy. 28(1): 139-141.

[10]. Tiba C., Fraidenraich N., Grossi Gallegos H. y Lyra F. J. M. 2002. Solar energy resource assessment – Brazil. Renewable Energy. 27(3): 383-400

[11]. Wong L. T. y Chow W. K. 2001. Solar radiation model. Applied Energy. 68(3): 191-224.

[12]. Durisch Wilhelm, Tille Dierk, Wörz A. y Plapp Waltraud. 2000. Characterisation of photovoltaic generators. Applied Energy. 65(1-4): 273-284.

[13]. Bakos G. C. y Soursos M. 2002. Techno-economic assessment of a stand-alone PV/hybrid installation for low-cost electrification of a tourist resort in Greece. Applied Energy. 73(2): 183-193.

[14]. Ashari M., Nayar C. V. y Keerthipala W. W. L. 2001. Optimum operation strategy and economic analysis of a photovoltaic-diesel-battery-mains hybrid uninterruptible power supply. Renewable Energy. 22(1-2): 247-254.

[15]. Celik A. N. 2003. Techno-economic analysis of autonomous PV-wind hybrid energy systems using different sizing methods. Energy Conversion and Management. 44(12): 1951-1968.

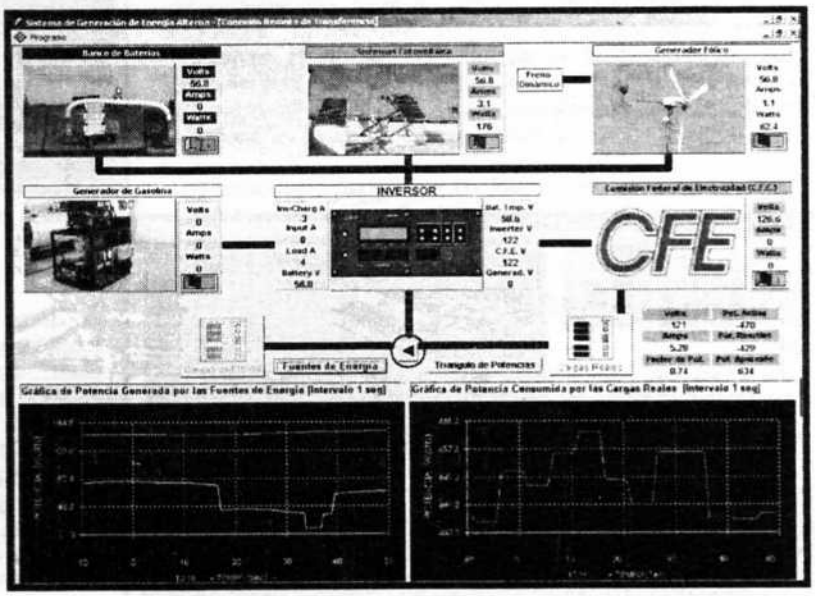


Fig. 13. Pantalla inicial de control del sistema híbrido en donde se aprecian conectadas las cargas reales alimentadas en ese instante por los generadores fotovoltaico y eólico.

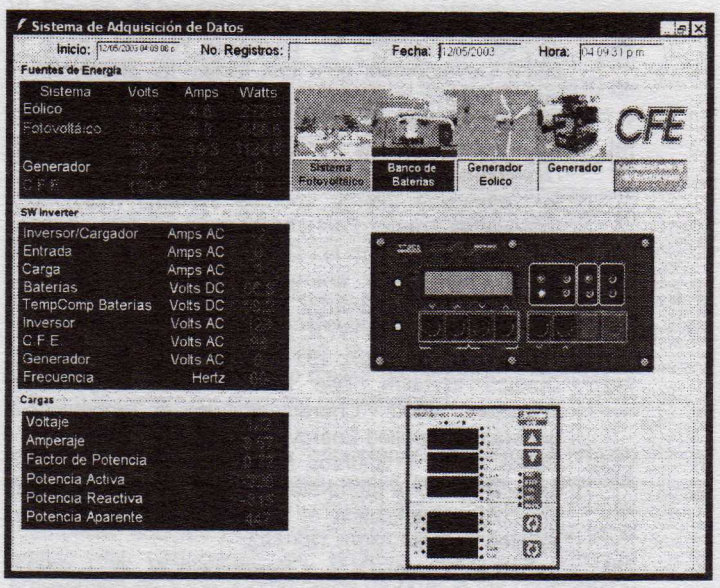


Fig. 14. Pantalla del núcleo de captación de datos

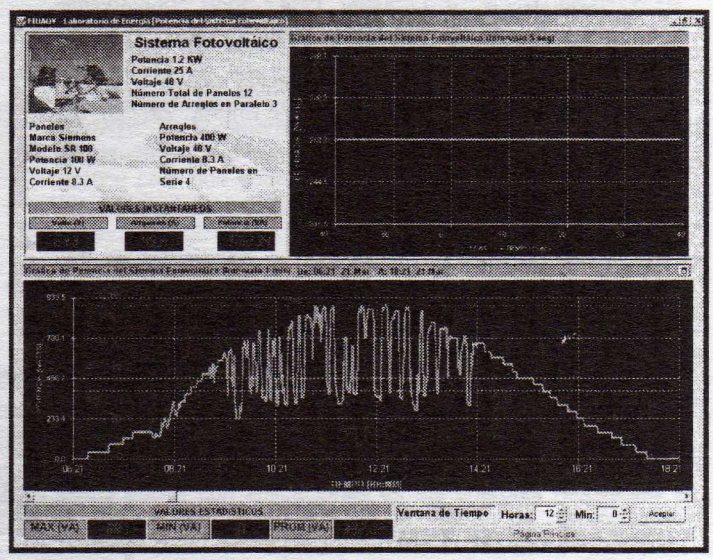


Fig. 15. Comportamiento del generador fotovoltaico durante las horas de disponibilidad de la radiación solar.

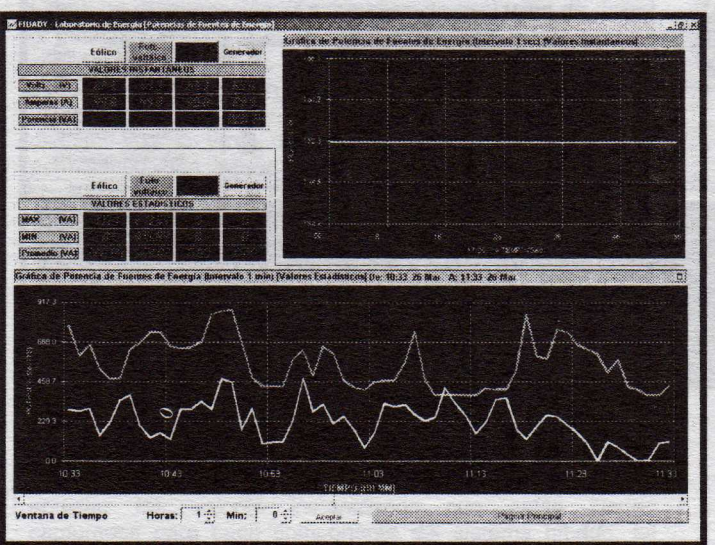


Figura 16. Pantalla de visualización simultánea de la potencia generada por varías fuentes de energía. Para este caso se muestra la generación fotovoltaica y la eólica

CONCENTRADOR SOLAR DE 4 KW TÉRMICOS

Rafael E. Cabanillas L., Benito Pérez V.
Grupo de Energía, División de Ingeniería, Universidad de Sonora
Rosales y Luis Encinas, Col. Centro, Hermosillo, Sonora, 83000 México
Tel.-Fax: +52 (6) 259-21-05, rcabani@guaymas.uson.mx

Cesar Villegas Carrazco , Cuitláhuac Iriarte Cornejo
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR)
Unidad Hermosillo, Centenerio Norte #53 Col. Prados del Centenario
Hermosillo, Sonora, Mexico C.P. 83260 Tel.- (662) 2131593 Fax. (662) 2121201
cvilleg@cibnor.mx

Resumen.
Se presenta los actuales avances en la construcción de un concentrador solar del tipo de disco parabólico. Se ha desarrollado un seguidor solar basado en el movimiento de dos actuadores lineales y un software de control. La superficie de reflexión que se utiliza es un disco de antena parabólica de recepción de señales de satélite que ha sido cubierta por una película reflectora. Se presentan resultados del estudio óptico de la superficie reflectora y el cálculo del área del receptor. Con 2.44 de diámetro y con una radiación incidente de 1000 W/m2 se tendrá como valor máximo 4 Kw térmicos de potencia.

Introducción
El presente reporte trata sobre la construcción de un concentrador solar de 4 Kwt que fue diseñado con la finalidad de explorar las potencialidades y las limitaciones técnicas al utilizar la ampliamente difundida (en la década de los ochentas) tecnología de las antenas parabólicas de satélites.

En nuestros días la necesidad de contar con fuentes de energía en las viviendas sin dañar el ambiente es una prioridad que sugiere el desarrollo de dispositivos que puedan aprovechar recursos energéticos renovables como lo es la energía solar.

Contar con una fuente de 4 Kw térmicos durante el día puede ser un valor razonable para cubrir algunas necesidades energéticas en viviendas. Suficiente para cocinar, purificar agua, esterilizar utensilios, degradar compuestos tóxicos, producción de energía eléctrica, entre otros más.

Es un hecho que existe un sin número de antenas parabólicas arrumbadas en los techos y patios de casas, la tecnologías de recepción de señales en los últimos años mejoró considerablemente, disminuyendo sensiblemente el área de recepción y mandando las grandes antenas de fibra de vidrio al basurero tecnológico. Sin embargo se creó una industria, y por lo tanto una habilidad tecnologica en la construcción de discos parabólicos. De igual forma, que los discos, aparecieron un gran número de accesorios que facilitaban la operación de estos. Entre estos accesorios encontramos los actuadores lineales que alcanzan la precisión suficiente para dirigir las antenas hacia los satélites y la robustez necesaria para soportar fuertes vientos, sin perder la orientación, además del hecho de haberse producido en cantidades masivas (lo que implico bajar los costos) y a pesar de que en estos días no es tan fácil obtenerlos todavía los precios no son muy elevados. Estas ventajas de los actuadores lineales aunado al desarrollo de la electrónica de control, permiten considerar la posibilidad de desarrollar un sistema de seguimiento solar que sea confiable y de bajo costo.

El proyecto del desarrollo del concentrador solar de 4 Kw térmicos fue apoyado en conjunto por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) y la Universidad de Sonora (UNISON).

El desarrollo del concentrador fue dividido en dos partes, el sistema óptico y el sistema de seguimiento. Siendo el sistema de seguimiento abordado por los investigadores del CIBNOR, y de forma complementaria el sistema óptico y las pruebas de acoplamiento de ambos sistemas por la UNISON.

Aspectos Básicos

Los concentradores solares son, como su nombre lo indica, dispositivos que permiten concentrar o aumentar los flujos radiativos provenientes del sol en áreas relativamente pequeñas. La finalidad para aumentar la densidad de flujo radiativo es principalmente (pero no unico) obtener más altas temperaturas en el recibidor, lo que permite a su vez tener procesos de aplicaciones más variados.

Las principales partes que conforman un concentrador solar del tipo estudiado aquí son: el reflector, el colector o recibidor y el sistema de seguimiento solar. Existen diversas configuraciones geométricas de sistemas de concentración por ejemplo: reflectores planos, reflectores fresnel, concentrador parabólico, entre otros [1].

Las antenas parabólicas utilizan el principio geométrico por medio del cual los rayos que inciden en forma perpendicular (con trayectorias paralelas al eje) en una superficie con perfil parabólico son reflejados hacia un punto que se encuentra en el eje de la parábola conocido como foco, ver Figura 1. Una condición de operación que se debe cumplir es que los rayos del sol siempre alcancen la superficie reflectora de esta forma (paralelos al eje), para que se lleve a cabo el fenómeno de concentración. Por lo cual el sistema de seguimiento solar en estos concentradores debe tener buena precisión.

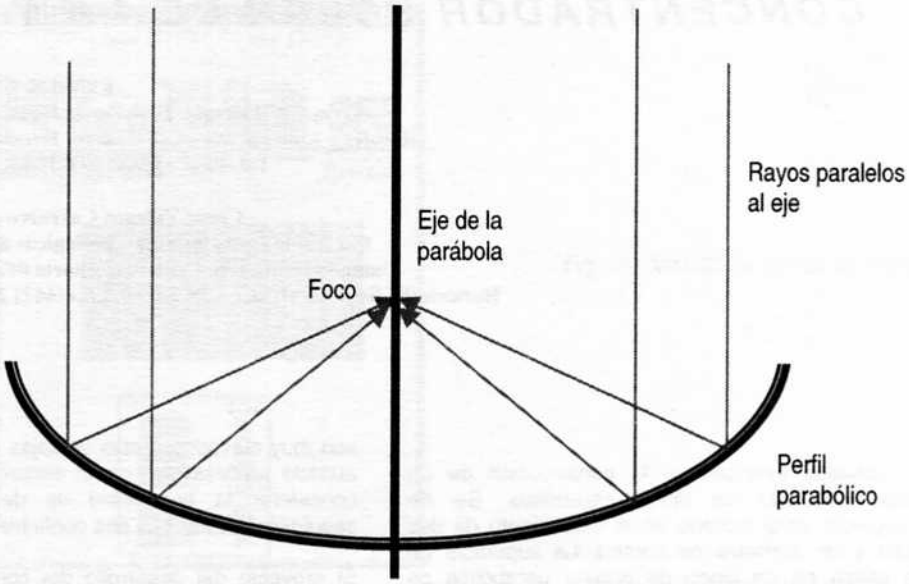


Figura 1. Principio geométrico de un concentrador de disco parabólico.

Figura 2 Estructura de soporte y de seguimiento solar del concentrador.

Una característica de los concentradores es la Razón de Concentración la cual esta dada por la relación del área de apertura (por donde entran los rayos solares) determinada por Aa, entre el área del receptor representada por Ar [2].

C = Aa / Ar Ecuación 1

El valor de la Razón de Concentración es la forma para clasificar concentradores que pueden ir desde 1 para colector plano, hasta 45,000 para concentradores circulares. Esto se cumple para concentradores de un solo paso, existen otros tipos de ultra-alta concentración en desarrollo [3].

Sistema de Seguimiento.
El sistema de seguimiento consiste en dos ejes de movimiento: el polar y el ecuatorial, la estructura de soporte mecánica descansa sobre una columna central donde se tienen montado un par de actuadores lineales uno en cada eje que orientan al disco en un plano normal al sol. Como se observa en la Figura 2.

Un software de seguimiento controla los movimientos de los dos actuadores calculando la posición del sol para un momento determinado y corrigiendo orientación del eje de la parábola con el movimiento aparente del sol cada 30 segundos.

Evaluación de la Superficie Reflectora
El disco parabólico esta hecho de fibra de vidrio de 2.44 metros de diámetro, tal y como se podía adquirir hace algunos años en el mercado de antenas de satélites. La superficie interna de la parábola recibió un tratamiento similar al utilizado para depositar la pintura de un automóvil, esto con el fin de obtener una terminado de la superficie más suave que la de la original de fibra de vidrio. Una vez detallada la superficie del disco se le colocó una película flexible reflectora consistente de un polímetro y un depósito de aluminio, esta película se encuentra comúnmente en tiendas especializadas de arquitectura y se le conoce como vinil-espejo. La película fue cortada en gajos para ser colocada evitando dobleces.

Se realizaron estudios tanto de reflexión como de transmisión de la película para diferentes longitudes de onda que van de 450 a 900 nm, ver Figura 3 y Figura 4. El valor promedio de la reflectancia que se calculo en 0.85 y de 0.01 para la transmitancia.

Determinación del tamaño del receptor
El receptor de un concentrador solar es la parte del equipo que permite recibir la radiación concentrada por la superficie reflectora para ser transformada en energía útil. La primera pregunta que se debe de responder para iniciar el diseño de un receptor es: que tamaño debe tener el receptor para capturar la mayor cantidad de rayos sin sacrificar la razón de concentración y sin aumentar mucho el factor de sombreado que éste proyectará sobre el concentrador.

La óptica geométrica del arreglo mostrado en la Figura 1, predice la existencia de un punto sobre el eje de la parábola donde se tendría la intersección de todos los rayos incidentes

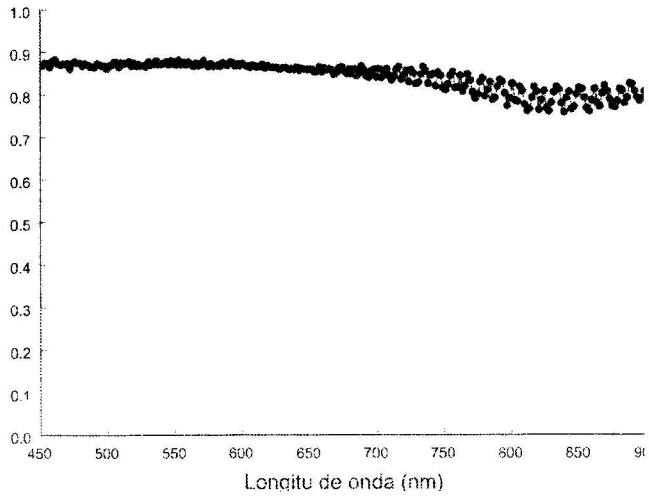


Figura 3 Espectro de Reflexión de la película.

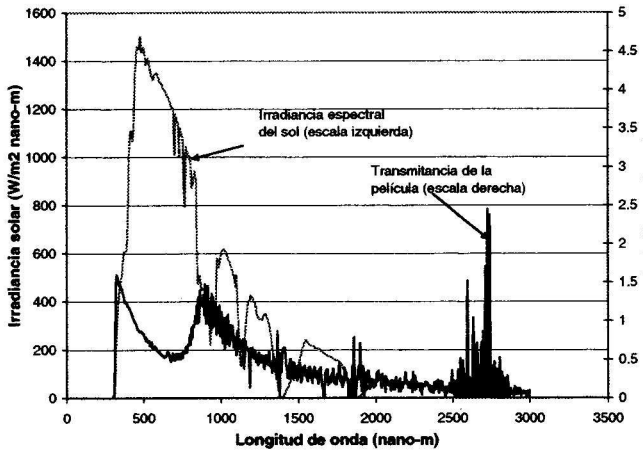


Figura 4 Espectro de transmitancia de la película (porcentaje de transmitancia vs. longitud de onda en nm).

que paralelos al eje serían reflejados a ese lugar geométrico conocido como foco. Si esto sucediera en la práctica el receptor podría ser muy pequeño y se tendrían razones de concentración infinitas. Sin embargo existen algunos inconvenientes que tienen que tomarse en cuenta para el diseño del receptor: primero es prácticamente imposible lograr una superficie parabólica perfecta, por lo tanto los rayos reflejados podrán variar su dirección formando una mancha en vez de un punto (distintos tipos de aberración óptica), segundo el sol proyecta una imagen que tiene un tamaño determinado (32'), y finalmente el factor relacionado con la precisión del sistema de seguimiento solar.

Con el fin de evaluar en su conjunto los problemas relacionados con la aberración óptica, descritos en el párrafo anterior, se diseñó un arreglo experimental basado en el barrido de la superficie reflectora con rayos láser del disco parabólico con la superficie reflectora ya instalada. Las principales partes del arreglo experimental consisten de un riel de aluminio que apoyado sobre la parábola sirve para desplazar un pequeño carro que lleva montado tres laseres, y el cual es movido por un sistema de arrastre como el de una cortina de persianas, finalmente para observar el rayo reflejado se coloco una pantalla de papel en el foco geométrico de la parábola y frente a está una cámara digital para tomar fotografías. Estas partes con sus respectivas dimensiones se muestran en la Figura 4 y la Fotografía 5.

La pantalla de observación consiste de una ventana de vidrio con marco de aluminio a la que se le ha colocado un papel semitransparente con tres círculos. Estos círculos tienen diámetros de 10, 15 y 20 centímetros de diámetro respectivamente.

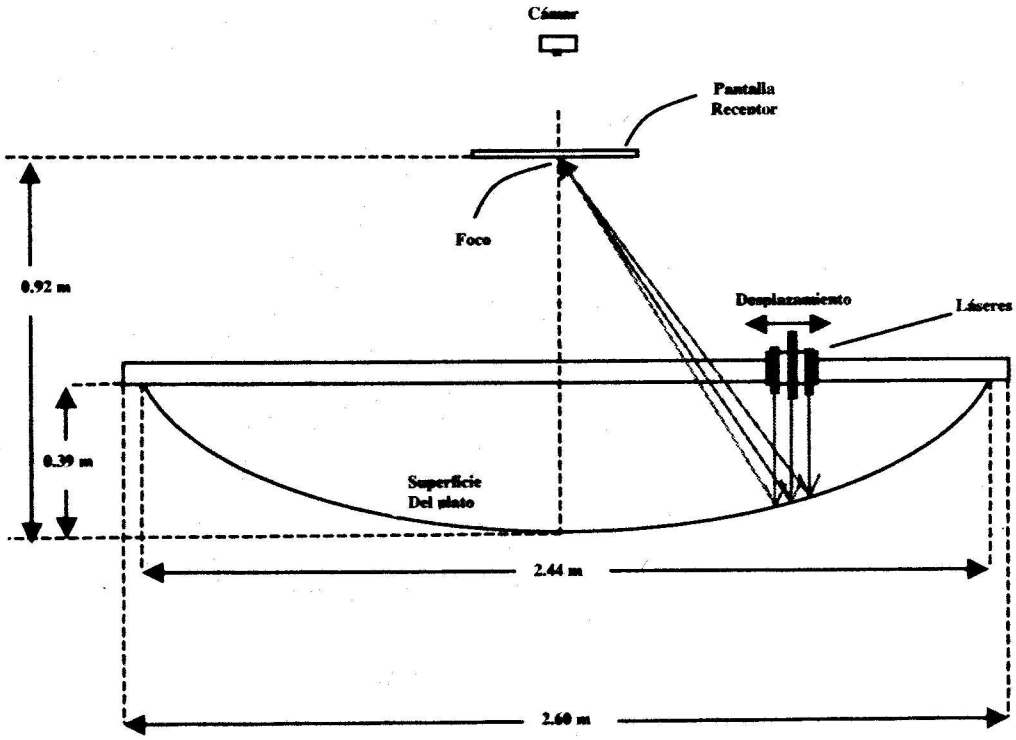


Figura 4 arreglo experimental de la prueba óptica de la superficie

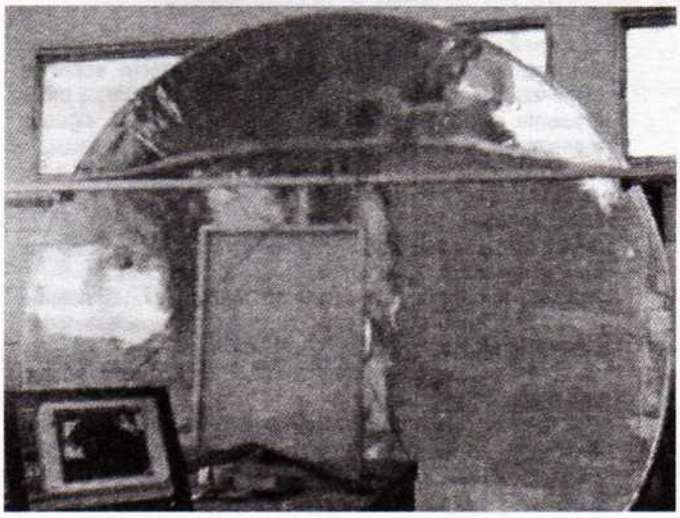


Figura 5 . Fotografía del arreglo experimental, donde se puede apreciar el disco, el riel y la pantalla de observación de rayos reflejados.

El procedimiento que se siguió fue recorrer los láseres a distintas posiciones a lo largo del riel y observar la imagen proyectada en la pantalla de papel. En la Figura 6 se muestra una imagen de cómo se proyectan los rayos sobre la pantalla de observación.

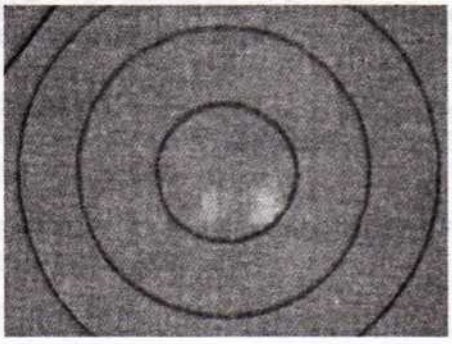
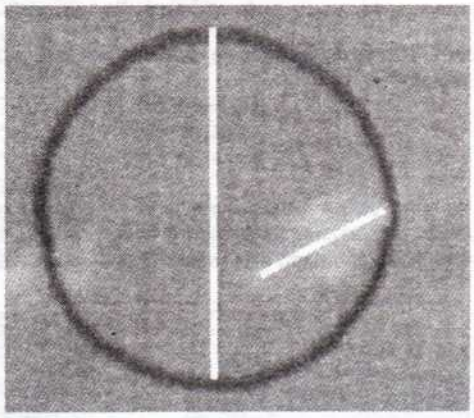
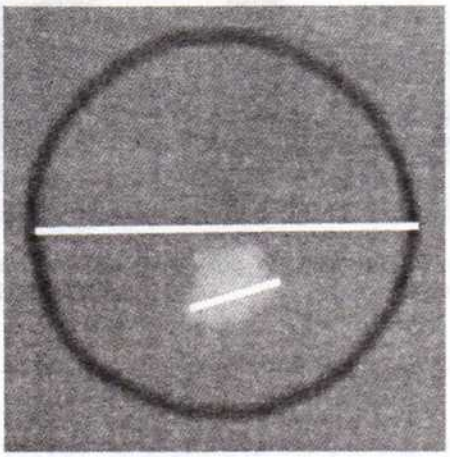


Figura 6. Rayos reflejados y proyectados sobre la pantalla

El Factor de Intercepción (γ) se define como la fracción de rayos que reflejados inciden sobre el receptor [2]. Para el concentrador se evaluó la cantidad de rayos reflejados que incidían en el primer círculo que tiene un diámetro de 10 cm., y posteriormente para el de un diámetro de 15 cm. Se encontró que para el primer caso el 77% de los rayos reflejados acertaban dentro del círculo y el 92% para el segundo caso. Con el tercer círculo no aumento el número de rayos incidentes. Por lo que γ fue de 0.77 y 0.92 para el primer y segundo circulo respectivamente.

También se pudo observar el fenómeno de proyección de una determinada área del rayo reflejado sobre el plano de la pantalla. En las Figuras 7 y 8 se presentan los rayos que reflejados en las proximidades del centro del disco proyectan casi un circulo de casi 1 cm de diámetro mientras que los rayos reflejados en los bordes del disco presentan un mancha alargada de más de 2 cm.





Figuras 7 y 8 Diferentes tamaños de las imágenes de los rayos reflejados en las proximidades del centro del disco y en los bordes del disco.

En base a los anteriores datos se calculo la Razón de Concentración que podría tener el concentrador para los casos si se utilizará un receptor de 10 cm o de 15 cm de diámetro.

Los resultados se muestran en la Tabla 1. La Razón de Concentración geométrica se calculo en base a la ecuación 1 y la Razón de Concentración estimada multiplicando la geométrica por el factor de intercepción correspondiente para cada diámetro y por la reflectancia de la película (0.85).

Diámetro del receptor (cm.)	Area del receptor (m2)	Razón de Concentración Geométrica	Factor de Intercepción η_o	Razón de Concentración estimada
10	0.0079	576	0.77	377
15	0.0177	256	0.92	200

Tabla 1. Valores de la Razón de Concentración para distintos diámetros del receptor.

El sistema ya ha sido armado y se encuentra en periodo de pruebas mecánicas. En la figura 9 se presenta la imagen del concentrador montado en el sistema de seguimiento.

Figura 9. Fotografía del concentrado listo para las pruebas de seguimiento.

Futuras pruebas.

Las pruebas por efectuarse son para evaluar la precisión del sistema de seguimiento solar y el efecto sobre la eficiencia de concentración. Aspecto que se cubrirá en la siguiente etapa del proyecto que se realizará en algunos meses más.

Conclusiones.

Se ha utilizado tecnología de antenas de satélites caseras para la construcción de un concentrador de 4 Kwt.

Hemos encontrado que con materiales reflectores disponibles en el mercado se pueden obtener propiedades ópticas interesantes (reflectancia de 0.85 y transmitancia de 0.01), que posibilitan el uso de concentradores domésticos a gran escala.

Con respecto a las pruebas con láseres, se puede estimar el tamaño del receptor el cual estará entre 10 y 15 cm de diámetro y teniendo un factor de intercepción entre 0.8 y 0.9.

Falta realizar las pruebas del sistema de seguimiento solar para establecer su prescisión, asi como su efecto sobre la eficiencia total del concentrador.

Referencias.

Diffie, John A., W.A. Beckman, (1991) Solar Engineering of Thermal Processes, Wiley-Interscience, USA.

Estrada-Gasca, Claudio A., R. Cabanillas, J. Strachan, Notas del Curso: CONCENTRACION SOLAR, ANES-ISES 2000, México.

The Nonimaging Optics Page, *Solar Concentration 50,000*, http://hep.uchicago.edu/solar/NIoptics.html, activo en julio 2003.

EMPRESAS AFILIADAS A LA ASOCIACIÓN NACIONAL DE ENERGÍA SOLAR, A.C.
Visite nuestra página de internet y conozca sus productos y servicios

MODULO SOLAR

Lauro Ortega 22, Otilio Montaño,
CIVAC, Jiutepec, Morelos
MEXICO C.P. 62386
LADA sin costo: 01-800-999-55-00
Tel: 01(777) 3215962 al 65
Fax: 01(777) 3210949
http://www.modulosolar.com.mx
modulo@modulosolar.com.mx

Más de 120,000 m2
de calentadores solares instalados

HELIOCOL DE MÉXICO S.A. DE C.V.

Blvd. Miguel de Cervantes Saavedra #394-31,
Colonia Irrigación, C.P. 11500
México D.F.
Tel.: 01-800-ENER-SOL
01-800-3637-765, (01-55) 5395-6060,
(01-55) 5395-6169, (01-55) 5395-8140,
(01-55) 5395-3279, (01-55) 5395-6168,
Fax: (01-55) 5395-9090
e-mail: ventas@heliocol.com.mx
www.heliocol.com.mx

BP-INTEQ-SOLAR

Ing. Pedro A. Betancourt
Carmen Ocho de Mekino #213,
Col. Centro
Chetumal, Q.Roo, C.P. 77000
TEL. 01983-8333286

PANELES FOTOVOLTAICOS

ACUMULADORES OROZCO

YUCATAN 3415
COL. DOMINGO CARBALLO FELIX
C.P.23060 LA PAZ, BCS
TEL: (01)11254151

PANELES FOTOVOLTAICOS Y
CALENTADORES SOLARES

SUNWAY DE MEXICO S. A., de C.V.

Ejército Nacional 1162 – Planta Baja,
Col. Polanco, México, D.F., C.P. 11570
Tel/fax 01(55) 53955771
E-mail: sunwaymx@infosel.net.mx,
www.sunway.com.mx

FABRICA E INSTALA CALENTADORES SOLARES PARA ALBERCAS Y USO RESIDENCIAL.

CERTIFICADO DESDE 1980

GRUPO SIMOSOL, S. A. DE C. V.

Av. Silvestre Terrazas 11800
Col. Ampliación La Esperanza
Chihuahua, Chih. C. P. 31430
tel. 614 434 0242, fax: 614 4340257
simosol@prodigy.net.mx

PANELES FOTOVOLTAICOS

SISTEMAS DE ENERGÍAS ALTERNAS S.A. de C.V.

5ª Ave. Norte Poniente 1980-B
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas,
Tel/Fax 01 961 602 1771
e-mail: energiasalternas@hotmail.com

INSTALA CALENTADORES SOLARES
Y SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM

TRABAJANDO EN LA INVESTIGACIÓN Y
DESARROLLO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES
Dr. Rafael Almanza S. Tel. 0155 5622 8138 al 43

FIRCO (FIDEICOMISO DE RIESGO COMPARTIDO)
Gerencia de Innovación y Capacitación Especializada
San Luis Potosí 209
Col. Roma, C. P. 06700, México D. F.
Teléfono: (55) 91831000 ext. 34443 , Fax: 52-64-61-88

XXVII

SEMANA NACIONAL DE ENERGÍA SOLAR

Chihuahua
GOBIERNO DEL ESTADO
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y OBRAS PUBLICAS.

6 al 10 de Octubre 2003

CHIHUAHUA

SEDE

Universidad Autónoma de Chihuahua
Nuevo Campus Universitario

Centro de Exposiciones
Ave. Tecnológico y Escudero s/n

www.anes.org

CEPAEE

AHORRO DE ENERGÍA

ACTIVIDADES

Cursos de actualización.

Reunión Técnica

Exposición Industrial:

Concurso de Dibujo Infantil

Asamblea General Ordinaria de la ANES

Concurso de Diseño de Relojes Solares

Concurso de Diseño Bioclimático y Aplicaciones con ER

En Cuernavaca, Morelos:

M.S. Laura Hernández
Teléfono (01) 777 310 1650, 777 326 3842
Email: A45L44@cableonline.com.mx

Para mayor información comunicarse con:

En Chihuahua, Chih.

Ing. José Luis Ibarra Noris
Teléfono (01) 614 418 1961 Ext.137
614 429 3300 Ext. 1082
Email: ibarranorisj@hotmail.com

COSTOS:
CONGRESO

Público en General	$2,300.00
Miembros de ANES e ISES	$2,000.00
Estudiantes	$ 800.00

CURSOS:

Público en general	$1,000.00
Miembros de ANES e ISES	800.00
Estudiantes	500.00