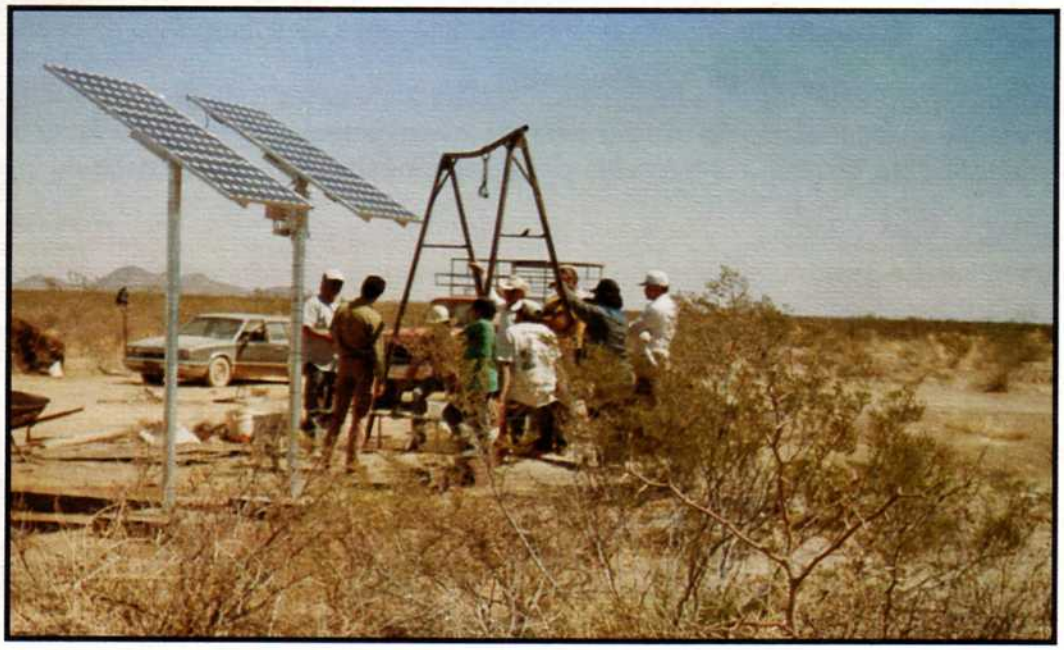
INDICE

Revista Solar



ANES

Asociación Nacional de Energía Solar
Sección Mexicana de la *International Solar Energy Society*

Nº 33 Primavera 1997

Asociación Nacional de Energía Solar, A. C.
Cd. Universitaria, Apartado Postal 70-472
Coyoacán 04510, México, D.F.

ANES

IX Consejo Directivo Nacional 1996-1998

Dr. Claudio Alejandro Estrada Gasca
Presidente
Tel. 91 (73) 25-00-44 y 25-00-18
E-mail: ceg@mazatl.cie.unam.mx

Dr. Roberto Best y Brown
Vicepresidente
Tel. 91 (73) 25-00-44 y 25-00-18
E-mail:rbb@mazatl.cie.unam.mx

Dr. Rubén José Dorantes Rodríguez
Secretario General
Tel. 91 (5) 723-59-39
E-mail:rjdr@hp9000a1.uam.mx

Ing. Rodolfo Martínez Strevel
Tesorero
Tel. 91 (5) 513-42-97
E-mail:strevel@data.net.mx

Ing. Ricardo Saldaña Flores
Secretario de Publicaciones
Tel. 91 (73) 183811 ext. 7254 Fax: 18 24 36
E-mail:rsf@iie.org.mx

M. en I. Eduardo Rincón Mejía
Secretario de Vocalías Técnicas
Tel. 91 (72) 14-08-55
E-mail:erincon@coatepec.uaemex.mx

Dr. Jaime Cervantes de Gortari
Secretario de Asuntos Internacionales
Tel. 91 (73) 250044
E-mail:jgonzalo@mazatl.cie.unam.mx

Arq. Juan Manuel Rodríguez Torres
Secretario de Secciones Regionales
Tel. 91 (473) 2-11-85 ext. 125

Ing. Norberto Chargoy del Valle
Secretario Técnico
Tel. 91 (5) 622-81-38
E-mail:ncv@pumas.iingen.unam.mx

D. I. Adrián H. Oskam Voorduin
Secretario de Organización
Tel. 91 (73) 25-00-44 y 25-00-18
E-mail:aov@mazatl.cie.unam.mx

Dra. Gabriela Alvarez García
Secretario de Relaciones
Tel. 91 (73) 12-76-13
E-mail:cenidet2@infosel.net.mx

Ing. J. Armando Saldaña Hermosillo
Secretario de Asuntos Industriales
Tel. 91 (73) 14-30-42

Contenido

2 Editorial

En mi Opinión...

3 La Industria Solar en México

Artículos de Difusión

5 Chihuahua Sede de la XX Semana Nacional de Energía Solar

7 El Origen de la Pobreza

Artículo Técnico

13 Atlas Eólico de Cuba. Estadistica y Climatológica. Potenciales Climáticos de Generación Eolo-Eléctrica y Bombeo Eólico.

Foto de portada cortesia de: Lilia Ojinaga

Colonia ganadera Modelo, Municipio Asunción, Chihuahua
Sistema fotovoltaico para bombeo de 10,000 litros diarios de agua para abrevar 200 cabezas de ganado.

Editorial

Han sido ya 20 años desde que nuestra asociación se formó, mismos en los que hemos visto una profunda transformación en nuestro país en relación al aprovechamiento de los recursos renovables de los que disponemos.

Salvo en el caso del uso de calentadores solares de agua y aire, en un principio hablar de energías renovables no iba más allá de meros estudios e investigaciones, dejando entrever que algún día se emplearían para satisfacer ciertas demandas tales como el suministro de energía eléctrica a mediana y gran escala.

A la vuelta de dos décadas podemos ver que las aplicaciones de este tipo de energías, también llamadas no convencionales han sobrepasado nuestras expectativas.

En el medio de las aplicaciones hoy en día podemos ver plantas generadoras de electricidad, integradas por aerogeneradores e interconectadas a la red eléctrica, desarrollos turísticos que utilizan sistemas de generación eléctrica conformados por generadores fotovoltaicos y eólicos, y poblaciones rurales que utilizan sistemas híbridos para generar electricidad, entre otras aplicaciones, demostrando con hechos las bondades del uso de estas tecnologías.

Conscientes de que hay en nuestro país cada vez más interés por la aplicación de la energía solar, en sus diferentes manifestaciones, la razón de ser de nuestra Revista Solar adquiere un lugar preponderante, toda vez que en ella se difunden gran parte de los esfuerzos realizados en relación al uso de las energías renovables en nuestro país.

En esta ocasión, después de un poco más de seis meses de que apareció el último número de la Revista Solar, son presentados tres artículos que esperamos sean de su completo interés.

El primero presenta una semblanza de Chihuahua, lugar donde tendrá verificativo nuestra XXI Semana Nacional de Energía Solar, a principios de octubre del presente año. Esta reunión será apoyada por organismos del Gobierno Estatal y Federal e instituciones académicas, de investigación y privadas, dándose un marco inigualable para la exposición de los trabajos de la comunidad solar.

El segundo artículo presenta algunas ideas de un destacado miembro de nuestra comunidad en relación al origen de la pobreza, haciendo énfasis al papel que podría jugar el uso de los energéticos renovables en actividades productivas, como respuesta a las demandas para el desarrollo sustentable de millones de mexicanos del medio rural que no cuentan con el suministro de energéticos convencionales.

Por último, el tercer artículo trata sobre el estudio del potencial eólico que el Instituto de Meteorología del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba ha realizado en ese país, con miras a complementar el programa de prospección eólica que la Unión Eléctrica Nacional lleva a cabo dentro del Programa Eólico Nacional.

A nombre del IX Consejo Directivo de la ANES les extiendo una cordial invitación para que sigan enriqueciendo con artículos a esta su Revista Solar y desde luego nos den a conocer sus comentarios y opiniones.

Ricardo Saldaña Flores
Editor

En mi opinión...

La Industria Solar en México

Por José Armando Saldaña Hermosillo

Secretario de Asuntos Industriales
de la ANES.

La industria de la energía solar en México se encuentra en el umbral de una nueva época, la contaminación ambiental y la degradación ecológica producida por la combustión de hidrocarburos, ha penetrado en las conciencias de las autoridades gubernamentales en sus más altos niveles; ya no es posible ignorar el cambio climático con sus graves consecuencias de inundaciones, nevadas, sequías, en grado extremo, en lugares en donde nunca antes habían ocurrido.

Lo que caracteriza más singularmente a la sociedad moderna, es que está sustentada en un abastecimiento energético cada vez mayor, sin embargo es evidente que los combustibles que actualmente utilizamos y hasta despilfarramos, están en vías de agotamiento; el constatar que el fin de nuestros recursos energéticos se ve cada vez más cerca, es otro motivo de gran preocupación.

El aumento constante en los precios de los hidrocarburos, ha puesto en evidencia la fragilidad de un modelo industrial basado en la utilización de energías no renovables, que durante muchos años han tenido que ser subsidiadas.

Poco a poco hemos ido tomando conciencia de que hay una energía que está a nuestro alrededor y en todos lados, que se nos ofrece como una fuente limpia e inagotable; el sol seguirá brillando por muchos millones de años más y por sus cualidades de no contaminar, no generar tóxicos y no desprender residuos mal olientes, se nos presenta como la mejor opción.

Aunque hemos tardado mucho tiempo en aprovechar este recurso natural, es importante recuperar el tiempo perdido y con ello podemos ver con optimismo un futuro que va a generar una demanda histórica de fuentes de energía limpias y renovables, lo que indudablemente beneficiará el desarrollo de la industria solar, creará muchos empleos y también fuentes de riqueza.

Pero como todo en la vida los beneficios, siempre vienen acompañados de responsabilidades acordes a su dimensión y es aquí en donde los fabricantes tenemos que analizar cuidadosamente el reto, para poder afrontarlo en forma adecuada, buscando alcanzar la excelencia en nuestros productos, de tal forma que puedan competir ventajosamente con equipos fabricados en otros paises.

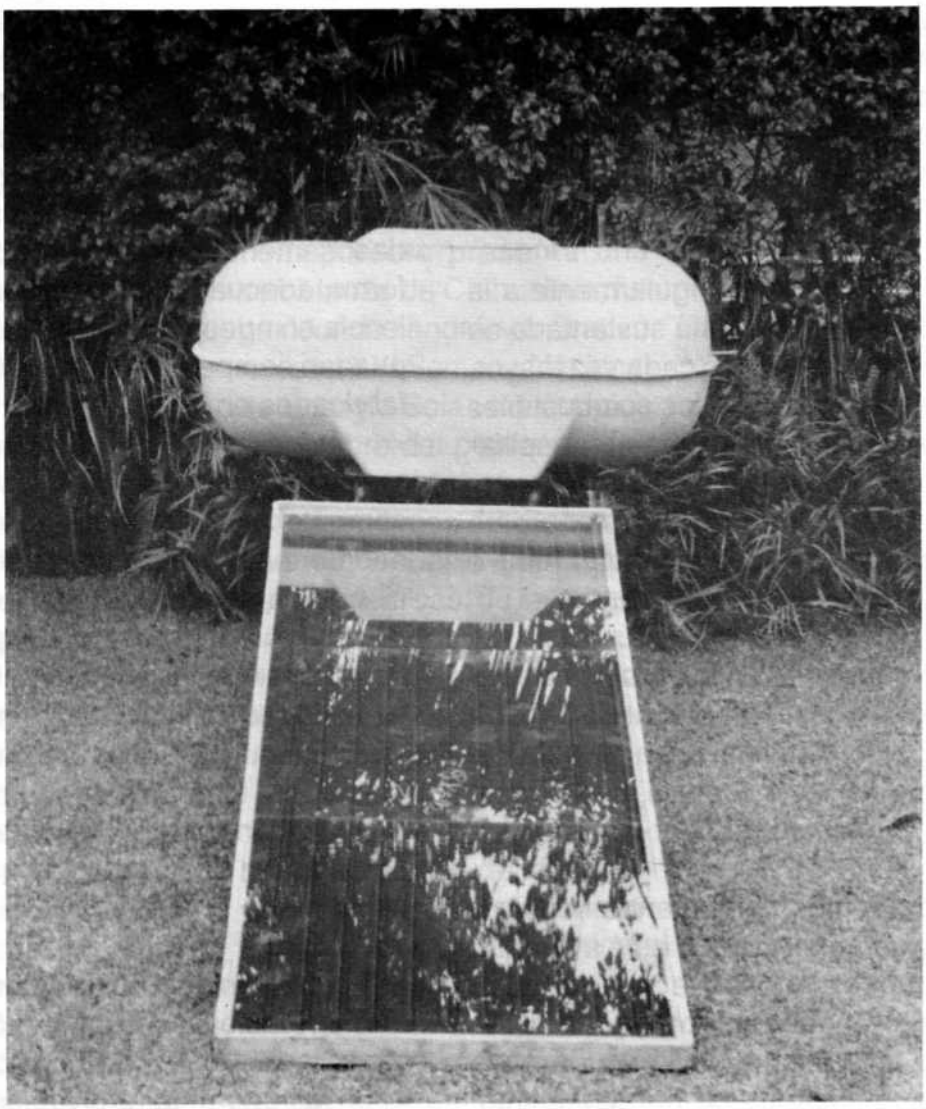
Es ahora cuando debemos dejar a un lado competencias estériles, que no nos llevan a nada bueno, compartir experiencias y proporcionarnos apoyos mutuos y de común acuerdo con los Centros de Investigación programar proyectos que mejoren la calidad de nuestros equipos, su adecuado dimensionamiento, su mejor instalación y las garantías de duración; pero sobre todo apoyar a fabricantes que más lo necesiten, para evitar que sus equipos repercutan en la creencia de que la energía solar no sirve.

Es conveniente unirnos en torno a la Asociación Nacional de Energía Solar, que con 20 años de tradición, ha difundido el conocimiento en las energías renovables, mediante foros anuales, revistas trimestrales y artículos de pro-

yección tanto nacional como internacional. Actualmente, gracias a ella, por primera vez nos encontramos en magníficas relaciones con organismos oficiales a través de la CONAE.

Finalmente considero que es el mejor momento para que entre todos desarrollemos planes de trabajo, que nos beneficien y que den lugar a la creación de una industria fuerte y vigorosa, capaz de afrontar tanto la demanda actual como la futura.

Es importante ponernos de acuerdo en lo que deben ser nuestras "Normas de Calidad", hacer una revisión de las normas que existen actualmente en otros paises y adaptarlas a nuestras necesidades, para en equipo ponerlas en práctica como "Normas Voluntarias" y una vez que estemos conscientes de que son lo que queremos, tramitarlas a través de los organismos oficiales correspondientes para que se establezcan como "Norma Oficial" y nos protejan de la entrada al país de equipos extranjeros de deshecho.



Artículo de Difusión

CHIHUAHUA SEDE DE LA XXI SEMANA NACIONAL DE ENERGIA SOLAR

Por Lilia Ojinaga
Gobierno del Estado de Chihuahua

Es Chihuahua el Estado en el que se llevará a cabo la XXI Semana Nacional de Energía Solar, como resultado de los diferentes esfuerzos realizados bajo el Programa de Energía Renovable, a través del cual se están realizando proyectos productivos, principalmente en el área rural. Es bajo este esquema que surge el Comité de Organización para el evento, dándose por primera vez un grupo interinstitucional que incluye organismos de Gobierno Estatal y Federal, instituciones académicas, de investigación y privadas. Los participantes son: Gobierno del Estado de Chihuahua, Instituto Tecnológico de Chihuahua, Centro de Investigación de Materiales, Instituto Tecnológico de Chihuahua II, Universidad Autónoma de Chihuahua, FIRCO, SAGAR, CONACYT, CONAE, Colegio de Ingenieros Civiles de Chihuahua, A.C., ITESM, Energía Solar de Ciudad Juárez, Orpinel Electronics y Sunergy.

Chihuahua, la capital del Estado, fue fundada el 12 de Octubre de 1709, recibiendo en 1718 el título de Villa, bajo el nombre de San Felipe el Real de Chihuahua. Recibió la categoría de ciudad en 1823. Situado al norte del país, con una extensión de 247,084 km², Chihuahua fue asentamiento de muchas tribus como los Pimas, Conchos, Julimes, Apaches, Tapacolmes, Tepehuanes, Uarojíos y en su mayoría Tarahumaras. Se encuentra a una distancia de 1,450 kms. de la ciudad de México y a 390 kms. de la frontera con El Paso, Texas.

Es el Estado más extenso del país y cuenta con grandes atractivos para los visitantes, contando con una gran variedad de bellezas naturales en las montañas y en el desierto.

Chihuahua, "Xicuagua", que en náhuatl significa "lugar seco y arenoso", es una ciudad donde se pueden admirar bellas construccio-

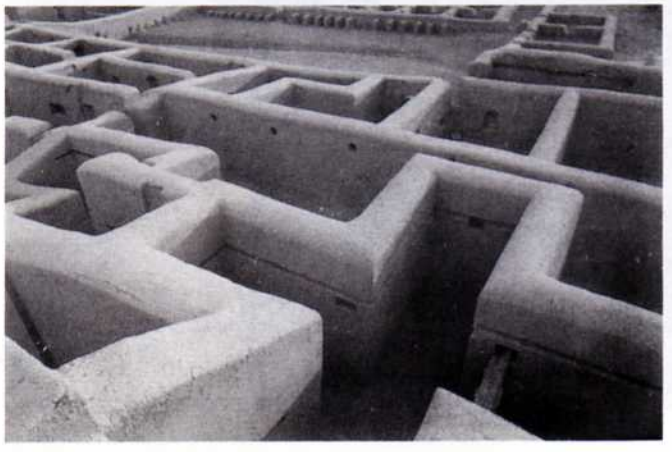
Palacio de Gobierno.

Glorieta del General Francisco Villa.

nes como la catedral, joya arquitectónica del siglo XVIII, el Palacio Municipal, el Palacio de Gobierno que data del siglo XIX, en donde se pueden encontrar pinturas que describen la historia de Chihuahua, así como el Altar de la Patria (donde fue fusilado Don Miguel Hidalgo).

Fragmentos importantes de la historia del norte de México pueden admirarse en la ciudad cuando se tiene la oportunidad de visitar la Quinta Gameros, que data de principios de siglo; el Museo de la Revolución (antes casa de Pancho Villa), en el que se encuentran objetos personales del General Villa y fotografías de la revolución sin olvidar el Museo Casa de Juárez.

La Sierra Tarahumara de Chihuahua, localizada en toda la franja oeste del Estado, cuenta con diferentes atractivos turísticos y recibe visitantes procedentes de todo el mundo. Uno de los lugares más visitados es la Cascada de Basaseachi, con una altura de 311 m., que es la más alta de México y una de las más altas del mundo. No se puede olvidar, estando ya en la Sierra, viajar a las Barrancas del Cobre, atractivo natural único en el mundo, compuestas de varios cañones como Urique, Nonoava, Verde, Guazapares, Batopilas, Sinforosa, Tararecua y Oteros, que juntos conforman un sistema complejo orográfico. El ferrocarril Chihuahua al Pacífico es la mejor forma de llegar a las barracas, teniendo así la oportunidad de parar en el Divisadero y contemplar en todo su esplendor lo que es el Cañón del Cobre.

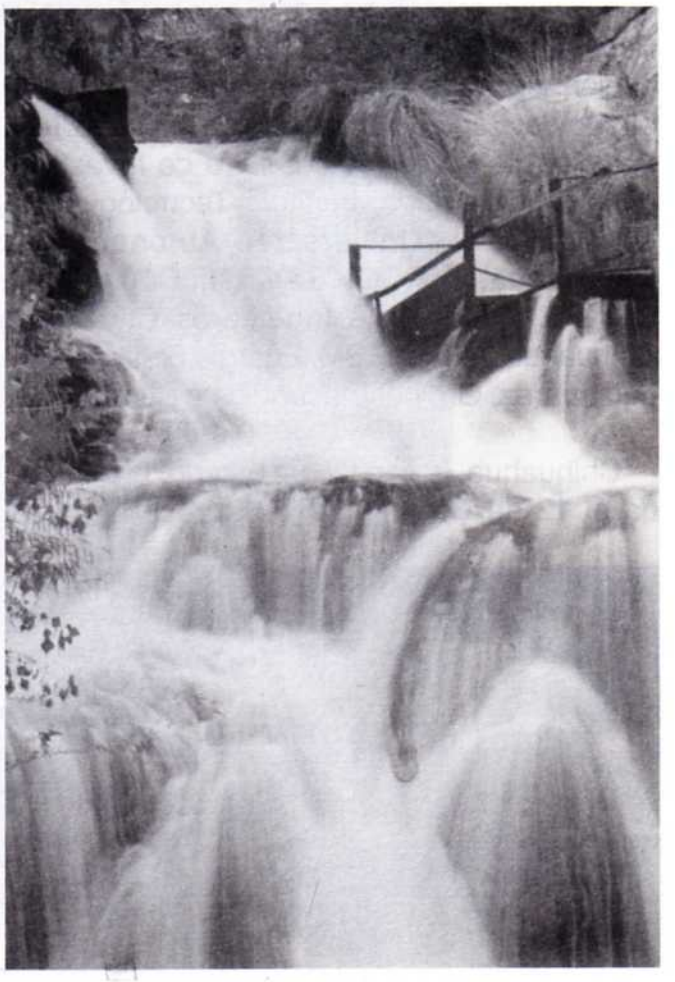


Detalle arqueológico de Paquimé.

Es la Sierra Tarahumara el mejor lugar para comprar las artesanías tradicionales del Estado, las cuales son elaboradas por los indígenas: guares, ollas, máscaras y figuras de madera, violines, muñecas, cobijas y fajillas de lana, etc.

Chihuahua, estado lleno de paisajes que van desde desérticos hasta montañosos, con sus llanuras, con su Sierra Tarahumara imponente, posee un toque característico que lo hace un lugar que no debe dejar de visitar, ya sea en plan de negocios o, mejor aún, en plan vacacional.

Durante la XXI Semana Nacional de Energía Solar conozca a Chihuahua, su gente y su hospitalidad que le caracteriza.



Los filtros (belleza natural).

Artículo de Difusión

EL ORIGEN DE LA POBREZA

Por Enrique Caldera Muñoz

Un fantasma recorre el mundo, el fantasma de la pobreza.

A finales del siglo XX, o mejor dicho, a finales del segundo milenio de nuestra era, pasados ya más de ciento cincuenta años de iniciada la llamada Revolución Industrial, que vino a marcar un proceso de cambios sociales, políticos y económicos a escala global cada vez más acelerados, que han determinado la faz actual de nuestro planeta, vemos con desasosiego y miedo el quiebre de los sueños del progreso científico técnico. Lo que nos prometía maravillas lo empezamos a ver con horror. No entendemos que está pasando, la capacidad de creación de riqueza se ha incrementado extraordinariamente, y nunca el número de pobres y miserables ha sido tan grande. La polarización económica y social, la mala distribución de la riqueza, han hecho de nuestro progreso un campo de batalla; la delincuencia y la inseguridad pública nos remontan a épocas que creímos ya superadas.

Los organismos internacionales y las reuniones de jefes de gobierno, empiezan a insistir en el combate a la pobreza como una prioridad, pero de sus propias manifestaciones y declaraciones es evidente que no tienen la menor idea de como realmente superarla. Los enfoques económicos dominantes, de carácter monetarista, simplifican el problema a cuestiones de carácter financiero y de inversión extranjera como vía de "transferencia de capital y tecnología", para iniciar el despegue de las economías en vías de desarrollo, que la realidad muestra que son economías en vías de mayor subdesarrollo. Si bien, el adecuado manejo financiero es indispensable para desarrollar la economía, está lejos de ser el factor más importante.

La creación de riqueza, entendida esta como la abundancia de bienes y servicios disponibles socialmente, sólo es resultado de la *transformación* de insumos en ellos. Esta transformación de materias primas en productos terminados o la prestación misma de un servicio, es un *proceso energético*, este proceso es el trabajo. El nivel y la magnitud de esta transformación, determina los requerimientos de trabajo o energía que el proceso requiere.

La física define la energía, simplemente como: "La capacidad de realizar trabajo". Trabajo en física es igual a *fuerza* multiplicada por *distancia*, por tanto, este concepto esta ligado a movimiento. Mover o levantar algo requiere fuerza, poder aplicar fuerza requiere energía, la rapidez con que ésta se aplica define la potencia. Levantar un cubo de agua y desplazarlo 100 metros requiere de una cantidad de energía. Un niño podrá desplazarlo lentamente y descansando, en tanto que un hombre robusto lo hará más rápido, simplemente porque es más fuerte, es decir, tiene mayor potencia.
El problema de la pobreza, extrema y a secas, está originada en la pobreza energética. El insumo básico de toda transformación de recursos naturales en bienes y servicios es la energía. Para la humanidad, la explosión del desarrollo económico se dio a partir de la Revolución Industrial, que en realidad fue una revolución energética, la que por primera vez puso a disposición de la manipulación humana, cantidades de energía y potencia nunca antes lograda.

Un hombre adulto al realizar trabajo físico, tiene una potencia mecánica media de 37 Watts, o de un veintavo de caballo de fuerza (HP), -el que equivale a 746 Watts de potencia-, ocasionalmente y por varios minutos, es capaz de desarrollar hasta 100 Watts. A lo lar-

go del año su actividad física equivale a una energía de 100 kWh, -lo que es comparable al consumo mensual de energía eléctrica de una casa modesta de interés social-, de la que sólo la quinta parte se ha dedicado a lo que formalmente denominamos trabajo. La cantidad de trabajo productivo que un hombre adulto desarrolla por año, es equivalente por tanto a 20 kWh de energía útil, sin embargo, consumió en alimentos 1000 kWh, -2,500 kcal/día-. En términos de trabajo físico, la máquina humana solo tiene 2% de rendimiento.

Si consideramos que una máquina térmica tiene una eficiencia media de 33%, para producir estos mismos 20 kWh de trabajo eficaz, se requirió del equivalente a 60 kWh de combustible, contra los 1000 kWh de alimentos para la máquina humana. Si por otro lado consideramos que el alimento humano es del orden de 10 veces más costoso que los combustibles, desde el punto de vista económico, el hombre es 6000 veces más caro por cada unidad energética útil de trabajo. Esta es la razón básica de la mecanización y la automatización del trabajo agrícola e industrial.

El trabajo humano, para ser productivo, debe usar y controlar fuentes externas de energía. Utilizar máquinas herramientas equivale a disponer de los llamados alguna vez "esclavos mecánicos". Cada caballo de fuerza (HP) de los motores de las máquinas equivale a veinte hombres ayudando en la tarea, las máquinas son por tanto: ***muchísimo más potentes, eficientes y concentradas.***

En el orden social, el hombre no debe competir con las máquinas; debe diseñarlas, construirlas, operarlas y mantenerlas. La máquina debe ser herramienta del hombre y no el hombre apéndice de la máquina. La forma en que evolucionó la aplicación de energía en los procesos productivos, lo ilustra la siguiente tabla:

Distribución porcentual del trabajo en los Estados Unidos

Trabajo Físico	1850	1900	1930	1955	1960
Humano	15.3	10.5	6.0	3.0	2.2
Animal	78.8	51.7	11.0	3.0	1.3
Máquinas	5.8	37.8	83.0	94.0	96.3

Fuentes: 20th Century Fund, US Bureau of Mines.

Este desarrollo en la mecanización del trabajo, se reflejó en el incremento en la productividad del trabajo humano. En 1955, por cada uno de los 2700 millones de seres humanos en la tierra, existían 532 *esclavos de energía*, cada uno con una potencia equivalente a un veintavo de HP y una capacidad de trabajo de 20 kWh por año. Mucho antes de la Revolución Industrial , un romano rico en el esplendor del Imperio, disponía de 70 esclavos humanos. En Grecia, tiempo atrás, un ateniense adinerado poseía 20 esclavos. Es pues la energetización del trabajo, lo que determina la productividad como se muestra a continuación:

Incremento de la productividad del trabajo en los Estados Unidos

AÑO	Millones de trabajadores	Promedio de horas de trabajo por semana	Valor neto de la producción por hora de trabajo en US cents.
1850	7.4	70.6	17.3
1890	22.4	63.2	29.6
1930	45.0	47.2	52.3
1950	57.0	40.8	87.5
1960	60.2	37.7	103.4 (estimado)

La productividad del trabajo industrial, está dada por la cantidad de energía involucrada en los procesos de transformación, la energía por obrero industrial y su energía per cápita en un país indican su nivel de desarrollo socioeconómico, como se muestra en las siguientes tres tablas:

Energía por Obrero Industrial (1955)

País	Carbón Equivalente Toneladas	kWh
Estados Unidos	25	203,750
Reino Unido	8.5	69,275 (Europa Occidental)

Consumo anual per cápita de Energía (1955) (Toneladas equivalentes de Carbón)

País	Toneladas
Estados Unidos	8.0
Canadá	7.0
Reino Unido	4.5
Bélgica	4.1
Alemania Occidental	2.9
Unión Soviética	2.8
Francia	2.3
España	0.8
China	0.17
Media Mundial	1.3

Tiempo de trabajo para pagar una hamburguesa según el salario mínimo (1994) y consumo de electricidad per cápita (1992)

Estados Unidos	14 minutos	12,080	kWh/hab-año
Reino Unido	36 minutos	5,520	kWh/hab-año
México	6 horas	1,270	kWh/hab-año
Nigeria	11 horas	90	kWh/hab-año

Los países desarrollados no consumen mucha energía porque sean ricos, sino que son ricos en la medida en que disponen de potencia instalada en maquinaria y usan energía - realizan trabajo- en los procesos de producción de bienes y servicios. Una economía basada en energía humana es una economía de subsistencia. Así ha sido por milenios. Un leñador con una motosierra de 3/4 de HP, produce en un día lo que con un hacha requiere un mes. Un tractor labra en un día lo que con una yunta de bueyes se consigue en muchos días. Un operador de una máquina niveladora de 300 HP, realiza en el mismo tiempo el trabajo de un ejército de 6000 hombres armados de picos, palas y carretillas.

La "productividad" de una economía se tasa por los HP (potencia) y los HP-horas , o más adecuadamente los kWh (energía) asociados a cada trabajador en los sectores primario y secundario, es decir, a la potencia instalada de motores y a la energía usada como combustibles o electricidad durante su tiempo de operación. Los economistas parecen desconocer esta simple ley de la física y olvidan que toda transformación es un proceso energético. *La productividad no es más que el reflejo de la calidad y capacidad de los medios de producción y de su gestión*, y de ninguna manera objeto de convenios de productividad obrero patronales. Como ejemplo de esto, se muestra la siguiente tabla:

Potencia instalada y productiva per cápita (1955)

Área	HP Totales per cápita*	HP Productivos per cápita
EUA y Canadá	42.45	2.34
Europa Noroccidental	5.81	1.31
Sudáfrica	4.14	1.00
URSS	2.08	0.80
Europa Oriental	1.07	0.62
Europa del Sur	1.57	0.45
Japón	1.20	0.35
Israel	2.08	0.43
América Latina y el Caribe		
Al norte del ecuador**	2.17	0.21
Al sur del ecuador	1.22	0.17
Asia	0.07	0.03
Medio Oriente	0.48	0.08
África	0.25	0.05
Oceanía	0.90	0.09
7000 millones de HP en el mundo en 1955		

* Incluye potencia instalada en vehículos. Enciclopedia Americana, Vol. 22, Pág. 483, 1963.

** Incluye México, Centro América, Caribe, Colombia y Venezuela.

La potencia instalada para fines de transformación se compone de motores eléctricos y de motores de combustión interna para máquinas herramientas de carácter móvil, como la maquinaria agrícola , la maquinaria para obras civiles y minería, y en general para todos los procesos en campo. Un indicativo de la energía aplicada a las actividades productivas con

motores estacionarios y móviles, eléctricos o de combustión interna, se indica en la tabla siguiente:

Energía producida a partir de combustibles fósiles e hidroenergía en HP-hrs/cápita-día. (1955).

Área	HP-hrs/cápita-día
EUA y Canadá	256.2
Australia y Nueva Zelanda	108.2
Europa Noroccidental	107.9
Europa Oriental	76.3
Sudáfrica	70.8
URSS	62.8
Israel	32.6
Japón	30.7
Europa del sur	24.5
América Latina y el Caribe	
Al norte del ecuador	21.75
Al sur del ecuador	14.6
Oceanía	5.8
Medio Oriente	5.6
Asia	4.3
África	2.2

La potencia instalada en vehículos es un indicativo de movilidad social y servicios, la tabla siguiente muestra cifras más recientes, respecto de algunos países en 1993.

Impuestos, precios y consumo de gasolina (1993)

País	Impuesto US$/litro	Precio Total US$/litro	Consumo Litros/cápita
Estados Unidos	0.09	0.34	1,600
Canadá	0.21	0.46	1,124
Australia	0.24	0.53	936
Japón	0.30	0.65	364
Alemania	0.48	0.66	497
Suecia	0.55	0.78	627
Italia	0.72	1.00	400
Portugal	0.85	1.21	235

State of the World, 1996. Worldwatch Institute. Pág. 179.

En 1800, en los Estados Unidos se estima se producían 5.88 HP-hrs/cápita-día, lo que alcanzó la cifra de 256.2 en 1955, esto significó que se incrementó 43 veces en siglo y medio. De 1945 a 1955 el empleo industrial creció sólo 1.5 % pero el uso de energía en el sector industrial aumentó 85 %. En 1955 la potencia instalada equivalía a que cada trabajador empleado dispusiera de 279 "ayudantes". Los Estados Unidos fue el único país que intuitiva y colectivamente entendió el papel de energetizar la economía. En la agricultura, de 1950 a 1955 cuadruplicó su capacidad instalada en el sector agrícola, cuyos resultados se ejemplifican con la siguiente tabla:

Usos energéticos en la Agricultura (Estados Unidos, 1972)

Energía/trabajador	65 veces América Latina 695 veces África 20 veces Bloque Socialista 7 veces Europa Occidental
Productividad/trabajador (Kilogramos)	36 veces América Latina 126 veces África 16 veces Bloque Socialista 12 veces Europa
Hectáreas/trabajador	20
Europa Occidental	1.8 (11 veces menos)
América Latina	2 (10 veces menos)
Europa Oriental	2.5 (8 veces menos)
África	0.65 (30 veces menos)

Adaptado de FAO, "Energy for world Agriculture", # 7, Roma, 1979.

El desarrollo económico y social de los países del llamado Tercer Mundo, México incluido, aunque seamos miembros de la OCDE-, gravita alrededor de un hecho muy simple, pero que ningún programa de desarrollo social o rural considera, que es el financiamiento para la cantidad adicional de potencia instalada como de la energía disponibles por trabajador, que se pondrán a su servicio para incrementar su productividad, así como de la capacitación y la asistencia técnica para el trabajo, la organización productiva y la comercialización de los productos.

El enfrentar la pobreza implica asumir plenamente el papel rector del Estado en la economía y desarrollar programas de fomento a la inversión en dos vertientes paralelas: Energía y Tecnología, en las magnitudes y modalidades requeridas por las condiciones socio técnicas y medio ambientales propias de la región atendida. Regresar a una escala humana de la tecnología, con responsabilidad social y ambiental, es el reto que enfrentamos los países en vías de desarrollo.

Cuando Schumacher escribió hace más de treinta años "Lo pequeño es hermoso" se refería a un modelo de "Tecnología Intermedia" que permitiera crear masivamente empleos productivos en los países del Tercer Mundo. Ello significaba simplemente que la inversión por nuevo puesto de trabajo estuviera al alcance de economías deprimidas y por otra parte, se pusiera al servicio del trabajador la tecnología y la energía que lo hiciera mucho más productivo. La grave crisis económica que se vive a nivel mundial, es el resultado directo de un estilo de desarrollo tecnológico que es excluyente, ya que privilegia la rentabilidad financiera del capital por sobre la sustentabilidad social, ambiental e incluso económica, del sistema, ya que la excesiva mecanización y automatización, produce desempleados o lo que es lo mismo, aniquila consumidores. Los robots sólo compran energía y refacciones de robot.

De lo mencionado hasta ahora se pueden derivar dos consideraciones adicionales, la primera respecto al nivel de los salarios vigentes en una economía dada. En los países del tercer mundo, México incluido, el miserable salario mínimo es de alguna manera correlativo a la baja productividad de la economía en su conjunto, dado el atraso en la infraestructura energética y la potencia instalada per cápita. Al lado de este miserable salario, que se refleja también en el sector servicios y en los empleados públicos, se vive un endémico déficit fiscal, que induce recortes presupuestales, bajar salarios reales y más desempleados, en un circulo vicioso que carcome las bases mismas de la organización político social de un país. Esto nos lleva a lo paradógico de que maestros, médicos, investigadores, etc., como prestadores de servicios muy especializados, estando en situaciones cada vez más difíciles, tanto salariales como laborales, se movilicen socialmente por reivindicaciones justas en principio, pero cada vez más imposibles de satisfacer, por una estructura económica incapaz de ser realmente productiva.

Por otro lado, en los países desarrollados, el alto costo de la mano de obra y la escasez de la especializada, propician un mayor nivel de energetización y automatización de los procesos, provocando desempleo y marginación social, lo que repercute en mayores índices de violencia social y delincuencia organizada. En los países pobres hay otra circunstancia agravante del circulo vicioso de una economía deprimida. El subsidio a los energéticos como un mecanismo para impulsar la industrialización, en realidad sólo ha provocado ineficiencia en el uso de los energéticos y por otro lado ha *devaluado* el trabajo humano, *subsidiar energéticos implica automáticamente deprimir salarios*, y por tanto reducir capacidad de compra y poco desarrollo al mercado interno, con todas las implicaciones que esto tiene.

En los países del tercer mundo todo esta por hacerse. Las necesidades son muchas y urgentes y el denominado gasto social debería orientarse más al equipamiento productivo que empiece a dinamizar la actividad económica local. Gran parte del suministro energético requerido puede hacerse con recursos energéticos renovables del sitio. La potencia instalada en maquinaria móvil que convencionalmente se mueve con gasolina o diesel, podría en algunos casos activarse con biocombustibles líquidos y gaseosos derivados de

biomasa, como biogás o el gas pobre de gasógeno, obtenido a su vez de picaduras de materiales leñosos. Las fuentes renovables de energía como la solar, la eólica, pequeñas hidroeléctricas y sobre todo la biomasa, y el uso en pequeña escala -pero masivamente- de energéticos convencionales en actividades productivas, bajo un enfoque distribuido y de mini y micro empresa, sean comunales, ejidales, cooperativas o privadas, son la única respuesta para el desarrollo sustentable de los 10 millones de mexicanos, que en el medio rural están marginados de la red convencional de energéticos y de los millones que en la periferia de las ciudades sobreviven entre el desempleo, el subempleo y la delincuencia social.

Con asombro constatamos diariamente que entre sociólogos y economistas se discute el problema de la pobreza en nuestros países en vías de mayor subdesarrollo, sin la menor mención al problema de la energía. Las externalidades son un buen pretexto a la ignorancia, a las que no únicamente los economistas recurren. En tanto los programas de desarrollo económico y social no se enmarquen en programas de desarrollo energético REGIONAL Y LOCAL, el estigma de la pobreza y la emigración, serán constantes del campo mexicano, y el hacinamiento y la delincuencia otra constante en los perímetros de las grandes ciudades.

Un elemento básico para combatir la pobreza lo es una reestructuración participativa del sector energético. El concepto de generación eléctrica distribuida o aislada, no solo se aplicaría a la electricidad, sino también a la producción local de combustibles o sus sustitutos, como energía solar para producir calor. En el medio rural, motores de combustión interna podrían funcionar con biocombustibles a partir de biomasa. Esto permitiría crear una verdadera infraestructura productiva que aunada a caminos vecinales, permitiría el intercambio comercial y el desarrollo social. Son energía, tecnología y capacitación, lo que complementando a una organización social participativa y democrática, autónoma y autogestionada, -y caminos- lo que permitirá cambiar las condiciones del México rural, del México profundo.

Poder caminar en el sentido correcto, requiere que el Estado asuma plenamente su papel rector en la economía, realizando planeación estratégica regionalizada y apoyando centralmente los esfuerzos de naturaleza tecnológica que el país debe desarrollar. Nuestras peculiaridades nacionales requieren de soluciones tecnológicas particulares, adecuadas a nuestro entorno socioeconómico y ambiental. Esto por otro lado implica disponer de una política de desarrollo industrial y agropecuario, que entendiendo las vocaciones nacionales dentro del contexto internacional, nos lleve a los niveles de excelencia requeridos. No son las simples y ciegas fuerzas del mercado lo que va a resolver nuestros problemas de desarrollo económico y social, sino la inteligencia y la voluntad para diseñar un camino y saberlo andar.

Artículo Técnico

Atlas Eólico de Cuba. Estadística y Climatológica. Potenciales Climáticos de Generación Eolo-eléctrica y Bombeo Eólico.

Por Rolando Soltura, Sara Mon, Gloria Rodríguez, Alfredo Roque, Lilian Ayala

Instituto de Meteorología
Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

RESUMEN

El Atlas del Potencial Eólico de Cuba es un compendio de métodos, tablas, gráficos y mapas que resumen la climatología y estadística del viento como recurso energético. Los modelos físicos y estadísticos empleados para estimar el potencial eólico en cada estación tienen su base conceptual en la estadística de Weibull y en nociones relativas a las condiciones locales de la estación, tales como: el efecto de resguardo de los obstáculos cercanos, el cambio de rugosidad y las variaciones orográficas. Las estadísticas de viento, resumidas para más de 50 estaciones del Servicio Meteorológico Nacional, se confeccionaron sobre la base de 10 años de datos, con registros trihorarios de la velocidad del viento.

El atlas básicamente presenta la siguiente información:

a) características del clima eólico de Cuba y regionalización del recurso;
b) estadística y climatología del viento por estaciones (resumen de tablas y gráficos);
c) metodologías para el cálculo del potencial eólico en un sitio dado y criterios para la extrapolación vertical y horizontal del viento;
d) simulación de turbinas eólicas y aerobombas, y criterios para el emplazamiento de éstas en diferentes tipos de terreno;
e) mapas de sitios con potenciales prometedores, y otros de uso general;
f) sistema de programas para el cálculo del potencial eólico a partir de series climáticas de datos de viento; y
g) verificación de las metodologías de cálculo.

ATLAS EÓLICO DE CUBA. ESTADÍSTICA Y CLIMATOLOGÍA

INTRODUCCIÓN

El Proyecto de Atlas Eólico de Cuba, propuesto a principios de la década del noventa, surgió como consecuencia del desarrollo de la energética eólica en el mundo, y como resultado de la política de rescate, desarrollo y empleo de las fuentes no convencionales de energía.

Las investigaciones del recurso eólico en Cuba datan de hace varios años. En 1983 la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) dio a conocer el Atlas Eólico Preliminar de América Latina y el Caribe (Aiello *et. al.*, 1983), en el cual se incluyen 36 estaciones del Servicio Meteorológico Nacional y se evalúa preliminarmente el recurso eólico en Cuba. En un estudio estadístico posterior se extiende el número de estaciones a 46 y se demuestra (Soltura *et. al.*, 1990) la validez de la estadística de Weibull en la simulación de las estadísticas de viento de las estaciones. Otros estudios, menos generales, han estado encaminados a la caracterización y evaluación del potencial eólico en determinadas regiones del país (Alvarez *et al.*, 1991).

OBJETIVOS

1. Establecer el Clima Eólico de Cuba mediante las estadísticas y climatologías eólicas de

diferentes regiones del país.

2. Proporcionar los datos meteorológicos necesarios y los modelos de cálculo requeridos para la evaluación climática del recurso eólico en diferentes regiones del país, incluyendo la extrapolación vertical y horizontal del viento, la simulación de turbinas eólicas y aerobombas, y el emplazamiento de éstas bajo condiciones cambiantes del terreno.
3. Proporcionar las nociones meteorológicas básicas para la extrapolación a largo plazo del recurso eólico en sitios con series cortas de datos, tomando como referencia las series largas de datos de las estaciones meteorológicas.
4. Proporcionar un conjunto de mapas y datos estadísticos que posibiliten una mejor planificación y empleo del recurso eólico.
5. Apoyar y complementar con los datos del atlas el actual programa de prospecciones eólicas que se acomete en el país.
6. Propiciar y promover una cultura acerca del uso de la energía eólica como recurso sostenible, es decir, como un medio para evitar o mitigar el impacto negativo de las fuentes tradicionales de energía sobre el clima y el medio ambiente.

ASPECTOS METEOROLÓGICOS DEL VIENTO EN CUBA

Las condiciones generales del viento en un territorio están determinadas por las configuraciones del campo de presión asociadas al movimiento de los sistemas atmosféricos de gran escala, los cuales alcanzan longitudes características del orden de 100 a 10 000 km. Estos grandes sistemas, en sus desplazamientos, pueden ser modificados por sistemas orográficos complejos y cambios en la rugosidad del terreno, factores que introducen modificaciones a escala local (o mesoescala) en el flujo predominante de gran escala, y sus efectos alcanzan longitudes características del orden de 10 a 100 km.

Finalmente, las condiciones del viento en un sitio dado están determinados por la presencia de los obstáculos cercanos (edificaciones, árboles, etc.), los cuales actúan en la microescala y tienen longitudes características de 1 m a 10 km.

CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA SOBRE CUBA

El clima de Cuba se ha descrito como "tropical estacionalmente húmedo, con influencia marina y rasgos de semicontinentalidad". Por su posición geográfica, Cuba está situada dentro del cinturón de los alisios del noreste, entre los 19° 49' -23° 18' de latitud Norte, y 74° 07' -84° 58' de longitud Oeste; y por este motivo, recibe la influencia de fenómenos procedentes del trópico y fenómenos de origen extratropical. Esto hace que la circulación atmosférica sobre Cuba tenga un carácter complejo y heterogéneo, determinada por su posición geográfica, su carácter insular (isla larga y estrecha, rodeada de numerosos cayos) y su orientación respecto al flujo sinóptico predominante.

El Anticiclón del Atlántico o de las Azores-Bermudas constituye el principal centro de acción en nuestra área, y los vientos asociados a este sistema son preferentemente del primero y segundo cuadrantes. Aunque se presenta todo el año, no muestra cambios estacionales acentuados, y es más frecuente en verano que en invierno.

RED DE ESTACIONES Y BASE DE DATOS

De un total de 65 estaciones meteorológicas que conforman la red nacional del Instituto de Meteorología, 59 de ellas fueron seleccionadas para el atlas (es decir, el 90.8%). De estas estaciones, dos están ubicadas en zonas mon-

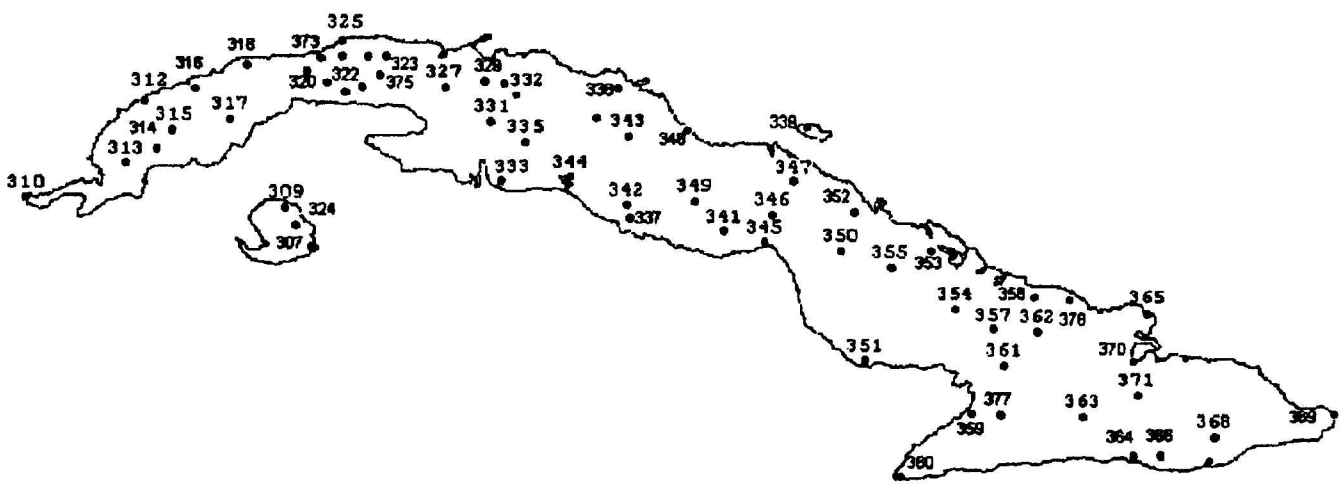
tañosas (Topes de Collante y Gran Piedra) y el resto están ubicadas en zonas llanas o ligeramente onduladas. Exceptuando las regiones montañosas, las estaciones meteorológicas cubren prácticamente todo el territorio nacional. La fig. 1 muestra la Red Nacional de estaciones meteorológicas.

Para la confección de las estadísticas y climatologías eólicas se procesaron series de 10 años de datos de viento, correspondientes al periodo 1977-1986, basadas en observaciones trihorarias y mediciones a 10 m de altura sobre el nivel de la estación (SNE).

MODELOS FÍSICO-ESTADÍSTICOS

Los modelos físicos y estadísticos se extrajeron básicamente de las metodologías reportadas en la literatura nacional e internacional. Los modelos empleados en el Atlas Eólico Europeo (Troen y Petersen, 1986) para caracterizar el entorno topográfico de la estación, determinar el efecto de resguardo de los obstáculos cercanos, el efecto del cambio de rugosidad y las variaciones orográficas, fueron adaptados y modificados para su introducción en el Atlas.

Figura 1. Red Nacional de Estaciones Meteorológicas



I Modelo de Cálculo de la rugosidad

Se denomina rugosidad superficial al conjunto de obstáculos y protuberancias que conforman la superficie del suelo, cuyo efecto sobre el viento se aprecia en el retraso que experimenta éste a su paso por tales elementos. La rugosidad se acostumbra a parametrizar por una escala de longitud o altura llamada parámetro de rugosidad (Zo). La tabla 1 muestra la relación de Zo y las características del terreno.

Tabla 1. Clasificación del parámetro de rugosidad Zo (m). P: exponente de la ley de potencia del viento.

Clase	Zo	P	Descripción del Terreno
I	0.0001 - 0.001	0.20	Grandes extensiones de agua. Mar abierto en calma.
II	0.001 - 0.01	0.20	Viento marino en zonas costeras, zonas de playa y hierba cortada.
III	0.01 - 0.1	0.22	Llanuras bastante planas de hierba, terreno agrícola y aeropuertos (área de pista).
IV	0.1 - 0.5	0.25	Muchos árboles, pocos edificios.
V	0.5 - 1.0	0.30	Centros de pequeñas ciudades. Zonas boscosas.
VI	---	--	Colinas y crestas.

Para el cálculo de Zo se hizo una descripción de la topografía en el área de la estación para lo cual se utilizaron mapas de escala 1:50 000. El área se dividió en 8 sectores de dirección, y

sector se dividió en cuatro partes hasta el primer kilómetro. Se empleó el principio de ponderar los elementos rugosos de cada sector. Se calculó Zo empleando la fórmula de la media ponderada cuando los parámetros Zo pertenecen a la misma clase, y la media geométrica cuando pertenecen a clases diferentes. Se obtuvo para cada estación la rosa topográfica o rosa de rugosidad.

II Modelo de cálculo del resguardo

Se entiende por resguardo la disminución relativa de la velocidad del viento causada por un obstáculo del terreno, el cual puede variar en dimensiones (desde una pequeña edificación hasta una montaña) y, de acuerdo al modo en que esté distribuido, puede crear una compleja topografía alrededor de la estación con flujos de estructura complicada.

Teniendo en cuenta las pequeñas dimensiones de los obstáculos que rodean a nuestras estaciones, el análisis de resguardo se extendió solo a los primeros 250 m de la estación.

III Modelo orográfico

Al igual que los modelos de cambio de rugosidad y de resguardo, el modelo orográfico se usa para corregir los datos de viento de las inhomogeneidades del terreno circundante, tratándose en este caso de diferencias en altura del terreno alrededor de la estación.

IV Modelo de estabilidad vertical

Este modelo permite la extrapolación del dato de viento a diferentes alturas.

El modelo de estabilidad se concibió sobre la base de las formulaciones de Businger *et. al.* (1971) y los nomogramas de Golder (1972) y Sedefian (1980), probados estos últimos por Hsu (1982) para una isla del Caribe. Algunos criterios derivados del estudio del régimen diurno de la turbulencia en Cuba (López, 1988), fueron utilizados para determinar las categorías de estabilidad de Pasquill (1961) en cada una de las estaciones, ajustándose el modelo a las condiciones específicas de Cuba, típicas de una atmósfera tropical.

V Modelo de cambio de rugosidad

Este modelo permite calcular la modificación que sufre la velocidad del viento cuando pasa de un tipo de rugosidad a otro. El paso del flujo de una clase de rugosidad a otra origina, a partir del punto donde se produce el cambio, la formación de una capa límite interna corriente abajo. La altura de esta capa aumenta con la distancia al punto donde se produjo el cambio. Fuera de esta capa, el cambio de rugosidad no se nota, y la velocidad del viento se determina a partir de la rugosidad antes del cambio. En el interior de la capa, la velocidad depende tanto de la rugosidad anterior como de la rugosidad posterior al cambio. Los cambios de rugosidad se consideraron exclusivamente hasta el primer kilómetro.

VI Modelo de extrapolación horizontal

Debido a que la estructura de la capa fronteriza planetaria tiene una respuesta rápida a los cambios de presión, se forma un balance aproximado entre el gradiente de las fuerzas de presión y la fuerza de rozamiento en la superficie terrestre.

El modelo de extrapolación horizontal es en esencia un método de doble extrapolación vertical. El cambio de una clase de rugosidad a otra, mostrado en la fig. 2, se hizo siguiendo las indicaciones de este modelo.

MODELOS ESTADÍSTICOS

Para la simulación de las distribuciones de frecuencia del viento se empleó la distribución

Figura 2. Distribución espacial de la velocidad y potencia del viento (ver tabla explicativa).

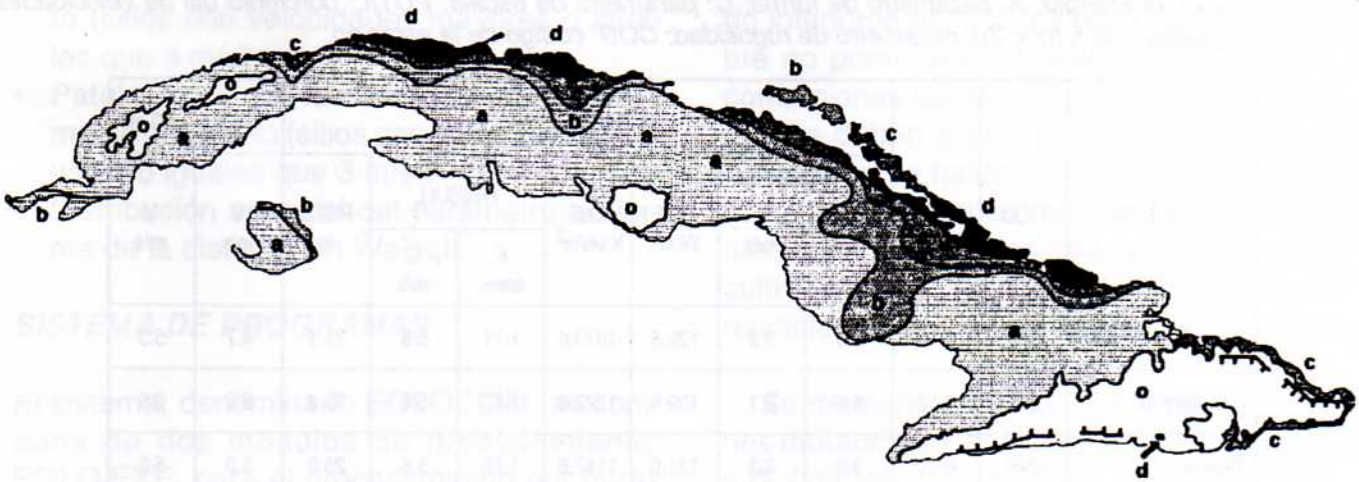


Tabla explicativa

Reg	0.01 Zo < 0.1						0.1 Zo < 0.5					
	10 m		30 m		50 m		10 m		30 m		50 m	
	V (m/s)	P w/m²	V (m/s)	P w/m²	V (m/s)	P w/m²	V (m/s)	P w/m²	V (m/s)	P w/m²	V (m/s)	P w/m²
a	<3	<50	<4.5	<100	<4.5	150	<2.5	<50	<3.5	<100	<4.5	<150
b	3-4	50-100	4.5-5	100-200	4.5-5.5	150-250	2.5-3.5	50-100	3.5-4.5	100-150	4-4.5	150-250
c	4-5	100-150	5-6.5	200-350	5.5-7	250-400	3.5-4	100-150	4.5-5.5	150-250	5-6	250-350
d	>5	>150	>6.5	>350	>7	>400	>4	>150	>5.5	>250	>6	>350

biparamétrica de Weibull, y en los casos de elevados porcientos de calmas (o velocidades menores que 3 m/s), se ajustó la distribución de Weibull híbrida. Los parámetros de Weibull, calculados según el modelo híbrido, son mostrados en la tabla 2.

Para la extrapolación vertical de los parámetros de Weibull, se propuso un método, basado en mediciones de torre de gradiente, que permite estimar estos parámetros a partir de conocer la rugosidad.

ESTADÍSTICAS Y CLIMATOLOGÍAS EÓLICAS

Básicamente el conjunto de datos de una estación está conformado por:

Tablas:

- Rosa topográfica de la estación.
- Frecuencias de velocidades del viento.
- Velocidad media y desviación standard.
- Densidad de potencia media.
- Promedios anuales de velocidad y potencia (Z=10,..,50 m)
- Curvas de duración de velocidad.
- Parámetros de Weibull a 10, 20, 30, 40 y 50 m.
- Producción de potencia de cuatro turbinas eólicas.
- Volumen de agua bombeado por cuatro aerobombas.
- Rosa de los vientos.
- Parámetros de Weibull por direcciones.
- Parámetros de Weibull por direcciones y alturas.

Promedios anuales del viento. V:velocidad media; DST: desviación standard; POT: densidad de potencia; ENE: densidad de energía; K: parámetro de forma; C: parámetro de escala; PUTIL: porciento útil de velocidades mayores o iguales que 5 m/s; Zo: parámetro de rugosidad; COD: código de la estación.

ESTACION	COD	Zo m	ALTURA: 10 m							30 m	50 m
			V m/s	DST m/s	POT W/m^2	ENE Kwh/m^2	WEIBULL		PUTIL %	V m/s	V m/s
							K adim.	C m/s			
Cabo San Antonio	310	0.16	3.6	3.3	122.6	1073.6	1.71	5.8	21.1	4.7	5.3
Casablanca	325	0.12	4.5	3.1	139.6	1222.6	1.87	5.8	33.3	5.8	6.5
Bainoa	340	0.13	3.9	3.3	131.0	1147.8	1.70	5.6	26.0	5.0	5.2
Artemisa	319	0.34	3.4	3.2	111.5	997.0	1.66	5.8	19.0	4.6	5.2
Bauta	376	0.08	3.4	3.3	107.9	945.1	1.98	6.1	28.2	4.4	4.9
Punta del Este	324	0.29	3.2	2.4	59.5	521.2	1.94	4.7	22.4	4.2	4.8
Florida	350	0.39	3.4	2.9	92.0	805.7	1.77	5.3	27.6	4.5	5.2
Camagüey	355	0.08	3.2	2.6	65.9	577.5	2.01	4.8	19.8	4.1	4.6
Nuevitas	353	0.10	4.3	2.6	99.3	870.1	2.52	5.4	38.5	5.5	6.2
Cayo Coco	339	0.08	3.5	2.6	77.9	682.1	1.87	4.9	23.3	4.4	5.0
Puerto Padre	358	0.02	3.4	2.7	73.2	641.4	2.15	5.1	24.2	4.3	4.7
Punta Lucrecia	365	0.006	3.3	2.3	58.2	510.0	1.79	4.1	16.9	4.1	4.5
Punta de Maisí	369	0.02	4.3	2.8	112.3	984.0	2.37	5.6	35.0	5.4	6.0
Gran Piedra	366	0.56	5.8	4.3	342.5	3000.5	1.97	8.0	46.9	7.9	9.1
Velasco	378	0.10	3.9	3.3	120.5	1055.2	2.40	6.2	33.0	5.0	5.6
Cabo Cruz	360	0.004	3.2	3.1	95.3	834.4	1.86	5.8	22.6	4.0	4.4

Gráficos:

- Distribución anual de frecuencias del viento.
- Patrón diario de la velocidad media a 10, 30 y 50 m.
- Patrón anual de la velocidad media a 10, 30 y 50 m.
- Patrón anual de la densidad de potencia a 10, 30 y 50 m.

CARTOGRAFÍA DEL ATLAS

El atlas básicamente contiene los siguientes mapas:

- Patrón diario de la velocidad media del viento (sitios con velocidades mayores o iguales que 3 m/s).

- Patrón anual de la velocidad media del viento (sitios con velocidades mayores o iguales que 3 m/s).
- Patrón anual de la densidad de potencia media del viento (sitios con velocidades mayores o iguales que 3 m/s).
- Distribución espacial del parámetro de forma de la distribución Weibull.

SISTEMA DE PROGRAMAS

El sistema, denominado EOLOCLIM, se compone de dos módulos de procesamiento: EOLO.EXE, para el procesamiento por horas y WINDROSE.EXE, para el procesamiento por rumbos. El sistema se diseñó en lenguaje TURBOPASCAL, y puede ser corrido en microcomputadores IBM compatibles, con 640 kb de configuración de memoria. Ambos módulos se auxilian de dos bibliotecas o units, nombradas STATWIND.TPU y ATLASTAB.TPU, que contienen respectivamente las rutinas físico-estadísticas y las rutinas de diseño de tablas del atlas.

RESULTADOS DEL ATLAS

Análisis de la topografía

El 69.7% de las estaciones meteorológicas del país presentan alturas inferiores a 50 m, el 15.2% están entre 50 y 100 m, el 10.6% están entre 100 y 200 m, y sólo el 4.5%, que incluye las estaciones de montaña (Gran Piedra, 1128.9 m y Topes de Collante, 767.3 m), superan la altura de 200 m. Esto permite inferir que la mayoría de nuestras estaciones meteorológicas se hallan ubicadas en terreno llano o ligeramente ondulado, con entornos orográficos suaves, es decir, las correcciones por efectos orográficos son prácticamente despreciables.

Los resultados del modelo de resguardo, prueban que el 83% de las estaciones muestran en toda el área correcciones por resguardo inferiores al 10% (es decir, 90% de flujo libre no perturbado), y sólo el 17% presentan correcciones superiores al 10%. Estos resultados se deben a que la mayoría de nuestras estaciones se hallan ubicadas en áreas agrícolas lejos de zonas densamente edificadas, afectadas en muchos casos por los propios cultivos, y con sectores de dirección preferenciales libres de obstáculos resguardantes.

Se demuestra que el 94.4% de las estaciones meteorológicas pertenecen a las clases III y IV (ver tabla 1), es decir, el 60.4% pertenecen a la clase III y el 34.0% pertenecen a la clase IV. En el Mapa de Potencial Eólico de Cuba (fig. 2) se describen las escalas de velocidad y potencia correspondientes a las clases III y IV.

Climatología y Estadística del recurso eólico

En el mapa de distribución mundial del recurso eólico (OMM, 1984) se observa que los flujos de energía eólica sobre Cuba y mares al sur presentan velocidades medias inferiores a 4.4 m/s y densidades de potencia menores que 100w/m^2, sin embargo, en los mares al norte las velocidades oscilan entre 4.4 y 5.1 m/s, con potencias entre 100 y 150 w/m^2. Utilizando las estadísticas de 59 estaciones meteorológicas, se obtiene que el 96.2% de las estaciones, con mediciones a 10 m, reportan velocidades medias anuales inferiores a 4.4 m/s, y el 3.8% reportan valores entre 4.4 y 5.1 m/s. A 30 m de altura, según las estimaciones realizadas, se obtiene que el 79.2% se ubican en la clase 1, de acuerdo con la tabla 3, el 13.2% pertenecen a la clase 2, y el 7.6% se distribuyen entre las clases 3 y 7. A 50 m se observa que el 17.1% se localizan entre las clases 3 y 7. Es decir, con el incremento de la altura aumenta el número de sitios con potenciales eólicos prometedores.

nálisis de las estadísticas meteorológicas, según las rugosidades del tipo II y IV (tabla 1), demuestran, para la clase III, que el 60% de las estaciones reportan velocidades medias anuales menores que 4 m/s, con potencias inferiores a 100 w/m², y el 2% reportan valores mayores que 4 m/s. Para la clase IV, el 26% de las estaciones reportan velocidades menores que 3.5 m/s, con potencias inferiores a 100 w/m², el 6% muestran valores entre 3.5 y 4 m/s, con potencias entre 100 y 150 w/m², y el resto (6%) superan los 4 m/s, con potencias mayores que 150 w/m².

En el mapa de la fig. 2 se muestra la distribución espacial del recurso eólico en Cuba. De este mapa se aprecia que en una extensa franja del litoral norte de Cuba, desde La Habana hasta Punta de Maisí, al sur de la provincia de Guantánamo y en el macizo de La Gran Piedra se localizan los sitios con los potenciales eólicos más altos, con flujos del tipo c y d, mayores que 4 y 5 m/s según las escalas del mapa.

La distribución espacial del recurso eólico en Cuba (fig. 2) y las estadísticas meteorológicas, mostradas en la tabla 2, demuestran que en nuestro país se localizan numerosos sitios y zonas geográficas donde las velocidades medias a 10 m superan los 4 y 5 m/s, y las densidades de potencia alcanzan valores mayores que 100 y 150 w/m². Con estos resultados se demuestra la necesidad de continuar los trabajos de prospección eólica que acomete hoy la Unión Eléctrica en diferentes sitios del país, con fines de demostrar técnicas y económicamente la factibilidad de generar electricidad a partir del viento.

Generación eolo-eléctrica y bombeo eólico

La producción de potencia de cuatro turbinas eólicas comerciales, con potencias nominales para el rango de 7.5 a 225 kw, es mostrada en la tabla 4. Para la confección de esta tabla se seleccionaron las estaciones con mejor registro de viento. Las máquinas con potencias entre 7.5 y 150 kw exhiben en la mayoría de los casos factores de capacidad mayores que el 20%; en cambio, la VESTAS V27-225 kw exhibe en la mayoría de los casos factores de capacidad mayores que el 15%. Los resultados climáticos obtenidos demuestran la factibilidad de generar energía eléctrica a partir del viento en diferentes sitios y zonas geográficas del país.

Con relación al bombeo eólico, tradicional-

Tabla 3. Porciento de velocidades medias anuales.

CLASE	10 m			30m	50m
	V (m/s)	P (m/s)	%	%	%
1	<4.4	<100	96.2	79.2	69.8
2	4.4-5.1	100-150	1.9	13.2	13.2
3	5.1-5.6	150-200	--	3.8	5.7
4	5.6-6	200-250	1.9	1.9	3.8
5	6-6.4	250-300	--	--	3.8
6	6.4-7	300-400	--	--	1.9
7	>7.0	>400	--	1.9	1.9

mente utilizado en nuestro país, la tabla 5 muestra los volúmenes de agua bombeados obtenidos a partir de la simulación de cuatro aerobombas tradicionales, dos de producción nacional (Tainos) y dos variantes del Aermotor. Conociendo las estadísticas del viento, las capacidades de bombeo de los molinos, la profundidad del manto freático y los volúmenes de agua a satisfacer, se puede determinar el tipo de molino a emplazar en un sitio o región dada.

CONCLUSIONES

Se obtienen las estadísticas y climatologías eólicas de 59 estaciones meteorológicas del Servicio Nacional, a partir de las cuales se de-

Tabla 4. Energías producidas por cuatro turbinas eólicas comerciales y sus factores de capacidad.

ESTACION	COD	ES - 7.5 kw		ES - 30 kw		BONUS 150 kw		VESTAS 225 kw	
		E MWh	FC %	E MWh	FC %	E MWh	FC %	E KHh	FC %
Cabo San Antonio	310	20.8	28.5	72.5	24.8	337.9	23.1	427.1	19.5
Casablanca	325	29.1	39.9	101.8	34.9	457.5	31.3	574.6	26.2
Bainoa	340	22.9	31.3	79.9	27.4	364.1	24.9	465.1	21.2
Artemisa	319	20.2	27.7	70.1	24.0	327.7	22.4	412.1	18.8
Bauta	376	21.2	29.0	73.6	25.2	329.2	22.5	417.6	19.1
Punta del Este	324	19.3	26.4	65.0	22.3	292.3	20.0	349.7	16.0
Florida	350	20.2	27.6	69.4	23.8	321.5	22.0	398.0	18.2
Camagüey	355	18.8	25.8	63.7	21.8	279.3	19.1	342.3	15.6
Nuevitas	353	29.6	40.6	100.0	34.2	435.5	29.8	539.1	24.6
Cayo Coco	339	20.1	27.9	68.5	23.5	305.0	20.9	367.9	16.8
Puerto Padre	358	20.6	28.2	69.3	23.7	299.8	20.5	367.5	16.8
Punta Lucrecia	365	18.2	24.9	60.7	20.8	262.5	18.0	311.5	14.2
Punta de Maisí	369	28.4	38.9	97.1	33.3	421.1	28.8	524.0	23.9
Gran Piedra	366	33.7	56.2	124.9	52.8	625.2	42.8	815.9	37.3
Velasco	378	25.0	34.2	87.3	29.9	389.1	26.7	497.6	22.7
Cabo Cruz	360	18.6	25.4	64.4	22.0	283.4	19.4	358.1	16.4

Volumen anual de agua bombeada (m^3/año) por cuatro aerobombas tradicionales.

ESTACION	COD	TAINO - 2/9	TAINO - 3/9	AERM - 1	AERM - 2
		GASTO m^3/ año	GASTO m^3/ año	GASTO m^3/ año	GASTO m^3/ año
Cabo San Antonio	310	341.9	1710.2	5761.3	7024.0
Bainoa	340	408.5	2043.4	6513.5	7941.2
Melena del Sur	375	335.1	1676.3	5717.6	6970.8
Bauta	376	349.5	1748.3	5646.9	6884.5
Nueva Gerona	309	332.7	1664.3	5793.4	7063.2
Sagua la Grande	338	313.1	1566.1	5376.1	6554.5
Caibarién	348	341.6	1708.9	5979.1	7289.6
Florida	350	337.8	1690.0	5483.8	6685.7
Camilo Cienfuegos	347	332.7	1664.4	5773.8	7039.3
Camagüey	355	385.4	1928.1	6556.9	7994.1
Nuevitas	353	526.6	2634.0	9009.8	10984.5
Cayo Coco	339	350.5	1753.1	5362.3	7269.1
Las Tunas	357	354.4	1788.0	6215.2	7577.5
Puerto Padre	358	405.8	2030.2	6872.0	8378.2
Punta Lucrecia	378	25.0	87.3	389.1	497.6
Punta de Maisí	365	452.0	2261.2	7700.8	9388.7
Velasco	378	384.2	1921.7	6382.9	7781.9
Cabo Cruz	360	316.3	1582.0	5299.6	6461.2

termina la distribución físico-geográfica de la velocidad media y densidad de potencia del viento en Cuba, para diferentes clases de rugosidades, y se establece el Clima Eólico del país.

De la distribución espacial del recurso eólico se aprecia que en una extensa franja del litoral norte de Cuba, desde La Habana hasta Punta de Maisí, al sur de la provincia de Guantánamo y en el macizo de La Gran Piedra se pueden

localizar sitios y zonas geográficas con velocidades medias mayores que 4 m/s a 10 m de altura, y densidades de potencia mayores que 100 w/m^2, factibles para la generación eléctrica a diferentes escalas.

A partir de las estadísticas climáticas se simula la producción de energía de un grupo de aerogeneradores comerciales con potencias nominales en el rango de 7.5 a 225 kw y se calculan los factores de capacidad de cada máquina, para un 90% de disponibilidad. Para las estaciones ubicadas en zonas con potenciales prometedores se obtienen factores de capacidad mayores que el 20%. Se simulan también las capacidades de bombeo de cuatro aerobombas tradicionales.

Los resultados permiten complementar el actual programa de prospecciones eólicas que acomete la Unión Eléctrica Nacional, y pueden ser utilizados como referencias para elaborar y perfeccionar el Programa Eólico Nacional.

REFERENCIAS

Ailello, J., Valencia, J., Caldera, E. y Gómez, V. (1983) : Atlas Eólico Preliminar de América Latina y el Caribe. Volúmen II, América Central y el Caribe. Programa Regional de Energía Eólica de OLADE.

Alfonso, A. (1988) : Climatología de las tormentas locales severas de Cuba y fundamentos para su pronóstico. Tesis presentada en opción al grado científico de Candidato a Doctor en Ciencias Geográficas.

Alvarez, R., Soltura, R., Alvarez, O., Rodríguez, G., Alvarez, L., Collazo, A. (1992) : Estudio del viento en Camagüey para su aplicación a la agricultura y la ganadería. Memorias. Encuentro METEO-92, tomo 2, pp. 55-56, 1-9, Octubre 1992.

Barchet, W. R. y Davis, W. E. (1983) : Estimating long-term mean winds from short-term wind data. Pacific Northwest Laboratory. Operate for the U.S. Department of Energy by Battelle Memorial Institute.

Barros, V. (1983) : Atlas del Potencial Eólico del Sur Argentino. Centro Nacional Patagónico.

Businger, J. A. *et. al.* (1971) : Flux-profile relationships in the atmospheric surface layer. J. Atmos. Sci., 28, Nº 2, p. 181.

Carnesoltas, M. (1987) : La circulación local de brisa en Cuba. Tesis presentada en opción al grado científico de Candidato a Doctor en Ciencias Físico-Matemáticas.

Comisión Nacional de Energía (1993) : Programa de Desarrollo de las Fuentes Nacionales de Energía.

Goddard, W. B. y Goddard, C. B. (1993) : A comparative study of the total environmental costs associated with electrical generation systems. Renewable Energy, Vol. 3, Nº 2/3, pp 113-126.

Golder, D. (1972) : Relation among stability parameters in the surface layer. Boundary Layer Meteor., 3, pp 47-58.

Greenpeace (1993) : Power to change. Published by Energy Policy Research Unit.

Habali, S. M., Hamdan, M. A. S., Jubran, B. A. y Zaid, A. I. O. (1988) : Assessment and applications of wind energy in Jordan. Solar Energy. Vol. 40 , Nº 2, p 99.

Hewson, E. W. (1975) : Generation of power from the wind. Bull. Amer. Met. Soc., Vol. 56, Nº 7, p 660.

Hsu, S. A. (1982) : Determination of the power-law wind profile exponent on a tropical coast. Jour. Appl. Met., Vol. 21, Nº 8, pp 1167-1190.

Jensen, N. O., Petersen, E. L. y Troen, I. (1984) : Extrapolation of mean wind statistics with special regard to wind energy applications. World Climate Applications Programme, WMO/TD-Nº 15.

Lapinel, B. (1988) : La circulación atmosférica y las características espacio-temporales de las lluvias en Cuba. Tesis presentada en opción al grado científico de Candidato a Doctor en Ciencias Geográficas.

López, C. (1988) : Algunos resultados sobre la estimación del valor del coeficiente de turbulencia para la capa fronteriza atmosférica en Cuba. Revista Cubana de Meteorología, Volúmen 1, Nº 1, p. 41.

Moreno, C., Soltura, R., Leyva, G., Mon, S., Novo, R. y Díaz, J. (1993) : Prospección y evaluación preliminar del potencial eólico en cinco sitios de Cuba. Memorias del IX Forum de Ciencia y Técnica, La Habana.

Organización Meteorológica Mundial, OMM (1984) : Aspectos meteorológicos de la utilización del viento como fuente de energía. Nota Técnica Nº 175, OMM-Nº 575, Ginebra, Suiza.

Pasquill, F. (1961) : The estimation of the dispersion of windborne material. The Meteorol. Mag., 90, — 33-49.

Perera, M. D. (1981) : Shelter behind two-dimensional solid and porous fences. Jour. of Wind Engin. and Industrial Aerodyn., 8, pp 93-104.

Petersen, E. L., Troen, I., Frandsen, S. y Hedegaard, K. (1981) : Wind Atlas for Denmark (A rational method of wind energy siting). Wind Energy in Denmark, Danish Energy Agency.

n, L. (1980) : On the vertical extrapolation of mean wind power density. Jour. Appl. Meteor., Vol. 19, Nº 4, pp 488-493.

Soltura, R., Rodríguez, G., Hechavarría, E. y Ruíz, A. (1990) : Evaluación preliminar del potencial eólico en Cuba. Fondo de Manuscritos de la Biblioteca de Ciencia y Técnica, MICTMA.

Soltura, R., Mon, S., Rodríguez, G., Roque,A., Ayala, L. (1995) : Atlas Eólico de Cuba.

Troen, I. y Petersen, E. L. (1986) : European Wind Atlas. European Wind Energy Association, Conference and Exhibition, Rome, Italy.

ANES

XXI SEMANA NACIONAL DE LA ENERGÍA SOLAR
CHIHUAHUA, CHIHUAHUA, SEP. 29 - OCT. 3, 1997

ISES

La Asociación Nacional de Energía Solar anuncia la celebración de su XXI Semana Nacional de Energía Solar, que tendrá lugar en la ciudad de Chihuahua, del lunes 29 de septiembre al viernes 3 de octubre del presente año, correspondiendo en esta ocasión a la Universidad Autónoma de Chihuahua y al Instituto Tecnológico de Chihuahua ser las instituciones anfitrionas.

Participantes

Se convoca a los investigadores, docentes, estudiantes, industriales, funcionarios públicos, ONG's y demás personas interesadas en las Fuentes Renovables de Energía, a participar en esta Reunión Nacional.

Actividades

Cursos de actualización.- Se abordarán los siguientes temas: "Concentradores Solares y Materiales Asociados", Diseño Bioclimático de Edificios", "Colectores Solares Planos", "Destilación Solar" y "Sistemas Híbridos de Bombeo de Agua (Eólico/Solar)". Cada uno de estos cursos tendrá una duración aproximada de 16 horas, y serán ofrecidos de manera simultánea los días lunes 29 y martes 30 de septiembre.

Reunión Técnica.- Tendrá lugar los días miércoles 1, jueves 2 y viernes 3 de octubre. A lo largo de esta Reunión se presentarán los trabajos de cada uno de los investigadores participantes en la modalidad de ponencia (15 min.). Habrá también conferencias plenarias y mesas redondas a cargo de investigadores expertos.

Exposición Industrial.- Se presentará a lo largo de toda la semana y se podrán apreciar equipos y tecnologías diversas relacionadas con el uso de las fuentes renovables de energía.

Presentación de trabajos

Para participar con algún artículo en la Reunión Técnica se deberá enviar un resumen del mismo de alrededor de 500 palabras, en el que se describan los resultados originales, las aplicaciones novedosas, así como metodologías, hallazgos o información relevante relacionado con las Fuentes Renovables de Energía. El resumen deberá incluir el nombre de los autores, sus instituciones, direcciones, números telefónicos, fax y dirección de correo electrónico.

Fechas

30/IV/97.- Los resúmenes (original y dos copias) deberán llegar antes del 15 de abril al Secretario de Vocalías Técnicas, Ing. Eduardo Rincón Mejía, con dirección postal: Facultad de Ingeniería de la UAEMéx, Cerro de Coatepec, Toluca, México, C.P. 50130, Tel: 91 (72) 14-08-55. Fax: 91 (72) 15-45-12. (E-mail: erincon@coatepec.uaemex.mx).

31/V/96.- Los autores serán notificados de la aceptación (en su caso) de sus resúmenes, y se les enviarán las instrucciones para la preparación de los artículos terminados, durante el mes de mayo.

31/VI/97.- Los artículos completos deberán recibirse antes del 31 de junio. En caso de requerir modificaciones, las observaciones de los revisores serán enviadas a los autores durante el mes de julio.

29/VIII/97.- La fecha límite para recibir las versiones finales de los artículos es el 29 de agosto. Los trabajos aceptados serán publicados en la "Memoria de la XXI Reunión Nacional de Energía Solar".

ANES

ISES

CURSOS ANES DE ACTUALIZACIÓN

Concentradores Solares y Materiales Asociados

Diseño Bioclimático de Edificios

Colectores Solares Planos

Destilación Solar

Sistemas Híbridos de Bombeo de Agua Eólico / Solar

Chihuahua
GOBIERNO DEL ESTADO

CONACYT

Estos cursos se llevarán a cabo durante el 29 y 30 de septiembre en diferentes instituciones educativas participantes, tendrán una duración de 16 horas.

M. en I. Eduardo Rincón Mejía
Secretario de Vocalías Técnicas
Tel. 91 (72) 14-08-55
E-mail:erincon@coatepec.uaemex.mx

ENERGÍA SOLAR DE CIUDAD JUÁREZ

FIRCO

D. I. Adrián H. Oskam Voorduin
Secretario de Organización
Tel. 91 (73) 25-00-44 y 25-00-18
E-mail:aov@mazatl.cie.unam.mx

ORPINEL ELECTRONICS

Imelda Durán Molinar
MVZ José Jordán
Dirección General de Desarrollo Rural
Tel. (14) 29-34-45 29-33-99 Ext. 2541 y 2542
Fax. (14) 29-33-00 Ext. 2640
Email: comer.chi.mx@chi.icanet.net.mx

SAGAR

Lic. Cynthia Rodríguez
Centro de Investigación de Materiales Avanzados
Tel. (14) 39-11-25 39-11-11
Fax. (14) 39-11-12
E-mail: cynthia@yakko.cimav.edu.mx

CONAE

SUNergy
FUENTES ALTERNAS DE ENERGÍA