

ESTUDIO DEL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGIA

EOLICA PARA LA AGRICULTURA EN ESPAÑA

Madrid, Mayo de 1980

ESTUDIO DEL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGIA

EOLICA PARA LA AGRICULTURA EN ESPAÑA

Carlos Sánchez Tarifa
Dr. Ingeniero Aeronáutico
Catedrático, E.T.S.I.Aeronáuticos

Enrique Fraga Fernández - Cuevas
Dr. Ingeniero Aeronáutico
Profesor Adjunto, E.T.S.I.Aeronáuticos

José Salvá Monfort
Dr. Ingeniero Aeronáutico
Agregado Interino, E.T.S.I.Aeronáuticos

Los autores agradecen la valiosa colaboración prestada al trabajo por los Ingenieros Aeronáuticos:

- D. Gregorio Corchero Díaz
- D. Manuel López Aguilar

I N D I C E

	<u>Pág.</u>
1.- Introducción	1
2.- Aplicaciones de la Energía Eólica para la Agricultura	3
3.- La Energía Eólica en España	13
4.- La Energía Eólica en España para Aplicaciones Agrícolas. Riegos	20
5.- Estado Actual de las Aeroturbinas Susceptibles de Utilizarse en Agricultura. Problemas Tecnológicos y Criterios de Diseño	76
6.- Utilización de Aeroturbinas. Cálculo de la Energía. Selección	108
7.- Problemas Técnico-Económicos de la Acumulación de Energía.	117
8.- Costes. Aplicaciones Agrícolas.	136
9.- Conclusiones.	143
10.- Referencias	146

ESTUDIO PRELIMINAR DE LA UTILIZACION DE LA ENERGIA EOLICA
PARA LA AGRICULTURA EN ESPAÑA, ESPECIALMENTE PARA RIEGOS

1.- INTRODUCCION

En el presente trabajo se lleva a cabo un estudio preliminar del posible aprovechamiento de la energía eólica para la Agricultura en España, centrándose fundamentalmente el estudio en el problema del riego.

Se incluye en primer lugar en el trabajo un breve análisis de las particularidades que presenta la energía eólica en su aplicación a las diferentes tareas y demandas energéticas que se requieren en la Agricultura, analizándose el grado de aplicabilidad en cada caso.

A continuación se incluye el aspecto esencial del potencial eólico disponible en España para la Agricultura, y en especial para riegos, por lo que se estudia no solamente el total de energía anual disponible, sino también su valor en primavera y verano y su distribución en función del tiempo durante estas estaciones en las diferentes regiones españolas. Este último estudio se ha llevado a cabo con vistas al análisis de las posibilidades del aprovechamiento de la energía eólica tanto para riegos con embalse de regulación del agua como para riegos dinámicos en los que el agua se utiliza al mismo tiempo que se extrae de los pozos.

El análisis y tratamiento de los datos existentes se presenta en forma de cuadros y mapas que muestran las zonas de España prometedoras para aprovechamiento en general de la energía eólica para la Agricultura y en especial para riegos.

Se continúa el trabajo con un análisis del estado actual de las aeroturbinas susceptibles de ser empleadas en la Agricultura,

incluyendo problemas tecnológicos, estado del mercado (lista de aero turbinas y de fabricantes), y programas piloto; dedicándose una aten ción especial a los problemas de costes. Se dedica también un aparta do a los problemas técnico-económicos de la acumulación de energía.

Finalmente, se termina el trabajo con un apartado en el que se resume mediante conclusiones el posible interés presente y fu turo de la utilización de la energía eólica para la Agricultura en nuestro país.

2.- APLICACIONES DE LA ENERGIA EOLICA PARA LA AGRICULTURA

La Agricultura es uno de los campos de mayor interés para la aplicación de la energía eólica, ya que las características de su demanda energética son especialmente adecuadas para que sean cubiertas total o parcialmente por dicha forma de energía. En efecto, los requerimientos energéticos en la Agricultura no son concentrados sino dispersos por la mayor parte del país, como acontece con la energía del viento. Por otra parte, muchas tareas agrícolas no requieren que se lleven a cabo a plazo fijo, sino que existe flexibilidad en su fecha de ejecución, lo que es en extremo importante al utilizar una energía tan variable como la del viento.

Asimismo, importantes aplicaciones agrícolas permiten la acumulación de energía en forma del producto a utilizar. Este es el caso típico de la extracción del agua en pozos, existiendo también otros procesos que permitirían dicha acumulación, como elaboración de abonos, que podrían fabricarse y almacenarse cuando se dispusiese de energía eólica.

Por su importante valor energético, y por sus características anteriormente citadas, la elevación de agua y el riego constituyen las aplicaciones más importantes de la energía eólica en la Agricultura. Por ello, no es de extrañar que solamente en España llegasen a existir más de 7.000 instalaciones de riego eólicas, frente a unas 10.000 accionadas por motores de combustión y otras 10.000 mediante motores eléctricos (Cuadro nº 1).

Como es sabido, las aeroturbinas o molinos de viento se utilizaron no sólo en la Agricultura, sino también en aplicaciones industriales, pudiendo citarse a título de ejemplo que, solamente en Dinamarca, llegó a estar instalada una potencia total eólica superior a los 200 Mw.

Como es también bien conocido la energía eléctrica y el

CUADRO N.º 1INSTALACIONES DE RIEGO EN ESPAÑA EN 1932*

PROVINCIAS	Motores de Combustión	Motor Eléctrico	Máquina de vapor	Aeroturbina
Alava	4	12		6
Albacete	51	65		10
Alicante	324	196	19	200
Almería	130	243	15	57
Avila	130	15		25
Badajoz	57	25	2	66
Baleares	1.775	576	12	3.124
Barcelona	280	750		650
Burgos	112	6		1
Cáceres	119	58		3
Cádiz	26	165	1	150
Castellón	436	148	7	
Ciudad Real	25			19
Córdoba	40			30
Coruña			3	
Cuenca	49			9
Gerona	792	143		537
Granada	36	105		
Guadalajara	120	22		4
Gui púzcoa		81		

CUADRO Nº 1 (Continuación)

INSTALACIONES DE RIEGO EN ESPAÑA en 1932*

PROVINCIAS	Motores de Combustión	Motor Eléctrico	Máquina de vapor	Aeroturbina
Huelva	1	5	2	21
Huesca	13	8		4
Jaén	150	150		
Las Palmas	156	28	15	585
León	208	49	3	1
Lérida	138			
Logroño	380	92		651
Lugo				150
Madrid	183	227	16	27
Málaga	435	493	6	65
Murcia	629	388	21	113
Navarra	134	132		12
Orense		12		3
Oviedo				5
Palencia	17	4		12
Pontevedra				
Salamanca	72	5	3	2
S. C. Tenerife	230			40
Santander	12			8
Segovia	5	4		

CUADRO Nº 1 (Continuación)

INSTALACIONES DE RIEGO EN ESPAÑA EN 1932 ‡

PROVINCIAS	Motores de Combustión	Motor Eléctrico	Máquina de vapor	Aeroturbina
Sevilla	39	376	3	9
Soria	14	5		
Tarragona	1.126	1.851	1	21
Teruel	52	28		84
Toledo	215	15	22	40
Valencia	2.201	1.852	480	310
Valladolid	430	1.622		
Vizcaya	4	2		
Zamora	134			
Zaragoza	181	110	3	22
TOTALES	11.665	10.068	634	7.076

‡ No se incluyen norias

petróleo baratos llevaron a su extinción a las aeroturbinas industriales y a que apenas llegasen a utilizarse en la Agricultura; pero la situación actual está cambiando por completo. La crisis de la energía ha impulsado espectacularmente los programas de desarrollo de la energía eólica, existiendo ya un gran número de fabricantes de aeroturbinas de pequeña y mediana potencia que se reseñarán más adelante en este trabajo, así como diversos e importantes programas piloto de grandes aeroturbinas para producción de energía eléctrica y para aplicaciones agrícolas.

Además del regadío, que constituye la demanda energética agrícola más importante de nuestro país, existen en la Agricultura una gran diversidad de tareas que requieren energía eléctrica o mecánica y energía térmica. Pueden citarse entre las primeras la energía eléctrica necesaria en establecimientos agrícolas (granjas lecheras o avícolas, por ejemplo) y el accionamiento de diversa maquinaria agrícola en instalaciones fijas, como ventiladores de instalaciones de secado, manejo de granos, maquinaria de refrigeración etc; y entre las segundas la calefacción de granjas, establos, invernaderos e incubadoras.

La energía eólica, por ser energía mecánica, es fácilmente transformable y a poco costo en cualquier tipo de energía de las anteriormente citadas. Por ello una aeroturbina que en primavera y verano se dedicase fundamentalmente a la elevación de agua y regadío podría dedicarse en otoño e invierno a producir energía eléctrica y térmica, y ocasionalmente para el accionamiento de maquinaria agrícola diversa.

Las aeroturbinas pueden tener transmisión mecánica o eléctrica, pero para utilizarlas en misiones múltiples la producción previa de energía eléctrica proporciona una gran flexibilidad (Fig.1), y permite además seleccionar para el emplazamiento de la aeroturbina

APROVECHAMIENTOS MÚLTIPLES DE LA ENERGIA EOLICA EN LA AGRICULTURA

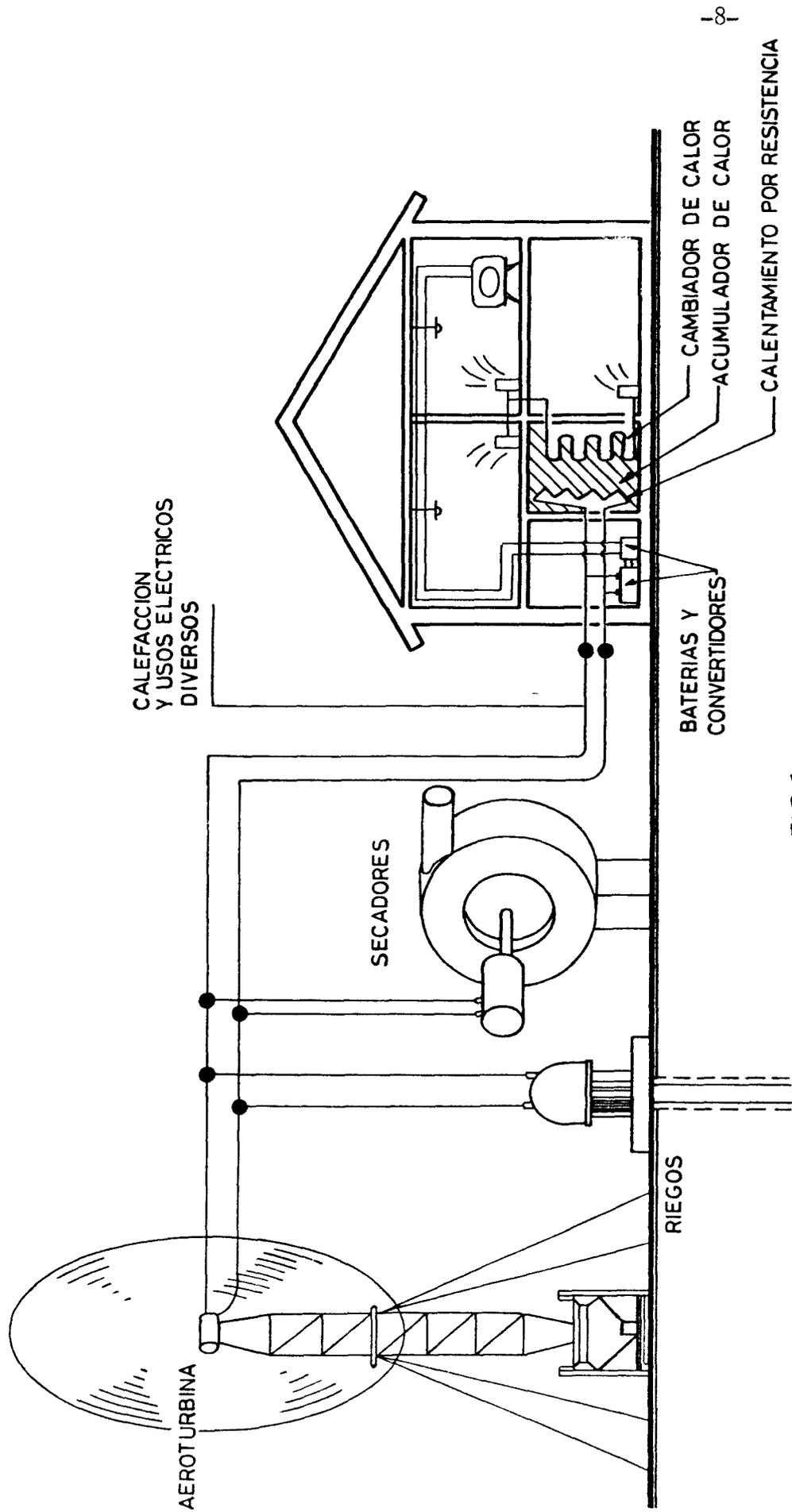


FIG.1

el sitio más adecuado bajo el punto de vista eólico, aunque esté algo alejado de los lugares de utilización de la energía producida.

En el momento actual se está prestando una gran atención por diversos países, muy especialmente los Estados Unidos, al tema de la utilización de la energía eólica en la Agricultura. Esta atención se desarrolla mediante estudios de sistemas y sobre todo mediante programas piloto. Estos programas piloto se están llevando a cabo mediante aeroturbinas comerciales y abarcan desde programas de irrigación hasta la producción de energía eléctrica para granjas avícolas y de productos lácteos. Algunos ejemplos de programas piloto se incluyen en el cuadro nº 2.

Finalmente, en el cuadro nº 3 se resumen unas estimaciones sobre la mayor o menor facilidad con las que los diferentes tipos de demandas de energía en la Agricultura podrían ser cubiertas total o parcialmente mediante la energía eólica.

CUADRO Nº 2

ALGUNOS PROGRAMAS PILOTO EN USA DE UTILIZACION
DE ENERGIA EOLICA EN LA AGRICULTURA

TIPO DE PROGRAMA	AEROTURBINA	SITUACION Y ORGANISMO A CARGO DEL PROGRAMA
Irrigación	Darrieus. 40 Kw Trans. mecánica	Depart. de Energía y Univ. de Texas
Irrigación	Eje horizontal tripolar 25 Kw. Trans. eléctrica	Depart. de Energía y Univ. de Texas
Irrigación	Eje horizontal bipolar 25 Kw. Trans. eléctrica	Depart. de Energía y Univ. de Texas
Irrigación	Darrieus. Trans. eléctrica	Agricultural Research Service. Texas
Irrigación	Darrieus. Trans. mecánica	Agricultural Research Service. Kansas
Refrigeración de almacenes de productos agrícolas	Darrieus. Corriente continua	Virginia Polytechnic Institute
Refrigeración de granjas de productos lácteos	Eje horizontal Corriente alterna	Kammn Sciences Corp. y Univ. de Colorado
Calefacción de granjas	Eje horizontal	Agricultural Research Service. Iowa

CUADRO Nº 2 (Continuación)

ALGUNOS PROGRAMAS PILOTO EN USA DE UTILIZACION
DE ENERGIA EOLICA EN LA AGRICULTURA

TIPO DE PROGRAMA	AEROTURBINA	SITUACION Y ORGANISMO A CARGO DEL PROGRAMA
Calefacción de granjas	Darrieus. Trans. mecánica. Disipación de energía hidráulica	Universidad de Cornell. Ithaca. N.Y.
Proyectos de suministro de energía eléctrica y calefacción a 11 granjas de productos lácteos	Aeroturbinas de eje horizontal Trans. eléctrica	Universidad de Massachusetts .
Sistema combinado solar-eólico para suministro de agua caliente	Aeroturbinas de eje horizontal y colectores planos	Universidad de Washington y Solar Building Corp.

CUADRO N° 3

	Consumo importante de energía	Utilización gran parte del año	Flexibilidad de operación o bajo costo de almacenamiento	Utilización en zonas de alta energía eólica
Riego con almacenamiento de agua	B	B	B	B
Riego sin almacenamiento de agua	R	B	M	B
Calefacción residencial	B	B	R	R
Calefacción de establos	R	R	R	R
Utilización de energía eléctrica	R	B	M	B
Producción de agua caliente	R	R	R	B
Secado de piensos	R	M	B	B
Ventilación	R	B	M	B
Tratamiento de granos	M	M	M	B
Incubadoras	B	B	R	R
Refrigeración	R	B	M	B

LEYENDA

B - BIEN (requiere además energía $\geq 150 \text{ W/m}^2$ año)
 R - REGULAR (energía comprendida entre $50 - 150 \text{ W/m}^2$ año)
 M - MAL (siempre que energía $< 50 \text{ W/m}^2$ año)

3.- LA ENERGIA EOLICA EN ESPAÑA

3.1.- La Energía del Viento

Aproximadamente un 2% de la energía solar que llega a la Tierra se transforma en la energía cinética del viento, con un total, en potencia, superior a 10^{11} GW.

Las grandes circulaciones de tipo planetario son ocasionadas por el desigual calentamiento de la Tierra en las zonas ecuatoriales y polares, que elevan el aire caliente en las primeras zonas y lo mueven a través de la atmósfera superior hacia los Polos, mientras que el aire frío tiende a circular junto al suelo de los Polos hacia el Ecuador.

La rotación de la Tierra modifica estas corrientes dando origen en conjunto a las grandes circulaciones de vientos: los alisios del WE y SE, los vientos del poniente, típicos de las latitudes de unos 40 a 55° N y S, los vientos polares del Este y las grandes zonas de calmas (Ecuador o "Doldrums", trópicos de Cáncer y Capricornio y altas latitudes). (Fig. 2).

Estas grandes corrientes de viento son modificadas por efectos térmicos a menor escala, originados por el desigual calentamiento de tierras y océanos, y en la superficie terrestre por los accidentes orográficos.

Como es sabido, la potencia del viento es proporcional a la tercera potencia de su velocidad, siendo por tanto muy sensible a variaciones de la misma.

En primer lugar, el rozamiento del viento sobre el suelo o sobre la superficie de los mares, origina una capa límite, creciendo el viento considerablemente con la altura (Fig. 3). Por otra parte, los accidentes del terreno pueden modificar en forma muy importante la velocidad del viento, y en mucho mayor proporción la potencia. Una colina o montaña redondeada (Fig. 4) puede dar lugar a que

CIRCULACION DE LOS VIENTOS

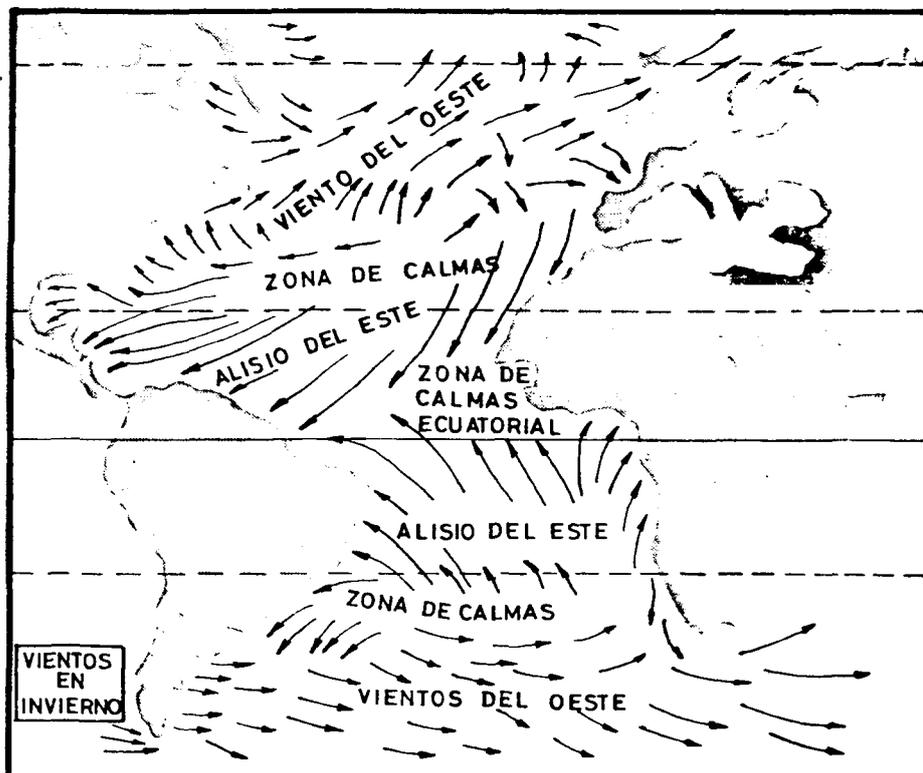
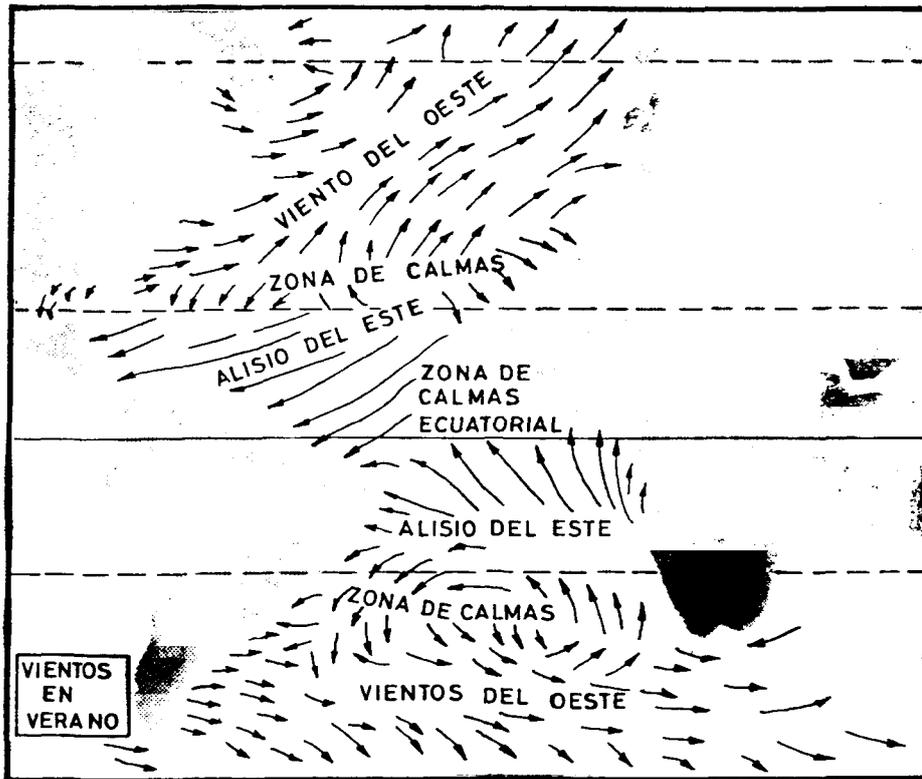


FIG. 2

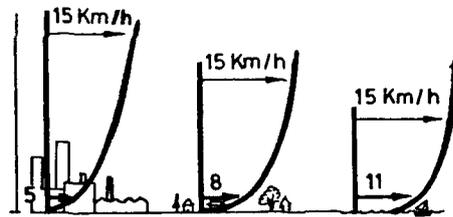


FIG. 3

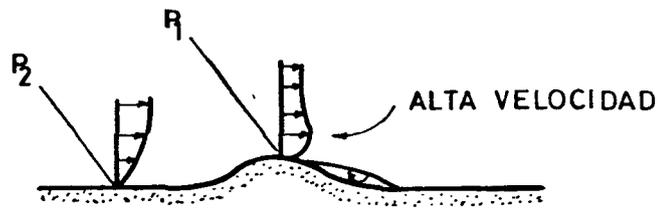


FIG. 4

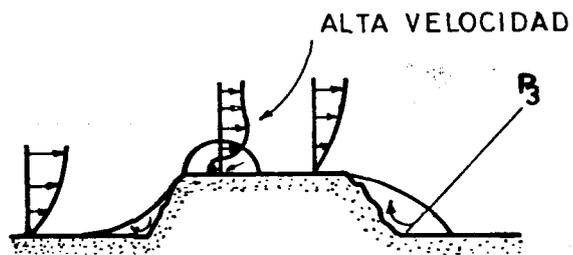


FIG. 5

una aeroturbina situada en P_1 pueda tener dos o tres veces la potencia que una aeroturbina situada en P_2 . Por el contrario una montaña de bordes agudos (Fig. 5) origina zonas de remanso a sotavento. El resultado es que aeroturbinas situadas en P_1 y P_3 , en zonas de igual régimen general de vientos, pueden tener potencias medias anuales que lleguen a diferir en factores tan elevados como diez.

Los valles y zonas entre dos montañas, también aumentan considerablemente la velocidad del viento, cuando su dirección coincide aproximadamente con la del valle.

A estos efectos orográficos hay que añadir los efectos térmicos locales de ciclo diurno-nocturno típicos de tiempo cálido (brisas y terrales en las costas y vientos de ladera en los valles del interior).

3.2.- La Energía del Viento en España

Todo lo anteriormente señalado indica que conocer con precisión el potencial eólico en un país tan accidentado como España y con tal abundancia de islas y costas es una labor en extremo difícil.

La Comisión Nacional de Energías Especiales llevó a cabo un importante programa de medición de vientos en España en las décadas del 50 y del 60. Sus datos, tomados en 59 estaciones y promediados durante varios años, son muy importantes ya que los puntos de medición fueron seleccionados precisamente buscando puntos de alto potencial eólico; pero estos programas de medición se limitaron a las regiones del Centro, Nordeste, Noroeste, Sur (Zona del Estrecho) e Islas Canarias.

El Servicio Meteorológico Nacional mide regularmente el viento en 106 estaciones meteorológicas distribuidas por toda España.

Desafortunadamente (bajo el punto de vista de la energía del viento) el emplazamiento de estas estaciones no fué seleccionado buscando si tios de elevado potencial eólico, y en gran número de casos sus emplazamientos se encuentran en aeropuertos y ciudades. En el caso de las islas Canarias, por ejemplo, en el que hay abundancia de datos de las dos procedencias, los datos de potencias medias obtenidas por la Comisión de Energías Especiales (CEE) son siempre muy superiores (de 3 a 5 veces) a las medidas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) como se verá posteriormente.

Además, gran número de datos de la C.E.E. fueron obtenidos con energímetros, que proporcionan directamente la potencia obtenible del viento. Por el contrario, el S.M.N. mide velocidades del viento, y de sus valores medios hay que obtener medias cúbicas para obtener la potencia del viento, resultando valores más pequeños.

Por todo ello, los valores del S.M.N., únicos de que se dispone en muchas regiones españolas, hay que considerarlos únicamente como valores mínimos.

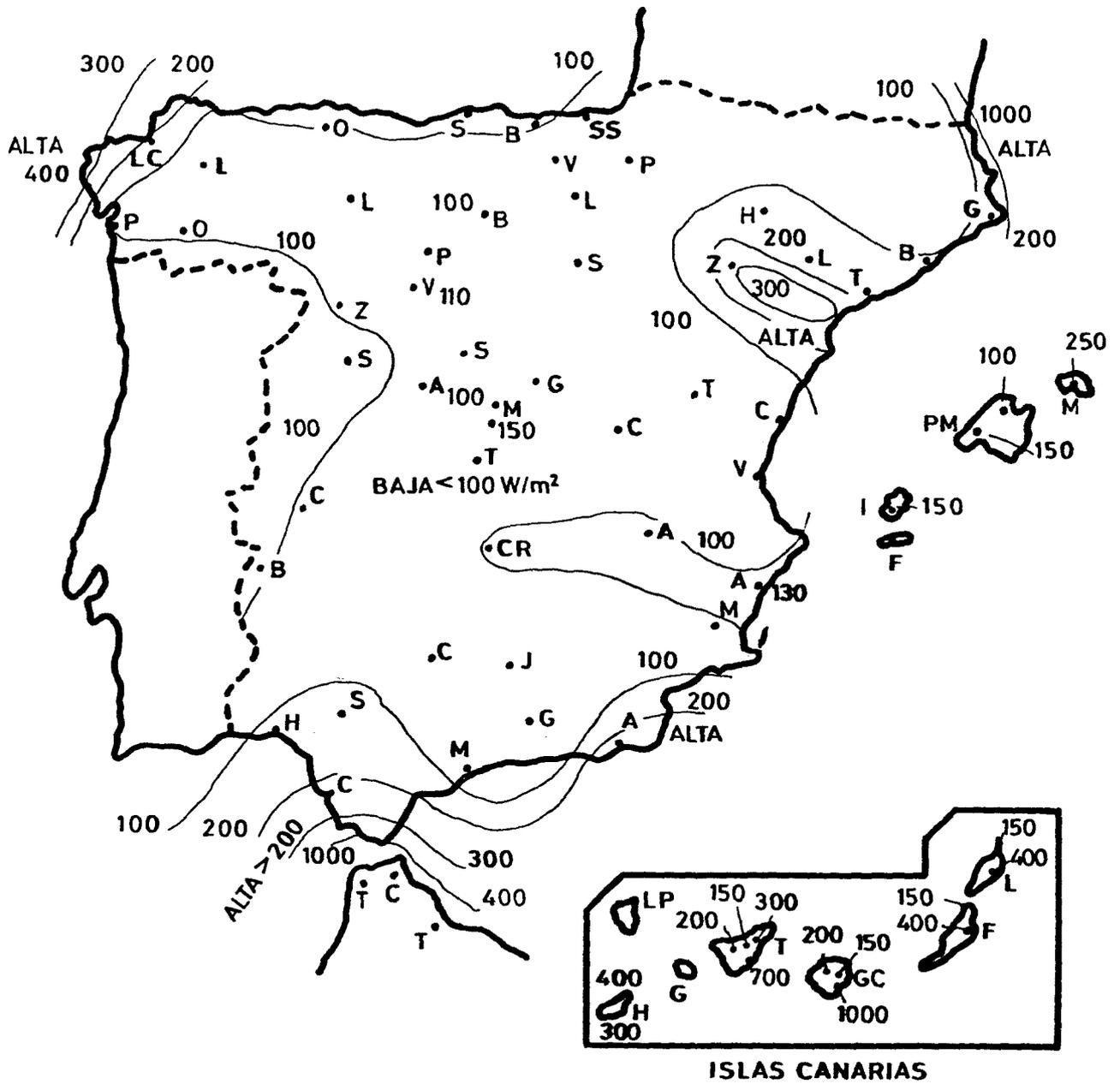
Con todos los datos anteriormente citados, el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial[‡] ha preparado un mapa con las energías eólicas medias anuales en España (Fig. 6). Teniendo en cuenta las limitaciones ya mencionadas en los datos de partida y la escasez o ausencia de los mismos en muchas regiones españolas, dicho mapa sólo puede considerarse como una primera aproximación.

Puede apreciarse que en España hay dos zonas de energía eólica muy elevada (Canarias y la región del Estrecho) y cuatro zonas de energía elevada (Noroeste, Nordeste, Baleares y Valle del Ebro). En el Centro la energía eólica no parece elevada aunque pro-

‡ Ref. nº 16.

ENERGIA EOLICA EN ESPAÑA

(INSTITUTO NACIONAL DE TECNICA AEROSPAZIAL)



W/m^2	Km/h
100	20
200	25
300	29
400	32

LAS CIFRAS INDICAN W/m^2 DE MEDIA ANUAL

FIG. 6

bablemente habrá numerosas zonas de energías superiores a 150 W/m^2 , consideradas ya excelentes para aprovechamientos agrícolas.

Además del valor medio anual, para la utilización de la energía eólica es de gran importancia la distribución de dicha energía, siendo tanto más fácilmente utilizable cuanto más planas sean las curvas de distribución. Las islas Canarias, sometidas a los vientos alisios, y la zona del Estrecho de Gibraltar, son especialmente ventajosas desde este punto de vista (Fig. 7).

CURVAS TÍPICAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA EÓLICA EN REGIONES DE ELEVADO Y UNIFORME POTENCIAL ENERGÉTICO*

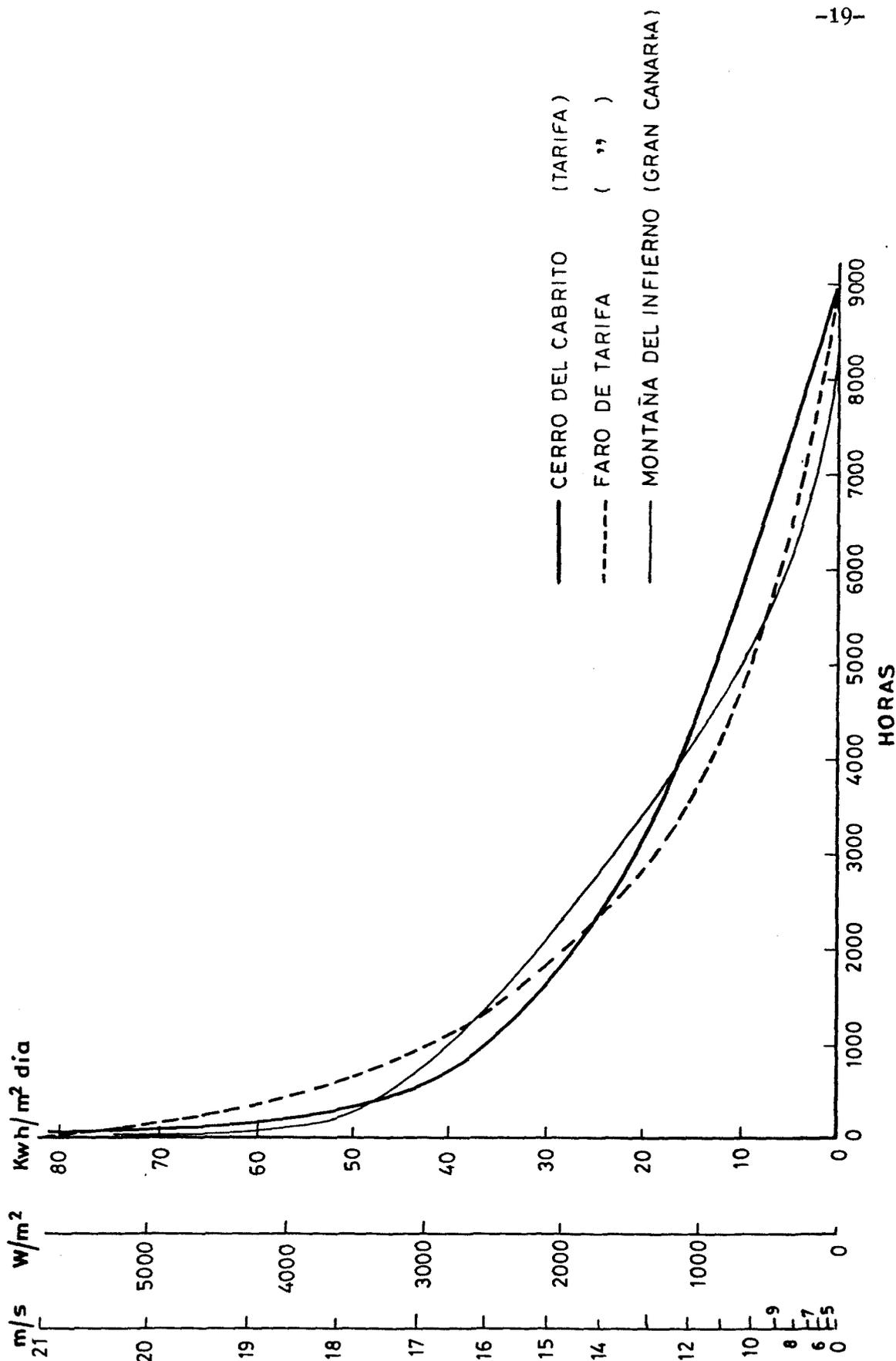


FIG. 7 * REF. 16

4.- LA ENERGIA EOLICA EN ESPAÑA PARA APLICACIONES AGRICOLAS, RIEGOS

4.1.- Energía Eólica Disponible para Riegos

Considerando la totalidad de las tareas agrícolas, ya re señadas en el apartado nº 2, para las que se necesita energía todo el año son relevantes los datos expuestos en el apartado nº 3, y en el mapa de la Fig. nº 6;

En el caso del riego el problema es diferente, ya que principalmente se riega en primavera y verano. Por ello, de los datos existentes de la Comisión Nacional de Energía Especiales y del Servi cio Meteorológico Nacional se han calculado, tomando valores medios de al menos tres años, las energías totales y medias en primavera (abril, mayo y junio) y verano (julio, agosto y septiembre), presentándose los resultados en los cuadros nº^s 4 a 18, en los que también se han incluido las energías totales y medias en todo el año, así co mo las velocidades medias del viento.

Como puede apreciarse en estos cuadros, las energías medias primavera - verano no difieren en gran manera en la Península de las energías medias anuales, excepto en el Noroeste, en las que estas últimas son apreciablemente mayores que las de primavera - verano, denotando que los temporales de invierno influyen decisivamente en la energía media anual. Por el contrario, en las Islas Canarias las ener gías medias primavera - verano, son considerablemente mayores que las anuales, denotándose la influencia de los vientos alisios

Con los datos de los citados cuadros se ha trazado el ma pa de la Fig. nº 8, que igual a lo expuesto con el mapa de la Fig. 6, sólo puede considerarse como una primera estimación.

Puede obtenerse que la mayor parte de la Península, tiene energías medias eólicas, tanto anuales como primavera - verano, com prendidas entre 50 y 150 W/m²; pero no desde luego en todas las zonas, sino que sólo puede afirmarse que dentro de ellas existen numerosas

ENERGIA EOLICA APROVECHABLE PARA LA AGRICULTURA

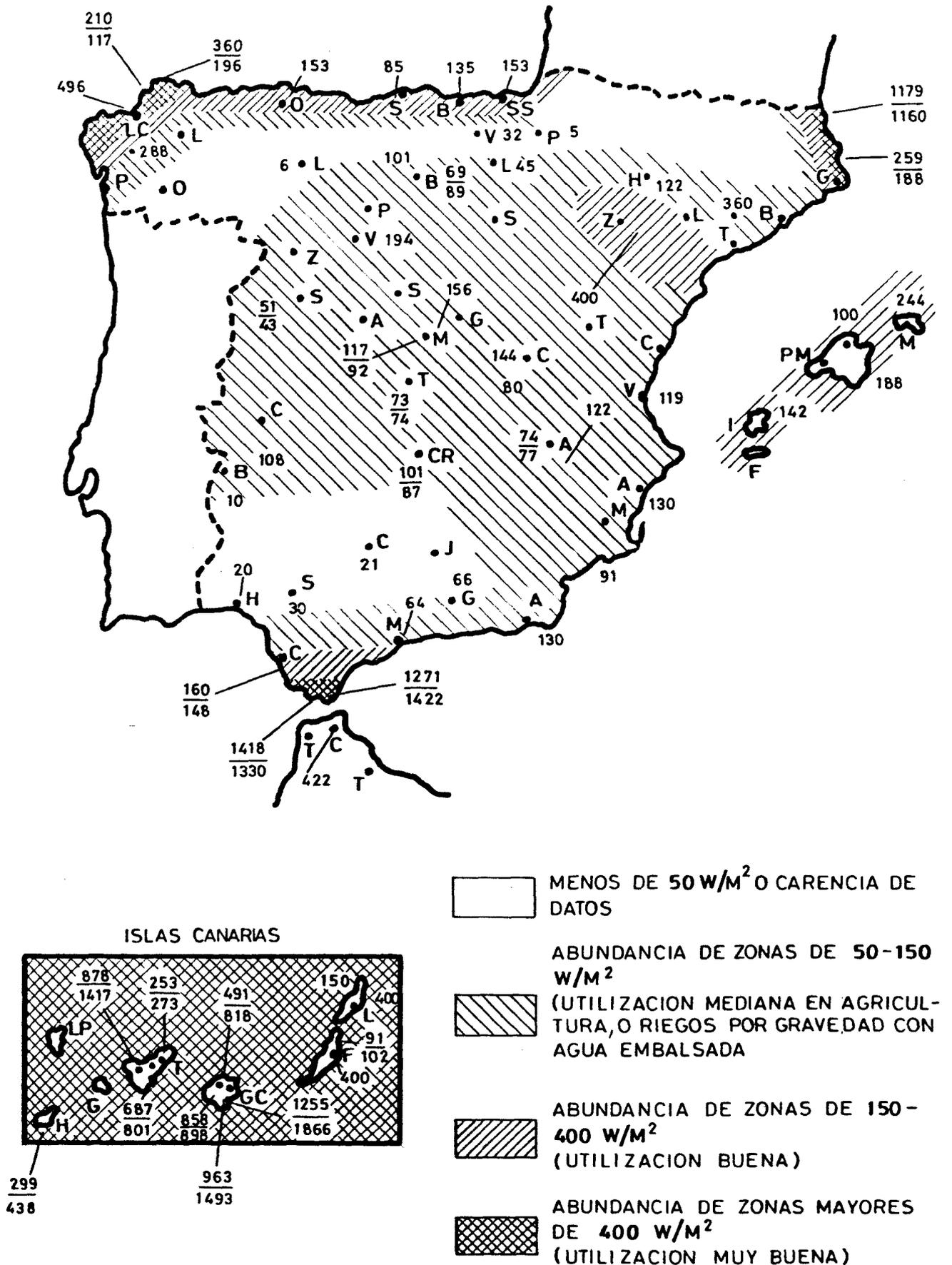


FIG. 8

CUADRO Nº 4

ENERGIAS ANUAL Y PRIMAVERA-VERANO TOTALES Y MEDIAS									
Región: GALICIA					Datos: C.E.E. y S.M.N.				
Estación	Total anual (Kwh/m ²)	Media anual (Kwh/m ²)	Total Prim-Verano (Kwh/m ²)	Media Prim-Verano (Kwh/m ²)	Velocidad Media Anual (m/seg)	Vel. Media Prim-Verano (m/seg)	Potencia Media Año (W/m ²)	Pot. Media Prim-Verano (W/m ²)	
Semáforo de Vares	1643.5	4.50	548.50	3.00	6.70	5.83	187.61	124.88	
Faro de Estaca de Vares	2657.1	7.28	862.23	4.70	7.72	6.70	300.37	196.09	
Malpica	1846.6	5.05	735.00	4.02	6.95	6.43	210.84	167.48	
Puentes de G. Rodríguez	235.27	0.64	106.22	0.58	3.50	3.36	26.85	24.18	
Finisterre (S.M.N.)	2321.33	6.35	825.90	4.51	7.42	6.69	265.03	188.05	

CUADRO Nº 5

ENERGIAS ANUAL Y PRIMAVERA-VERANO TOTALES Y MEDIAS									
Región: ARAGON Y NAVARRA					Datos: C.E.E. y S.M.N.				
Estación	Total anual (Kwh/m ²)	Media anual (Kwh/m ²)	Total Prim-Verano (Kwh/m ²)	Media Prim-Verano (Kwh/m ²)	Velocidad Media Anual (m/seg)	Vel. Media Prim-Verano (m/seg)	Potencia Media Año (W/m ²)	Pot. Media Prim-Verano (W/m ²)	
Monflorite	283.80	0.77	162.23	0.88	1.64	3.82	32.40	36.96	
Veruela	65.31	0.17	44.00	0.24	1.96	2.45	7.45	10.53	
San Jurjo	1078.07	2.88	486.64	2.65	1.75	5.53	122.89	110.60	
Calamocho	85.76	0.23	32.44	0.17	2.42	2.25	9.81	7.38	
Pamplona	40.83	0.11	20.81	0.11	1.92	1.91	4.66	4.73	
Zaragoza (S.M.N.)	229.80	0.63	140.85	0.77	1.47	3.71	26.23	32.07	

CUADRO Nº 6

ENERGIAS ANUAL Y PRIMAVERA-VERANO TOTALES Y MEDIAS									
Región: NORDESTE					Datos: C.E.E. y S.M.N.				
Estación	Total anual (Kwh/m ²)	Media anual (Kwh/m ²)	Total Prim-Verano (Kwh/m ²)	Media Prim-Verano (Kwh/m ²)	Velocidad Media Anual (m/seg)	Vel. Media Prim-Verano (m/seg)	Potencia Media Año (W/m ²)	Pot. Media Prim-Verano (W/m ²)	
Cabo Creus	2265.9	6.24	827.57	4.52	7.43	6.69	259.67	188.41	
Bagur	1010.08	2.76	479.7	2.62	5.68	5.58	115.30	109.25	
Port-Bou	10336.39	28.31	5097.03	27.86	12.36	12.29	1179.95	1160.53	
Manso Seco	1800.78	4.93	690.35	3.77	6.89	6.28	205.56	157.18	
Lérida (S.M.N.)	58.84	0.15	40.23	0.22	2.19	2.39	5.71	9.15	
La Molina (S.M.N.)	107.13	0.29	38.86	0.21	2.67	2.40	12.16	8.83	

CUADRO No 7

ENERGIAS ANUAL Y PRIMAVERA-VERANO TOTALES Y MEDIAS									
Región: LEVANTE y SURESTE					Datos: C.E.E. y S.M.N.				
Estación	Total anual (Kwh/m ²)	Media anual (Kwh/m ²)	Total Prim-Verano (Kwh/m ²)	Media Prim-Verano (Kwh/m ²)	Velocidad Media Anual (m/seg)	Vel. Media Prim-Verano (m/seg)	Potencia Media Año (W/m ²)	Pot. Media Prim-Verano (W/m ²)	
Manises	283.66	0.77	132.90	0.72	3.67	3.61	32.46	30.32	
Murcia	54.00	0.14	39.06	0.21	2.11	2.38	6.16	8.91	
Cabo S. Antonio	585.00	1.60	285.30	1.56	4.75	4.70	66.83	64.96	
La Rabasa	302.06	0.82	183.96	1.00	3.80	4.03	34.46	41.86	
Castellón de la Plana	58.40	0.16	21.16	0.11	2.13	1.96	6.66	4.80	
Ciudad Jardín (S.M.N.)	171.18	0.47	103.00	0.56	3.10	3.30	19.50	21.16	

CUADRO Nº 7 (continuación)

ENERGIAS ANUAL Y PRIMAVERA-VERANO TOTALES Y MEDIAS									
Región: LEVANTE y SURESTE					Datos: C.E.E. y S.M.N.				
Estación	Total anual (Kwh/m ²)	Media anual (Kwh/m ²)	Total Prim-Verano (Kwh/m ²)	Media Prim-Verano (Kwh/m ²)	Velocidad Media Anual (m/seg)	Vel. Media Prim-Verano (m/seg)	Potencia Media Año (W/m ²)	Pot. Media Prim-Verano (W/m ²)	
Almería (S.M.N.)	168.43	0.46	93.04	0.51	1.13	3.23	19.23	21.18	
Tortosa (S.M.N.)	251.04	0.69	133.95	0.73	1.57	3.65	28.65	30.50	
Los Viveros (S.M.N.)	67.84	0.19	34.22	0.19	1.30	2.28	7.75	7.79	
Base Aérea de S. Javier (S.M.N.)	367.09	1.01	200.86	1.10	4.06	4.16	41.90	45.73	
Barcelona (S.M.N.)	46.74	0.13	21.55	0.12	1.04	1.97	5.33	4.91	
Montjuich	440.16	1.20	184.10	1.00	4.31	4.05	50.24	41.92	

CUADRO Nº 8

ENERGIAS ANUAL Y PRIMAVERA-VERANO TOTALES Y MEDIAS

Región: SUR

Datos: S.M.N.

Estación	Total anual (Kwh/m ²)	Media anual (Kwh/m ²)	Total Prim-Verano (Kwh/m ²)	Media Prim-Verano (Kwh/m ²)	Velocidad Media Anual (m/seg)	Vel. Media Prim-Verano (m/seg)	Potencia Media Año (W/m ²)	Pot. Media Prim-Verano (W/m ²)
El Rompedizo	162.67	0.45	75.75	0.42	1.09	3.02	18.57	17.25
Sevilla	9.16	0.02	4.58	0.02	1.16	1.16	1.05	1.04
Huelva	142.92	0.39	87.20	0.48	2.96	3.13	6.32	19.85
Armilla	151.69	0.41	114.98	0.62	3.02	3.47	17.31	26.18
Tablada	154.01	0.42	76.11	0.41	3.00	3.00	17.58	17.32
San Pablo	268.96	0.73	124.00	0.67	1.64	3.54	30.70	28.21

CUADRO Nº 8 (Continuación)

ENERGIAS ANUAL Y PRIMAVERA-VERANO TOTALES Y MEDIAS									
Región: SUR									
Datos: S.M.N.									
Estación	Total anual (Kwh/m ²)	Media anual (Kwh/m ²)	Total Prim-Verano (Kwh/m ²)	Media Prim-Verano (Kwh/m ²)	Velocidad Media Anual (m/seg)	Vel. Media Prim-Verano (m/seg)	Potencia Media Año (W/m ²)	Pot. Media Prim-Verano (W/m ²)	
Morón de la Frontera	108.78	0.29	40.16	0.21	2.70	2.40	12.42	9.13	
Málaga	18.53	0.04	11.32	0.05	1.49	1.60	2.11	2.57	
Córdoba	191.80	0.52	73.62	0.40	3.25	2.97	21.90	16.76	
La Cartuja	10.53	0.02	5.02	0.02	1.24	1.22	1.20	1.14	

ENERGIAS ANUAL Y PRIMAVERA-VERANO TOTALES Y MEDIAS									
Región: SUR (Estrecho)					Datos: S.M.N. y C.E.E.				
Estación	Total anual (Kwh/m ²)	Media anual (Kwh/m ²)	Total Prim-Verano (Kwh/m ²)	Media Prim-Verano (Kwh/m ²)	Velocidad Media Anual (m/seg)	Vel. Media Prim-Verano (m/seg)	Potencia Media Año (W/m ²)	Pot. Media Prim-Verano (W/m ²)	
Guadamesil	1543.6	12.68	731.78	3.99	6.54	6.43	176.21	166.95	
Semáforo de Tarifa	2351.23	6.44	1264.26	6.91	7.50	7.69	268.4	287.05	
Faro de Trafalgar	3158.29	8.654	1319.8	7.21	8.32	7.812	360.54	299.48	
Camarinal	2619.30	7.17	1106.60	6.048	7.81	7.366	298.99	251.95	
El Cascabel	7569.36	20.74	4204.49	22.97	11.01	11.39	864.15	957.46	
Tarifa (S.M.N.)	1873.67	5.13	808.89	4.42	6.06	6.64	213.89	184.25	

CUADRO Nº 2 (Continuación)

ENERGIAS ANUAL Y PRIMAVERA-VERANO TOTALES Y MEDIAS

Región: SUR (Estrecho)

Datos: C.E.E.

Estación	Total anual (Kwh/m ²)	Media anual (Kwh/m ²)	Total Prim-Verano (Kwh/m ²)	Media Prim-Verano (Kwh/m ²)	Velocidad Media Anual (m/s, cg)	Vel. Media Prim-Verano (m/seg)	Potencia Media Año (W/m ²)	Pot. Media Prim-Verano (W/m ²)
Casilla de la Mulata	2918.81	8.00	1431.	7.81	8.04	8.	333.19	325.66
Buena Vista	1478.	4.05	770.93	4.213	6.46	6.536	168.03	175.53
Punta Acebuche	1409.7	3.86	652.09	3.56	6.36	6.19	160.92	148.46
Punta Paloma	1076.67	2.95	532.12	2.90	5.79	5.76	122.94	121.15
Faro de Tarifa	11142.7	30.47	6248.8	34.14	12.65	13.13	1271.	1422.
Cerro del Cabrito	12427.19	34.04	5844.	31.93	13.13	12.84	1418.5	1330.

CUADRO Nº 9 (continuación)

ENERGIAS ANUAL Y PRIMAVERA-VERANO TOTALES Y MEDIAS									
Región: SUR (Estrecho)					Datos: S.M.N.				
Estación	Total anual (Kwh/m ²)	Media anual (Kwh/m ²)	Total Prim-Verano (Kwh/m ²)	Media Prim-Verano (Kwh/m ²)	Velocidad Media Anual (m/seg)	Vel. Media Prim-Verano (m/seg)	Potencia Media Año (W/m ²)	Pot. Media Prim-Verano (W/m ²)	
San Fernando (S.M.N.)	539.03	1.46	263.10	1.43	4.10	4.38	61.53	59.90	
Jerez de la Frontera (S.M.N.)	340.10	0.92	190.73	1.04	3.19	4.09	39.06	43.46	

CUADRO Nº 10

ENERGIAS ANUAL Y PRIMAVERA-VERANO TOTALES Y MEDIAS

Región: EXTREMADURA Datos: C.E.E. y S.M.N.

Estación	Total anual (Kwh/m ²)	Media anual (Kwh/m ²)	Total Prim-Verano (Kwh/m ²)	Media Prim-Verano (Kwh/m ²)	Velocidad Media Anual (m/seg)	Vel. Media Prim-Verano (m/seg)	Potencia Media Año (W/m ²)	Pot. Media Prim-Verano (W/m ²)
Badajoz	97.99	0.27	30.42	0.17	2.53	2.21	11.18	6.93
Cáceres (S.M.N.)	346.74	0.95	103.86	0.56	3.90	3.33	39.56	23.63
Talavera la Real (S.M.N.)	249.93	0.68	146.10	0.80	3.48	3.56	28.55	33.23

CUADRO Nº 11

ENERGIAS ANUAL Y PRIMAVERA-VERANO TOTALES Y MEDIAS

Datos: C.E.E. y S.M.N.

Región: LEON y CASTILLA LA VIEJA

Estación	Total anual (Kwh/m ²)	Media anual (Kwh/m ²)	Total Prim-Verano (Kwh/m ²)	Media Prim-Verano (Kwh/m ²)	Velocidad Media Anual (m/seg)	Vel. Media Prim-Verano (m/seg)	Potencia Media Año (W/m ²)	Pot. Media Prim-Verano (W/m ²)
Valladolid	124.48	0.34	64.95	0.36	2.80	2.85	14.21	14.78
Base Aérea de Matagón	451.37	1.24	191.07	1.04	4.33	4.11	51.53	43.53
Ponferrada	28.24	0.08	11.19	0.06	1.67	1.55	3.22	2.55
Villafría	600.06	1.64	277.65	1.49	4.76	4.66	68.50	63.21
Segovia (S.M.N.)	24.15	0.06	10.81	0.05	1.62	1.51	2.75	2.46
Soria (S.M.N.)	557.99	1.85	306.53	1.67	4.81	4.58	77.39	56.42

CUADRO Nº 11 (Continuación)

ENERGIAS ANUAL Y PRIMAVERA-VERANO TOTALES Y MEDIAS									
Región: LEON y CASTILLA LA VIEJA					Datos: S.M.N.				
Estación	Total anual (Kwh/m ²)	Media anual (Kwh/m ²)	Total Prim-Verano (Kwh/m ²)	Media Prim-Verano (Kwh/m ²)	Velocidad Media Anual (m/seg)	Vel. Media Prim-Verano (m/seg)	Potencia Media Año (W/m ²)	Pot. Media Prim-Verano (W/m ²)	
Zamora (S.M.N.)	140.61	0.38	66.04	0.35	2.94	2.81	16.04	15.03	
Villanubla (S.M.N.)	695.29	1.90	280.66	1.53	4.95	4.62	79.38	63.86	
La Vid (S.M.N.)	184.76	0.50	108.55	0.59	3.22	3.40	20.84	24.71	
Salamanca (S.M.N.)	57.03	0.17	31.03	0.15	2.24	2.06	7.27	6.48	
Agoncillo (S.M.N.)	198.33	0.54	95.40	0.52	3.28	3.25	22.63	21.71	
Burgos (S.M.N.)	129.34	0.35	69.19	0.37	2.84	2.89	14.81	15.76	

CUADRO Nº 11 (Continuación)

ENERGIAS ANUAL Y PRIMAVERA-VERANO TOTALES Y MEDIAS

Región: LEON y CASTILLA LA VIEJA

Datos: S.M.N.

Estación	Total anual (Kwh/m ²)	Media anual (Kwh/m ²)	Total Prim-Verano (Kwh/m ²)	Media Prim-Verano (Kwh/m ²)	Velocidad Media Anual (m/seg)	Vel. Media Prim-Verano (m/seg)	Potencia Media Año (W/m ²)	Pot. Media Prim-Verano (W/m ²)
Avila (S.M.N.)	163.50	0.45	69.01	0.37	3.08	2.91	18.68	15.70

CUADRO Nº 12

ENERGIAS ANUAL Y PRIMAVERA-VERANO TOTALES Y MEDIAS

Datos: C.E.E.

Región: CASTILLA LA NUEVA

Estación	Total anual (Kwh/m ²)	Media anual (Kwh/m ²)	Total Prim-Verano (Kwh/m ²)	Media Prim-Verano (Kwh/m ²)	Velocidad Media Anual (m/seg)	Vel. Media Prim-Verano (m/seg)	Potencia Media Año (W/m ²)	Pot. Media Prim-Verano (W/m ²)
Majadahonda	682.73	1.86	279.09	1.52	4.128	4.544	77.93	63.63
Campo de Criptana	508.4	1.395	237.53	1.29	4.50	4.41	58.03	54.08
Puerto Lápice	892.72	2.44	384.76	2.10	5.15	5.18	101.91	87.60
Colmenarejo	184.34	0.51	99.86	0.54	3.23	3.31	21.04	22.69
San Juan del Viso	217.44	0.59	120.08	0.66	3.41	3.52	24.82	27.34
Mota del Cuervo	636.7	1.74	322.33	1.76	4.17	4.89	72.68	73.37

CUADRO Nº 12 (Continuación)

ENERGIAS ANUAL Y PRIMAVERA-VERANO TOTALES Y MEDIAS									
Región: CASTILLA LA NUEVA									
Datos: S.M.N.									
Estación	Total anual (Kwh/m ²)	Media anual (Kwh/m ²)	Total Prim-Verano (Kwh/m ²)	Media Prim-Verano (Kwh/m ²)	Velocidad Media Anual (m/seg)	Vel. Media Prim-Verano (m/seg)	Potencia Media Año (W/m ²)	Pot. Media Prim-Verano (W/m ²)	
Ciudad Real (S.M.N.)	186.92	0.51	102.36	0.56	3.17	3.30	21.34	23.31	
Madrid (S.M.N.)	119.29	0.33	56.67	0.31	2.67	2.67	13.62	12.90	
Toledo (S.M.N.)	62.51	0.17	32.85	0.17	2.25	2.26	7.12	7.48	
Alcalá de Henares (S.M.N.)	225.93	0.62	136.92	0.74	3.15	3.63	25.79	31.17	
Cuatro Vientos (S.M.N.)	133.73	0.36	78.00	0.42	2.89	2.98	15.26	17.75	
Puerto de Navacerrada (S.M.N.)	115.71	0.31	30.46	0.16	2.74	2.17	13.22	6.94	

CUADRO Nº 12 (continuación)

ENERGIAS ANUAL Y PRIMAVERA-VERANO TOTALES Y MEDIAS									
Región: CASTILLA LA NUEVA					Datos: C.E.E. y S.M.N.				
Estación	Total anual (Kwh/m ²)	Media anual (Kwh/m ²)	Total Prim-Verano (Kwh/m ²)	Media Prim-Verano (Kwh/m ²)	Velocidad Media Anual (m/seg)	Vel. Media Prim-Verano (m/seg)	Potencia Media Año (W/m ²)	Pot. Media Prim-Verano (W/m ²)	
Casilla de Tomillares	399.6	1.09	205.86	1.12	4.16	12.62	45.61	46.87	
Consuegra	788.4	2.15	324.89	1.77	5.21	4.89	73.33	73.97	
El Toboso	398.20	1.09	208.6	1.38	4.17	4.236	45.46	47.49	
Fuencarral	301.21	0.82	133.57	0.727	3.79	3.96	34.38	30.41	
Los Llanos (S.M.N.)	644.39	1.77	337.40	1.84	4.85	4.95	73.56	76.82	
Molina de Aragón (S.M.N.)	86.40	0.24	42.60	0.23	2.49	2.48	9.86	9.70	

CUADRO Nº 12 (Continuación)

ENERGIAS ANUAL Y PRIMAVERA-VERANO TOTALES Y MEDIAS									
Región: CASTILLA LA NUEVA					Datos: S.M.N.				
Estación	Total anual (Kwh/m ²)	Media anual (Kwh/m ²)	Total Prim-Verano (Kwh/m ²)	Media Prim-Verano (Kwh/m ²)	Velocidad Media Anual (m/seg)	Vel. Media Prim-Verano (m/seg)	Potencia Media Año (W/m ²)	Pot. Media Prim-Verano (W/m ²)	
Getafe (S.M.N.)	250.13	0.68	130.64	0.71	3.54	3.60	28.53	29.76	
Barajas (S.M.N.)	132.87	0.36	68.67	0.37	2.89	2.91	15.16	15.64	
Cuenca (S.M.N.)	78.46	0.21	35.98	0.19	2.37	2.26	8.93	8.17	

CUADRO Nº 13

ENERGIAS ANUAL Y PRIMAVERA-VERANO TOTALES Y MEDIAS									
Región: BALEARES									
Datos: C.E.E. y S.M.N.									
Estación	Total anual (Kwh/m ²)	Media anual (Kwh/m ²)	Total Prim-Verano (Kwh/m ²)	Media Prim-Verano (Kwh/m ²)	Velocidad Media Anual (m/seg)	Vel. Media Prim-Verano (m/seg)	Potencia Media Año (W/m ²)	Pot. Media Prim-Verano (W/m ²)	
Aeropuerto Son S. Juan (S.M.N.)	357.78	0.98	205.73	1.12	4.03	4.21	40.84	49.51	
Mahón (S.M.N.)	458.30	1.26	174.33	0.95	4.15	3.97	52.32	39.69	
Pollensa	229.73	0.63	104.78	0.57	3.18	3.28	26.22	23.85	
Ibiza	444.10	1.21	178.98	0.97	4.18	3.95	50.69	40.74	

CUADRO Nº 14

ENERGIAS ANUAL Y PRIMAVERA-VERANO TOTALES Y MEDIAS									
Región: CANARIAS (Hierro)					Datos: C.E.E.				
Estación	Total anual (Kwh/m ²)	Media anual (Kwh/m ²)	Total Prim-Verano (Kwh/m ²)	Media Prim-Verano (Kwh/m ²)	Velocidad Media Anual (m/seg)	Vel. Media Prim-Verano (m/seg)	Potencia Media Año (W/m ²)	Pot. Media Prim-Verano (W/m ²)	
La Caleta	150.92	0.415	106.28	0.58	3.01	3.36	17.23	24.2	
S. Bartolomé	704.33	1.93	543.4	2.97	5.02	5.80	80.41	123.72	
Aerofaro de el Gord	3162.59	3.66	2751.52	15.04	8.33	10.01	361.02	626.48	
Faro de La Isleta	534.36	1.465	291.44	1.59	4.58	4.725	61	66.35	
Punta Ojo de Garza	2209.08	6.05	1853.18	10.13	7.39	8.77	252.18	421.94	
Cerro de San Roque	1858.04	5.09	1250.59	6.83	6.97	7.69	212.10	284.74	

CUADRO Nº 14 (continuación)

ENERGIAS ANUAL Y PRIMAVERA-VERANO TOTALES Y MEDIAS									
Región: CANARIAS (Hierro)					Datos: C.E.E.				
Estación	Total anual (Kwh/m ²)	Media anual (Kwh/m ²)	Total Prim-Verano (Kwh/m ²)	Media Prim-Verano (Kwh/m ²)	Velocidad Media Anual (m/seg)	Vel. Media Prim-Verano (m/seg)	Potencia Media Año (W/m ²)	Pot. Media Prim-Verano (W/m ²)	
Casilla de Mojica	4146.99	11.36	2604.36	14.23	9.12	9.83	473.39	592.97	
Lazareto	2673.98	7.33	2099.97	11.47	7.87	9.14	305.24	478.13	

CUADRO Nº 15

ENERGIAS ANUAL Y PRIMAVERA-VERANO TOTALES Y MEDIAS									
Región: CANARIAS (Fuerteventura) Datos: C.E.E.									
Estación	Total anual (Kwh/m ²)	Media anual (Kwh/m ²)	Total Prim-Verano (Kwh/m ²)	Media Prim-Verano (Kwh/m ²)	Velocidad Media Anual (m/seg)	Vel. Media Prim-Verano (m/seg)	Potencia Media Año (W/m ²)	Pot. Media Prim-Verano (W/m ²)	
Corralejos	2262.00	6.19	1313.19	7.175	7.44	7.82	258.20	298.99	
Cotillo	803.81	2.2	352.02	2.47	5.01	5.22	91.75	102.92	
Puerto del Rosario	1097.52	3.02	673.81	4.43	5.13	6.24	125.28	140.91	

CUADRO Nº 16

ENERGIAS ANUAL Y PRIMAVERA-VERANO TOTALES Y MEDIAS									
Región: CANARIAS (Lanzarote) Datos: C.E.E.									
Estación	Total anual (Kwh/m ²)	Media anual (Kwh/m ²)	Total Prim-Verano (Kwh/m ²)	Media Prim-Verano (Kwh/m ²)	Velocidad Media Anual (m/seg)	Vel. Media Prim-Verano (m/seg)	Potencia Media Año (W/m ²)	Pot. Media Prim-Verano (W/m ²)	
La Caleta de Teguiise	2527.95	6.92	1238.15	6.77	7.12	7.66	288.5	281.91	
Batería del Rfo	1125.90	3.08	560.78	3.06	5.88	5.87	128.52	137.68	
Cueva de la Paloma	1534	4.2	1069.8	5.84	6.54	7.292	175.12	243.58	

CUADRO Nº 17

ENERGIAS ANUAL Y PRIMAVERA-VERANO TOTALES Y MEDIAS

Región: CANARIAS (Gran Canaria) Datos: C.E.E.

Estación	Total anual (Kwh/m ²)	Media anual (Kwh/m ²)	Total Prim-Verano (Kwh/m ²)	Media Prim-Verano (Kwh/m ²)	Velocidad Media Anual (m/seg)	Vel. Media Prim-Verano (m/seg)	Potencia Media Año (W/m ²)	Pot. Media Prim-Verano (W/m ²)
Montaña Constantino	2017.82	5.53	853.12	4.66	7.17	6.77	230.34	194.24
Montaña Vargas	6364.82	17.44	5430.24	29.67	10.51	12.55	726.5	1236.37
Montaña Jobero	4308.85	11.80	3593.6	19.64	8.80	10.30	491.62	818.31
Montaña Arinaga	8464.9	23.19	6559.5	35.84	11.52	13.30	966.32	1493.4
La Caleta	1147.06	3.14	803.83	4.40	5.93	6.3	130.9	183.02
La Cerrada	2017.7	5.52	1565.5	8.55	7.14	8.2525	230.32	356.43

CUADRO Nº 17 (Continuación)

ENERGIAS ANUAL Y PRIMAVERA-VERANO TOTALES Y MEDIAS

Región: CANARIAS (Gran Canaria)

Datos: C.E.E.

Estación	Total anual (Kwh/m ²)	Media anual (Kwh/m ²)	Total Prim-Verano (Kwh/m ²)	Media Prim-Verano (Kwh/m ²)	Velocidad Media Anual (m/seg)	Vel. Media Prim-Verano (m/seg)	Potencia Media Año (W/m ²)	Pot. Media Prim-Verano (W/m ²)
Punta de Tenefé	3532.33	9.67	2775.53	15.16	8.62	10.01	403.30	631.95
Puerto Cabras	835.79	2.287	552.63	3.02	5.33	5.88	95.40	125.82
Montaña del Infierno	10961.44	30.03	8194.76	44.78	12.578	14.396	1251.36	1866.13
Mirador de Güimar	332.45	1.05	248.05	1.35	4.12	4.49	43.66	56.48
Factoría Lloret	789.4	2.16	525	2.87	5.32	5.71	90.12	119.53
Montana de la Cruz	6779.01	18.57	5794.8	31.66	10.75	12.83	773.85	1319.35

CUADRO Nº 17 (Continuación)

ENERGIAS ANUAL Y PRIMAVERA-VERANO TOTALES Y MEDIAS									
Región: CANARIAS (Gran Canaria) Datos: C.E.E.									
Estación	Total anual (Kwh/m ²)	Media anual (Kwh/m ²)	Total Prim-Verano (Kwh/m ²)	Media Prim-Verano (Kwh/m ²)	Velocidad Media Anual (m/seg)	Vel. Media Prim-Verano (m/seg)	Potencia Media Año (W/m ²)	Pot. Media Prim-Verano (W/m ²)	
Montaña S. Francisco	7492	20.52	6273.49	34.28	11.09	13.16	855.3	1428.41	
P. de la Luz (S.M.N.)	120.33	0.32	79.99	0.43	2.77	3.01	13.79	18.21	
Gando (S.M.N.)	807.00	2.21	700.50	3.83	5.23	6.31	92.13	159.46	

ENERGIAS ANUAL Y PRIMAVERA-VERANO TOTALES Y MEDIAS

Región: CANARIAS (Sta. Cruz de Tenerife) Datos: C.E.E.

Estación	Total anual (Kwh/m ²)	Media anual (Kwh/m ²)	Total Prim-Verano (Kwh/m ²)	Media Prim-Verano (Kwh/m ²)	Velocidad Media Anual (m/seg)	Vel. Media Prim-Verano (m/seg)	Potencia Media Año (W/m ²)	Pot. Media Prim-Verano (W/m ²)
Valverde	2613.78	7.11	1926.00	10.51	7.78	8.86	299.37	438.54
Restinga	3193.25	8.75	1805.00	9.86	8.34	8.66	364.52	411.02
Asomada	2757.2	7.55	1139.18	6.23	7.95	7.49	314.7	259.37
Faro de Abona	6025.00	16.50	3518.88	19.23	10.31	10.85	687.88	801.22
Pico Tenerife	2221.00	6.086	1200.00	6.56	7.20	7.33	253.61	273.4
Montaña de Taco	2839.97	7.78	2171.9	11.86	7.99	9.17	324.2	494.52

CUADRO Nº 18 (Continuación)

ENERGIAS ANUAL Y PRIMAVERA-VERANO TOTALES Y MEDIAS									
Región: CANARIAS (Sta. Cruz de Tenerife)					Datos: C.E.E. y S.M.N.				
Estación	Total anual (Kwh/m ²)	Media anual (Kwh/m ²)	Total Prim-Verano (Kwh/m ²)	Media Prim-Verano (Kwh/m ²)	Velocidad Media Anual (m/seg)	Vel. Media Prim-Verano (m/seg)	Potencia Media Año (W/m ²)	Pot. Media Prim-Verano (W/m ²)	
Faro de Punta Rasca	410.85	1.122	153.22	0.836	4.212	3.81	46.9	34.78	
Izaña (S.M.N.)	1934.85	5.30	828.79	4.51	7.06	6.67	220.88	188.71	
Los Rodeos (S.M.N.)	508.63	1.39	298.36	1.62	4.60	4.73	58.11	67.93	
Sta. Cruz Tenerife (S.M.N.)	180.40	0.56	107.45	0.58	3.13	3.39	20.61	24.44	

extensiones de terreno en la que la energía media queda comprendida dentro de dichos valores. De acuerdo con lo expuesto en el apartado nº 2, esta zona de 50 - 150 W/m² queda comprendida en la clasificación de "aplicaciones agrícolas medias".

Por debajo de ella queda una zona extensa de Andalucía, parte de Extremadura, una zona de León y Este de Galicia y una larga y extensa zona al Sur de la Cordillera Cantábrica y de los Pirineos, en la que según los datos existentes la energía media anual no llega a los 50 W/m², es decir, que son zonas de escaso aprovechamiento eólico para la Agricultura. No obstante se indica de nuevo la escasez de datos, sobre todo en la zona pirenaica, y en todas las zonas montañosas y señalándose de nuevo que los datos del Servicio Meteorológico Nacional no son más que valores mínimos. Por todo ello, en las regiones en blanco muy probablemente habrá zonas aprovechables de energía eólica para la Agricultura; que aún no han sido detectadas.

Gran parte del Valle del Ebro, las islas Baleares, el Nordeste y el Norte y Noroeste, constituyen excelentes regiones eólicas, y la zona del Estrecho y las islas Canarias son por completo excepcionales bajo el punto de vista de la energía eólica, tanto en su valor absoluto como en su regularidad de distribución.

4.2 Riegos

En el problema de regar utilizando energía eólica influye no solamente el valor medio de esta energía en la región, en primavera y verano, sino muy especialmente la variabilidad de los vientos.

En efecto, considerando riegos de 600 - 800 m³/Ha y pozos de 50 - 70 m. de profundidad, la energía necesaria para regar por gravedad es del orden de unos 100 Kw. h/Ha, no llegando al doble de esta energía cuando se riega por aspersión. Aún considerando un máximo

de 16 riegos entre primavera y verano, en un programa de riegos intensivos, resultan totales energéticos máximos del orden de unos 3000 Kw.h/Ha para el total de los riegos.

Conocido el viento medio en primavera y verano, y por tanto la potencia eólica media durante dichas estaciones en una determinada región, estadísticamente puede estimarse la energía que puede obtenerse mediante aeroturbinas de eje horizontal y paso variable (véase párrafo 5), por Kw de potencia instalado. Estas cifras se muestran en el cuadro siguiente.

CUADRO Nº 19

VIENTO MEDIO EN PRIMAVERA - VERANO (m/seg)	POTENCIA MEDIA (Kw/m ²)	ENERGIA OBTENIBLE DURANTE LA PRIMAVERA Y VERANO, POR KW INSTALADO (Kw.h/Kw)
6	100	1400
8	300	2300
10	600	2800

De acuerdo con estas cifras bastaría instalar una potencia de unos 2 Kw/Ha en una región de mediano potencial eólico (6 m/seg) para cubrir las necesidades energéticas en una zona de riegos intensivos por aspersion, y solamente 1 Kw por Ha en zonas de riegos no intensivos (unos 10 anuales) y del orden de 0.5 Kw/Ha si se regase por gravedad.

Lo que dificulta grandemente el problema es la intermitencia de los vientos, ya que en muchas regiones españolas se producen con cierta frecuencia largos períodos (de meses a veces) de vientos flojos o calmas. Ello obligaría a almacenar agua en balsas de regulación si se desea utilizar exclusivamente energía eólica para los riegos, o bién a utilizar energías alternativas.

Considerando exclusivamente la solución eólica, aunque

embalsar agua es relativamente económico (véase párrafo 7), en lugares de bajo potencial eólico o de frecuentes calmas, durante la primavera y sobre todo en verano no sería económico ya que habría que preveer balsas de regulación de gran capacidad. En todo caso, la determinación de dicha capacidad obligaría a un estudio particular de cada caso concreto.

Cuando se desea que la capacidad de las balsas de regulación sea reducida, no superior por ejemplo al volumen de un riego de la zona, es necesario contar con que haya un número suficiente de días en primavera y verano en los que la velocidad media del viento supere un valor mínimo prefijado y que además no se produzcan separaciones (calmas) de duración excesiva entre los días de viento adecuado.

El problema se complica si los riegos son por aspersión y se desea también emplear energía eólica para la impulsión de las bombas de presión; siendo el caso límite cuando se desea regar por aspersión y sin balsa de regulación.

Para estudiar estos problemas se ha partido de los programas de regadío suministrados por la Cátedra de Proyectos y Planificación Agraria de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos (Cuadro nº 20) que fijan el número de riegos en primavera y verano y la separación máxima admisible entre los mismos; datos, pues, que fijan las frecuencias admisibles de vientos aceptables y los períodos máximos de calmas que pueden aceptarse.

A la vista de los datos del mencionado cuadro y para simplificar, se considerarán separaciones máximas admisibles entre riegos, de 16 días en primavera y de 8 días en verano.

En cuanto a los vientos mínimos adecuados para el riego se considerarán tres valores: 10, 8 y 6 m/seg. La cifra de 10 m/seg. es la velocidad de diseño más frecuente en aeroturbinas de 10 - 20 Kw

CUADRO N° 20

RIEGOS POR ASPERSION

REGADIO INTENSIVO

Abril 1 riegos
Mayo 2 "
Junio 3 "
Julio 4 "
Agosto 4 "
Septiembre 2 "
TOTAL 16 riegos

REGADIO INTENSIDAD MEDIA

Abril 0 riegos
Mayo 1 "
Junio 2 "
Julio 3 "
Agosto 3 "
Septiembre 1 "
TOTAL 10 riegos

HORAS DE RIEGO DIARIAS 16 horas en dos puestas de 5-6 horas.

SEPARACION ENTRE DOS RIEGOS EN MESES DE MAXIMA NECESIDAD 5-10 días.

SEPARACION ENTRE DOS RIEGOS EN PRIMAVERA 15-20 días.

RIEGO 600-800 m³/Ha.

(véase apartado nº 5), velocidad que corresponde a una energía media anual de unos 600 W/m^2 . Este valor es demasiado alto para la mayoría de las regiones españolas, por lo que se han considerado también otras dos velocidades de 8 y 6 m/seg que corresponden aproximadamente a valores de 300 y 100 W/m^2 de energías medias anuales, ya que evidentemente también puede regarse a menores velocidades empleando más tiempo o con mayor coste (aeroturbinas de mayor tamaño).

Una dificultad importante surge al estudiar la posibilidad de riegos por aspersión, es la de tratar de fijar el número de horas durante las cuales supera el viento las velocidades indicadas. Según el cuadro nº 20, dichas horas deberían ser unas 16, pero los datos de vientos de que se dispone para regar en dos puestas seguidas no permiten conocer con precisión esta cuestión. En efecto, los datos de la C.E.E. dan sólo el viento medio diario y los publicados por el S.M.N., proporcionan el valor de la velocidad del viento a las 7h, 13h, y 18 horas, pero no a partir de esta última hora. Así pues, se darán solamente los días en que el viento medio sobrepase las citadas cifras, calculándose en el caso del S.M.N. a partir de los citados tres valores, pero sin que esto garantice 16 horas seguidas de viento por encima de los valores prefijados.

También se señala que el viento no es constante, por lo que durante el riego por aspersión podrían variar la presión y caudal según el tipo de regulación de la aeroturbina y el tipo de bomba empleado.

No obstante, estos problemas podrían tener solución posiblemente modificando los métodos de riego y utilizando caudalímetros.

Se han calculado los cuadros nºs 21 a 35 que a continuación se incluyen. En ellos se presentan en diversas estaciones agrupadas por regiones, el número de días en primavera y verano en los que el viento medio supera los 6, 8 y 10 m/seg., así como el número de intervalos de 16 días en primavera y 8 días en verano en que no se llegó

CUADRO Nº 21

DIAS DE VIENTO Y PERIODOS DE VIENTOS FLOJOS (Vientos en m/seg)

Región: NORTE

Datos: S.M.N.

Estación	Número de días de viento medio					Número de periodos de 16-8 días		
	<6	≥6, ≤8	>8, ≤10	>10		≤10	≤8	≤6
Gijón	Primav	79	7	3	2	5	4	1
	Verano	82	8	1	1	Total 11	11	7
Santander	Primav	78	8	4	1	Total 11	4	3
	Verano	88	3	1	2	Total 10	10	10
S. Sebastián (Igueldo)	Primav	79	4	2	6	Total 10	Total 10	Total 10
	Verano	84	3	2	3	Total 10	Total 10	Total 10
	Primav							
	Verano							
	Primav							
	Verano							
	Primav							
	Verano							

CUADRO Nº 22

DIAS DE VIENTO Y PERIODOS DE VIENTOS FLOJOS (Vientos en m/seg)

Región: GALICIA

Datos: C.E.E. y S.M.N.

Estación	Número de días de viento medio					Número de períodos de 16-8 días		
	<6	≥6, ≤8	>8, ≤10	>10		≤10	≤8	≤6
Estaca de Vares	Primav	34	21	11	25	2	0	0
	Verano	43	22	14	13	7	5	1
Malpica	Primav	46	19	16	10	3	0	0
	Verano	56	20	12	4	9	4	2
Puentes de G ^a Rodriguez	Primav	80	8	3	0	Total	3	2
	Verano	85	5	1	1	Total	Total	9
La Coruña (S.M.N.)	Primav	62	26	2	1	Total	5	1
	Verano	83	7	1	1	Total	Total	5
Vigo (S.M.N.)	Primav	81	6	3	1	Total	5	4
	Verano	85	5	1	1	Total	Total	9
Primav								
Verano								

CUADRO Nº 23

DIAS DE VIENTO Y PERIODOS DE VIENTOS FIJOS (Vientos en m/seg)

Región: ARAGON

Datos: S.M.N.

Estación	Número de días de viento medio					Número de períodos de 16-8 días		
	<6	≥6, ≤8	>8, ≤10	>10		≤10	≤8	≤6
Zaragoza	71	9	7	4		5	2	2
Primav								
Verano	78	9	3	3		11	10	8
Primav								
Verano								
Primav								
Verano								
Primav								
Verano								
Primav								
Verano								

CUADRO Nº 24

DIAS DE VIENTO Y PERIODOS DE VIENTOS FLOJOS (Vientos en m/seg)

Región: NORDESTE

Datos: C.E.E.

Estación	Número de días de viento medío					Número de periodos de 16-8 días		
	< 6	≥ 6, ≤ 8	> 8, ≤ 10	> 10		≤ 10	≤ 8	≤ 6
Cabo Creus	Primav	41	19	12	19	2	0	0
	Verano	51	17	13	11	9	3	2
Puig Figueras	Primav	53	16	15	7	3	2	1
	Verano	84	6	1	0	Total	11	9
Mansoseco	Primav	57	15	12	7	3	3	1
	Verano	82	8	1	1	Total	11	8
	Primav							
	Verano							
	Primav							
	Verano							
	Primav							
	Verano							

CUADRO Nº 25

DIAS DE VIENTO Y PERIODOS DE VIENTOS FLOJOS (Vientos en m/seg)

Región: LEVANTE y SURESTE

Datos: S.M.N.

Estación	Número de días de viento medio						Número de períodos de 16-8 días			
	<6	≥6, ≤8	>8, ≤10	>10	≤10		≤6			
					Total	Total	Total	Total		
Barcelona	Primav	90	0	1	0	Total	Total	Total	Total	
	Verano	92	0	0	0	Total	Total	Total	Total	
Tortosa	Primav	84	4	2	1	Total	11	3		
	Verano	86	4	1	0	Total	Total	7		
Valencia	Primav	87	4	0	0	Total	Total	5		
	Verano	90	1	1	0	Total	Total	10		
San Javier	Primav	70	14	5	?	11	3	0		
	Verano	81	9	2	0	Total	Total	7		
Almería	Primav	77	9	4	1	Total	10	2		
	Verano	87	4	1	0	Total	Total	11		
	Primav									
	Verano									

CUADRO Nº 26

DIAS DE VIENTO Y PERIODOS DE VIENTOS FLOJOS (Vientos en m/seg)

Región: SUR

Datos: S.M.N.

Estación	Número de días de viento medio					Número de periodos de 16-8 días			
	<6	≥6, ≤8	>8, ≤10	>10		≤10	≤8	≤6	
Sevilla	Primav	0	0	0	0	Total	Total	Total	Total
	Verano	92	0	0	0	Total	Total	Total	Total
Huelva	Primav	83	5	2	1	Total	10	4	
	Verano	91	1	0	0	Total	Total	10	
Malaga	Primav	90	1	0	0	Total	Total	10	
	Verano	90	1	1	0	Total	Total	11	
	Primav								
	Verano								
	Primav								
	Verano								
	Primav								
	Verano								

DIAS DE VIENTO Y PERIODOS DE VIENTOS F.L.O.JOS (Vientos en m/seg)											
Región: SUR (Estrecho)		Datos: C.E.E.									
Estación		Número de días de viento medio				Número de períodos de 16-8 días					
		<6	≥6, ≤8	>8, ≤10	>10	≤10	≤8	≤6			
Faro de Tarifa	Primav	27	11	21	32	0	0	0			
	Verano	29	10	14	30	1	0	0			
El Cascabel	Primav	12	5	17	57	0	0	0			
	Verano	4	5	19	64	0	0	0			
El Cabrito	Primav	12	7	11	61	0	0	0			
	Verano	25	5	14	48	0	0	0			
Faro de Trafalgar	Primav	49	11	18	13	2	0	0			
	Verano	59	10	11	12	6	5	1			
Camarinal	Primav	61	13	8	9	3	1	1			
	Verano	66	9	7	10	5	4	1			
Guadalmesi	Primav	43	28	14	6	4	0	0			
	Verano	32	30	16	14	6	2	0			

CUADRO Nº 27 (Continuación)

Estación		Número de días de viento medio					Número de períodos de 16-8 días		
		<6	≥6, ≤8	>8, ≤10	>10	≤10	≤8	≤6	
		Región: SUR (Estrecho)							Datos: C.E.E. y S.M.N.
Punta Paloma	Primav	63	10	9	9	2	0	0	
	Verano	60	11	11	10	5	1	0	
Punta Acebuohe	Primav	46	23	17	5	3	0	0	
	Verano	48	21	16	7	5	1	0	
Semaforo de Tarifa	Primav	43	16	12	20	2	0	0	
	Verano	45	11	11	25	2	1	0	
Tarifa (S.M.N.)	Primav	63	11	3	14	2	1	0	
	Verano	57	7	7	21	4	3	1	
	Primav								
	Verano								
	Primav								
	Verano								

CUADRO Nº 28

DIAS DE VIENTO Y PERIODOS DE VIENTOS FLOJOS (Vientos en m/seg)

Región: EXTREMADURA y ALBACETE

Datos: S.M.N.

Estación	Número de días de viento medio						Número de periodos de 16-8 días				
	<6	≥6, ≤8	>8, ≤10	>10	≤10	≤8	≤6	Total	Total	Total	Total
Badajoz	Primav	0	0	0							
	Verano	1	0	0							
Albacete	Primav	19	9	5			5	3		0	
	Verano	19	9	4			Total	9		4	
	Primav										
	Verano										
	Primav										
	Verano										
	Primav										
	Verano										
	Primav										
	Verano										

CUADRO Nº 29

DIAS DE VIENTO Y PERIODOS DE VIENTOS FLOJOS (Vientos en m/seg)

Región: LEON y CASTILLA LA VIEJA

Datos: S.M.N.

Estación	Número de días de viento medio					Número de periodos de 16-8 días		
	<6	≥6, ≤8	>8, ≤10	>10		≤10	≤8	≤6
Salamanca	Primav	70	12	5	4	5	4	1
	Verano	78	11	2	1	Total	10	4
Burgos	Primav	62	16	7	6	2	2	0
	Verano	70	13	7	?	Total	Total	4
Valladolid	Primav	82	7	2	0	Total	Total	4
	Verano	89	3	0	0	Total	Total	10
Ponferrada	Primav	90	1	0	0	Total	Total	Total
	Verano	92	0	0	0	Total	Total	11
	Primav							
	Verano							
	Primav							
	Verano							

CUADRO Nº 30

DIAS DE VIENTO Y PERIODOS DE VIENTOS FLUJOS (Vientos en m/seg)											
Región: CASTILLA LA NUEVA											
Datos: C.E.E.											
Estación		Número de días de viento medio				Número de periodos de 16-8 días					
		<6	≥6, ≤8	>8, ≤10	>10	≤10	≤8	≤6			
Majadahonda	Primav	71	12	5	3	5	2	0			
	Verano	78	10	3	1	Total	10	5			
Fuencarral	Primav	80	8	3	0	Total	9	4			
	Verano	92	0	0	0	Total	Total	Total			
Consuegra	Primav	70	12	6	3	5	4	2			
	Verano	72	15	3	2	Total	10	6			
Casilla Tomillares	Primav	76	9	3	3	Total	4	2			
	Verano	82	7	2	1	Total	9	6			
Campo de Criptana	Primav	76	12	2	1	Total	4	1			
	Verano	85	7	0	0	Total	Total	Total			
Puerto Lápice	Primav	64	20	6	1	Total	3	2			
	Verano	76	13	3	0	Total	10	7			

CUADRO Nº 30 (Continuación)

DIAS DE VIENTO Y PERIODOS DE VIENTOS FLOJOS (Vientos en m/seg)

Región: CASTILLA LA NUEVA

Datos: C.E.E. y S.M.N.

Estación	Número de días de viento medio					Número de periodos de 16-8 días		
	<6	≥6, ≤8	>8, ≤10	>10		≤10	≤8	≤6
Mota del Cuervo	Primav	76	14	1	0	Total	Total	1
	Verano	79	10	2	1	Total	Total	10
Molina de Aragón (S.M.N.)	Primav	86	4	1	0	Total	Total	5
	Verano	90	1	1	0	Total	Total	Total
Ciudad Real (S.M.N.)	Primav	83	5	2	1	Total	Total	5
	Verano	88	3	1	0	Total	Total	11
Madrid (S.M.N.)	Primav	82	7	1	1	Total	5	3
	Verano	90	1	1	0	Total	Total	10
Primav								
Verano								
Primav								
Verano								

CUADRO Nº 31

DIAS DE VIENTO Y PERIODOS DE VIENTOS FLOJOS (Vientos en m/seg)												
Región: BALEARES						Datos: S.M.N.						
Estación	Número de días de viento medio						Número de periodos de 16-8 días					
	<6	≥6, ≤8	>8, ≤10	>10	≤10	≤8	≤6	≤10	≤8	≤6	≤10	≤8
Palma de Mallorca	Primav	77	10	4	0	Total	4	Total	4	Total	3	
	Verano	87	4	1	0	Total	Total	Total	Total	Total	10	
Mahon	Primav	72	12	4	3	Total	4	Total	4	Total	1	
	Verano	83	7	1	1	Total	Total	Total	Total	Total	7	
	Primav											
	Verano											
	Primav											
	Verano											
	Primav											
	Verano											
	Primav											
	Verano											

CUADRO Nº 32

DIAS DE VIENTO Y PERIODOS DE VIENTOS FLOJOS (Vientos en m/seg)

Región: CANARIAS (Fuerteventura)

Datos: C.E.E.

Estación	Número de días de viento medio					Número de periodos de 16-8 días		
	<6	≥6, ≤8	>8, ≤10	>10		≤10	≤8	≤6
Puerto del Rosario	Primav	34	12	2		Total	2	0
	Verano	47	33	9	3	11	5	0
Cotillo	Primav	66	20	4	1	Total	11	4
	Verano	74	13	5	0	Total	Total	10
Corralejos	Primav	21	37	29	4	4	1	0
	Verano	28	31	31	3	9	4	0
	Primav							
	Verano							
	Primav							
	Verano							
	Primav							
	Verano							

CUADRO Nº 33

DIAS DE VIENTO Y PERIODOS DE VIENTOS FLOJOS (Vientos en m/seg)									
Región: CANARIAS (Lanzarote)		Datos: C.E.E.							
Estación		Número de días de viento medio				Número de periodos de 16-8 días			
		<6	≥6, ≤8	>8, ≤10	>10	≤10	≤8	≤6	
Caleta de Teguisé	Primav	40	18	19	14	3	1	0	
	Verano	50	19	17	6	7	6	2	
Cueva de la Paloma	Primav	29	32	21	9	3	2	0	
	Verano	30	23	27	12	2	5	0	
Bateria del Rfo	Primav	42	44	4	1	Total	4	0	
	Verano	45	42	5	0	Total	10	3	
	Primav								
	Verano								
	Primav								
	Verano								
	Primav								
	Verano								

CUADRO Nº 34

DIAS DE VIENTO Y PERIODOS DE VIENTOS FLOJOS (Vientos en m/seg)											
Región: CANARIAS (G.Canaria) Datos: C.E.E.											
Estación	Número de días de viento medio						Número de periodos de 16-8 días				
	<6	≥6, ≤8	>8, ≤10	>10	≤10	≤8	≤6				
Montaña del Infierno	Primav	7	3	7	74	0	0	0			
	Verano	4	4	6	78	0	0	0			
Puerto Cabras	Primav	25	3	0							
	Verano	36	7	3							
Punta Tenefé	Primav	8	24	41							
	Verano	7	10	50							
	Primav										
	Verano										
	Primav										
	Verano										
	Primav										
	Verano										

CUADRO Nº 35

DIAS DE VIENTO Y PERIODOS DE VIENTOS FLOJOS (Vientos en m/seg)									
Región: CANARIAS (Sta. Cruz de Tenerife) Datos: C.E.E. y S.M.N.									
Estación	Número de días de viento medio				Número de períodos de 16-8 días				
	<6	≥6, ≤8	>8, ≤10	>10	≤10	≤8	≤6		
Faro de Abona	Primav	21	11	16	43	1	0	0	
	Verano	20	8	14	50	4	2	0	
Montaña del Taco	Primav	22	10	27	32	0	0	0	
	Verano	38	11	19	24	2	2	1	
Faro de Punta Rasca	Primav	83	7	1	0	Total	Total	4	
	Verano	86	5	1	0	Total	Total	9	
Izaña (S.M.N.)	Primav	53	14	10	14	2	1	0	
	Verano	57	18	9	8	6	3	0	
Sta. Cruz de Tenerife (S.M.N.)	Primav	78	10	2	1	Total	10	1	
	Verano	88	2	1	1	Total	Total	10	
	Primav								
	Verano								

en ningún día a alcanzar dichas velocidades medias.

Para la determinación del número de días se han tomado los promedios de tres años y para la determinación de intervalos se han tomado las primaveras y veranos más secos dentro de estos tres años, independientemente de que coincidan estas estaciones secas en un mismo año o no, con objeto de considerar las peores condiciones posibles bajo este punto de vista.

El análisis de los cuadros anteriores indica que en regiones de vientos tan intensos y tan regulares como las islas Canarias y el extremo Sur de la Península junto al estrecho de Gibraltar, y con las salvedades expuestas anteriormente, parece posible llevar a cabo programas de regadío utilizando exclusivamente energía eólica. Con ninguna o muy escasa capacidad de balsas de regulación, también parece posible en dichas zonas emplear la energía eólica para los riegos por aspersión.

En el resto de España no parece esto posible, exceptuando posiblemente una zona muy pequeña en la costa de la provincia de Gerona y en el Noroeste de Galicia, zona que se ha incluido, aunque suponemos que no se necesitarán normalmente riegos en ella.

En los citados cuadros también puede comprobarse que existen bastantes regiones de España, como las islas de Mallorca y Menorca, Valle del Ebro, extensas zonas de la Mancha y Castilla la Vieja, así como parte de las costas de Levante y del Sur, en las que el número de días de viento utilizable en primavera y verano es igual o superior al número total de riegos previstos, aunque haya períodos de calmas que superan los valores máximos admisibles. Se deduce que en estas zonas con una razonable capacidad de balsas de regulación podría extraerse el agua de los pozos y regar por gravedad utilizando exclusivamente energía eólica. Si los programas de riegos fuesen por aspersión, generalmente haría falta poder contar con una fuente

complementaria de energía para cuando hubiese que regar durante un período de calma.

El empleo de motores accionados por biogas podría constituir una excelente solución para este problema, ya que como se verá más adelante el coste del almacenamiento de la energía necesaria para un riego es elevado, y las soluciones solares para producción de energía eléctrica son muy costosas.

Si la zona agrícola dispusiese de energía eléctrica y la energía eólica se utilizase simplemente como sistema de ahorro de energía, los problemas señalados tendrían solución sencilla.

Se ha tratado de concretar en un mapa (Fig. 9) el resumen de los datos y cuadros mencionados.

Se menciona nuevamente la gran falta de datos de frecuencias de vientos y de sus valores máximos posibles, por lo que se insiste una vez más que las zonas señaladas en el mapa no constituyen mas que unas primeras estimaciones. En particular, no existe prácticamente dato alguno de energías de vientos en las zonas montañosas de la península y Baleares, en los que seguramente existirán abundantes zonas de potencial eólico utilizable para la Agricultura.

Se desea por último señalar que de los resultados de este apartado se concluye que la energía eólica podría aplicarse ventajosamente en extensas zonas de España para extracción de aguas de pozos y riegos con balsas de regulación.

Con mayor dificultad se utilizaría la energía eólica para proporcionar la energía necesaria para el accionamiento de las bombas para riegos por aspersión, excepto en zonas privilegiadas bajo el punto de vista eólico.

Se indica finalmente que para aprovechar al máximo la energía eólica para riegos, posiblemente implicaría adaptar la metodología de estos riegos para esta forma de energía, y que el conoci-

POSIBILIDAD DE UTILIZAR LA ENERGIA EOLICA PARA RIEGOS

-74-

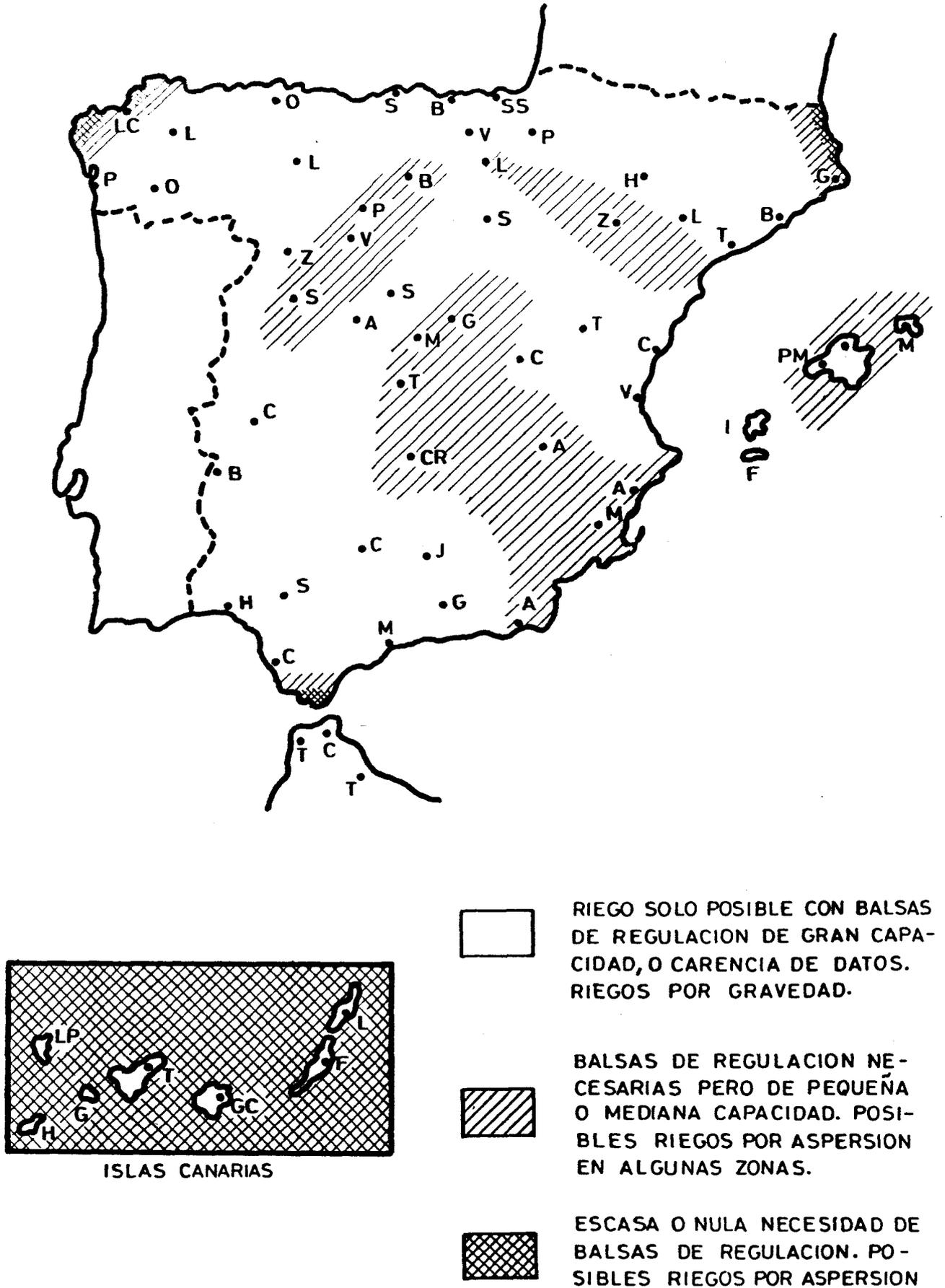


FIG. 9

miento de estos problemas fundamentalmente se consigue a través de programas piloto.

5.- ESTADO ACTUAL DE LAS AEROTURBINAS SUSCEPTIBLES DE UTILIZARSE EN AGRICULTURA. PROBLEMAS TECNOLOGICOS Y CRITERIOS DE DISEÑO

5.1.- Tipos de Aeroturbinas

Como ya se indicó en el apartado nº 2 la crisis del petróleo unida al hecho de que la energía eólica es una energía no contaminante, ha vuelto a impulsar el estudio y desarrollo de las aeroturbinas, hasta el punto que la mayoría de los países desarrollados cuentan en la actualidad con un programa de utilización de la energía eólica.

Hoy en día el número de los diferentes tipos de máquinas para aprovechamiento de la energía eólica es enorme, pudiendo afirmarse que en ningún otro tipo de aparatos han surgido mayor número de inventos.

A continuación se presenta una simple enumeración de algunos de los diferentes sistemas de aprovechamiento de la energía eólica, haciéndose constar que se han seleccionado únicamente aquellos que por una parte no contradicen ningún principio de la mecánica y por otra, algún organismo responsable se ha interesado por su desarrollo. Son estos los siguientes, enumerados de menos a más sofisticados: Aeroturbinas de eje horizontal; Aeroturbinas de eje vertical; Sistema Giromill (eje vertical y palas verticales); Sistemas difusores (aeroturbina horizontal con tobera); Sistema tipo tornado (concentran la energía del viento en un torbellino); Sistema Madaras (aplicación del efecto Magnus); Sistema generador electrofluidodinámico; Sistema generador con aerosoles eléctricamente cargados.

De entre todas estas máquinas las más prometedoras y a su vez más experimentadas en la actualidad son sin duda las aeroturbinas bien de eje vertical o de eje horizontal, que son las que pasamos a contemplar más detalladamente.

En la figura nº 10 esta representado el coeficiente de

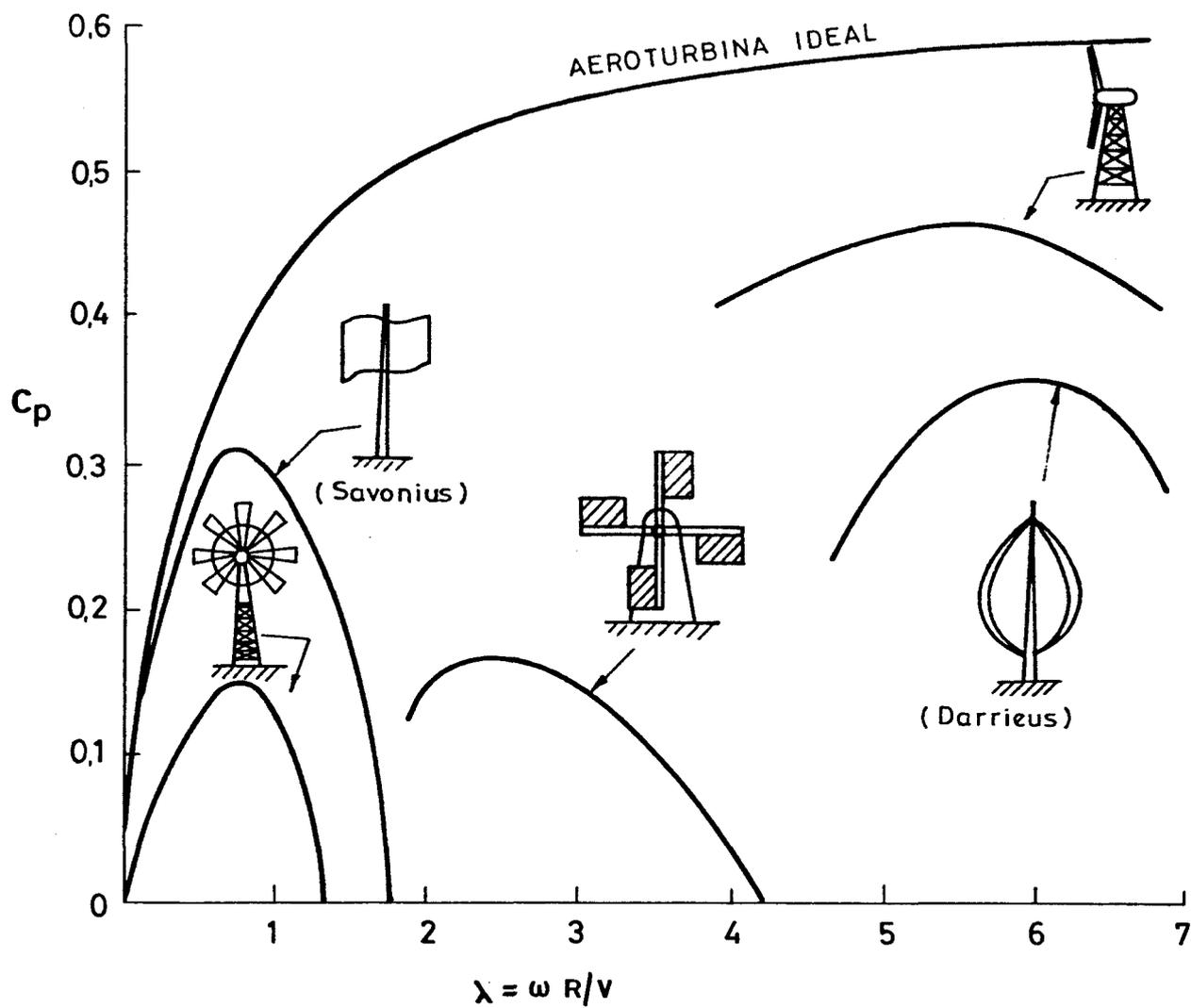


FIG.10

potencia (C_p) (relación entre la potencia en el eje de la aeroturbina y la potencia del viento en un tubo de corriente del diámetro del rotor) en función de la relación de velocidades (λ) (cociente entre la velocidad del punto del rotor a máxima distancia del eje y la velocidad del viento), estas curvas representan, en líneas generales y para una aeroturbina tipo, las actuaciones de dicha turbina y como es evidente lo que se trata de buscar en este tipo de máquinas es que en grandes rangos de velocidades tengan altos coeficientes de potencia. De esta figura pueden extraerse las siguientes conclusiones: las curvas de la izquierda, correspondientes a aeroturbinas en las que se aprovecha más la resistencia que la sustentación de los rotores, tienen menores coeficientes de potencia que las que por el contrario fundan su funcionamiento en las fuerzas de sustentación y que se encuentran a la derecha de la figura y dentro de estas últimas aeroturbinas las de eje horizontal superan a las de eje vertical. Es de hacer notar que la curva llamada aeroturbina ideal es un límite que para valores altos de la relación de velocidades toma el valor de $16/27$ llamado coeficiente de Betz y representa la máxima potencia que puede extraer una aeroturbina del viento.

5.2.- Aeroturbinas de Eje Vertical

Dos tipos principales de aeroturbinas de eje vertical existen en la actualidad, las que utilizan la resistencia de las palas como principal fuerza impulsora del rotor, conocidas como de tipo SAVONIUS y las que utilizan por el contrario la fuerza de sustentación de la pala como fuerza impulsora y que son conocidas como de tipo DARRIEUS (ambas están esquematizadas en la figura nº 10).

Como ya se ha indicado las Savonius tienen menor coeficiente de potencia que las Darrieus y para una misma velocidad de rotación y C_p , la Savonius necesitaría mayores velocidades de viento que

la Darrieus para su funcionamiento.

Las aeroturbinas de eje vertical tienen sobre las de eje horizontal dos ventajas, la primera es que en razón a su simetría no tienen que ser orientadas al viento y la segunda en que al ser el eje vertical el generador puede colocarse en tierra, evitando la complejidad que supone el situarlo a una cierta altura como en el caso de las aeroturbinas de eje horizontal.

Refiriéndose ahora a las de tipo Darrieus, que como ya se ha dicho son más prometedoras, tienen la propiedad de que sus características aerodinámicas son tales que a altas velocidades de viento los perfiles de las palas entran en pérdida por lo que no puede sobrepasarse la potencia de una determinada, lo cual evita los costosos mecanismos de regulación, necesarios en las aeroturbinas de eje horizontal, si se desea mantener constantes las revoluciones. Junto a estas ventajas existen, por supuesto, desventajas siendo una de ellas el que las aeroturbinas Darrieus no son capaces de arrancar por sí solas, por lo que necesitan de algún tipo de mecanismo que las ponga en marcha, pudiéndose utilizar por ejemplo una Savonius.

La forma de sujeción de las palas en este tipo de aeroturbinas, con dos puntos de apoyo, tiene por una parte la ventaja de reducir los requerimientos estructurales de las mismas, mientras que por otra, impide el elevar la aeroturbina lo que no permite situarla en lugares de mayores velocidades de viento y con ello obtener más potencia para un área barrida dada.

En la actualidad se tiene mucha mayor experiencia en las aeroturbinas de eje horizontal (basta observar el número de turbinas de este tipo que aparecen en el apartado 5.5 frente a las de tipo Darrieus), no obstante a la vista de las ventajas de las de tipo Darrieus se continua su estudio encaminado fundamentalmente en las tres direcciones siguientes: Cálculo de la velocidad inducida en las palas,

forma óptima de la línea media de las palas y por último perfiles más adecuados que deben utilizarse.

Como corroboración de que este tipo de aeroturbinas, tiene un próximo futuro interesante, basta decir, que en los Laboratorios de Sandia en California y en el National Research Council de Canadá, se trabaja en la actualidad en dos proyectos para la fabricación de dos turbinas Darrieus, para la producción de energía eléctrica, de 60 y 200 Kw con rotores de 17 y 24 m respectivamente. En cuanto a las turbinas de tipo Darrieus de menos de 40 Kw y como puede verse en el ya citado cuadro del apartado 5.5, las formas Dominion Aluminum Fabricators de Canadá y la Dynergy Corporation de los Estados Unidos dispone de turbinas para su venta ya desde el año 1.977.

5.3.- Aeroturbinas de Eje Horizontal

Nos referimos en este apartado, dentro de las aeroturbinas de eje horizontal, a las de alta velocidad, es decir aquéllas que utilizan la fuerza de sustentación como impulsora de las palas y que corresponden a las representadas en la figura nº 10 que tienen mayor valor de C_p (con un máximo alrededor de $C_p \sim 0.47$). Tres son fundamentalmente las ventajas de este tipo de aeroturbinas sobre las de eje vertical y los demás tipos de máquinas de aprovechamiento de la energía eólica, y son éstas:

En primer lugar el gran número de aeroturbinas que ya existen en la actualidad, que han estado funcionando un cierto número de años y que de hecho están a la venta, lo cual hace que se tenga una gran experiencia sobre ellas. En el cuadro del apartado 5.5 como puede verse, el número de aeroturbinas de eje horizontal es muchísimo mayor que el de las de eje vertical; pero no sólo se han construido este tipo de máquinas en tamaño pequeño (menor de 40 Kw), sino que en aeroturbinas grandes sucede lo mismo, como puede observarse en el

cuadro nº 36 que se adjunta.

En segundo lugar la experiencia adquirida en este gran número de proyectos junto con la semejanza que existe entre los rotores de estas aeroturbinas y las hélices de aviones y rotores de helicópteros ha dado lugar a la elaboración de teorías de cálculo de una gran fiabilidad.

En tercer lugar como ya se ha dicho entre las aeroturbinas de alta velocidad las horizontales son las que proporcionan mayores valores de C_p .

Convendría apuntar que estas aeroturbinas pueden funcionar a mayores velocidades de giro que las de eje vertical, lo cual hace que si están conectadas a generadores síncronos, necesiten mecanismos multiplicadores menores. También es de hacer notar que el área de pala para una misma área barrida es menor en estas aeroturbinas que en las Darrieus, lo que reduce su costo.

Pero no todo son ventajas, existen por supuesto inconvenientes, que evidentemente se han superado de una u otra manera. El primero es el de la orientación al viento, este problema en las pequeñas se ha solucionado por medio de una veleta, en las grandes se ha recurrido a un mecanismo orientador, ayudado por el hecho de situarse el rotor a sotavento de la torre en la que va montado, no obstante esta idea tiende a abandonarse por los serios problemas que presenta la sombra de la torre al producir altos esfuerzos alternativos sobre las palas.

Un mecanismo, indispensable, que deben tener estas aeroturbinas es el de cambio de paso de las palas del rotor, mecanismo que ha de producir un giro de las palas alrededor de su eje a fin de que variando el ángulo de ataque de las secciones de la pala varíe la sustentación de las mismas; la necesidad de este mecanismo es doble, por un lado para el arranque y la parada y por otro para mantener cons

tante las revoluciones del rotor ante la presencia de vientos de distintas velocidades a fin de poder conectarse a su generador síncrono.

Otras desventajas son la necesidad de tener que situar el generador en lo alto de la torre y las derivadas del hecho de que las palas (algunas de las cuales llegan a longitudes de 50 m) están sujetas únicamente en un punto.

Como en todos los apartados siguientes nos vamos a referir únicamente a las aeroturbinas de eje horizontal, parece aconsejable enumerar los elementos esenciales que la componen, lo que haremos a continuación sobre el esquema simplificado de la figura nº 11, en donde pueden verse:

(1) el buje que lleva alojado el mecanismo de cambio de paso que puede ser de diferentes tipos, en las grandes puede ser neumático y su acción bien por engranajes o varillas, mientras que en algunas pequeñas se utilizan contrapesos accionados por fuerza centrífuga.

(2) mecanismo multiplicador necesario para adaptar las revoluciones del rotor a las del generador.

(3) generador bien de corriente alterna o continua.

(4) mecanismo de orientación, que sólo existe en las aeroturbinas que no tienen veleta orientadora de la que van provistos la mayoría de los molinos pequeños; el mecanismo de orientación en las grandes aeroturbinas suele ser neumático y actúa a través de engranajes.

(5) góndola donde van instalados todos los mecanismos antedichos.

(6) palas del rotor, cuyo número puede variar, pero lo usual es que sean dos para las grandes aeroturbinas y dos o tres para las pequeñas.

(7) torre de sujeción que puede ser de diferentes tipos, como ya se ha dicho puede estar colocada a sotavento o barlovento del rotor.

Para finalizar este apartado conviene indicar que así como la mayoría de las aeroturbinas están encaminadas a la producción

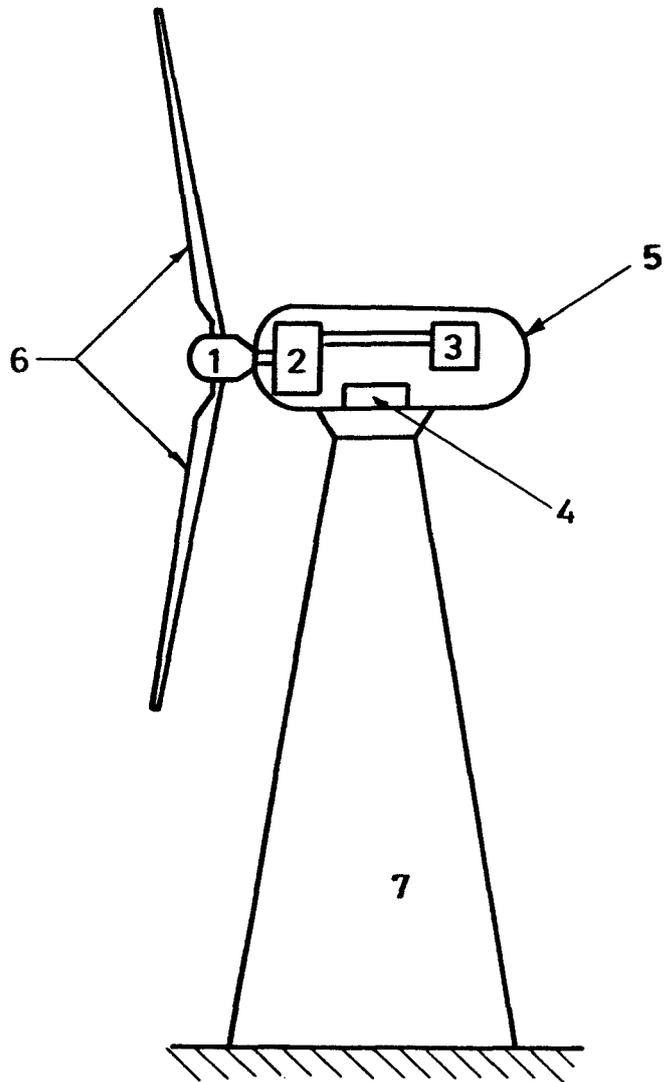


FIG. 11

de energía eléctrica y la utilización posterior de ésta en múltiples aplicaciones tales como: alimentación de energía en áreas remotas, conexión a la red, aplicaciones agrícolas (regadío fundamentalmente), calefacción etc; existen aeroturbinas que actúan mecánicamente sobre bombas generalmente de émbolo, transmitiendo la energía a través de un eje que gira en el interior de la torre de sujeción, por lo que las alturas de dichas aeroturbinas son pequeñas, y por ello sólo aprovechan los vientos próximos a tierra que son menores debido al efecto de la capa límite terrestre, (Aeroturbinas de este tipo están enumeradas en el cuadro del apartado 5.5).

5.4.- Aeroturbinas para Usos Agrícolas

De acuerdo con los apartados anteriores las aeroturbinas son utilizables en Agricultura empleándose principalmente en el riego sin desestimar otro gran número de tareas que han sido expuestas en el apartado nº 2.

Las aeroturbinas a emplear en agricultura no deben tener ninguna característica especial que las distinga de las anteriormente descritas, pudiendo añadirse que por su ubicación han de cumplir los siguientes requerimientos: Un fácil manejo y mantenimiento y posibilidad de arrancar y pararse automáticamente, lo que obligaría a disponer de una aeroturbina tipo Savonius, para el arranque, en el caso de que se quisiera utilizar una de tipo Darrieus.

Las potencias son muy variadas según se utilicen en pequeños o grandes planes de regadío, pero puede afirmarse que la tendencia actual es el uso de aeroturbinas de potencias comprendidas entre 10 y 20 Kw.

En el caso de aeroturbinas para riego existen dos posibilidades de accionar las bombas, bien eléctricamente con lo que no habría nada que añadir respecto de lo dicho anteriormente, o bien

mecánicamente, en este caso conviene hacer constar que cuando se utilizan bombas de pistón las aeroturbinas empleadas son multipalas (tipo americano) debido a que tienen un alto par de arranque pero que el mecanismo de regulación de este tipo de aeroturbinas sólo funciona para vientos por debajo de 10 m/seg., ya que para mayores velocidades la aeroturbina se orienta en la dirección del viento y se detiene, por otra parte las alturas de bombeo son pequeñas, siempre inferiores a 50 m. Hoy día están entrando en funcionamiento aeroturbinas de 2 ó 3 palas, mucho más rápidas que las anteriores, con bombas centrífugas de varios escalones que tienen un par de arranque menor y que tienen la ventaja de poder alcanzar mayores profundidades (por encima de los 100 m).

5.5.- Lista de Aeroturbinas y Proyectos de Grandes Aeroturbinas

En este apartado se presentan tres cuadros en los que se enumeran las aeroturbinas para diferentes usos de las que se tiene conocimiento que existen en la actualidad; en el cuadro nº 36 se presentan las principales aeroturbinas de alta potencia que existen o han existido incluyéndose también los proyectos desarrollados o en desarrollo en la actualidad; en el cuadro nº 37 se presentan las aeroturbinas de generación de energía eléctrica de tamaño pequeño; en el cuadro nº 38 las aeroturbinas pequeñas unidas mecánicamente a bombas.

CUADRO N.º 36

TURBINAS DE EJE HORIZONTAL DE ALTA VELOCIDAD

(Potencia > 100 Kw)

IDENTIFICACION	Tamaño rotor (m)	Número de Palas	Potencia (Kw)	Período Funcionamiento
Smith - Putnam (E.E.U.U.)	60	2	1250	1941 - 45
Yulta, Mar Negro (Rusia)	30	2	100	1931 -
Nogent - Le Roi (Francia)	31	3	800	1958 - 63
Enfield - Andreau (Fr. Ingl.)	24	2	100	1953 -
Gedser (Dinamarca)	24	3	200	1957 - 60
Hutter - Allgaier (Alemania)	35	2	100	1961 - 66
J. Brown (Inglaterra)	30	3	100	1950 - 55
ERDA, Mod 0 (E.E.U.U.)	37	2	100	1975 -
ERDA, Mod A (E.E.U.U.)	37	2	200	En preparación (1.979)
ERDA, Mod 1 (E.E.U.U.)	91.5	2	2000	En preparación (1.979)
ERDA, Mod 2 (E.E.U.U.)	100	2	2500	En preparación (1.980)
SAAB (Suecia)	18	2	75	1977 -

CUADRO Nº 37

AEROTURBINAS DE PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA

FABRICANTE Y MODELO	POTENCIA kw	DIAMETRO DEL ROTOR m	Nº DE PALAS	VELOC. DISEÑO m/s	VELOC. MINIMA FUNCIONAMIENTO m/s
Energy Development Co (USA) 445	45	12.2	4	11.2	2.2
Dominion Aluminum Fabricators CANADA Vawt 35 55	37	11.2	Darrieus (2)	14.8	5.8
Jay Carter (USA) Mod 25	25	9.8	2	11.2	-
Grumman Energy Systems (USA) Windstream 25-B	20	7.62	3	12.9	3.6
Energy Development Co (USA)-440	20	11.6	4	11.2	2.2
Tumac Industries (USA) 10-Meter High Speed Generator	20	10.0	3	-	-
Wind Power Systems, Inc (USA) Sturm Master	18	10.0	3	10.7	3.6
Dominion Aluminum Fabricators CANADA VAWT 20 36	14	6.10	Darrieus (2)	13.5	5.4

CUADRO N° 37 (Continuación)

AEROTURBINAS DE PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA

FABRICANTE Y MODELO	POTENCIA Kw	DIAMETRO DEL ROTOR m	N° DE PALAS	VELOC. DISEÑO m/s	VELOC. MINIMA FUNCIONAMIENTO m/s
Aerowatt (FRANCIA) 12KFPID	12	9.2	2	10	3
Milville Windmills (USA) 10-3-IND	10	7.60	3	11.0	4.0
Elektro Winterthur (SUIZA) WVG 120G	9	6	3	-	-
Dominion Aluminum Fabricators (CANADA)	8	6.10	Darrieus (2)	10	3
Elektro Winterthur (SUIZA) WVG 50G	5.5	5	3	-	-
Tumac Industries (USA) 10-Meter Low Speed Generator	5	10	3	-	-
Aerowatt (FRANCIA) 4100FFIG	5	5	2	10	3
Tumac Industries (USA) 5 Meter High Speed Generator	5	5	3	-	-

CUADRO Nº 37 (Continuación)

AEROTURBINAS DE PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA

FABRICANTE Y MODELO	POTENCIA Kw	DIAMETRO DEL ROTOR m	Nº DE PALAS	VELOC. DISEÑO m/s	VELOC. MINIMA FUNCIONAMIENTO m/s
Aerowatt (FRANCIA) 4100FP7G	4.1	10	2	7.2	3.1
Independent Energy Systems Inc (USA) Skyhawk	4	4.6	3	10.1	1 - 3.6
Dakota Wind & Sun, Ltd 4 Kw (USA)	4	4.3	3	12.0	3.6
Power Group Int'l (USA) Hummingbird 4000	4	4.3	3	10	2.7 - 3.6
Dominion Aluminum Fabricator (CANADA)	4	4.6	Darrieus	10	3
Elektro Winterthur (SUIZA) WV 35G	4	4.4	3	-	-
Dynergy 5-Meter (USA)	3.3	4.6	Darrieus (2)	10.7	4.4
Product Development Inst (USA) Wind Heat System (Prototype)	3	3.8	3	11.1	5.4

CUADRO Nº 37 (Continuación)

AEROTURBINAS DE PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA

FABRICANTE Y MODELO	POTENCIA Kw	DIAMETRO DEL ROTOR m	Nº DE PALAS	VELOC. DISEÑO m/s	VELOC. MINIMA FUNCIONAMIENTO m/s
Kedco, Inc (USA) 1620	3	4.88	3	11.1	4.9
North-Wind Power Co.(USA) Eagle 3 KW-32V	3	4.14	3	12.2	3.6
North-Wind Power Co.(USA) Eagle 3KW-110W	3	4.14	3	12.2	3.6
Hinton Research (USA)	3	-	-	-	-
Altos the Alternate Current (USA) BWP-12A	2.2	2.4	2.4	17.1	3.6
Pinson Energy Corporation (USA) C - 2E	2	3.66	3	10.7	3.1
Altos the Altenate Current (USA) BWP - 12 B	2	3.5	-	12.5	3.6
American Wind Turbine, Inc. (USA) 16 Foot	2	4.7	4.8	9.0	4.5

CUADRO Nº 37 (Continuación)

AEROTURBINAS DE PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA

FABRICANTE Y MODELO	POTENCIA Kw	DIAMETRO DEL ROTOR m	Nº DL PALAS	VELOC. DISEÑO m/s	VELOC. MINIMA FUNCIONAMIENTO m/s
Dunlite Electrical Products (AUSTRALIA) 81/002550 (Standard Model)	2	4.10	3	11	3.6
Kedco Inc (USA) 1210	2	3.65	3	11.6	4.9
Kedco Inc (USA) 1610	2	4.88	3	10.0	4.4
North-Wind Power Co. (USA) Eagle 2KW-32V	2	4.15	3	10.0	3.6
North-Wind Power Co. (USA) Eagle 2KW-110V	2	4.2	3	10.0	3.6
Whirlwind Power Comp. (USA) Model A	2	3.0	2	11.2	3.6
Sencenbaugh (USA) 2000/115	2	3.65	3	11.6	-
Bertoia Studio (USA) A.P.I.	2	5.49	3	8.0	2.2

CUADRO Nº 37 (Continuación)

AEROTURBINAS DE PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA

FABRICANTE Y MODELO	POTENCIA Kw	DIAMETRO DEL ROTOR m	Nº DL. PALAS	VELOC. DISEÑO m/s	VELOC. MINIMA FUNCIONAMIENTO m/s
Winflo (CANADA) Wingen Mod. 2000	2	3	2	11.2	-
Elektro Winterthur (SUIZA) WV25G	2	3.6	2	-	-
Kedco, Inc (USA) 1605	1.9	4.88	3	8.9	3.1
GMZ (ESPAÑA) Saturno	1.836	-	4	-	-
Enertech Corp. (USA) 1500	1.5	4	3	9.8	3.6
Tumac Industries (USA) 5-Meter Low Speed Generator	1.5	5.0,	3	-	-
Altos the Alternate Current (USA) BWP-8A	1.5	2.4	2.4	12.5	3.6
Aero Power Systems, Inc. (USA) SL 1500	1.43	3.05	3	11.2	2.7

CUADRO Nº 37 (Continuación)

AEROTURBINAS DE PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA

FABRICANTE Y MODELO	POTENCIA Kw	DIAMETRO DEL ROTOR m	Nº DE PALAS	VELOC. DISEÑO m/s	VELOC. MINIMA FUNCIONAMIENTO m/s
Kedco, Inc. (USA) 1200	1.2	3.65	3	10.0	3.1
Kedco, Inc. (USA) 1205	1.2	3.65	3	10.0	3.6
Kedco, Inc. (USA) 1600	1.2	4.88	3	7.6	3.1
Aerowatt (FRANCIA) 1100PF7G	1.125	5.09	2	7.2	3.1
Aerowatt (FRANCIA) 1100PPIG	1.125	3.2	2	10	3
B.Y.R. (ESPAÑA) GZ	1.125	-	3	-	-
American Wind Turbine, Inc. (USA) 12 Foot	1.00	3.5	3.6	9.0	4.5
Dunlite Electrical Products (AUSTRALIA) 82/002550 (High Wind Speed Model)	1.00	3.1	3	16	6.3

CUADRO Nº 37 (Continuación)

AEROTURBINAS DE PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA

FABRICANTE Y MODELO	POTENCIA Kw	DIAMETRO DEL ROTOR m	Nº DE PALAS	VELOC. DISEÑO m/s	VELOC. MINIMA FUNCIONAMIENTO m/s
Sencenbaugh Wind Electric (USA) 1000	1.00	3.65	3	10.3	2.7
Enag SA (FRANCIA)	1.0	2.55	2	-	-
Enag SA (FRANCIA)	0.650	2.35	2	-	-
B.Y.R. (ESPAÑA) CM	0.640	-	3	-	-
Aerolectric Company (USA) C-9/C-90 Wind Wizard	0.600	2.75	3	11.6	4.0
G.M.Z. (ESPAÑA) GE	0.540	-	3	-	-
American Wind Turbine, Inc. (USA) 8 Foot	0.500	2.3	2.4	9.0	4.5
Sencenbaugh Wind Electric (USA) 500	0.500	1.8	3	10.8	4.5

CUADRO Nº 37 (Continuación)

AEROTURBINAS DE PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA

FABRICANTE Y MODELO	POTENCIA Kw	DIAMETRO DEL ROTOR m	Nº DE PALAS	VELOC. DISEÑO m/s	VELOC. MINIMA FUNCIONAMIENTO m/s
G.M.Z. (ESPAÑA) GG	0.500	-	3	-	-
Winflo (CANADA) Wingen Mod. 500	0.500	2.0	3	11.2	3.0
B.Y.R. (ESPAÑA) GE	0.450	-	3	-	-
FIAT (ITALIA)	0.45	2	3	12	-
Sencenbaugh Wind Electric (USA) 400-14 HDS	0.400	2.13	3	9.0	4.0
Megatech Corp. (USA) Model WIP - AI	0.400	2.0	2	12.2	2.7
Lubing (ALEMANIA) G-024-400	0.400	2.2	3	-	-
Aerowatt (FRANCIA) 300FP7G	0.350	3.26	2	7.2	3.1

CUADRO Nº 37 (Continuación)

AEROTURBINAS DE PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA

FABRICANTE Y MODELO	POTENCIA Kw	DIAMETRO DEL ROTOR m	Nº DE PALAS	VELOC. DISEÑO m/s	VELOC. MINIMA FUNCIONAMIENTO m/s
Aerowatt (FRANCIA) 300 FP5	0.350	5	2	5	3
Aerowatt (FRANCIA) 300 FD10	0.350	2	2	10	3
B.Y.R. (ESPAÑA) GG	0.340	-	3	-	-
Winco Division of Dyna-technology (USA) 1222H	0.200	1.83	2	10.3	3.1
Sim Holland 8 v (HOLANDA)	0.200	1.83	2	10	3
Aerowatt SA (FRANCIA) 150 FP7G	0.130	2.04	2	7.2	3.1
Aerowatt SA (FRANCIA) 100 FP5	0.100	3.2	2	5	3
Winflo (CANADA) Wingen Mod 30	0.030	1.0	10	11.2	-

CUADRO Nº 37 (Continuación)

AEROTURBINAS DE PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA

FABRICANTE Y MODELO	POTENCIA Kw	DIAMETRO DEL ROTOR m	Nº DE PALAS	VELOC. DISEÑO m/s	VELOC. MINIMA FUNCIONAMIENTO m/s
Aerowatt SA (FRANCIA)24FP7E	0.028	1.0	2	7.2	3.1
Zephyr Wind Dynamo Tetrahelix S	0.007	0.61	2	11.2	5.4

CUADRO Nº 38

AEROTURBINAS PARA BOMBEO DE AGUA CON TRANSMISION MECANICA

MODELO	CAPACIDAD (l/h)	ALTURA (m)	DIAMETRO DEL ROTOR (m)	VELOCIDAD DISEÑO (m/seg)	VELOCIDAD MINIMA FUNCIONAMIENTO (m/seg)
Aermotor 702 - 16	6434	30.5	4.88	9	4
Aermotor 702 - 14	3974	30	4.27	9	4
Dempster 14 - FT	-	-	4.27	6.7	2.2
Aermotor 702 - 12	2763	30	3.66	9	4
Aerog. Humblot (Francia) (Geanteol)	2500	10.0	3.5-4	10	2.5
Dempster 12 - FT	2384	33	3.66	6.7	2.2
Heller - Aller Baker 12	2271	30.5	3.66	6.7	3.15
Aerog. Humblot (Francia) (Lunioreol)	2000	15	1.75 a 2.75	10	2.5

CUADRO Nº 38 (Continuación)

AEROTURBINAS PARA BOMBEO DE AGUA CON TRANSMISION MECANICA

MODELO	CAPACIDAD (l/h)	ALTURA (m)	DIAMETRO DEL ROTOR (m)	VELOCIDAD DISEÑO (m/seg)	VELOCIDAD MINIMA FUNCIONAMIENTO (m/seg)
Aermotor 702 - 10	1779	30.5	3.05	9	4
Heller - Aller Baker - 10	1741	30.5	3.05	6.7	3.15
Dempster 10 - FT	1351	31	3.05	6.7	2.2
Aermotor 702 - 8	1230	29	2.44	9	4
Heller - Aller Baker - 8	946	30.5	2.44	6.7	3.5
Dempster 8 - FT	938	32.5	2.44	6.7	2.2
Bowjon 8 - FT	905	15	2.44	6.7	2.7-4.5
Aerog. Humblot (Supercadetol)	600	12	1.75	10	2.5

CUADRO Nº 38 (Continuación)

AEROTURBINAS PARA BOMBEO DE AGUA CON TRANSMISION MECANICA

MODELO	CAPACIDAD (L/h)	ALTURA (m)	DIAMETRO DEL ROTOR (m)	VELOCIDAD DISEÑO (m/seg)	VELOCIDAD MINIMA FUNCIONAMIENTO (m/seg)
Heller - Aller Baker - 6	567	30.5	1.83	6.7	3.15
Aerog. Humblot (Catedol)	500	6	1.75	10	2.5
Dempster 6 - FT	492	29	1.83	6.7	2.2
Aermotor 702 - 6	492	29	1.83	9	4
Sparco D	219	4	1.27	8	2.2
Sparco P	219	10	1.27	8	2.2
Lubing (Alemania) M-015-6	40	7.5	1.6	8	3
Lubing (Alemania) M-015-4	30	7.5	1.4	8	3

CUADRO N° 38 (Continuación)

AEROTURBINAS PARA BOMBEO DE AGUA CON TRANSMISION MECANICA

MODELO	CAPACIDAD (l/h)	ALTURA (m)	DIAMETRO DEL ROTOR (m)	VELOCIDAD DISEÑO (m/seg)	VELOCIDAD MINIMA FUNCIONAMIENTO (m/seg)
Lubing (Alemania) M-015-3	15	7.5	1.4	8	3

5.6.- Criterios de Diseño y Problemas Tecnológicos

El diseño de una aeroturbina está encaminado a obtener la máxima energía posible del viento de forma que su costo sea mínimo, aunque como es lógico ambos objetivos, máxima energía y mínimo costo, en toda máquina industrial están encontrados.

Para obtener la máxima energía, con un funcionamiento de la aeroturbina como el expuesto en el apartado 6, que hoy en día por la experiencia que se tiene parece el más idóneo, se necesita conseguir un adecuado diseño aerodinámico del rotor, que a su vez sea compatible con la resistencia estructural del mismo. Los parámetros principales que afectan al diseño del rotor son los ya indicados, λ , relación de velocidades ($\lambda = \omega R/V$) y C_p , coeficiente de potencia, así como los parámetros geométricos que tienen mayor incidencia en las actuaciones de la aeroturbina y en su costo, que son, el número de palas y el perfil utilizado en la pala, a través del parámetro L/D relación entre sus fuerzas de sustentación y resistencia. Por otra parte el diseño estructural así como el costo también están influenciados por el parámetro que representa la solidez del rotor haciendo intervenir la forma del mismo, este parámetro que se conoce por el nombre de "Activity Factor" A.F. viene dado por la expresión

$$A.F. = \frac{100.000}{32} \int_{\text{raíz}}^{\text{punta}} b/R(r/R)^3 d(r/R)$$

donde b es la cuerda de la sección a una distancia r del eje de giro y R el radio del rotor de la aeroturbina. Valores altos de este parámetro significan palas anchas y por tanto A.F. pequeños corresponderían a palas cuya resistencia estructural sería pequeña por lo que se ha llegado al criterio de que A.F. debe ser mayor de 15 por razones estructurales.

En cuanto al número de palas es evidente que el costo

vendrá reducido con el número de las mismas, en la figura nº 12 se ha representado la variación del coeficiente de potencia con el número de palas, suponiendo perfiles de las palas de resistencia nula, de donde se llega a la conclusión unida a la experiencia, de que 2 ó 3 palas es el número más conveniente, los rotores de una pala con un contrapeso aunque dan mayor rendimiento se eliminan por problemas de vibraciones; lo que se confirma observando las tablas del apartado 5.5.

La influencia del parámetro L/D en el valor de C_p , para diferentes valores de λ , se ha representado en la figura nº 13 y en ella se puede observar que prescindiendo de las zonas rayadas, la de la derecha debida a valores de A.F. < 15 y la de la izquierda por considerar que $\lambda < 6$ corresponde a valores pequeños de la velocidad de giro del rotor, que obligaría a costosos mecanismos multiplicadores, unido a tratar de conseguir C_p del orden de 0.4 induce a diseñar las aeroturbinas con valores de λ de alrededor de 10, L/D de 80 y A.F. de alrededor de 30, todo ello desde un punto de vista aerodinámico. Pero es evidente que el objetivo es que la aeroturbina tenga un buen diseño estructural, por supuesto compatible con el aerodinámico, y un bajo costo y esto, según puede verse de la literatura, hace que en la mayoría de los casos el diseño se aparte del óptimo aerodinámico, lo que puede reducir las actuaciones a lo máximo en un 10%.

Por sencillez de fabricación unido a buenas características aerodinámicas la forma en planta de las palas suele ser trapezoidal, dependiendo su forma exacta de los valores de A.F. y λ establecidos y en cuanto a la torsión de la pala suele ser inferior 20 grados en toda ella.

Uno de los problemas mayores que se presentan en el diseño de una aeroturbina es su cálculo estructural por la complejidad de fuerzas que se presentan y que en su mayoría no son estacionarias, lo que da lugar a esfuerzos no estacionarios en general acoplados.

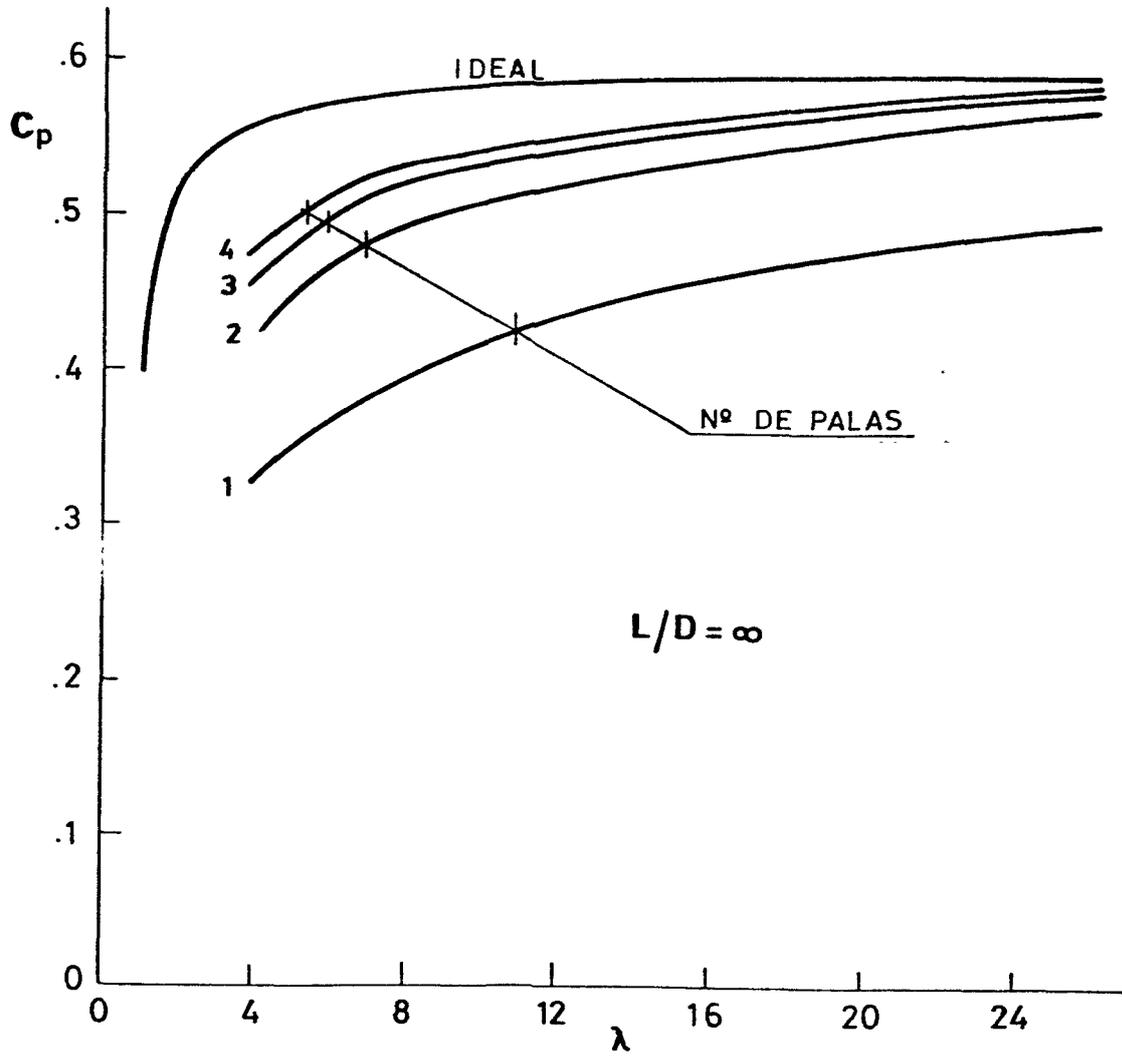


FIG. 12

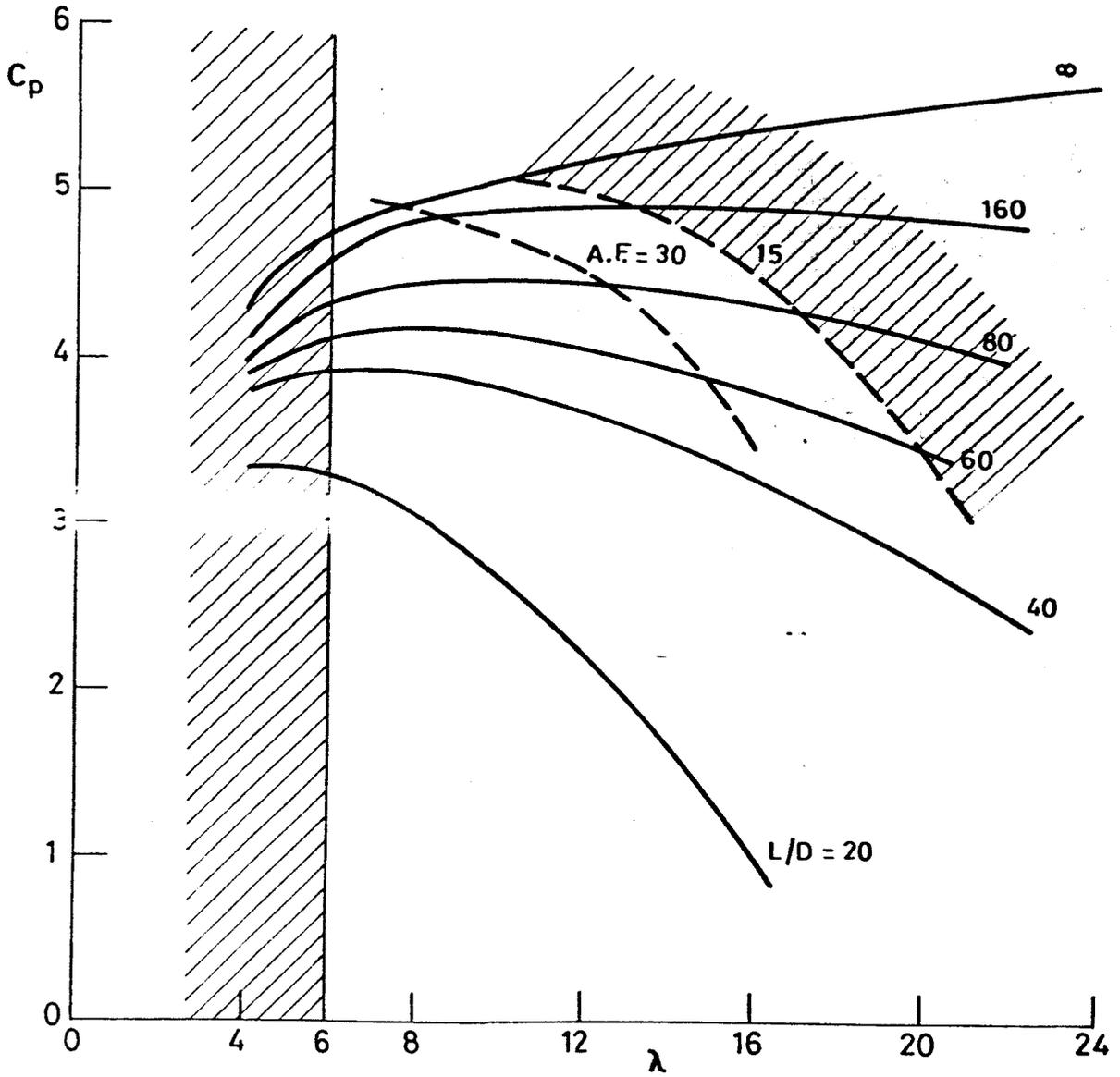


FIG. 13

A continuación se expondrá brevemente los tipos de fuerzas que actúan sobre el rotor, los problemas a que dan lugar y las directrices que en la actualidad se siguen para su solución.

Los principales tipos de fuerzas que se presentan en el rotor de una aeroturbina son: aerodinámicas, de inercia, gravitatorias y elásticas. Las aerodinámicas debidas al viento no son ni uniformes ni estacionarias ya que sobre las producidas por la componente media del viento ha de añadirse las debidas a la capa límite terrestre, las producidas por ráfagas y turbulencia y en caso de encontrarse el rotor a sotavento de la torre, las debidas al efecto de sombra de esta. Las fuerzas de inercia se deben en primer lugar a la fuerza centrífuga de bida al giro, la de Coriolis debida al giro y oscilación de el plano de giro, así como las giroscópicas que aparecen cuando estando girando el rotor la aeroturbina gira alrededor del eje de la torre para orien tarse al viento. Las fuerzas de gravedad son importantes si se trata de rotores grandes y producen esfuerzos de flexión.

Además de todas estas fuerzas, han de tenerse en cuenta las aerolásticas que se presentan debido a las deformaciones de la pa la y que producen inestabilidades aerolásticas como son la divergencia torsional y el flameo de flexión - torsión, producido este último por el acoplamiento de las fuerzas aerodinámicas no estacionarias de alta frecuencia con las fuerzas elásticas de flexión - torsión. Para que no se produzcan estos acoplamientos se requieren frecuencias altas por lo que deben conocerse las frecuencias y modos naturales del rotor tan to la flexión como la torsión y flexión - torsión.

De todo lo anterior puede deducirse que los principales problemas de las aeroturbinas pueden agruparse en: Aerodinámicos, Estructurales y De funcionamiento. Respecto a los primeros, en la actua lidad se dispone de métodos de cálculo de alta fiabilidad lo que hace que su importancia sea cada vez menor; es de hacer notar no obstante

que sería conveniente el disponer de características de perfiles de alto espesor relativo dado que por no usarse en aeronáutica sus características no están bien conocidas.

Quizá los problemas más graves sean los de tipo estructural, que son de mayor importancia a medida que se utilizan palas más grandes; por el contrario de los aerodinámicos su cálculo, además de ser más complicado, no dispone de métodos simples de alta fiabilidad, lo que implica el realizar una serie de ensayos una vez definida y construida la pala. En la actualidad las palas de los generadores pequeños suelen fabricarse por extrusión de aleaciones de aluminio y las grandes con técnicas similares a las alas de los aviones, no obstante con el fin de mejorar las actuaciones y poder cumplir los altos requerimientos estructurales que pueden presentarse, así como con el fin de hacer las palas más económicas, se está tendiendo a la fabricación de palas de materiales compuestos de matriz plástica como son las resinas epoxi reforzadas con fibra de vidrio o de grafito.

Por último los problemas de funcionamiento se derivan principalmente de la mayor o menor complejidad que puedan tener los sistemas de control de paso y orientación de la aeroturbina así como el acoplamiento de la aeroturbina propiamente dicha al generador eléctrico o en su caso a la bomba; en cuanto a la solución de estos problemas parece ser que últimamente, respecto a las aeroturbinas de mediana potencia, se tiende al uso de sencillos minicomputadores subsistiendo para las muy pequeñas la utilización de contrapesos.

6.- UTILIZACION DE AEROTURBINAS. CALCULO DE ENERGIA. SELECCION

6.1.- Funcionamiento

Las aeroturbinas se diseñan para un punto de funcionamiento definido por una velocidad de viento dada, que llamaremos velocidad de diseño, y unas revoluciones dadas, revoluciones de diseño, tales que la aeroturbina proporcione potencia máxima. En este apartado se trata de exponer el posible funcionamiento de una aeroturbina fuera de sus condiciones de diseño y de acuerdo con dicho funcionamiento indicar como puede calcularse la energía que se obtendría en un determinado lugar en el que se conozca la característica del viento.

En la figura nº 14 está representado el par producido por una aeroturbina en función de la velocidad angular del rotor, para diferentes velocidades de viento (aumentando dichas velocidades en el sentido de la flecha); también está representada la curva de potencia máxima y el posible punto de diseño (punto A), todo ello en el supuesto de que las palas estén orientadas de forma fija respecto al viento, lo que se conoce como palas con "paso fijo". En la figura nº 15 está representada la potencia suministrada por una aeroturbina dada, que funciona a revoluciones fijas, en función de la velocidad del viento y para distintos ángulos de paso (ángulos mayores en la dirección de la flecha) también se ha representado el punto A, de diseño.

Las modernas aeroturbinas funcionan con mecanismo de cambio de paso de forma que operan a velocidad de giro constante, lo cual nos indica, de acuerdo con las curvas de la figura nº 15, que para producir potencia constante a medida que la velocidad del viento sea mayor se deberá ir variando el paso y a velocidades menores de la de diseño la potencia disminuye según la curva correspondiente a "paso nulo". Tanto en este modo de funcionamiento como en cualquier otro existen dos velocidades límites, una inferior a la de diseño en la que la aeroturbina da par nulo, lo que llevaría consigo el que si se

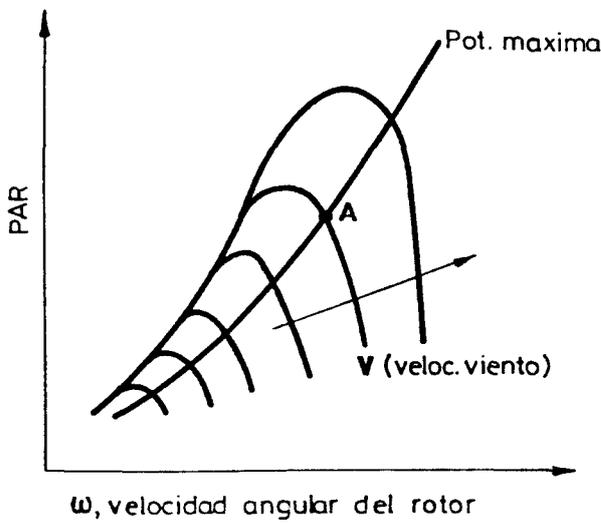


FIG. 14

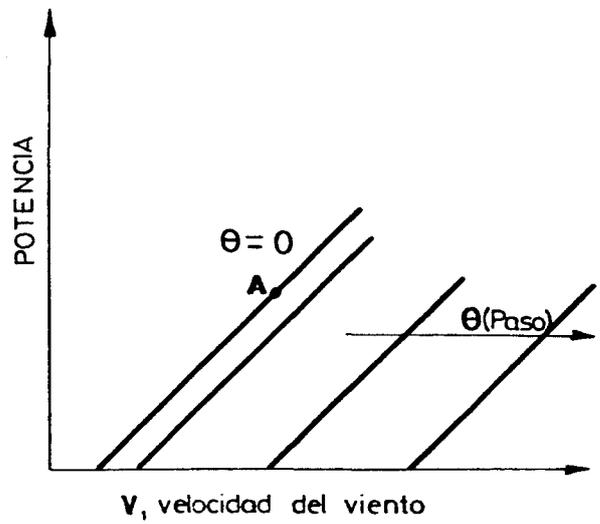


FIG. 15

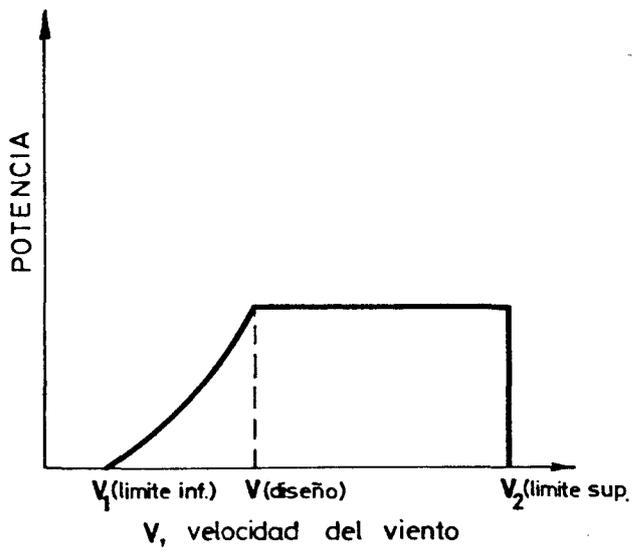


FIG. 16

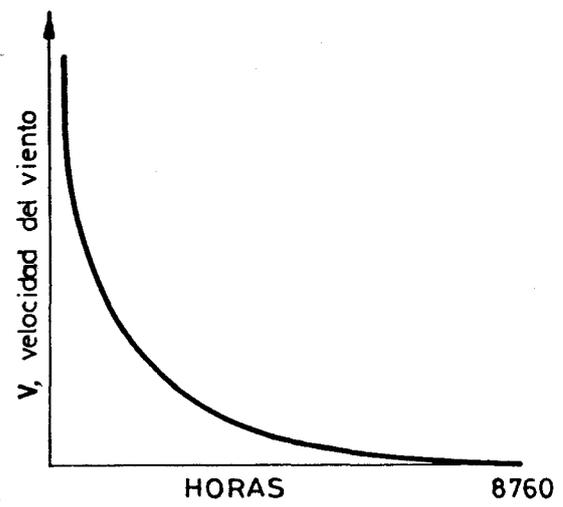


FIG. 17

permitiese funcionar a menores velocidades de viento la aeroturbina daría energía al viento en lugar de extraerla y otra velocidad límite superior, mayor que la de diseño inaceptable por producirse grandes esfuerzos en el rotor y que se evita, colocando las palas en "paso de bandera" al llegar a esas condiciones, debiendo indicar que "paso de bandera" significa que las palas se han girado de tal forma que el viento es incapaz de producir par sobre ellas.

Existen otros tipos de mecanismos para impedir el funcionamiento de las aeroturbinas para velocidades de viento superiores a una dada, como son el orientar el disco del rotor paralelo a la dirección del viento, la utilización de frenos aerodinámicos o incluso auténticos frenos de disco.

Otras aeroturbinas, de acuerdo con la figura nº 14, se les permite que varíen las revoluciones al variar la velocidad del viento procurando que esté próxima a la curva de potencia máxima, siempre de acuerdo con la curva característica del elemento de carga, sea éste una bomba en el caso de bombeo de agua, dínamo si se trata de generador de C.C., o generador síncrono o de inducción en el caso de producción de C.A. No obstante en este segundo caso si se dispone de mecanismo de cambio de paso, por encima de la velocidad de diseño se funciona a vueltas constantes.

De todo lo anteriormente expuesto se deduce que la potencia de un generador en función de las velocidades del viento es generalmente una curva como la representada en la figura nº 16, tal que, entre la velocidad de diseño y el límite superior, la aeroturbina da potencia constante y para velocidades entre la de diseño y el límite inferior la potencia varía según una curva que será diferente según el elemento de carga que esté acoplado a la aeroturbina. Aunque en las diferentes turbinas según su diseño, las relaciones entre la velocidad de diseño y los límites superior e inferior V_1 y V_2 son dife

rentes, suele verificarse que el límite inferior es algo inferior a la mitad y el límite superior a más del doble de la de diseño.

6.2.- Cálculo de la Energía

Conocido el funcionamiento de una aeroturbina se pasa a describir brevemente el cálculo de la energía que con ella podría obtenerse en un lugar del que se dispusiese de datos de viento.

Si los datos de viento coresponden a una cierta altura que no coincide con la altura a que se colocará la aeroturbina, deberán trasladarse los datos a dicha altura mediante la expresión

$$V = V_{\text{medida}} \left(\frac{H}{H_{\text{de medida}}} \right)^{0.167}$$

Una vez conocidas las velocidades del viento debe construirse la curva de duración de velocidad corespondiente al lugar de que se trata, y que representa las horas que en el lugar existe una velocidad igual o mayor a cada velocidad; en la figura nº 17 se ha representado una curva típica de duración de velocidad. Aún cuando las curvas de duración de velocidad varían de unos lugares a otros, para los lugares en donde el viento es adecuado para la colocación de una aeroturbina para usos agrícolas que suelen considerarse como ya se ha dicho aquéllos en los que la velocidad media es igual o superior a 5 m/seg. se ha obtenido una curva standard, (Fig.18), con la que se puede obtener la curva de duración de un lugar conociendo la velocidad media \bar{V} de dicho lugar; esta curva corespondiente a una ley de distribución "chi" dá buenos resultados para una primera aproximación de lugares en donde se sospecha hay alto potencial eólico y se conoce la velocidad media en el lugar.

Para obtener la energía que va a aprovechar la aeroturbina dada en el lugar en donde va a colocarse, se hará como sigue.

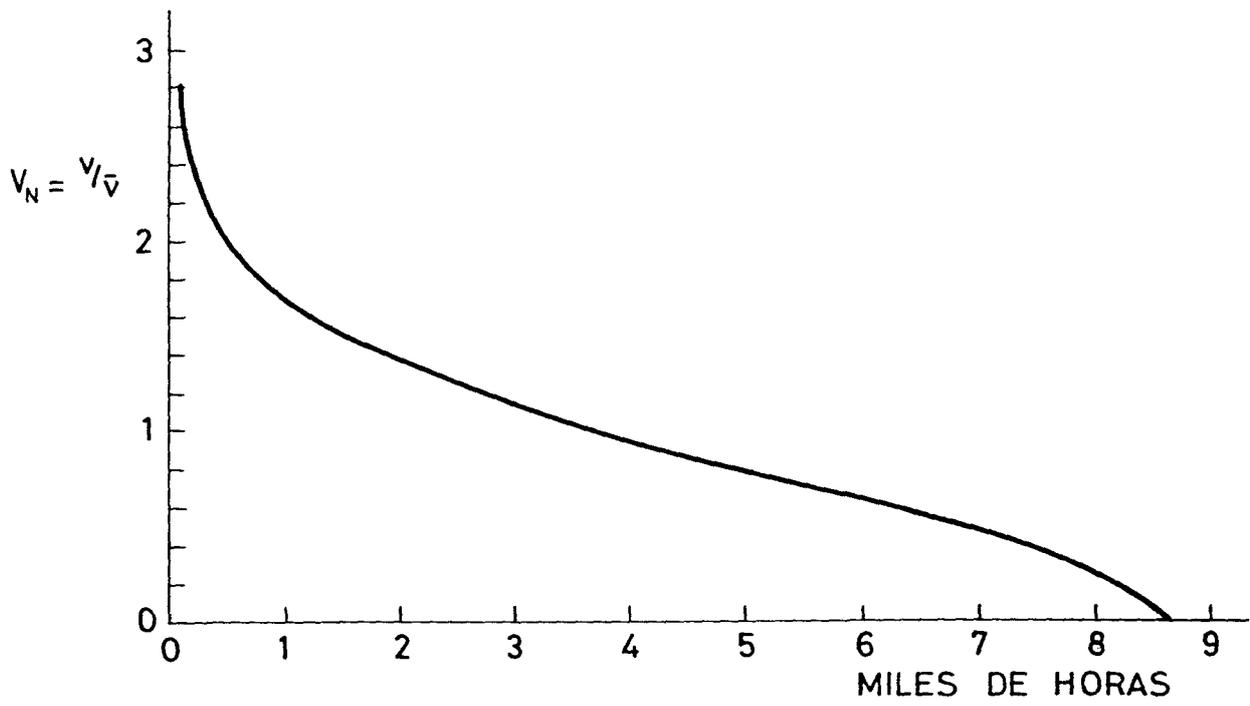


FIG. 18

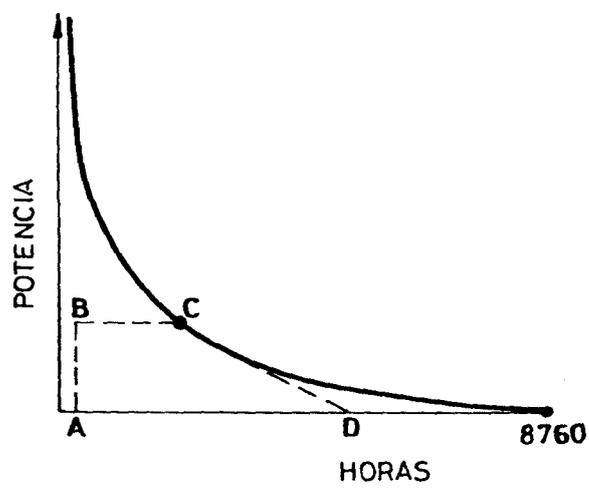


FIG. 19

Partiendo de la curva (Fig. 17) y con el C_p máximo o de diseño de la aeroturbina se dibujará la curva de duración de potencia para lo cual basta saber que la potencia viene dada por

$$C_p \frac{1}{2} \rho v^3 A$$

siendo V la velocidad del viento, ρ densidad del aire, A área del rotor.

Sobre esta curva que se ha representado (Fig. 19), se ha dibujado la de funcionamiento de la aeroturbina (curva de trazos) de la forma siguiente: A partir de la velocidad de diseño, como ya se ha indicado, la aeroturbina proporciona potencia constante por lo que se traza la recta horizontal (CB); para trazar la parte correspondiente a velocidades menores de la de diseño se ha operado de la siguiente manera, dada una velocidad de viento de la curva (Fig. 17) se obtienen las horas correspondientes a esa velocidad y de la curva (Fig. 16) y para esa misma velocidad, se obtiene la potencia; por último la línea vertical (AB) corresponde a las horas en que la velocidad de viento es superior a la velocidad límite superior en la que, como ya se ha indicado, la aeroturbina permanecerá en reposo. Obtenida la curva de trazos, el área encerrada indicará la energía que aprovechará la aeroturbina en el lugar indicado y la distancia AD nos indicará las horas de funcionamiento de la aeroturbina, de las cuales las representadas por la distancia BC serán aquéllas en las que se obtenga potencia máxima o de diseño.

6.3.- Selección

Como final de este apartado se han representado las curvas de la figura nº 20 en la cual y de acuerdo con el funcionamiento de las aeroturbinas se muestra, en primera aproximación, cuál debería ser el diámetro de la aeroturbina a utilizar para que en un lugar de

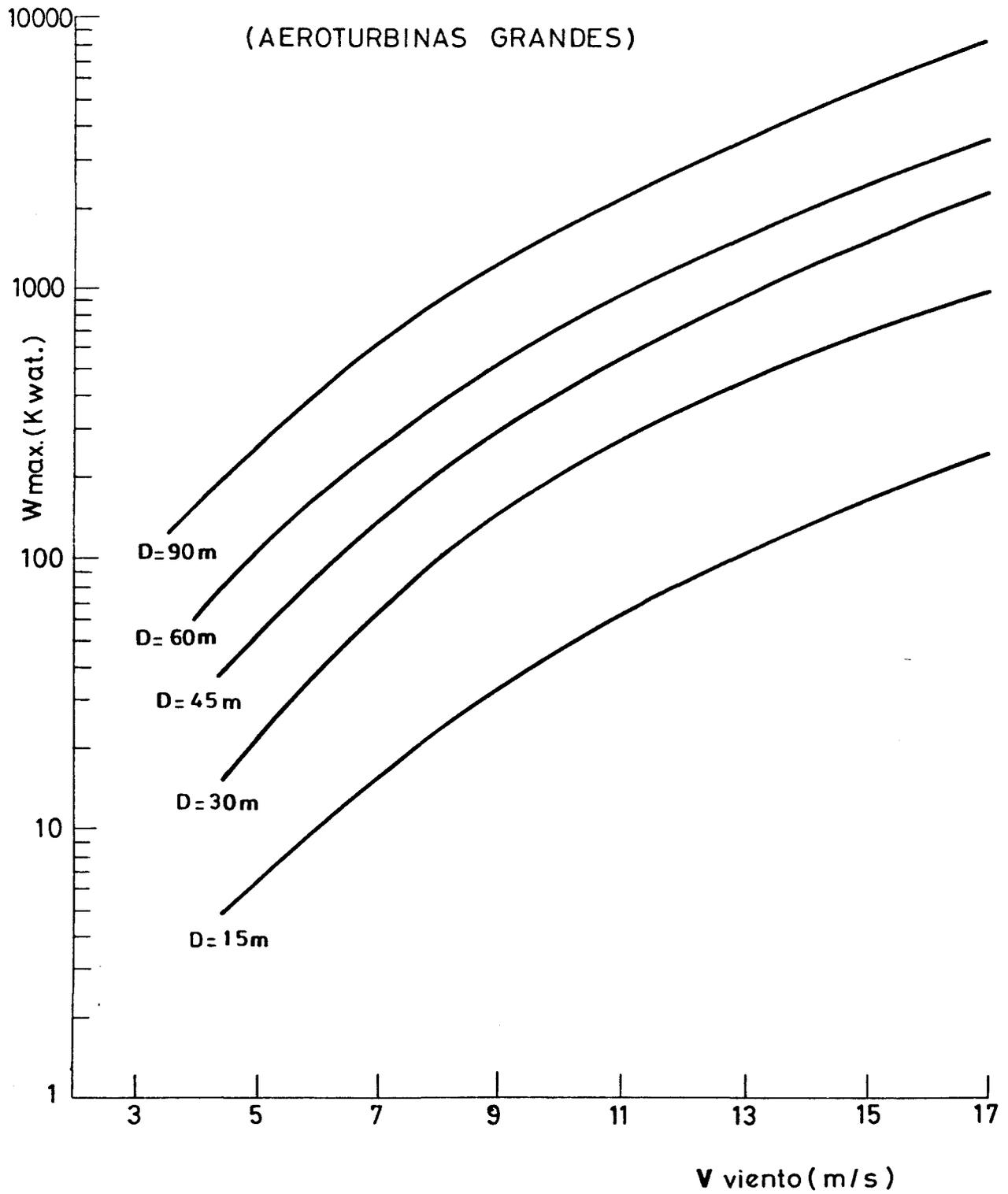


FIG. 20 a

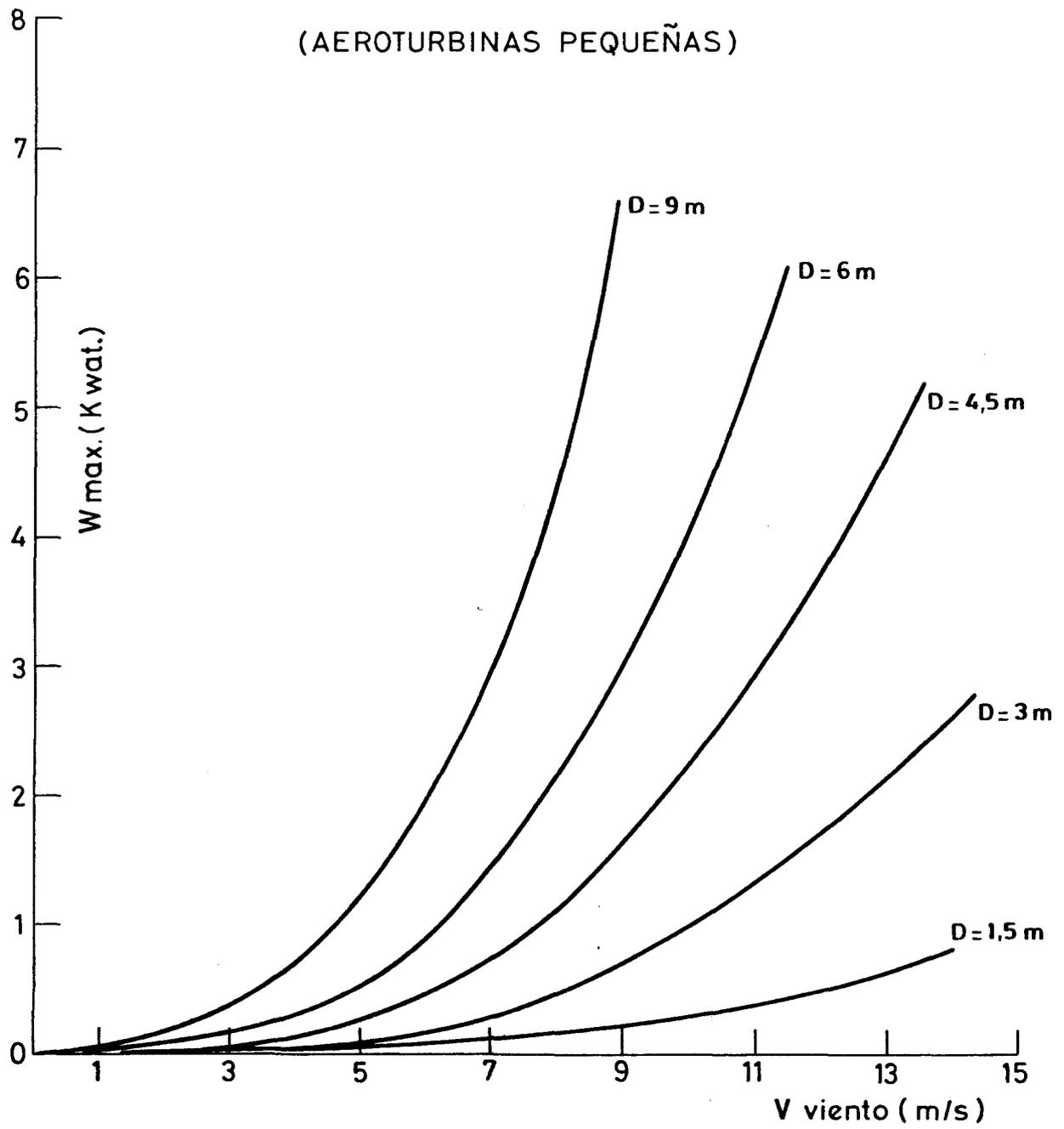


FIG. 20 b

velocidad de viento V se obtuviese una cierta potencia máxima.

Se han dividido las aeroturbinas en dos grupos, las pequeñas, es decir aquéllas de potencias inferiores a 10 Kw y rotores no mayores de 10 m de diámetro y el resto a las que se les denominó grandes.

7.- PROBLEMAS TECNICO ECONOMICOS DE ACUMULACION DE ENERGIA

7.1.- Consideraciones Preliminares

El problema de acumulación de la energía obtenida a partir de la energía eólica, como sucede con la energía obtenida a partir de la energía solar directa, es un problema crítico ya sea por el tamaño, peso o por el coste del sistema de acumulación.

En general existen muchas posibilidades y la solución óptima depende de gran cantidad de variables. En conexión con las aplicaciones de la energía eólica para el riego de tierras de producción agrícola, se considera que los sistemas de acumulación de energía más factibles o prometedores son los siguientes:

- a) Sistema de acumulación de agua en balsas
- b) Baterías
- c) Sistema de almacenamiento de aire comprimido
- d) Volantes de inercia

La decisión final sobre el tipo de sistema a utilizar debe tomarse después de un estudio detallado de cada caso particular. Así por ejemplo, se puede pensar que en el caso de pozos de pequeña profundidad el sistema idóneo es la batería de plomo-ácido, o el sistema de aire comprimido en el caso de que existan cavernas subterráneas en el lugar; mientras que en el caso de pozos profundos el sistema óptimo puede ser una combinación del sistema de balsa de regulación y red de baterías.

A continuación se procede al estudio de cada uno de los sistemas de acumulación indicados, analizando tanto el estado técnico y económico actual, como las perspectivas futuras.

7.2.- Acumulación de Agua en Balsas

Normalmente el agua utilizada para el riego de cultivos por el sistema de aspersión, procede de pozos de profundidad variable. En este caso el sistema de bombeo puede ser dividido en dos etapas, una para elevar el agua hasta la superficie y otra para comprimir y transportar el agua hasta el punto de utilización.

La energía necesaria para elevar el agua hasta la superficie puede ser acumulada mediante el almacenamiento de agua en balsas artificiales ya que de esta forma el período de tiempo empleado para el riego ya no tiene por qué coincidir con el empleado para la extracción del agua del pozo.

Modernamente las balsas para acumulación de agua se construyen recubriendo el vaso excavado en el terreno con láminas impermeables de polietileno o de butilo, resultando así de construcción rápida y relativamente económica (véase cuadro nº 39). Teniendo en cuenta que la energía acumulada por unidad de volumen es igual al aumento de energía potencial por unidad de volumen, correspondiente a la diferencia de alturas entre la superficie y el nivel del agua del pozo, se ha elaborado el cuadro nº 40, en el que se muestran los costes de acumulación de energía mediante este procedimiento. Hay que señalar que a estos costes deben de añadirse los del terreno.

En algunas ocasiones es necesario disponer de una balsa de regulación ya sea para independizar el caudal de riego del de extracción del pozo, o bién para acondicionar la temperatura del agua de riego a la de la zona de cultivo. En estos casos, es obvio que la acumulación de energía por el almacenamiento de agua en estas balsas de regulación se realizaría sin coste alguno, siendo el sistema idóneo.

CUADRO Nº 32

COSTES DE CONSTRUCCION DE BALSAS

CAPACIDAD (m ³)	COSTE MOVIMIENTO DE TIERRAS (pts/m ³)	COSTES LAMINA IMPERMEABILIZANTE (pts/m ²)		COSTE TOTAL (pts/m ³)	
		POLIETILENO	BUTILO	POLIETILENO	BUTILO
Inferior a 10.000	80 a 100	380	650 - 700	330 - 350	530 - 565
De 10.000 a 20.000	70	380	600	320	465
De 20.000 a 50.000	50	380	550	300	410

CUADRO Nº 40

COSTES ACUMULACION DE ENERGIA EN BALSAS

PROFUNDIDAD DEL POZO (m)	DENSIDAD DE ENERGIA ACUMULADA EN LA Balsa (w.h/m ³)	COSTE DE LA ENERGIA ACUMULADA SEGUN CAPACIDAD BALSA Y TIPO DE LAMINA IMPERMEABILIZANTE (pts/Kw.h)							
		Volumen 10 ⁴ m ³		10 ⁴ a 2 x 10 ⁴ m ³		2 x 10 ⁴ a 5 x 10 ⁴ m ³			
		POLIETILENO	BUTILO	POLIETILENO	BUTILO	POLIETILENO	BUTILO	POLIETILENO	BUTILO
15	41	8300	13450	7800	11310	7320	10030		
25	69	4950	8020	4640	6730	4350	5960		
50	138	2465	3400	2320	3365	2175	2980		
75	208	1635	2650	1540	2235	1445	1980		
100	277	1265	2050	1155	1675	1085	1485		
150	416	820	1330	770	1120	720	985		
200	555	615	1000	575	840	540	740		
250	694	505	818	460	670	435	595		
300	833	410	665	385	560	360	495		

7.3.- Baterías

Las baterías constituyen el método de acumulación de energía más familiar en la actualidad. Generalmente se utilizan para almacenar relativamente pequeñas cantidades de energía en forma distribuida, siendo el mejor ejemplo la batería de arranque de los automóviles. Se estima que la energía almacenada en las baterías de los automóviles es del orden de 5×10^4 Mw.h. La acumulación de la energía obtenida a partir del viento mediante baterías requiere unidades de mayor tamaño pero la idea es similar al caso de automoción.

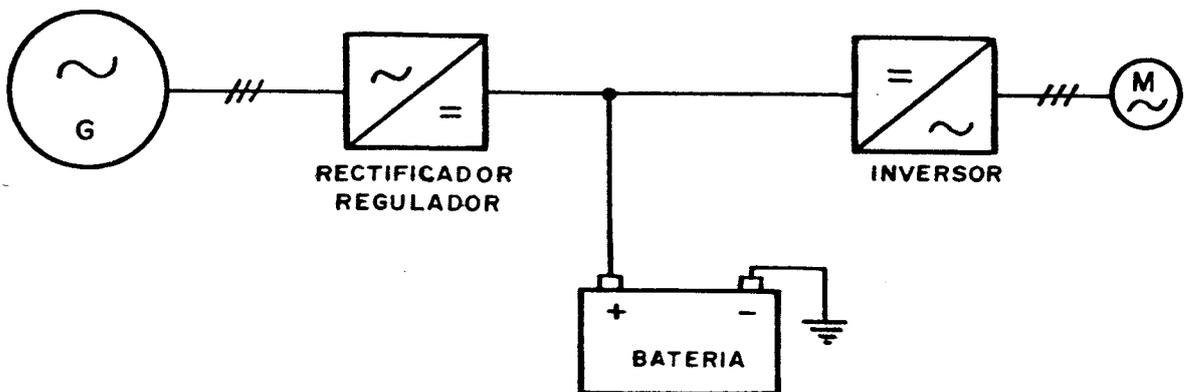


FIG.-21-Sistema de acumulación de energía por baterías.

En la figura se representa un esquema de bloques del circuito adecuado para esta finalidad. La corriente alterna producida por el generador acoplado a la aeroturbina, una vez rectificada y regulada, se emplea para cargar la batería. En cambio la corriente continua procedente de la batería es transformada en alterna mediante el inversor, para alimentar el motor de la bomba durante los períodos de utilización de la motobomba sin viento. Hay que mencionar la posibi-

lidad de alimentación directa generador - motobomba, sin pasar por elementos de conversión y batería, cuando coinciden períodos de viento y de utilización de la bomba sin más que acoplar al sistema un dispositivo automático de control. De esta forma se mejora el rendimiento global del sistema. También cabe la posibilidad de prescindir del inversor, siempre y cuando se acciona la bomba con un motor de corriente continua.

El uso de baterías resulta atractivo como consecuencia de su simplicidad, utilización casi instantánea y facilidad de mantenimiento. Además pueden ser fabricadas en forma modular, no producen emisiones noxivas y no requieren situaciones geográficas apropiadas como sucede con el sistema de almacenamiento mediante aire comprimido como se describirá posteriormente.

El coste de las baterías está determinado por una parte por su tamaño, es decir cantidad total de energía a almacenar y por otro por la vida o duración de la batería. La vida de la batería depende fundamentalmente del número total de ciclos (carga - descarga), de la velocidad a la que la batería se carga y descarga y de la profundidad de descarga, o fracción de la energía total utilizada en el proceso de descarga. Puesto que los diseños que tienden a maximizar la vida también originan mayores costes, será necesario probablemente optimizar la batería para coste mínimo para una instalación particular.

En general, se consideran tres clases de baterías: batería convencionales, que representan el estado actual de la técnica y baterías de metal - gas y metales alcalinos. Estas dos últimas en estado de desarrollo, representan las posibilidades futuras de avance.

En el cuadro nº 41 se presentan las características y tipos más interesantes de las baterías convencionales. La batería de plomo - ácido es considerada como base de comparación, no se prevee

CUADRO Nº 41

CARACTERISTICAS DE LAS BATERIAS CONVENCIONALES

TIPO	CARACTER. ENERG.		VIDA (ciclos)	COSTE (pts/Kw.h)	PROBLEMAS
	W.h./Kg	W/Kg			
Plomo - Acido	30	45 - 65	1.500	6000 - 8000	
Niquel - Hierro	55	110	?	8000	Mantenimiento, Rendimiento
Niquel - Zinc	65	330	200 - 400	Igual Plomo - Acido	Vida

una reducción del coste en un futuro puesto que la técnica de fabricación está muy establecida y su producción es ya masiva. Una versión moderna de la batería de níquel - hierro se encuentra en fase de desarrollo, pero los problemas de mantenimiento con frecuentes aportes de agua parecen descartarle. Las características energéticas de las baterías de níquel - zinc son mejores que las de las baterías de plomo - ácido con un coste similar, pero su vida se reduce solamente a 200 - 400 ciclos. En resumen, en el momento actual la batería de tipo convencional más adecuada para acumulación de energía es la batería de plomo - ácido.

Las baterías del tipo metal - gas, (cuadro nº 42), superan al menos de 4 a 5 veces la densidad de energía de la batería de ácido - plomo, de ahí su interés. Actualmente se encuentran en fase de desarrollo. La batería de zinc - cloro, fabricada por "Udylite Corporation" para accionar un automóvil eléctrico resulta muy atractiva. Los costes de los materiales son relativamente baratos y aunque su vida no esté claramente establecida este tipo de batería posee excelentes posibilidades para sustituir a la de plomo - ácido a corto plazo.

Ultimamente el interés se centra en las baterías de metales alcalinos como las presentadas en el cuadro nº 43. Densidades energéticas de 220 W.h/Kg, así como densidad de potencia de 220 W/Kg, parecen razonables, siendo los materiales básicos abundantes y baratos. No obstante se prevee que como consecuencia de las técnicas de fabricación los costes serán del orden de 600 a 1.800 pts/W.h., requiriéndose además el desarrollo durante un mínimo de 10 años hasta la puesta a punto necesaria para una producción a gran escala.

Los costes del sistema rectificador de carga - inversor se dan en el cuadro nº 44, para distintas potencias de entrada.

CUADRO Nº 42

CARACTERISTICAS DE LAS BATERIAS METAL - GAS

TIPO	CARACTER. ENERG.		PROBLEMAS
	W.h/Kg	W/Kg	
Hierro - Aire	90 - 110	20 - 45	Corrosión catódica, vida
Zinc - Aire	90 - 110	20 - 45	Vida, coste
Niquel - Hidrógeno	65 - 90	?	Volumen, vida
Zinc - Oxígeno	110-130	20 - 65	Vida, coste
Cadmio - Oxígeno	65 - 90	?	Vida, coste
Zinc - Cloro	111-165	90 - 130	Vida

CUADRO Nº 43

CARACTERISTICAS DE LAS BATERIAS DE METALES ALCALINOS

TIPO	CARACTER. ENERG.		VIDA (ciclos)	PROBLEMAS
	W.h/Kg	W/Kg		
Sodio - Azufre	175 - 220	175 - 220	200 - 2000	Vida, Coste
Sodio - Azufre	175 - 220	175 - 880	100	Vida, Materiales, Estabilidad
Litio - Azufre	220	220	2000	Coste
Litio - Cloro	110	220	100	Vida

CUADRO Nº 44

COSTES SISTEMA: RECTIFICADOR INVERSOR

POTENCIA	5	10	15	20
Coste Rectificador (pts)	350.000 - 500.000	390.000 - 515.000	500.000 - 580.000	560.000 - 650.000
Coste Inversor (pts)	780.000 - 1.400.000	1.000.000 - 1.500.000	1.400.000 - 1.800.000	1.900.000 - 2.100.000

7.4.- Acumulación de Energía mediante Aire Comprimido

El sistema de acumulación de energía por aire comprimido se ilustra en la figura nº 22. Esencialmente pueden distinguirse tres componentes, el compresor con su motor eléctrico de arrastre, una turbina o motor neumático y un depósito. En la fase de acumulación de energía, el motor, alimentado con la energía eléctrica producida por el funcionamiento de la aeroturbina, arrastra el compresor y el aire comprimido obtenido es almacenado en el depósito. Cuando el aire comprimido almacenado en el depósito se expande en la turbina se obtiene la potencia necesaria para accionar una bomba para el riego, como en el caso que nos ocupa, o bien para accionar un generador eléctrico si se desea obtener energía eléctrica.

Una variante del sistema descrito consiste en calentar el aire comprimido mediante la combustión, en una cámara de combustión continua, con algún combustible antes de su expansión en la turbina. De esta forma se aumenta considerablemente la potencia obtenida con un consumo de combustible reducido.

El elemento crítico del sistema es el depósito de aire presurizado. En el caso de depósitos de volumen constante se necesitarían del orden de 5 m^3 por Kw.h., de energía acumulada para una presión máxima de 12 Kg/cm^2 y una presión de utilización de 4 Kg/cm^2 . Los depósitos artificiales resultan voluminosos y caros.

Las cavernas subterráneas pueden ser una solución factible para resolver el problema de almacenamiento del aire a presión. En el caso que ilustra la figura, la capacidad del depósito por unidad de energía almacenada disminuye por cuanto el volumen de aire almacenado es ocupado por el agua y de esta forma la presión del depósito se puede mantener prácticamente constante .

Se considera que este sistema de acumulación de la energía obtenida a partir de la energía del viento es el más atractivo

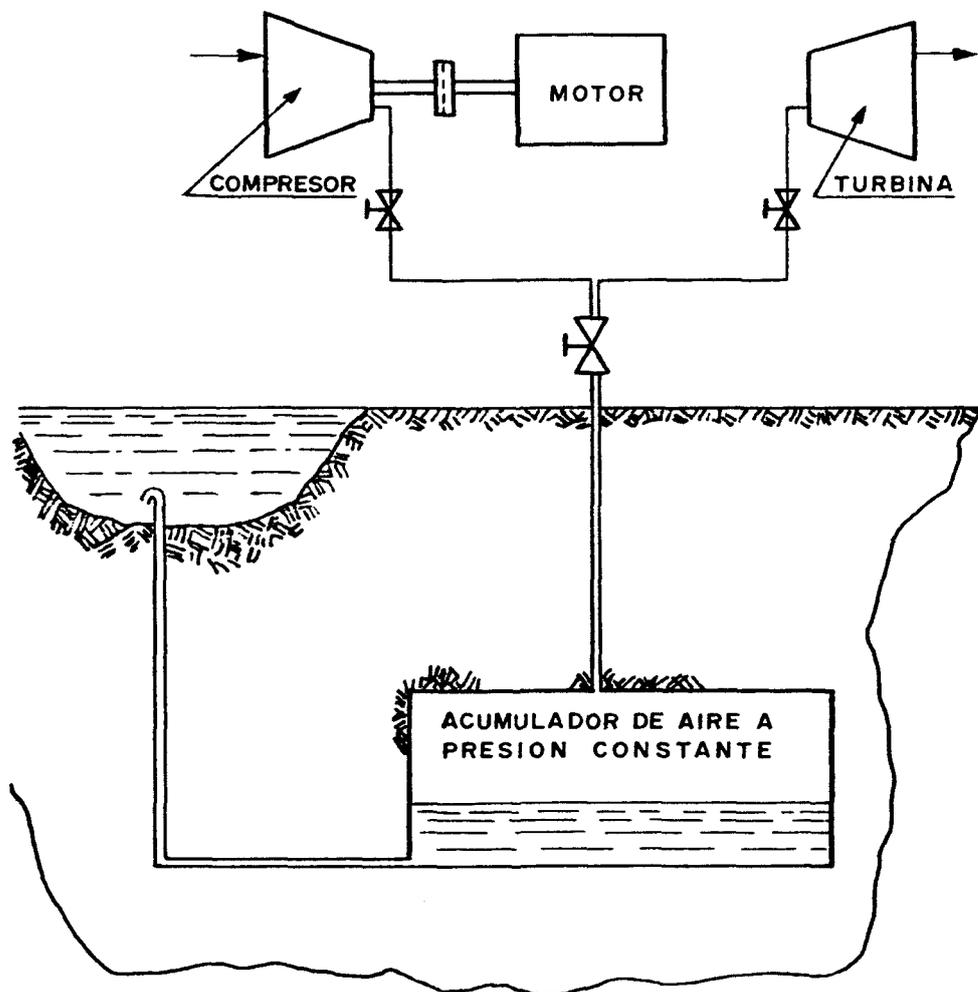


FIG.-22.-Sistema de acumulación de energía por aire comprimido.

para potencias instaladas del orden de 50 a 100 Mw.

En instalaciones de pequeñas potencias (5 - 20 Kw), pueden utilizarse compresores y turbinas de paletas. Se estima que el coste total de ambos elementos varía entre 18.000 y 22.000 pts. por Kw. de potencia instalada, de forma que el coste de la inversión para una instalación de 10 Kw. sería de unas 200.000 pts, problemas de depósito de acumulación de aire comprimido aparte.

7.5.- Volantes de Inercia

Hasta hace poco el uso de volantes como sistema de acumulación de energía ha estado limitado a muy pocas aplicaciones. Las principales desventajas de estos sistemas eran baja densidad de acumulación de energía (alrededor de la décima parte de la de las baterías plomo-ácido), bajo rendimiento a causa de las pérdidas por dissipación, y riesgo por rotura.

Como consecuencia de los avances de la moderna tecnología se ha conseguido mejorar la densidad de energía acumulada hasta niveles comparables a los de las baterías de plomo-ácido. Así mismo se han obtenido mejores e importantes reducciones en la energía disipada a través de los cojinetes, retenes y resistencia aerodinámica, elevándose en consecuencia el rendimiento de utilización de energía acumulada.

Vamos a analizar brevemente el funcionamiento del volante como sistema de acumulación de energía. La energía cinética almacenada en un volante que gira alrededor de su eje con una velocidad angular ω , y cuyo aumento de inercia respecto al eje de giro es I , resulta ser

$$E = \frac{1}{2} I \omega^2$$

En consecuencia, si con R designamos el radio de giro del volante la densidad de energía o la energía acumulada por unidad de masa M , será

$$\frac{E}{M} = \frac{1}{2} \frac{I}{M} \omega^2 = \frac{1}{2} R^2 \omega^2 \quad (1)$$

Por otro lado tendremos en cuenta que el esfuerzo de trabajo del material del volante, de densidad ρ_M , depende fundamentalmente del esfuerzo centrífugo. Así mismo el esfuerzo de trabajo máximo está ligado al esfuerzo de rotura del material σ_R , a través del

coeficiente de seguridad, por lo que podemos escribir

$$\sigma_R \propto \rho_M \omega^2 \quad (2)$$

Al eliminar ω , entre las relaciones (1) y (2) obtendremos

$$\frac{E}{M} \propto \frac{\sigma_R}{\rho_M} \quad (3)$$

Las relaciones (1) y (3) permiten analizar las posibilidades del volante como sistema de acumulación de energía. En primer lugar se observa que es posible utilizar el 75% de la energía cinética almacenada en el volante (si se desprecian las pérdidas por fricción) con una reducción de la velocidad angular de giro del 50%. Por otro lado la densidad de energía acumulada en un volante, para una geometría y a un coeficiente de seguridad determinado, depende exclusivamente del material y concretamente de la relación σ_R/ρ_M .

CUADRO Nº 45

MATERIAL	DENSIDAD ENERGIA TEORICA (W.h/Kg)	DENSIDAD ENERGIA REAL (W.h/Kg)		
		15 Kg	700 Kg	217.440 Kg
Acero	20 - 45	25	15	2
Aleaciones de Titanio	30			
Materiales Compuestos	45 - 110			

En el cuadro nº 45 se presentan las densidades de acumulación de energía máximas teóricas de varios materiales con fines comparativos. En la práctica los valores indicados disminuyen como consecuencia del coeficiente de seguridad. El coeficiente de seguridad

aumenta con el tamaño del volante por razones de tipo práctico. Los valores reales que figuran en el cuadro nº 45 para el caso del acero están tomados de realizaciones existentes en diversos proyectos.

Los costes actuales de este sistema no son todavía competitivos con los de los anteriores. Las perspectivas futuras son sin embargo prometedoras. El desarrollo del concepto del supervolante permitiría mejorar el aspecto de seguridad y la densidad de energía acumulada, así como también disminuir los costes de adquisición y mantenimiento del sistema.

La idea del supervolante se esquematiza en las figuras 23a y 23b. El elemento básico lo constituye una varilla delgada que se monta en una lámina ranurada según se muestra en la figura nº 23c. Las capas adyacentes de láminas con sus varillas están montadas a 90º unas con respecto a las otras para obtener la configuración que se muestra en la figura nº 23d.

La rotura de cualquier varilla representa una pequeña cantidad de energía total del rotor, e incluso si todas las varillas se rompieran simultáneamente su distribución alrededor de la periferia sería uniforme; de esta forma la concentración de esfuerzos originada por la rotura de piezas en la estructura de confinamiento se minimiza.

En contraste, la concentración de esfuerzos originada por la rotura de un volante sólido convencional, sobre la estructura de confinamiento, puede llegar a ser varios miles de veces mayor, puesto que (típicamente) la rotura se produce en tres grandes piezas, en lugar de miles de piezas pequeñas.

Otra ventaja que deriva de la configuración del supervolante es que este permite la utilización de filamentos de materiales compuestos como las fibras B y PRD-49 de Dupont.

Finalmente debe considerarse que la combinación aeroturbina - supervolante resulta más eficiente que la combinación de la

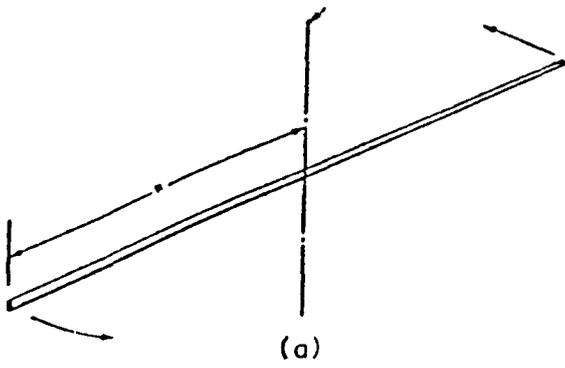


FIG.-23.- Elemento básico del supervolante.

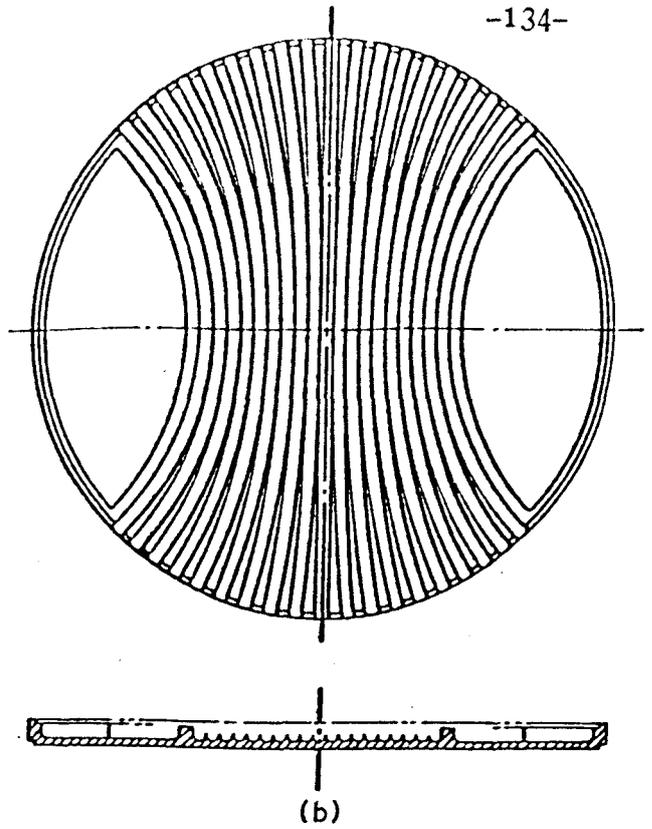
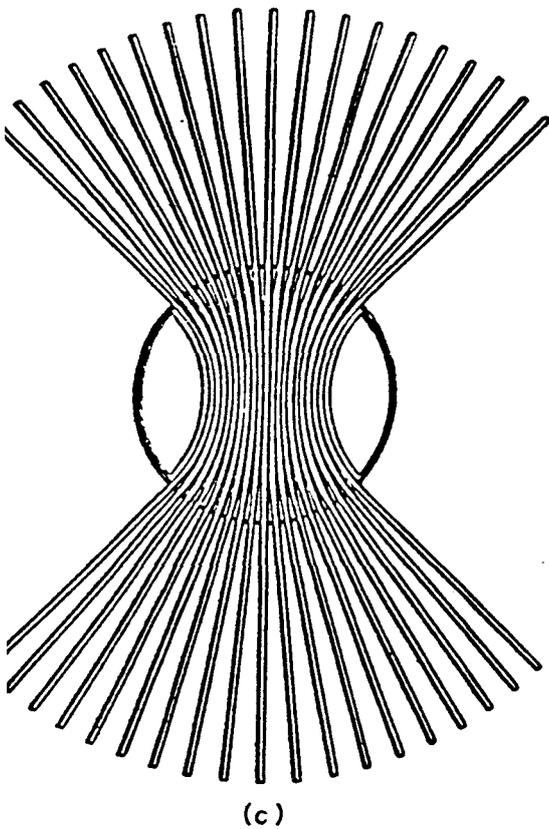


FIG.-23.- Lámina ranurada soporte.



-23.- Lámina de soporte con varillas.

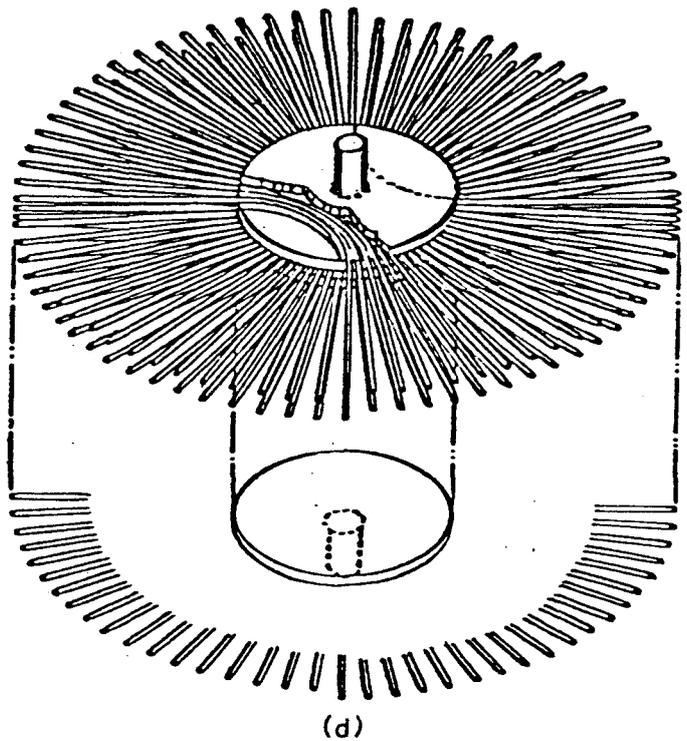


FIG.-23.- Configuración del supervolante.

aeroturbina con cualquier otro tipo de sistema de acumulación de energía. Esto deriva del hecho que la energía producida por la turbina puede ser transmitida directamente al supervolante a través de engranajes y ejes de gran rendimiento. El supervolante, a su vez, puede ser conectado directamente a un alternador ya que existen varios tipos de alternadores capaces de producir un voltaje y frecuencia constantes en un margen de variación de la velocidad de giro V hasta el 50% de la nominal.

8.- COSTO

8.1.- Costos de la Energía Producida por las Aeroturbinas

El costo de la energía producida en una planta de potencia viene dada por una expresión de la forma:

$$\text{Coste (Ptas/Kwh)} = \frac{C_I \times A}{8760 F} + C_E = \frac{C_I \times A}{8760 F} + C_C + C_O + C_M$$

en la que:

C_I = Coste de inversión en ptas. (aeroturbina más coste de instalación)

A = Anualidad en % de C_I (amortización con intereses y seguros en su caso).

F = Factor o coeficiente de utilización (8760 F = energía anual producida en Kwh).

C_E = Costes de explotación, compuestos de:

C_C = Coste del combustible, en ptas/Kwh.

C_O = Coste operacional (mano de obra principalmente), en ptas/Kwh.

C_M = Coste de mantenimiento, en ptas/Kwh.

En una aeroturbina los costes de explotación se reducen prácticamente a los costes de mantenimiento, que se estiman en el 1% anual del coste de inversión para las aeroturbinas de eje horizontal, siendo aún menor para las de tipo Darrieus.

El coste de la energía producida por aeroturbinas depende, pues, esencialmente de sus costes de inversión, energía producida por la aeroturbina y vida de la misma.

El coste de inversión corresponde fundamentalmente al de la aeroturbina, en el que puede especificarse por separado el coste de la torre. Además hay que tener en cuenta los costes de instalación que son muy variables y que en casos excepcionales pueden llegar a ser del

orden del 20% del coste de la aeroturbina, aunque normalmente son menores. El coste de la torre es siempre pequeño, inferior al 10% del coste de la aeroturbina.

En la figura nº 24 están representados los costos por Kw de aeroturbinas, disminuyendo este coste al aumentar la potencia de la aeroturbina.

En esta figura se han representado por puntos los valores correspondientes a diferentes tipos de aeroturbinas de varias casas constructoras con precios actuales. También está representado por una línea de trazos los precios obtenidos de la referencia 1, habiéndose puesto los precios actualizados. Aparece también en la curva de punto y raya los valores correspondientes para grandes turbinas prototipos, por último con líneas horizontales se han expresado los valores que se esperan conseguirse para los diferentes tamaños de aeroturbinas, datos éstos últimos expuestos en el Wind Energy Workshop celebrado en Abril de 1.979 en Washington.

Como dato de partida se ha fijado un coste de 125.000 pts/Kw para aeroturbinas de 8 Kw de potencia, en el que se incluye el coste de la torre. Se añadirá un valor medio del coste de instalación igual al 10% del coste de la aeroturbina, resultando un total de 137.500 pts/Kw para la aeroturbina instalada.

En cuanto a la vida de la aeroturbina se ha fijado en 15 años, valor conservativo, ya que hoy día se diseña en algunos casos hasta para 30 años de vida.

Para el cálculo de la energía producida por la aeroturbina, se fijará una velocidad de diseño de 10 m/seg, y una velocidad límite inferior de 4.3 m/seg, que corresponde a unos 50 W/m² de media anual.

Para el cálculo de la energía producida por la aeroturbina, se han considerado tres regiones eólicas diferentes con velocidades me dias de 6, 8 ó 10 m/seg., de acuerdo con las velocidades que se elige

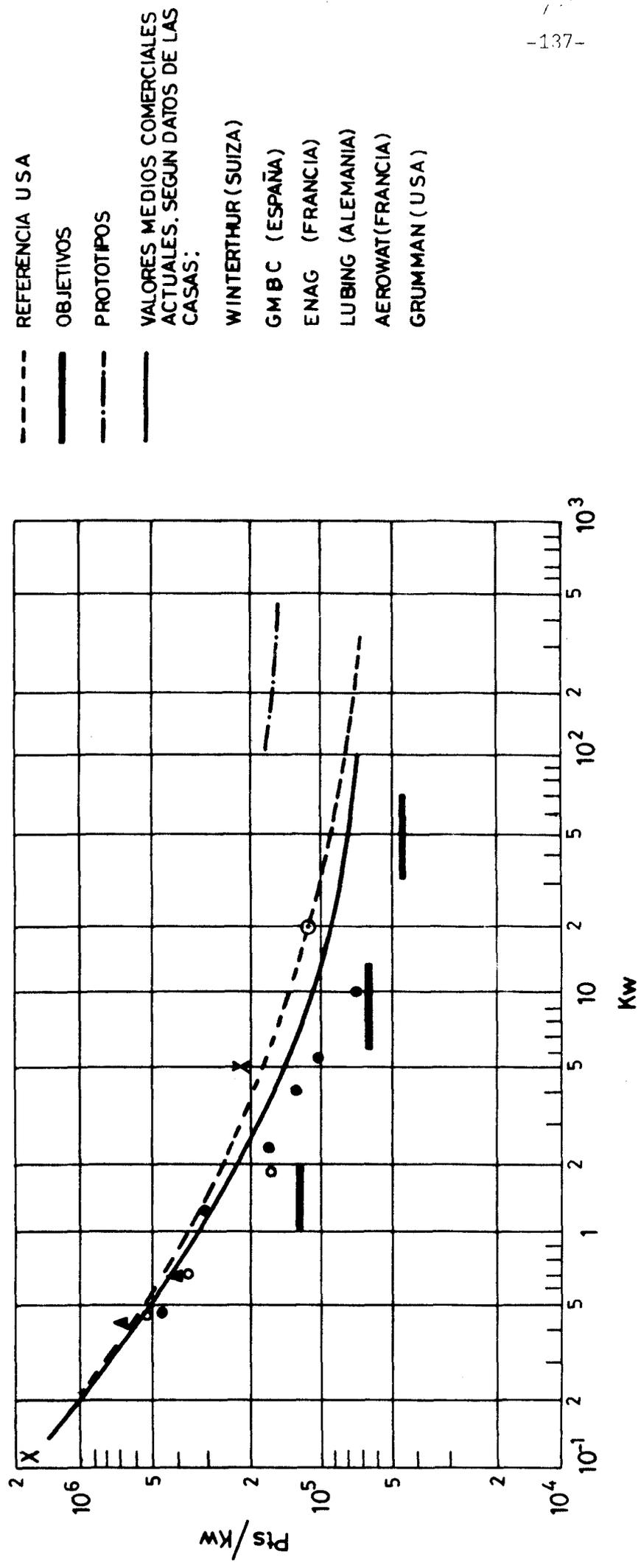


FIG. 24

ron en las tablas de medidas de viento en las diferentes regiones españolas. Para obtener el número de horas en que existe un viento de velocidad igual o superior a una dada se ha utilizado la figura nº 18. Con todo lo anterior se obtienen los datos del siguiente cuadro en el que se expresan las citadas horas.

CUADRO Nº 46

Veloc. media del lugar \bar{V} m/seg	Punto de diseño $V_N = V/\bar{V}$	Punto de veloc. mínima $V_N = V_1/\bar{V}$
10	4000 horas	7300 horas
8	2700 horas	6500 horas
6	900 horas	4700 horas

Para calcular la energía obtenida a partir de estos datos se ha supuesto que la aeroturbina tiene un funcionamiento como el descrito en el apartado 6.2 en la figura nº 19 tomando una forma típica para la nueva CD^* y despreciando la energía que se obtendría por encima del viento de corte. Con todo ello resulta respectivamente para cada región eólica los siguientes valores de producción anual de energía:

5.650 Kw.h/Kw, 4.600 Kw.h/Kw, 2.800 Kw.h/Kw.

Las energías anuales producidas con aeroturbinas de eje horizontal puede también obtenerse aproximadamente mediante la fig. 25.

* Se obtiene tomando formas típicas medias de diversas aeroturbinas.

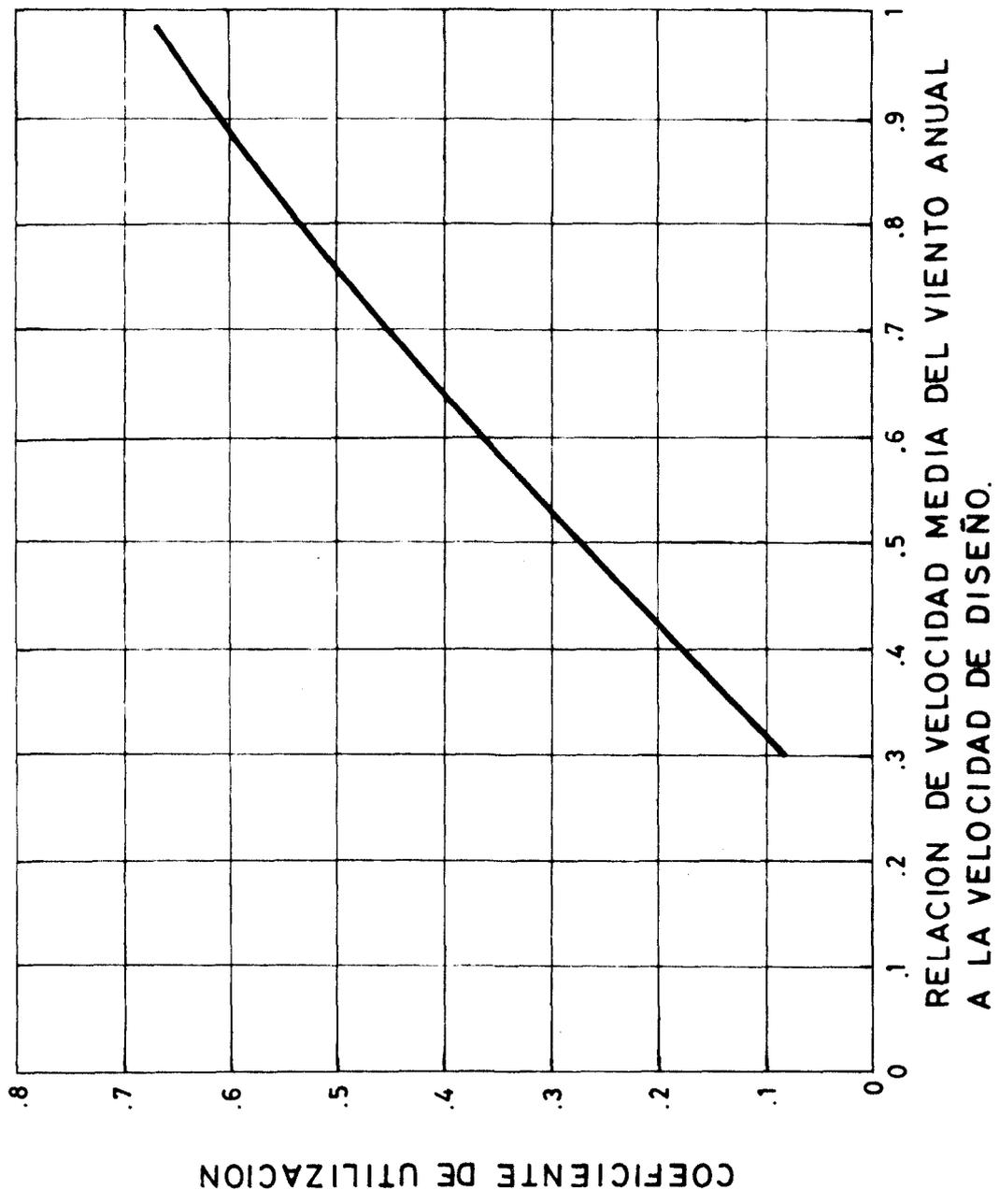


FIG.25

Esta curva ha sido obtenida estadísticamente (Ref. 6).

El interés del capital que se fija para la amortización influye considerablemente en el coste de la energía eólica. Se tomará un 10% anual*. Se considera también el caso límite de que no se cargue interés alguno como podría acontecer, por ejemplo, si el Estado concediera préstamos sin interés para impulsar este tipo de energía. También sirve este caso para poder apreciar comparativamente la gran influencia de los intereses del capital.

Incluyendo el mantenimiento y sin interés del capital, resulta para una aeroturbina de 8 Kw una cifra de amortización anual de 10.540 ptas/Kw. Con interés del 12% y utilizando las fórmulas usuales, e incluyendo también mantenimiento, resulta una amortización anual de 19.450 ptas/Kw.

En el caso de que se utilizase una aeroturbina de 15 Kw los precios se reducirían en un 20% y en un 30% si se tratase de aeroturbinas de 40 Kw.

Todos estos precios corresponden al caso en que la producción de aeroturbinas del tipo elegido sea menor de 10 unidades; es decir, lo que pudiera denominarse producción artesana. La forma en que varían estos precios en el caso de que se tratase de una "producción limitada" (alrededor de 1.000 unidades) o una "producción en serie" (10.000 unidades) puede observarse en la figura nº 26 obtenida de la referencia 19. En dicha figura se observa que el precio correspondiente a "producción limitada" se reduce a un 50% del calculado anteriormente, mientras que en el caso de "producción en serie" se reduce al 42%.

Se presenta en el cuadro nº 47 el precio de la energía

* Valor utilizado normalmente por el Banco Mundial.

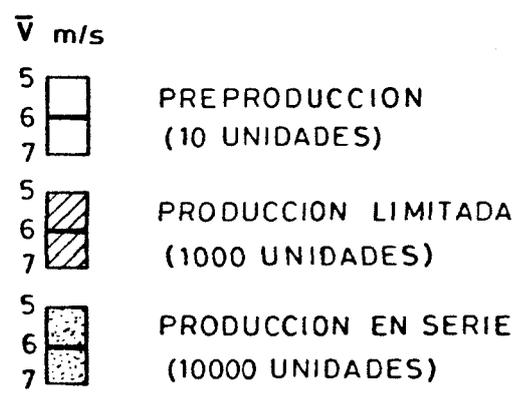
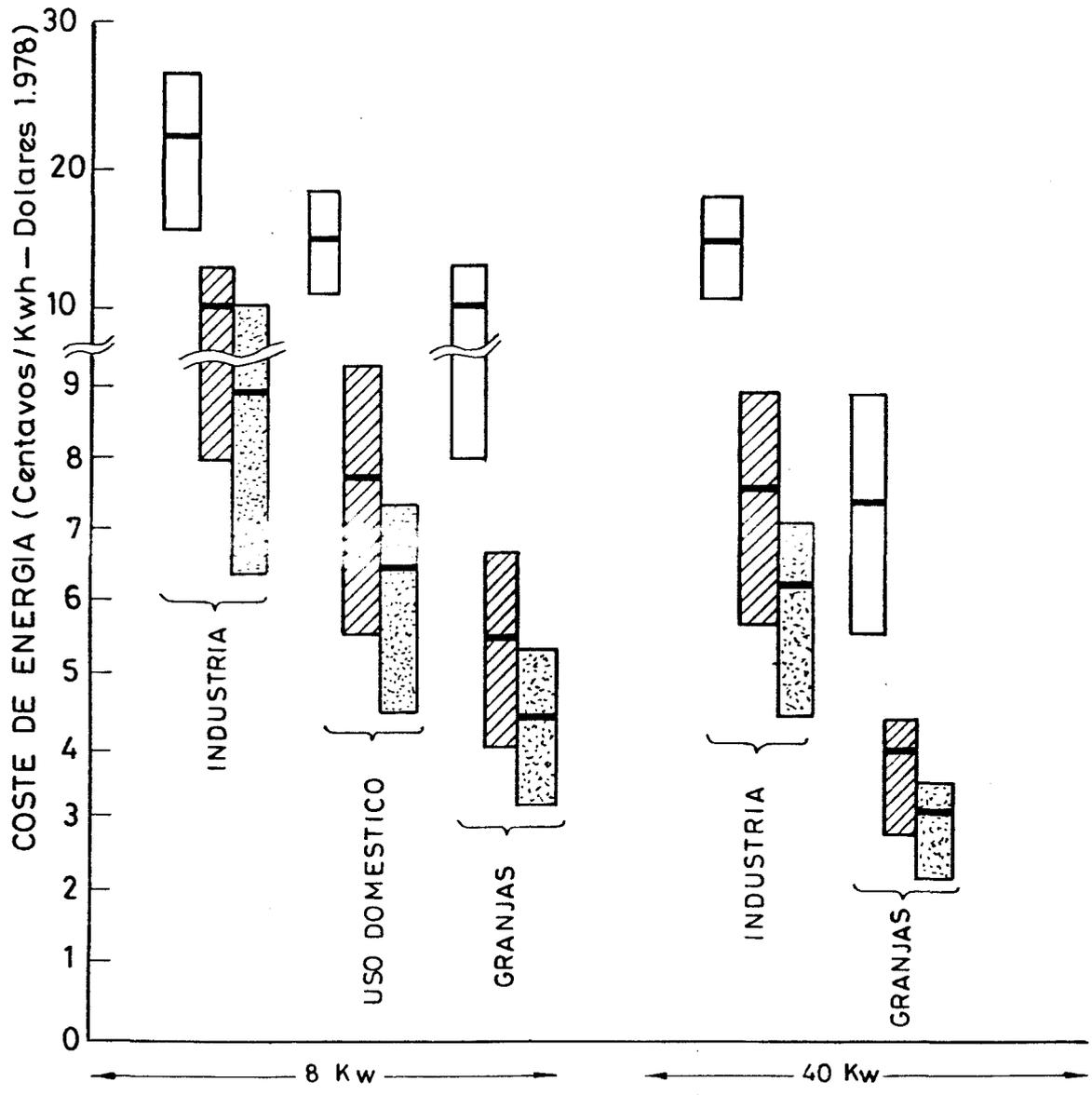


FIG. 25

CUADRO Nº 47

PRECIO DE LA ENERGIA (pts/Kw.h)

Lugar de viento medio (m/seg)		10	8	6
Turbina de 8 Kw	Producción artesana	SI	2.30	3.80
		CI	4.25	6.95
	Producción limitada	SI	1.15	1.90
		CI	2.15	3.50
	Producción serie	SI	0.50	1.60
		CI	1.45	2.90
Turbina de 15 Kw	Producción artesana	SI	1.55	3.05
		CI	3.40	5.55
	Producción limitada	SI	0.95	1.50
		CI	1.40	2.80
	Producción serie	SI	0.65	1.30
		CI	1.15	2.35
Turbina de 40 Kw	Producción artesana	SI	1.60	2.70
		CI	3.00	4.90
	Producción limitada	SI	0.65	1.35
		CI	1.25	2.45
	Producción serie	SI	0.55	1.15
		CI	1.05	2.10

para tres lugares de velocidad media de viento de 6, 8 y 10 m/seg y para tres tipos de aeroturbinas con potencias de 3, 15 y 40 Kw con producciones de 10, 1.000 y 10.000 unidades calculadas sin intereses de financiación (SI) y con el interés del 10% (CI).

8.2.- Costos de Riego con Energía Eólica

El costo de un programa de riego utilizando energía eólica hay que calcularlo en cada caso concreto, ya que además de depender de la aeroturbina y de la energía eólica existente en el lugar, depende de la utilización de la misma, incluyéndose factores tan variados como programa de riegos, sistema empleado, profundidad de los pozos, necesidad o no de emplear balsas de regulación y utilización o no de la aeroturbina para cubrir otras necesidades energéticas.

Con los datos expuestos en este trabajo se está en condiciones de poder estimar en cada caso concreto los citados costes.

A título de ejemplo, y suponiendo que la energía anual que es capaz de producir una aeroturbina se utilice por completo en la Agricultura, se ha representado en el mapa de la figura nº 27 el coste del Kw/h en las diferentes regiones españolas; partiendo del mapa de la figura nº 8 y asimilando las regiones de 50 - 150 W/m², 150 - 400 W/m² y mayor de 400 W/m² de energía media anual a vientos medios de 6, 8 y 10 m/seg, con objeto de utilizar los costes del cuadro nº 47, habiéndose considerado turbinas de 15 Kw, 10% de interés y para producciones "artesana" y "limitada".

Como puede apreciarse, los costes de la energía producida son realmente atractivos, e incluso competitivos con los valores actuales de la electricidad en regiones de mediano potencial eólico en cuanto exista una producción importante de aeroturbinas, o bien con la producción actual artesana si la región es de elevado potencial eólico

9.- CONCLUSIONES

9.1.- La Agricultura constituye un campo de aplicación especialmente adecuado para la energía eólica, ya que su demanda energética es dispersa, la utilización de la energía es con frecuencia flexible, especialmente en riegos, y en este último caso, que constituye la aplicación más importante, la variabilidad de la fuente energética, principal problema de la energía eólica, puede resolverse con poco costo almacenando agua.

9.2.- En la mayor parte de España la energía eólica es aprovechable para la Agricultura, existiendo valores energéticos medios anuales que corresponden a una clasificación para usos agrícolas de tipo medio. En otras regiones de menor extensión la clasificación es de Buena a muy buena y en algunas zonas de reducida extensión en la Península, y en las islas Canarias, las condiciones de energía eólica son extraordinarias.

9.3.- En grandes extensiones de España podría regarse por gravedad mediante agua extraída de pozos utilizándose exclusivamente energía eólica, para lo que se requeriría solamente una reducida capacidad de balsas de regulación.

9.4.- Para riegos por aspersión podría utilizarse la energía eólica para extraer el agua de los pozos y embalsarla. Para la energía necesaria en el proceso de riego, sería necesario en general, disponer de una energía de sustitución, constituyendo el biogas una excelente alternativa. Almacenar energía para el riego por aspersión es costoso, excepto en el caso de que la orografía del lugar permita disponer balsas de regulación a altura suficiente sobre la zona de regadío.

9.5.- En las mencionadas regiones de excepcional potencial eólico, podría regarse con energía eólica exclusivamente, sin almacenar agua, y posiblemente también podría utilizarse la energía eólica para regar directamente por aspersión.

9.6.- Existe una importante deficiencia de datos para evaluar la energía eólica en España, ya que existe una carencia total de datos en grandes zonas, y las mediciones no se realizan en los sitios adecuados para evaluar el potencial eólico. Por ello hace falta que se lleven a cabo extensos programas de medición de vientos en España, y en el caso de la Agricultura en zonas de especial interés para este uso, y sobre todo para regadíos.

9.7.- Las aeroturbinas se encuentran ya en pleno desarrollo, existiendo gran número de fabricantes y disponiéndose de aeroturbinas comerciales hasta potencias de unos 50 Kw.

9.8.- Con un grado de utilización elevado de las aeroturbinas, y en zonas de buen potencial eólico, el costo de la energía eólica es reducido e incluso competitivo con el de la energía eléctrica a los costos actuales. Por el contrario, el costo de almacenamiento de energía es elevado, excepto en forma de agua embalsada.

9.9.- La energía eólica se combina muy bien para la Agricultura con la energía solar, reduciéndose considerablemente los requerimientos de almacenamiento de energía. Su combinación con motores accionados por biogas es excelente, ya que ambas son energías mecánicas y de esta última puede disponerse cuando se requiera.

9.10.- Conocimientos directos de la utilización de la energía eólica para la Agricultura en España se conseguirían mediante estudios concretos aplicados a determinadas zonas y mediante el desarrollo de programas piloto.

10.- REFERENCIAS

10.1.- Energía Eólica en General

- 1.- "Wind Energy - Cost Effectiveness is the Key"
C. Mac CARTHY, Hamilton Standard, Agosto 1.974.
- 2.- "Performance Characteristics of Aerodynamically Optimum
Turbines for Wind Generators".
C. ROHRBACH, 31 Annual Forum American Helicop. Society,
Mayo 1.975.
- 3.- "Wind Energy Data Assessment Study"
M. J. CHANGERY, NSF-RA-N-75-020, Mayo 1.975
- 4.- "Economic Viability of Large Wind Generator Rotors"
G. ROSEN, Hamilton Standard, Agosto 1.975
- 5.- "Les Realisations D'electricité de France Concernant
L'energie Eolienne"
R. BONNEFILLE, La Houille Blanche n° 1, 1.975
- 6.- "Wind Machines"
F.R. ELDRICE, Octubre 1.975
- 7.- "Horizontal - Axis Fast Running Wind Turbines for Developing
Countries"
W.A.M. JANSEN, Institute for Mechanical Constructions,
Junio 1.976
- 8.- "Aerowatt Wind - Generators Serie G"
Aerowatt, 1.976
- 9.- "An Analysis of the Economics of Current Small Wind Energy
Systems"
T.R. KORNREICH, III Wind Energy Workshop, Sept. 1.977

- 10.- "Systems Development and Test Center Activities in the Wind Systems Program at Rocky Flats"
R.L. MOMENT, III Wind Energy Workshop, Septiembre 1.977
- 11.- "An Analysis of the Economics of Current Small Wind Energy Systems"
T.R. KORNREICH and D.M. TOMPKINS, III Wind Energy Workshop, Septiembre 1.977
- 12.- "Rocky Flats Small Wind Systems Test Center Activities"
D.O.E. CONTRACT nº DE-AC04-76DPO3533, Septiembre 1.978
- 13.- "Eoliennes E.N.A.G."
Compañía E.N.A.G. 1.979
- 14.- "Darrieus Vertical Axis Wind Turbine Program Overview - Fall 1.979"
R.H. BRAASCH, IV Wind Energy Workshop, Octubre 1.979
- 15.- "1.979 Wind Energy Workshop Program"
D.O.E. of U.S.A., Octubre 1.979
- 16.- "Spanish Wind Energy Program"
E. FRAGA y A. CRESPO, IV Wind Energy Workshop, Octubre 1.979
- 17.- "Commercially Available Small Wind Systems and Equipment"
ROCKWELL INC. 1.979
- 18.- "Eoliennes et Aerogenerateurs"
G. CUNTY, Editorial Edison 1.979
- 19.- "Engineering Results of Advanced Turbine Projects"
L.V. DIVONE, Energy Sources Technology Conference, New Orleans 1.980

10.2.- Energía Eólica Aplicada a la Agricultura

20.- "Wind Power Uses in Agriculture"

L.A. LILJEDAHN, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service 1.978

21.- "Wind Turbines for Irrigation Pumping"

R. NOLAN CLARK, V. NELSON, R.E. BARRIEAU, AIAA/SERI Wind Energy Conference, April 1.980

22.- "Technical and Economical Feasibility of Wind - Powered Systems for Dairy Farms"

J.G. Mc. GONAN and P.F. WENDELGASS, AIAA/SERI Wind Energy Conference, April 1.980

23.- "Demonstration and Analysis of a Combined Wind - Solar Energy Conversion System"

L. ICERMAN, A. SWIFT, W. CARGAL, AIAA/SERI Wind Energy Conference, April 1.980

10.3.- Almacenamiento de Energía

24.- "An Electro Mechanical Energy Storage System for Space Applications"

J.B. ROES, Progress in Astronautics and Rocketry, Vol. 3, Academic Press, 1.961

25.- "Design and Testing of High Energy Density Flywheels for Application to Flywheel/Heat Engine Hybrid Vehicle Drives"

L.J. LAWSON, SAE Paper nº 719150, 1.961

26.- "Superflywheel Meeting at Airesearch"

Division of Garrett Corporation, Los Angeles, Nov, 2 1.971

- 27.- "Superflywheel Meeting"
 Industrive Energy Storage Task Group, Naval Research
 Laboratory, Mar, 13, 1.972
- 28.- "Compressed Air Storage in Gas Turbine Systems"
 K.W. LI, Trans ASME, Ser. A, Oct. 1.975 pp 640
- 29.- "Batteries for Storage of Wind - Generated Energy"
 H.J. SCHWARTZ, NASA