

An aerial photograph of a large cyclone or storm system over the Basque Country. The storm is characterized by a dense, swirling cloud structure with a well-defined eye in the center. The surrounding clouds are thick and layered, showing the typical spiral pattern of a low-pressure system. The colors of the clouds range from light blue to dark grey, indicating varying cloud heights and densities. The landmasses are visible as dark, irregular shapes within the cloud cover.

Atlas Eólico del País Vasco



EVE

ATLAS EOLICO DEL PAIS VASCO

División de Investigación y Recursos

ENTE VASCO DE LA ENERGÍA
Bilbao, Junio 1993

ATLAS EÓLICO DEL PAÍS VASCO

3.ª Edición: Abril 1999

Tirada: 1.000 ejs.

Autores: • ENTE VASCO DE LA ENERGÍA
División de Investigación y Recursos
• IKERLAN, Sdad. Coop.
Departamento de Energía

Editor: ENTE VASCO DE LA ENERGÍA (EVE)
Edificio Albia, 1
San Vicente, 8 - Planta 14
48001 Bilbao

ISBN: 84-8129-000-9

Depósito Legal: BI-610-99

ÍNDICE

PRÓLOGO	5	LA GARBEA	59
1. INTRODUCCIÓN	7	KAPILDUI	61
2. CARACTERÍSTICAS GENERALES	9	BOVEDA	63
2.1 ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS	9	LA HERRERA	65
2.2 MEDIDA DE LAS CONDICIONES DE VIENTO. FORMA DE PRESENTACIÓN DE DATOS	24	ORDUÑA	67
3. DATOS DE VIENTO EN VARIAS ESTACIONES DE MEDIDA DEL PAIS VASCO	27	4. CONDICIONES GENERALES DE VIENTO EN EL PAÍS VASCO. ZONAS EÓLICAS	69
IGELDO	31	APÉNDICES	
HONDARRIBIA	35	A Descripción de las redes de estaciones meteorológicas de medida de condiciones de viento existentes en el País Vasco	75
SONDIKA	37	B Aplicación de la función de probabilidades de Weibull para la determinación de datos de condiciones de viento	77
ARRASATE-MONDRAGON	39	C Determinación de las condiciones de viento en un emplazamiento. Cálculo de la energía producida por un aerogenerador	81
VITORIA-GASTEIZ	41	BIBLIOGRAFÍA	89
BRIÑAS	45		
LOGROÑO	49		
ZUMAIA	51		
ISPASTER	53		
ITXUMENDI	55		
OIZ	57		

PRÓLOGO

El aprovechamiento de la energía eólica, principalmente para la obtención de electricidad, es en la actualidad la primera aplicación de las energías renovables que se considera competitiva con las fuentes de energía clásicas, como el carbón y el petróleo. Los países donde se ha implantado en mayor escala han sido los Estados Unidos, con 533 MW de potencia instalada en California hasta el año 1985, y en Dinamarca, con 200 MW instalados hasta el año 1989, aunque también en otros países, como Alemania, Inglaterra, Holanda y España, existen numerosos proyectos en esta línea.

Desde el punto de vista eólico, el País Vasco se encuentra localizado en una zona geográfica que por su latitud y cercanía al mar puede presentar lugares con condiciones de viento cercanas al umbral mínimo de velocidad media anual (unos 6 m/s) que se considera adecuado para una explotación rentable de la energía eólica. Un conocimiento profundo de las condiciones de viento del País resulta imprescindible tanto para una correcta evaluación de la potencialidad de utilización de la energía eólica, como para el dimensionamiento de los aerogeneradores en aplicaciones dadas y el cálculo de su producción energética.

El Ente Vasco de la Energía (EVE), consciente de esta necesidad, puso en marcha en el año 1982 un plan de actividades encaminado a la consecución del Atlas Eólico del País Vasco. Las líneas de acción fundamentales se basaban en:

— Realizar una recopilación de la información existente de las condiciones de viento en los observatorios de Igeldo, Vitoria y Logroño.

Los datos recopilados se presentaron en el año 1987 en la publicación «Condiciones de viento en el País Vasco».

— Implantar una red de estaciones automáticas de adquisición de datos de viento. Cuatro de estas estaciones están integradas en la red EM, las cuales, además de las condiciones de viento, registran otros parámetros meteorológicos como la temperatura y la irradiación solar. Las estaciones de la red EM están situadas en Igeldo, Mondragón, Vitoria y Briñas. Existen otras 9 estaciones (automáticas), integradas en la red EO, que sólo miden las condiciones de viento. Estas estaciones están emplazadas en los siguientes lugares: Faro de Punta Galea, monte La Garbea, monte Oiz, monte Usurbe, alto de Itxumendi, monte Kapildui, alto de la Herrera, monte Bóveda y alto de Orduña. La figura 19 muestra los emplazamientos de las diferentes estaciones de medida de la red EM y EO.

Las estaciones de las redes EM y EO han proporcionado datos que han permitido contrastar las consideraciones que se realizaron en la publicación anterior. En consecuencia, parece interesante renovar ésta, introduciendo la información disponible en la actualidad.

En el momento presente el Departamento de Transportes a través de su Servicio Vasco de Meteorología del Gobierno Vasco está instalando una red de estaciones meteorológicas automáticas, que junto a las de la red EO y las que ha instalado recientemente el Servicio Meteorológico Nacional (apéndice A), permitirán, en un plazo de tres a cuatro años disponer de una información más precisa sobre las condiciones de viento en el País Vasco.

1. INTRODUCCIÓN

Esta publicación pretende presentar la información existente sobre las condiciones de viento en el País Vasco y las causas que influyen en su comportamiento. El contenido de la publicación se ha orientado preferentemente hacia la necesidad de datos para la evaluación y dimensionamiento de los aerogeneradores, pero también puede ser útil en otros campos en los que sea necesario conocer datos sobre las condiciones de viento.

Debido a la influencia de la orografía, las condiciones de viento en la Comunidad Autónoma presentan una fuerte variación de unos puntos a otros, resultando muy difícil realizar una descripción detallada de las mismas. Por lo tanto, el objetivo de esta publicación se centra en incluir la información suficiente para que el lector pueda:

- Evaluar de una forma aproximada cuáles son las condiciones de viento en un lugar determinado, y
- Seleccionar entre varios posibles emplazamientos el más adecuado para la instalación de un aerogenerador.

El contenido de la publicación se ha organizado de la manera siguiente:

- El capítulo 2 se destina a comentar las características generales del viento como:
 - Las causas físicas del origen del viento.
 - La circulación general de la atmósfera y su influencia en las condiciones de viento existentes en la Comunidad Autónoma.
 - Modificaciones que introduce el terreno en las condiciones generales de viento.

- Una descripción de los equipos de medida de velocidad y dirección del viento, y la forma en que se presenta la información sobre las condiciones de viento para que cubra las necesidades de evaluación de aerogeneradores.

- El capítulo 3 presenta los datos de viento recopilados en las estaciones de Igeldo, Sondica, Fuenterrabia, Vitoria, Mondragón, Briñas, Logroño y en las estaciones de la red EO.
- El capítulo 4 se dedica al análisis de las condiciones de viento que se presentan en la Comunidad Autónoma a partir de los datos del capítulo 3. Para ello se definen las llamadas **zonas eólicas** o lugares donde las condiciones de viento presentan unas características similares.
- Además se incluyen tres apéndices con el contenido siguiente:
 - Apéndice 1. Listado de las estaciones de medida de condiciones de viento de las redes EO, del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y del Servicio Vasco de Meteorología.
 - Apéndice 2. Breve explicación de la estadística de Weibull y su aplicación a las condiciones de viento.
 - Apéndice 3. Metodología de la evaluación de las condiciones de viento en posibles emplazamientos de aerogeneradores.
- Finalmente, se incluye una bibliografía que puede servir al lector para profundizar en los temas relacionados con la energía eólica y su aprovechamiento.

2. CARACTERISTICAS GENERALES

2.1. ORIGEN Y CARACTERISTICAS

El origen del viento se encuentra en la radiación solar que calienta de forma desigual la superficie del planeta en función de la latitud. Así, los rayos del Sol inciden sobre el suelo con una inclinación mayor al aumentar la latitud, siendo menor la energía absorbida por unidad de área del suelo. Este factor origina que la temperatura del aire vaya descendiendo gradualmente de las zonas ecuatoriales a las zonas polares. Cuanto menor es la temperatura del aire, mayor es su densidad y su peso, motivando que la presión atmosférica sea en promedio mayor en las zonas polares que en las ecuatoriales. El viento es el movimiento de aire atmosférico que tiende a igualar las diferencias de presión originadas por el calentamiento solar.

Si no existiese ningún otro efecto adicional, la dirección del viento sería siempre de Norte a Sur. Pero debido a la acción de la fuerza de Coriolis (*), originada por el movimiento de rotación de la Tierra y que actúa cuando éste se pone en movimiento, dicha dirección sufre cambios importantes.

La influencia de la fuerza de Coriolis hace que la trayectoria del viento se desvíe hacia la derecha en el hemisferio Norte y hacia la izquierda en el hemisferio Sur. El efecto resultante final es que el aire no circula directamente (cortando en perpendicular las líneas de presión) entre las zonas de altas presiones (anticiclones) y las de baja presión (depresiones) sino que realiza una trayectoria curvilínea, que es

(*) Fuerza de Coriolis está producida por la componente horizontal del vector que representa la velocidad de rotación de la Tierra. La fuerza de Coriolis es máxima en los polos y mínima en el ecuador.

casi paralela a las líneas de presión y que deja a su derecha a los anticiclones y a la izquierda las depresiones (figura 1). Una forma sencilla de imaginarse el proceso es diciendo que el viento llena la depresión atmosférica de una forma análoga a la de un remolino de agua donde ésta es succionada entrando lateralmente.

La figura 2 muestra la distribución de presiones en una fecha concreta en la zona occidental de Europa. Se puede observar la presencia de un anticiclón (H), situado en la zona sudoeste del mapa y una depresión (L) centrada en el Mar del Norte. Las líneas curvas que rodean a la depresión representan a las isobaras o líneas de igual presión. La presencia de muchas isobaras en torno a la depresión indica que el gradiente de presión es grande con lo que la velocidad del viento será alta. Las flechas indican la dirección del viento y que tal como se ha comentado anteriormente éstas son casi paralelas a las isobaras.

Las condiciones de viento en un territorio vienen

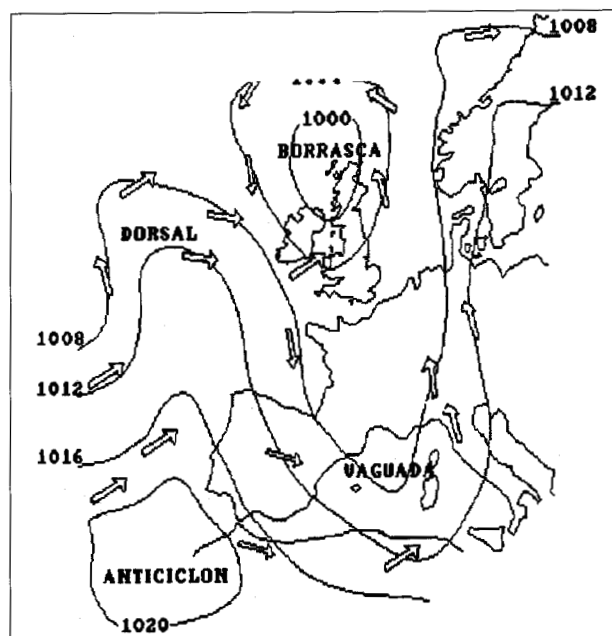


Figura 1. Representación de la circulación de aire desde una zona de altas presiones a una zona de bajas presiones.

ficie terrestre.

La circulación general de la atmósfera día a día es muy variable, siendo difícil de apreciar sus regularidades; pero si se observan las situaciones medias en períodos de tiempo largos, se distinguen una serie de pautas fijas más o menos definidas que son análogas en cada hemisferio. Así:

- La **zona ecuatorial** se caracteriza porque la fuerza de Coriolis es pequeña o nula y no se presentan movimientos de aire en la horizontal que sean de amplia extensión. La fuerte radiación solar presente en esta zona calienta el aire, el cual se eleva verticalmente formándose fuertes movimientos de convección. Es una zona de predominio de las bajas presiones, y a nivel del mar el viento está casi en calma.
- Las **zonas tropicales**. En altura, el aire que se ha elevado en la zona ecuatorial tiende a desplazarse hacia los polos tomando una dirección SW, mientras que en superficie el aire tiende a rellenar el hueco dejado por el aire en la zona ecuatorial, produciéndose los vientos conocidos como alisios. Los alisios se caracterizan por su regularidad tanto en velocidad como en dirección (NE en el hemisferio Norte).
- La **zona subtropical**. En esta zona situada hacia la latitud 30, el aire proveniente del Ecuador y que circula en altura se ha enfriado y tiende a bajar a la superficie. Es una zona de predominio de altas presiones y que a nivel de superficie tiende a distribuir aire, originando vientos del NE (alisios) hacia el Ecuador y del SW hacia latitudes superiores.
- La **zona polar**. En esta región las bajas temperaturas existentes hacen que el aire sea muy frío y denso, lo que origina que se presenten de forma predominante las altas pre-

siones. Es también una región que a nivel de superficie tiende a distribuir aire hacia la zona templada, originando vientos de dirección NE.

- La **zona templada**. Se caracteriza por la interacción que sufren las masas de aire provenientes de la zona subtropical y de la zona polar. Hacia la latitud de 60°, en la región de contacto con la zona polar (conocido como frente polar), el aire tiende elevarse, originándose de nuevo una franja de predominio de bajas presiones. El resultado final es una circulación irregular de masas de aire que transportan aire caliente de la zona subtropical a la zona polar y aire frío de la zona polar a la subtropical. En lo relativo a la distribución de presiones se observa una circulación sucesiva de anticiclones y depresiones que generalmente siguen una dirección Oeste-Este. En cuanto a las condiciones de viento a nivel de superficie, entre las latitudes de 40 a 50 grados predominan los vientos del SW y a partir de la latitud de 50° éstos toman ya una clara dirección del Oeste.

La inclinación del eje de giro de la Tierra respecto al plano de rotación de la Tierra con el Sol origina que los rayos de sol incidan en la superficie terrestre con distinta inclinación a lo largo del año. El efecto más relevante que produce este factor es la aparición de las estaciones climatológicas anuales, o sea, la diferenciación entre el invierno y el verano. El ecuador real, o línea donde el Sol incide perpendicularmente al terreno, coincide con el ecuador geométrico únicamente en los equinoccios (21 de marzo y 21 de setiembre). Durante el otoño e invierno tiende a desplazarse hacia el Sur del ecuador geográfico y el día 21 de Diciembre se posiciona en el trópico de Capricornio (23.27° Sur). En primavera-verano se presenta un comportamiento análogo

en la dirección Norte, situándose el ecuador real el día 21 de junio en el trópico de Cancer (23.27° Norte). Este comportamiento motiva que tanto la posición media del frente polar y la del cinturón subtropical de altas presiones se modifique a lo largo del año, estando ambos en latitudes más bajas en invierno y subiendo de latitud en verano. Como consecuencia de ello, las borrascas circulan por latitudes más bajas en el invierno que en el verano.

La figura 3 muestra de forma esquemática las características de la circulación general. La figura 3-a presenta la distribución de las distintas zonas a nivel de macroescala, indicando las flechas la dirección predominante del viento en la superficie. Los tres bucles que se observan en cada hemisferio representan la circulación predominante del viento en la vertical de la atmósfera. La figura 3-b recoge la distribución de anticiclones (H) y depresiones (L) en la proximidad de un equinocio. En estas fechas el ecuador real coincide con el ecuador solar y la distribución de las zonas comentada anteriormente debe ser aproximadamente simétrica con respecto al ecuador. Así se puede observar que en las zonas cercanas al ecuador no existen grandes diferencias de presión, lo que corresponde con el predominio de los movimientos verticales de aire y la ausencia de movimientos horizontales. Las zonas cercanas al paralelo 30 muestran un predominio de los anticiclones, que envían aire hacia el ecuador (vientos alisios) y hacia las zonas templadas (vientos del suroeste). Las latitudes templadas se caracterizan por una alternancia muy irregular de anticiclones y depresiones, situándose los centros de estas últimas en las proximidades del paralelo 60 (frente polar).

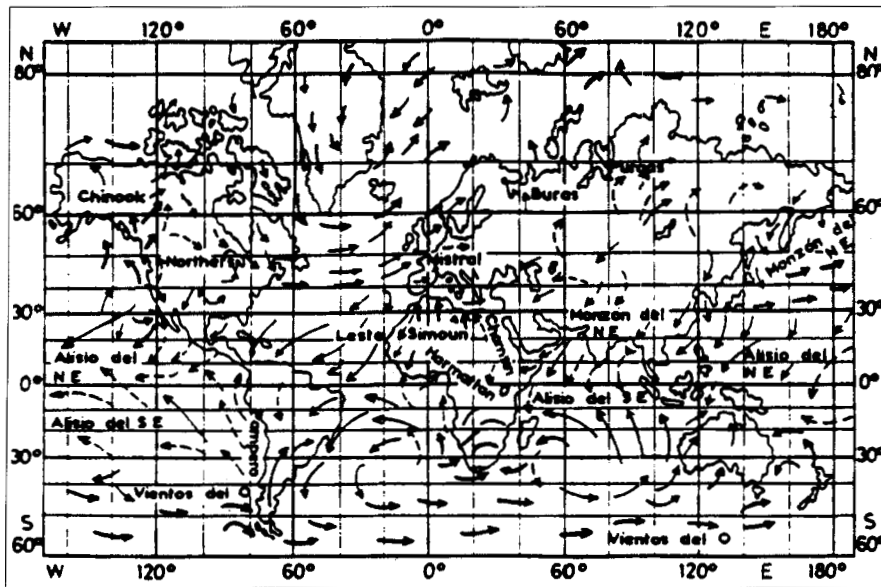
Las condiciones de la circulación general de la atmósfera vienen alteradas por la distribución de continentes y mares. Las desviaciones son

más acusadas en el hemisferio Norte, donde existen mayores masas continentales que en el hemisferio Sur. Así, por ejemplo, las latitudes entre los 50 y 60° Sur se conocen por sus fuertes y persistentes vientos del Oeste, mucho más acentuados que en el hemisferio Norte.

La figura 4 muestra la distribución de los vientos medios en la superficie terrestre durante los meses de Enero y Julio. Se puede observar que las direcciones del viento siguen de forma general las consideraciones hechas sobre la circulación general de la atmósfera. Sin embargo, en el hemisferio Norte quedan influidas por la presencia de los continentes.

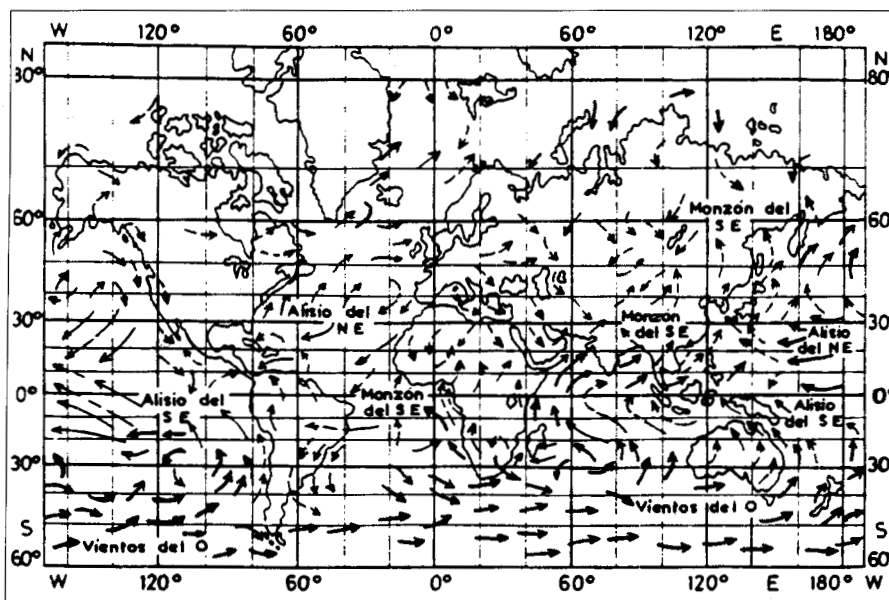
Mesoescala. Efectos locales-Vientos locales. Modificaciones de las condiciones del viento originadas por su interacción con la superficie terrestre.

Además de los vientos originados por la circulación general de la atmósfera, pueden existir vientos localizados a extensiones de terreno mucho más reducidas. Su origen es debido a las diferencias de temperaturas entre zonas de terreno relativamente próximas entre sí. Los vientos de esta naturaleza más conocidos son las brisas marinas y los vientos de montaña y valle. Las brisas marinas se originan por la diferencia de temperatura que existe entre el mar y la tierra. Durante el día, el Sol calienta rápidamente la tierra, mientras que el mar permanece más frío originándose, a partir del mediodía aproximadamente, una circulación de viento desde mar hacia la tierra, alcanzando su máxima intensidad a media tarde y reduciéndose progresivamente hacia el anochecer. Durante la noche, la tierra se enfría más rápido que el mar produciéndose un flujo de viento de la tierra al mar. La fuerza del viento resultante depende de la diferencia



Viento débil - - - Bastante fuerte ————— Violento —————>

Dirección del viento en Enero



Dirección del viento en Julio

Figura 4. Direcciones predominantes de viento en invierno y en verano.

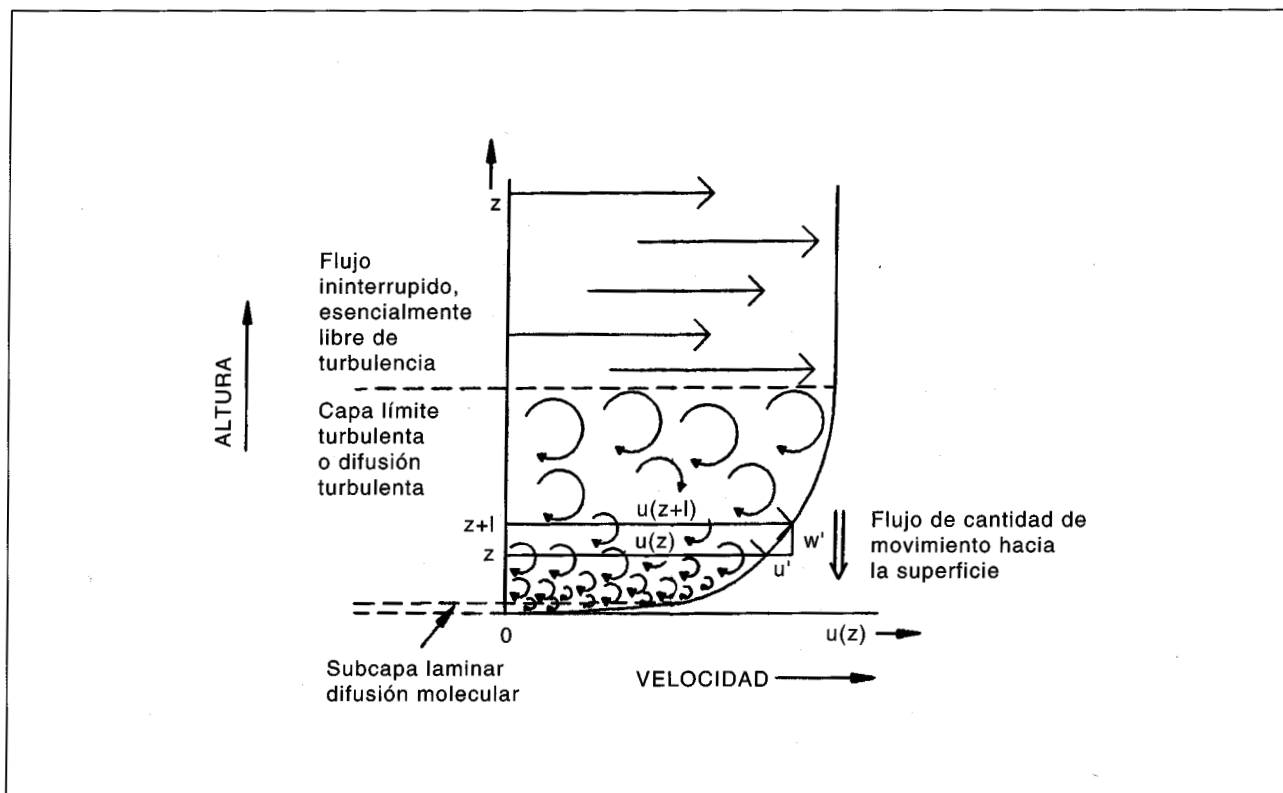


Figura 5. Flujo en el seno de la capa límite turbulenta sobre una superficie lisa.

de temperaturas entre ambos elementos, por lo que las brisas se muestran con mayor claridad durante los meses de verano.

Los vientos de montaña y valle tienen el mismo origen que las brisas, pero en este caso la diferencia de temperaturas se origina entre las zonas altas de los montes y los valles. Los vientos de montaña y valle pueden tener diferentes variantes dependiendo de las distribuciones de temperaturas existentes y de las condiciones orográficas de la zona.

Tanto las brisas marinas como los vientos de montaña y valle, se desarrollan cuando las condiciones de viento —debido a los efectos de macroescala— están muy atenuados. Sin embargo, cuando sucede lo contrario, éstas predominan y enmascaran los vientos locales.

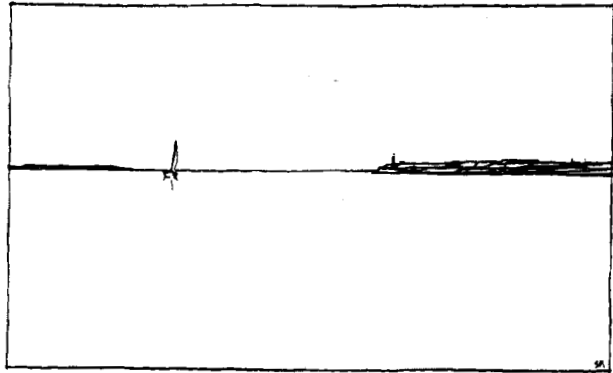
En algunos casos particulares los vientos locales pueden tener un fuerte interés para su aprovechamiento eólico. Así, la mayoría de los parques eólicos instalados en California están si-

tuados en una amplia zona de vientos de tipo «brisa marina», acentuados en este caso por la alta diferencia de temperatura entre el desierto del interior de California y el mar Pacífico.

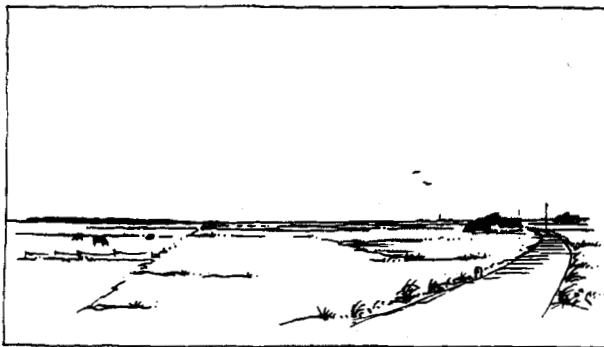
Otro aspecto que tiene influencia a escala local son las modificaciones que sufre el viento al entrar en contacto con el terreno.

Primeramente, al igual que cualquier otro fluido que se desliza sobre una superficie plana, en el aire en movimiento se desarrolla una capa límite de velocidad. El terreno tiende a frenar el movimiento del aire de tal forma que la capa más cercana al suelo está en completo reposo. La velocidad varía gradualmente con la altura hasta un valor característico de la velocidad del aire sin perturbar. Este valor corresponde con la velocidad del viento geostrófico o viento determinado directamente por la distribución de presiones a nivel de macroescala.

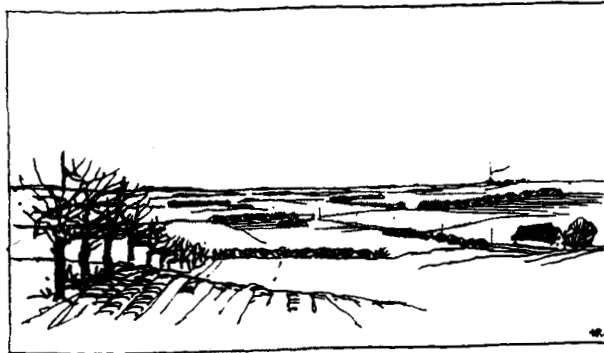
La figura 5 muestra la distribución de velocidades típica de la capa límite atmosférica. En la



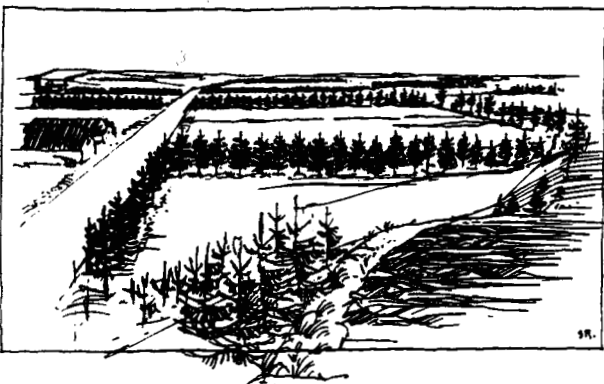
Rugosidad tipo 1



Rugosidad tipo 2



Rugosidad tipo 3



Rugosidad tipo 4

Figura 6. Aspectos de terrenos característicos de rugosidades de tipo 1, 2, 3 y 4 respectivamente en zonas llanas.
Fuente: Atlas Eólico Europeo.

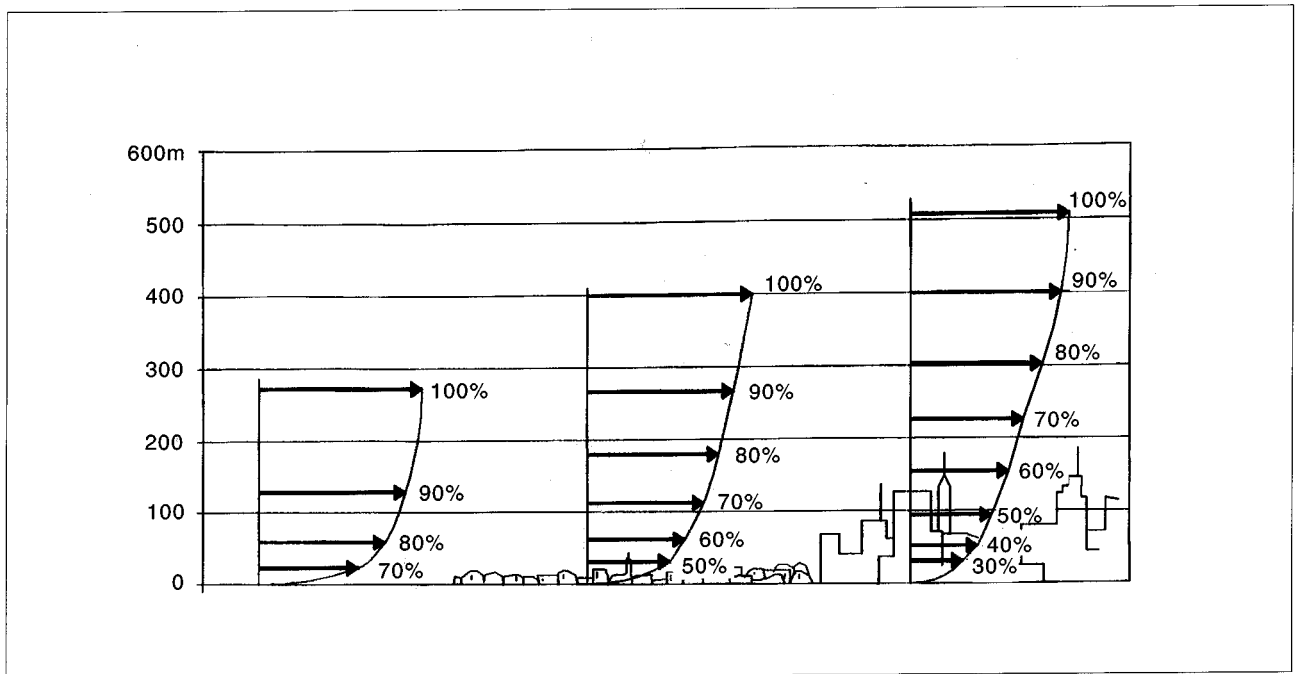


Figura 7. Variación del perfil de velocidades del viento en función de la rugosidad del terreno.

zona muy cercana al suelo la velocidad se aproxima a cero. A continuación se encuentra la capa límite laminar o región donde el flujo de aire es laminar, que generalmente es muy pequeña; posteriormente aparece la capa límite turbulenta, que ocupa la mayor parte de la capa límite, y finalmente la zona superior de la capa límite donde el flujo del aire está casi totalmente libre de turbulencias (la turbulencia en esta zona puede aumentar apreciablemente si existen movimientos convectivos de aire).

La forma del perfil de velocidades del viento en la capa límite atmosférica depende de la fuerza de fricción que presente el terreno al movimiento del aire. A su vez la fuerza de fricción viene determinada por la rugosidad del terreno, factor que se caracteriza por el tamaño y distribución de los elementos que crean la rugosidad, como son: la naturaleza del suelo, presencia de hierba, árboles, edificios etc.

Una de las expresiones que se utiliza para determinar el perfil de velocidades del viento en la capa límite viene expresada por la relación:

$$V = V_{10} \left(\frac{h}{10} \right)^\alpha$$

Donde, V = Velocidad del viento a la altura h en metros.

V_{10} = Velocidad del viento a 10 m. de altura.

α = Parámetro que depende de la naturaleza del terreno. Varía según la tabla 1.

Tipo	Naturaleza del terreno	Irregularidad del terreno h0 (mm)	α
1	Llano, hielo, nieve, agua, hierba.	0 a 20	0.08 a 0.12
2	Poco accidentado, irregularidades de pequeña amplitud: campos y pastos, cultivos.	20 a 200	0.13 a 0.16
3	Accidentado: árboles, zonas poco habitadas.	1000 a 1500	0.20 a 0.23
4	Muy accidentado. Ciudades y zonas de bosque.	1000 a 4000	0.25 a 0.4

Tabla 1. Rugosidad del terreno.

Nota: El parámetro indica la altura sobre el nivel del suelo por debajo del cual la velocidad del viento es nula debido al efecto de freno que produce la rugosidad del terreno.

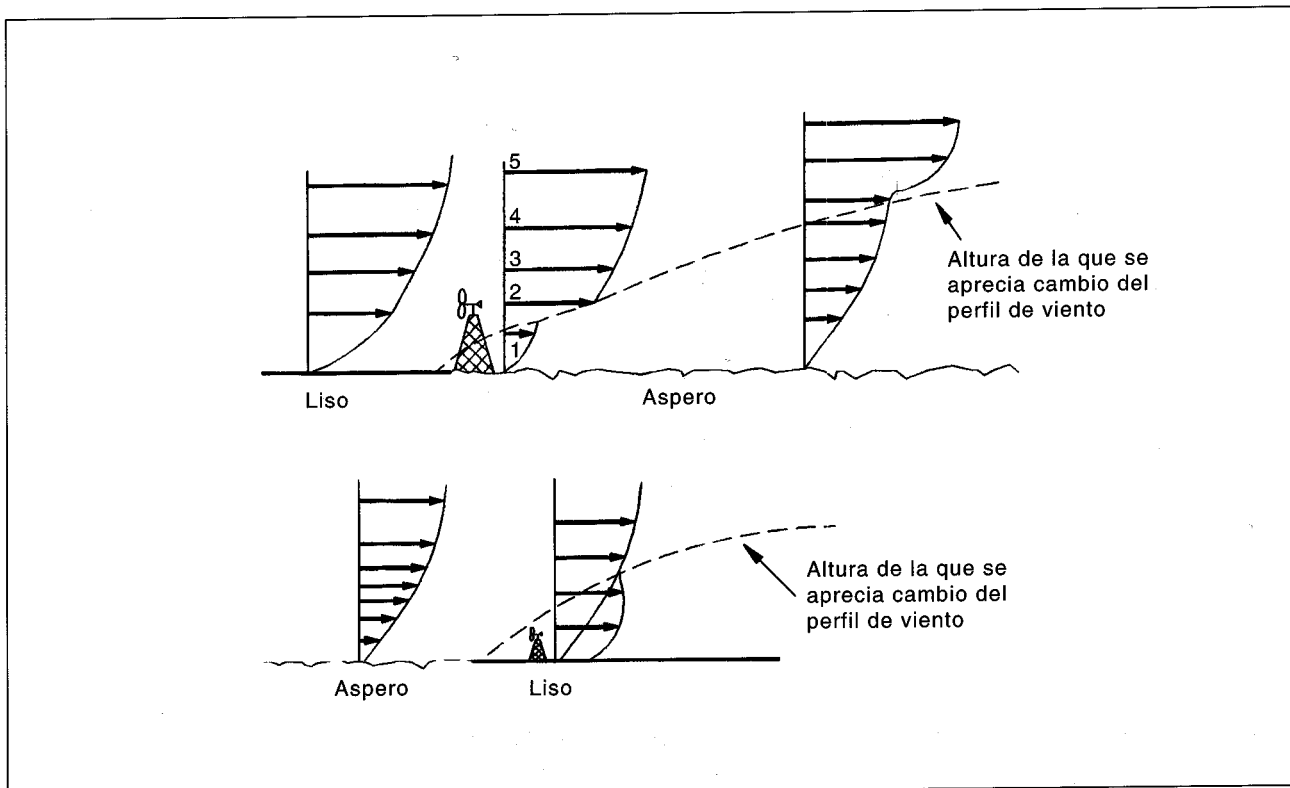


Figura 8. Desarrollo de una nueva capa límite al modificarse la rugosidad del terreno.

La figura 6 presenta paisajes en terrenos llanos, característicos del tipo de rugosidad definido en la tabla anterior.

La figura 7 muestra el perfil de velocidades de viento para terreno de diferente rugosidad. Se aprecia que al aumentar la rugosidad aumenta el desarrollo vertical de la capa límite, alcanzándose a mayor altura la velocidad del viento geostrofico (sin perturbar).

Como ejemplo de cómo se aplica la fórmula del perfil de velocidades de viento, se plantea el caso práctico de calcular cuál sería la velocidad del viento a 10 m. de altura para diferentes tipos de terreno cuando la velocidad del viento geostrofico a 1.000 m. de altura sobre el suelo es de 30 m/s.

Las soluciones se obtienen aplicando la anterior expresión matemática para cada tipo de rugosidad. O sea:

$$V_{10} = V \left(\frac{h}{10} \right)^{\alpha} = 30 \left(\frac{1000}{10} \right)^{-\alpha}$$

tipo terreno	α	V_{10} (m/s)
1	0.1	18.9
2	0.15	15
3	0.22	10.8
4	0.30	7.5

Se aprecia que al aumentar la rugosidad disminuye notablemente la velocidad del viento a una altura dada.

Una conclusión que se deduce a la vista de estos valores es que en terrenos de alta rugosidad la instalación de un aerogenerador debe realizarse en una torre de mayor altura para conseguir la misma producción que en un terreno de baja rugosidad.

Cuando cambia la rugosidad del terreno, como por ejemplo al pasar el viento desde el mar al interior de la tierra, aparece una nueva capa límite que se va desarrollando dentro de la capa límite anterior y en la dirección del viento produciéndose una modificación del perfil de velocidades

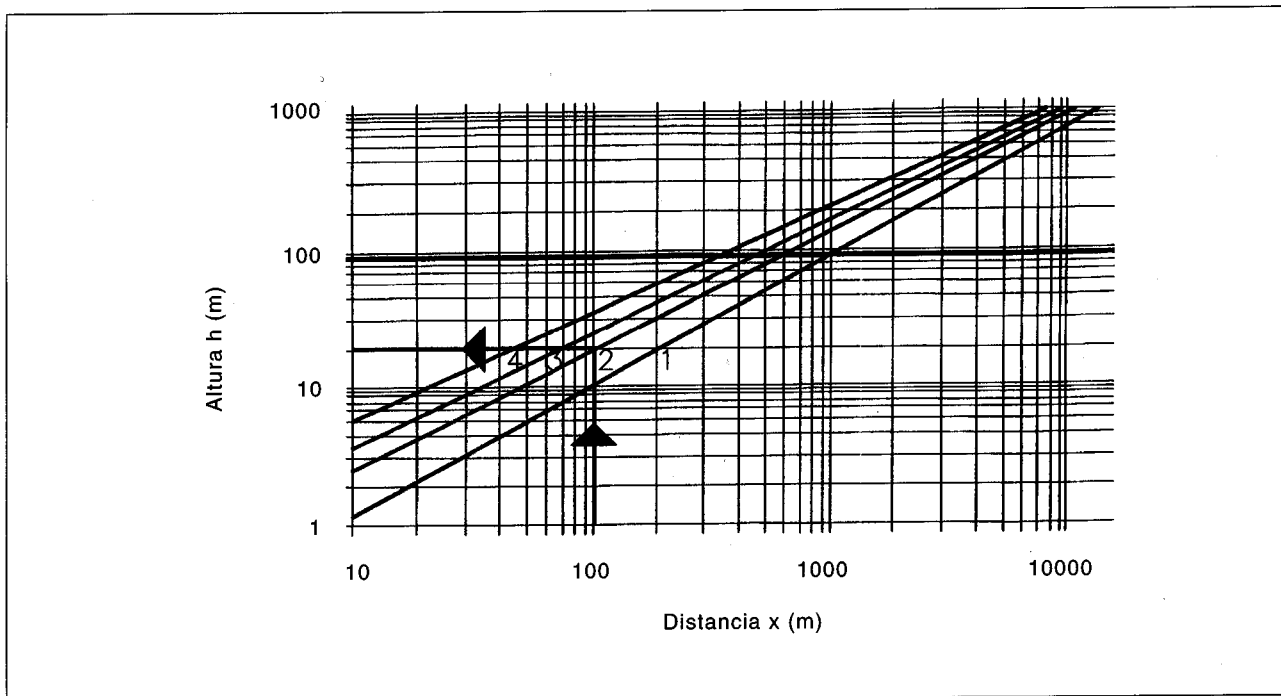


Figura 9. Altura (h) de la capa límite interna en función de la distancia al cambio de rugosidad, para los cuatro tipos de terreno definidos en la figura 6.
Fuente: Atlas Eólico Europeo.

del viento. La figura 8 muestra un ejemplo de esta situación en dos casos diferentes: en el primero el terreno aumenta de rugosidad y en el segundo disminuye.

Cuando el emplazamiento de un aerogenerador está cercano a un cambio de rugosidad de terre-

no resulta importante determinar la altura a la cual se encuentra el cambio de la nueva capa límite. Ello es debido a que: a) En la zona de cambio los valores de velocidad de viento pueden ser irregulares y b) Resulta favorable colocar el aerogenerador a una altura superior a la de la nueva

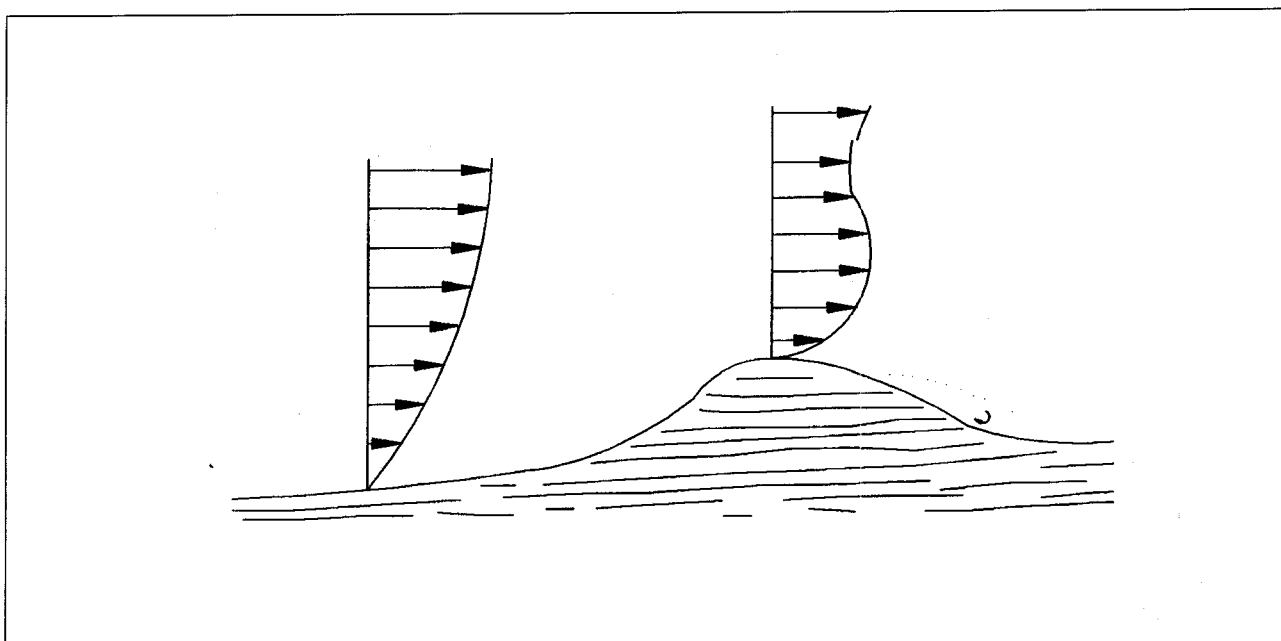
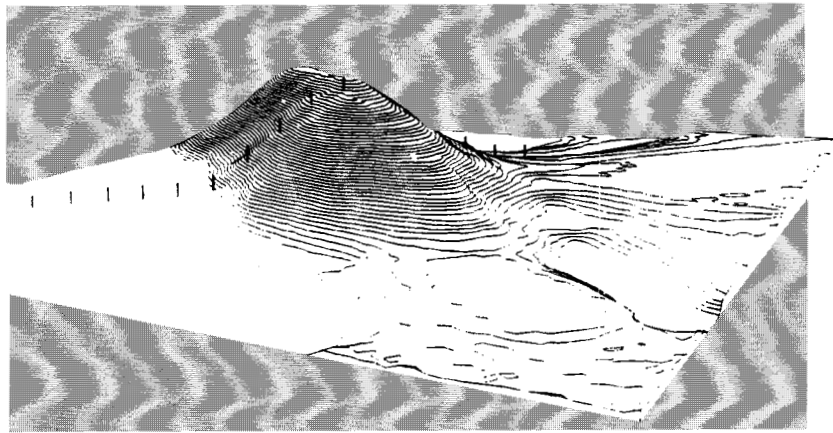
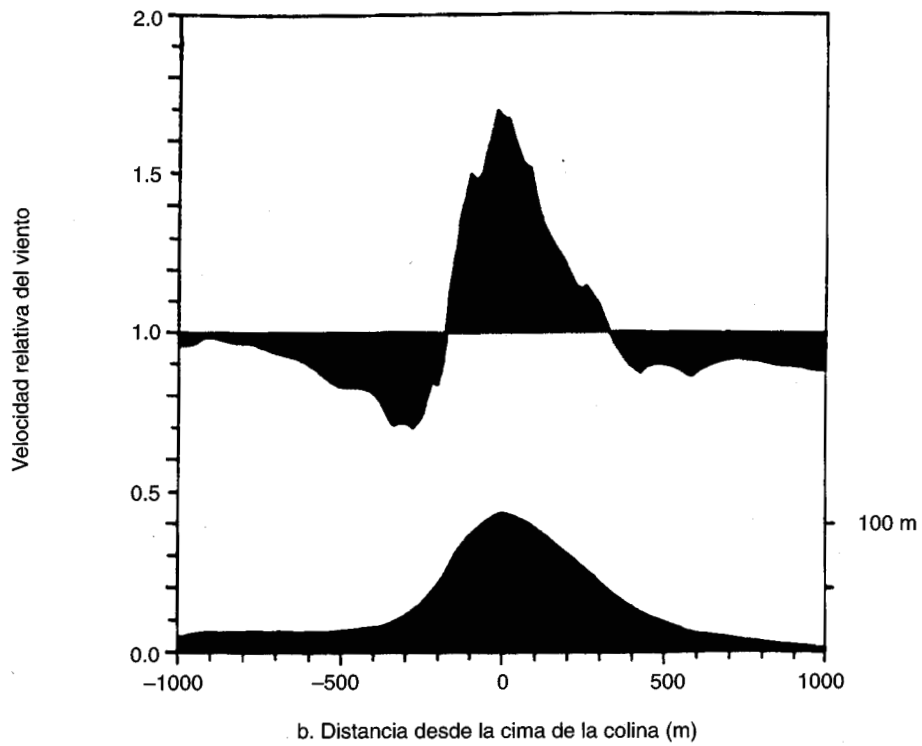


Figura 10. Aceleración de la velocidad del viento al atravesar una colina.



a. Perspectiva de la colina de Blasheval



b. Distancia desde la cima de la colina (m)

Figura 11. Resultado de las experiencias sobre aceleración de la velocidad del viento a 8m, de altura sobre el suelo, al atravesar la colina de Blasheval.
Fuente: Atlas Eólico Europeo.

Velocidad en la zona llana	Velocidad comienzo colina d=-400	Velocidad en la ladera colina d=-100	Velocidad cima colina d=0
7 m/s	$7 \cdot 0.7 = 4.9$ m/s	$7 \cdot 1.5 = 10.5$ m/s	$7 \cdot 1.7 = 11.9$ m/s
12 m/s	$12 \cdot 0.7 = 8.4$ m/s	$12 \cdot 1.5 = 18$ m/s	$12 \cdot 1.7 = 20.4$ m/s

Tabla 2. Velocidades determinadas en diferentes lugares de una colina (colina de Blasheval)

capa límite, en el caso de que en esta la velocidad del viento sea inferior a la de la capa primitiva o a una altura inferior en el caso contrario.

La figura 9 presenta la forma de calcular la altura a la que se sitúa la parte superior del nuevo perfil de velocidades del viento en función de la distancia al cambio de rugosidad y de la naturaleza del terreno. Así, por ejemplo, para un viento proveniente del mar en un emplazamiento situado a 100 m. de la costa y de características rugosidad de terreno del tipo 2, la curva señalizada bajo el número 2 indica que la altura que alcanza el perfil del viento correspondiente a la rugosidad de la tierra se sitúa en 22 metros, aproximadamente.

Otro aspecto que puede alterar sustancialmente

la velocidad y la dirección del viento es la orografía del terreno. Así, la velocidad del viento sufre una aceleración cuando tiene que remontar colinas, montes o cadenas montañosas, mientras que se atenúa en las zonas de comienzo de las laderas de los montes. La figura 10 muestra el perfil de velocidades de viento en la cima de una colina y la compara con el perfil en terreno llano. Se observa que en un tramo cercano a la superficie de la cima la velocidad sufre una apreciable aceleración.

Como ejemplo ilustrativo se presenta los valores numéricos de aceleración de viento determinadas experimentalmente en la colina de Blasheval, cuya forma viene representada en la figura 11-a. La figura 11-b proporciona la velocidad de

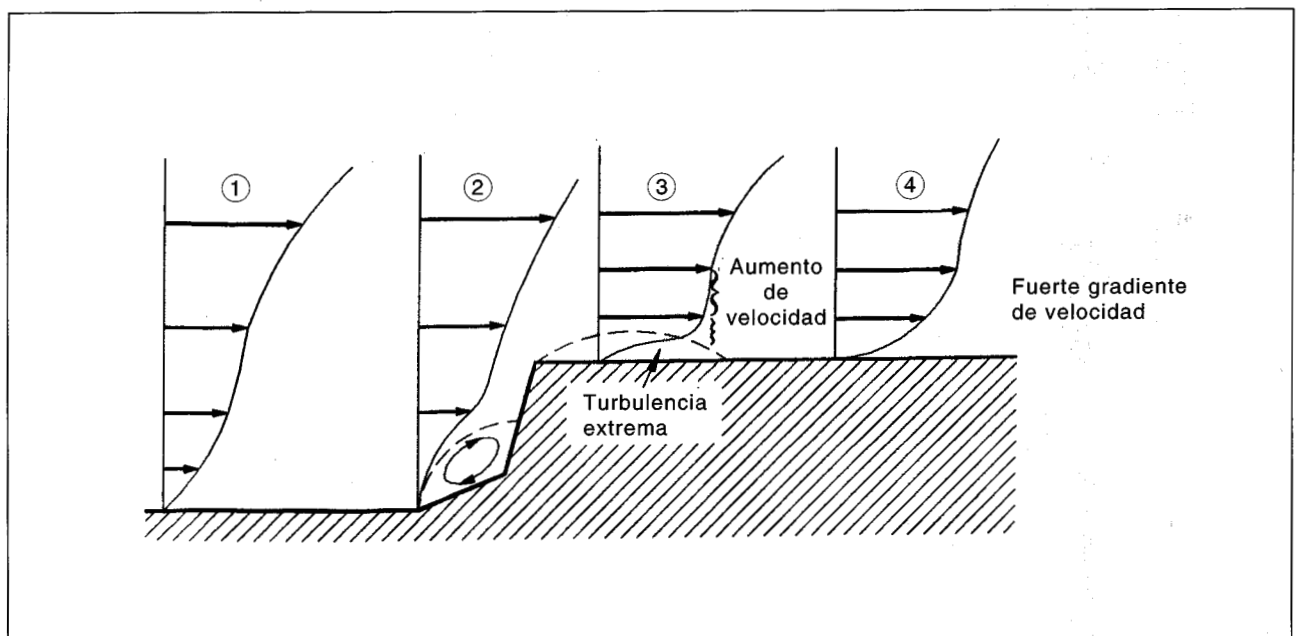


Figura 12. Modificación del perfil del viento al atravesar un acantilado o zona de fuerte pendiente.

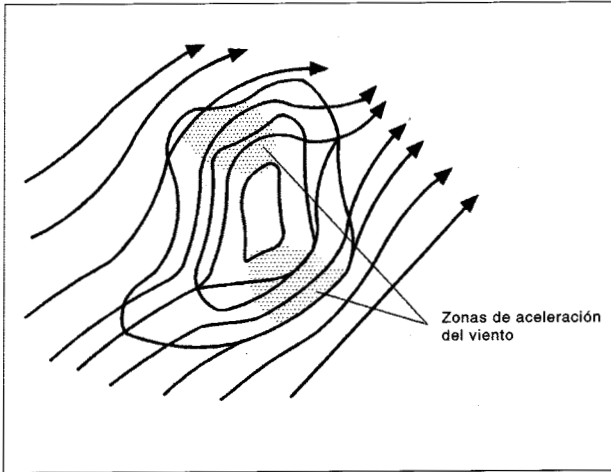


Figura 13. Aceleración del viento en las laderas de un monte cuyo eje principal es paralelo a la dirección del viento.

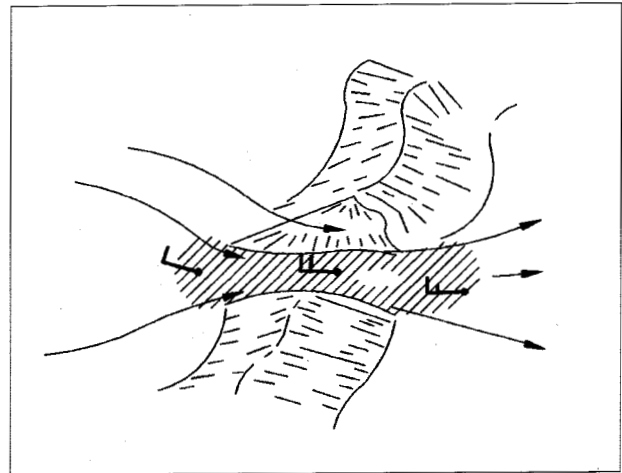


Figura 14. Aceleración del viento en un paso entre montes.

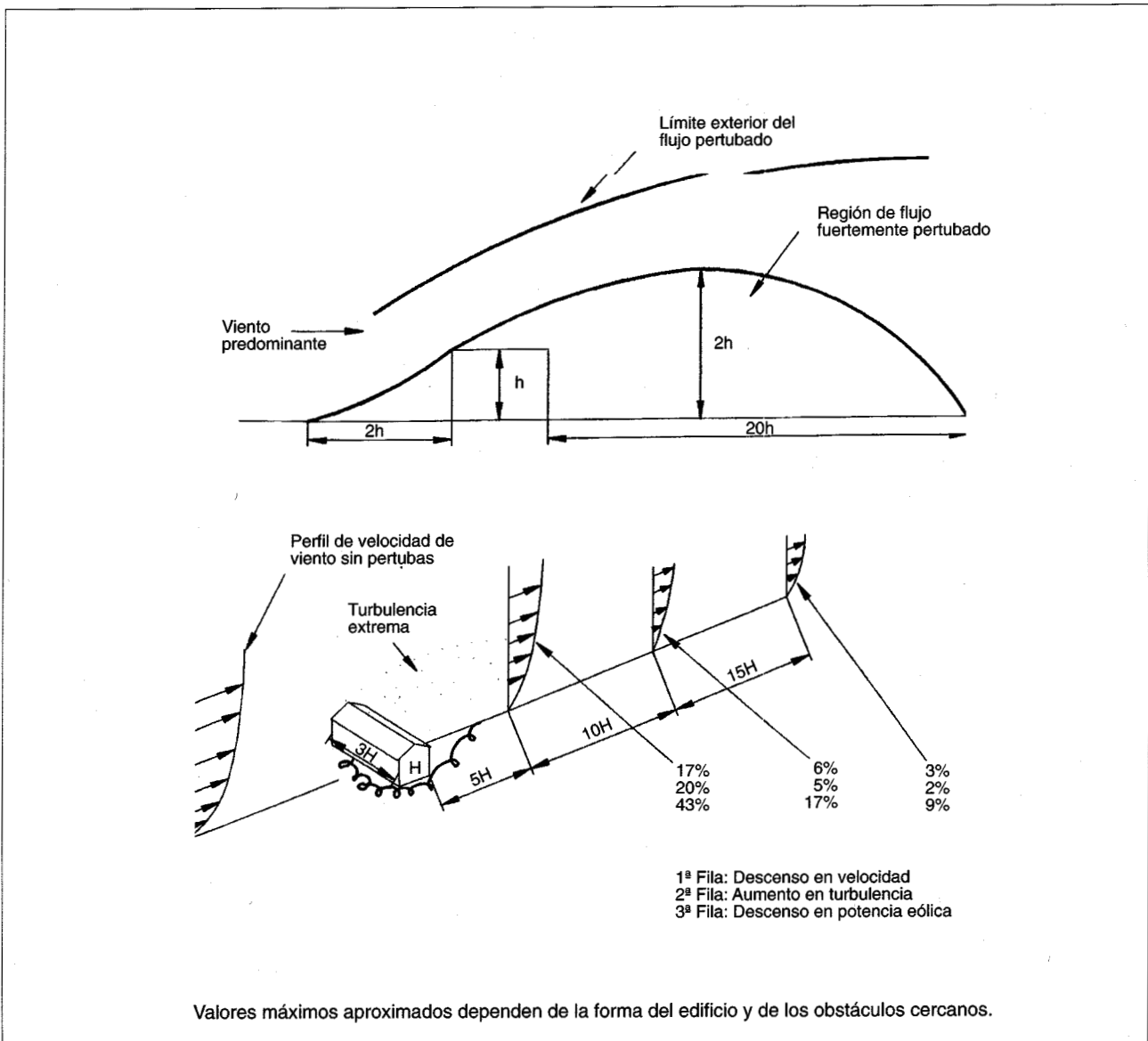


Figura 15. Perturbación de las condiciones de viento originadas por la presencia de un edificio.

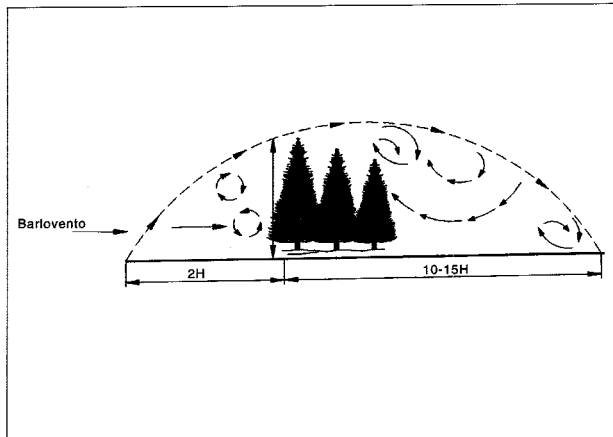


Figura 16-a. Modificaciones en las condiciones de viento inducidas por la presencia de una fila de árboles.

viento relativa respecto a la que registra en una zona llana suficientemente lejos de la colina. La tabla 2 muestra los valores numéricos de velocidad de viento que se obtendrían en diferentes puntos de la colina para valores de velocidad de viento de 7 y 12 m/s en terreno llano.

En el caso de que la pendiente sea muy fuerte se pueden producir efectos de separación de flujo, tal como se representa en la figura 12, para una situación en la que el viento tienen que cruzar un acantilado. Se observa que en la parte inferior del acantilado se crea una zona de refluo y velocidad baja de viento. En el borde del acantilado aparece una zona de separación de flujo con condiciones muy turbulentas. Es preciso destacar que por encima de esta zona turbulenta se produce una aceleración de la velocidad de viento que puede ser aprovechable energéticamente. A cierta distancia del borde del acantilado aparece nuevamente el perfil de velocidades correspondiente al tipo del terreno característico de la zona alta del acantilado.

Si la cadena montañosa tiene una orientación paralela a la dirección del viento, éste puede fluir bordeándola, produciéndose entonces aceleraciones en los flancos del monte (figura 13). Cuando existen pasos entre montes, el viento puede

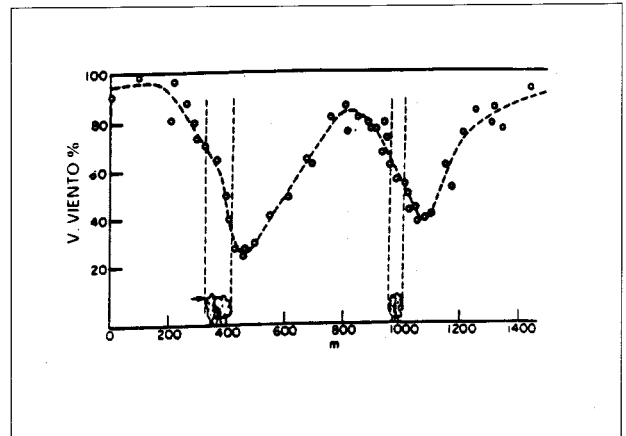


Figura 16-b. Disminución (en %) de la velocidad del viento, motivado por la presencia de filas de árboles.

tener tendencia a utilizarlos para cruzar las cadenas montañosas produciéndose fuertes aceleraciones en la velocidad del viento figura 14.

Microescala. Influencia de los obstáculos

Además de su contribución a la rugosidad del terreno, los obstáculos como las casas, filas de árboles, vallas, etc. producen una fuerte perturbación de las características del viento a sotavento. Las consecuencias más importantes son una atenuación de la velocidad del viento y la aparición de turbulencias.

La figura 15 muestra como influye la presencia de un edificio en las condiciones del viento que se registran alrededor suyo. Si por ejemplo el edificio tiene una altura de 15 m., la zona de viento fuertemente perturbado alcanza desde 30 metros antes de la vivienda hasta 300 m. por detrás y una altura de 30 m. Así a 75 m. de la vivienda a sotavento del viento, la velocidad es todavía un 17% inferior a la velocidad del viento sin alterar por el edificio, lo que supone un 43% de descenso en potencia eólica. También en este punto se registra un aumento del 20% en la turbulencia del viento. Estos valores descienden paulatinamente al aumentar la distancia al edificio.

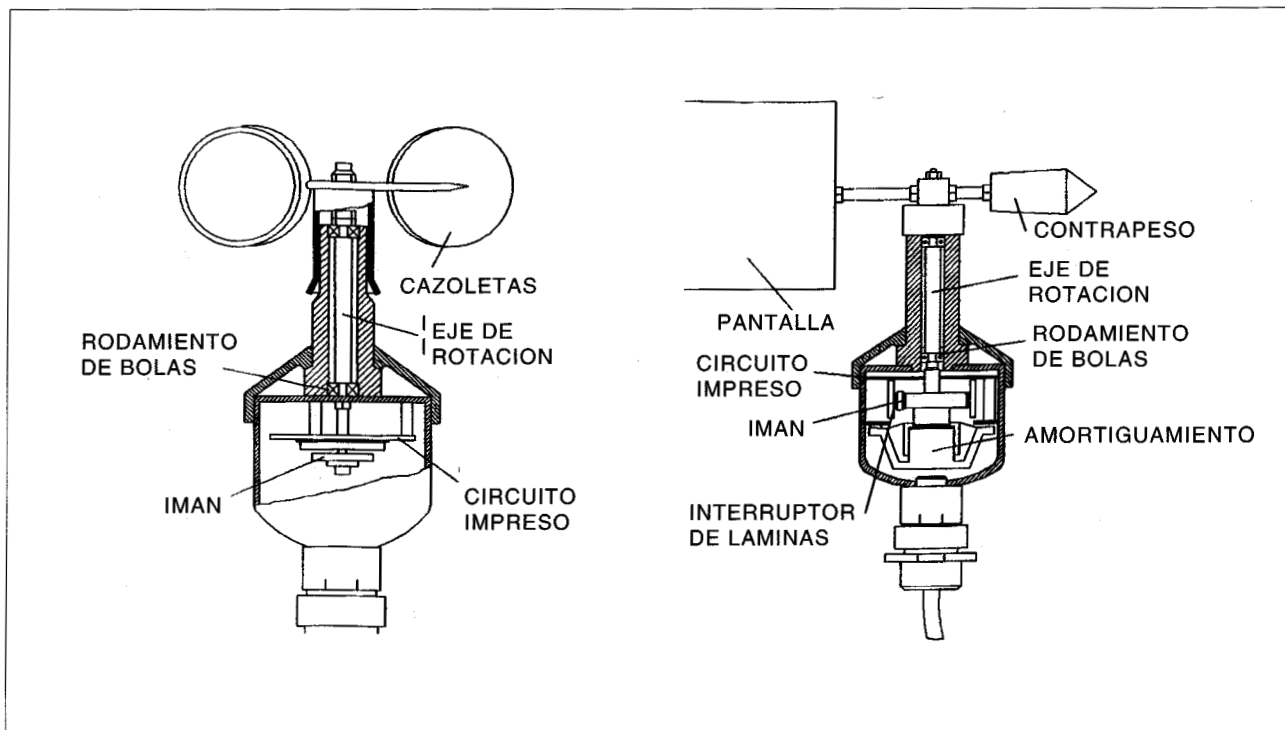


Figura 17 a/ Esquema de un anemómetro.

Figura 17 b/ Esquema de una veleta.

En el caso de presencia de árboles el efecto es similar al que producen los edificios. La figura 16-a muestra las dimensiones de la zona donde el viento queda influenciado por la presencia de árboles. Así por ejemplo si los árboles tienen 10 m. de altura, modifican el flujo de viento desde una distancia anterior de 20 m. a una distancia posterior de 100-150 m. La figura 16-b muestra la reducción de velocidad de viento que se produce por la presencia de filas de árboles (utilizadas en muchos lugares como cortavientos) pudiendo alcanzarse reducciones de hasta un 70-80% de la velocidad inicial del viento justo detrás de la fila de árboles.

2.2. MEDIDA DE LAS CONDICIONES DE VIENTO. FORMAS DE PRESENTACION DE DATOS

El viento se define mediante la velocidad en la horizontal y la dirección. Pueden presentarse

componentes de velocidad de viento en el sentido vertical, pero no se toman en consideración en este estudio.

La velocidad se mide por medio del anemómetro de cazoletas (figura 17-a) y la dirección del viento por medio de una veleta (figura 17-b).

Tanto la velocidad como la dirección del viento sufren variaciones en escalas del orden de segundos originadas por la turbulencia del viento; de horas y días debidas a las variaciones del paso de perturbaciones atmosféricas, y mensuales, producidas por la diferencia que puede mostrar la circulación general de la atmósfera entre el verano y el invierno.

Para caracterizar las condiciones eólicas de un lugar se presentan los datos de viento agrupados en diferentes formas, recogiendo cada una de ellas un tipo dado de información; así, las más importantes son:

- Velocidades medias del viento referidas a un período de tiempo determinado como, horas,

días, meses o años. Es conveniente indicar también la desviación estándar en cada período considerado ya que de esta forma se determina la dispersión de velocidades respecto al valor medio. En la figura 18-a se presentan las velocidades medias mensuales en Igeldo, Vitoria y Logroño.

— Racha máxima y su dirección. Indica la velo-

cidad máxima del viento y su dirección registrados en un período dado.

— La rosa de vientos. Representa el porcentaje de tiempo en el que la velocidad de viento ha sido igual o inferior a un valor dado en cada una de las direcciones definidas, (figura 18.b). Sirve para visualizar las direcciones predominantes del viento. Así, en la rosa de

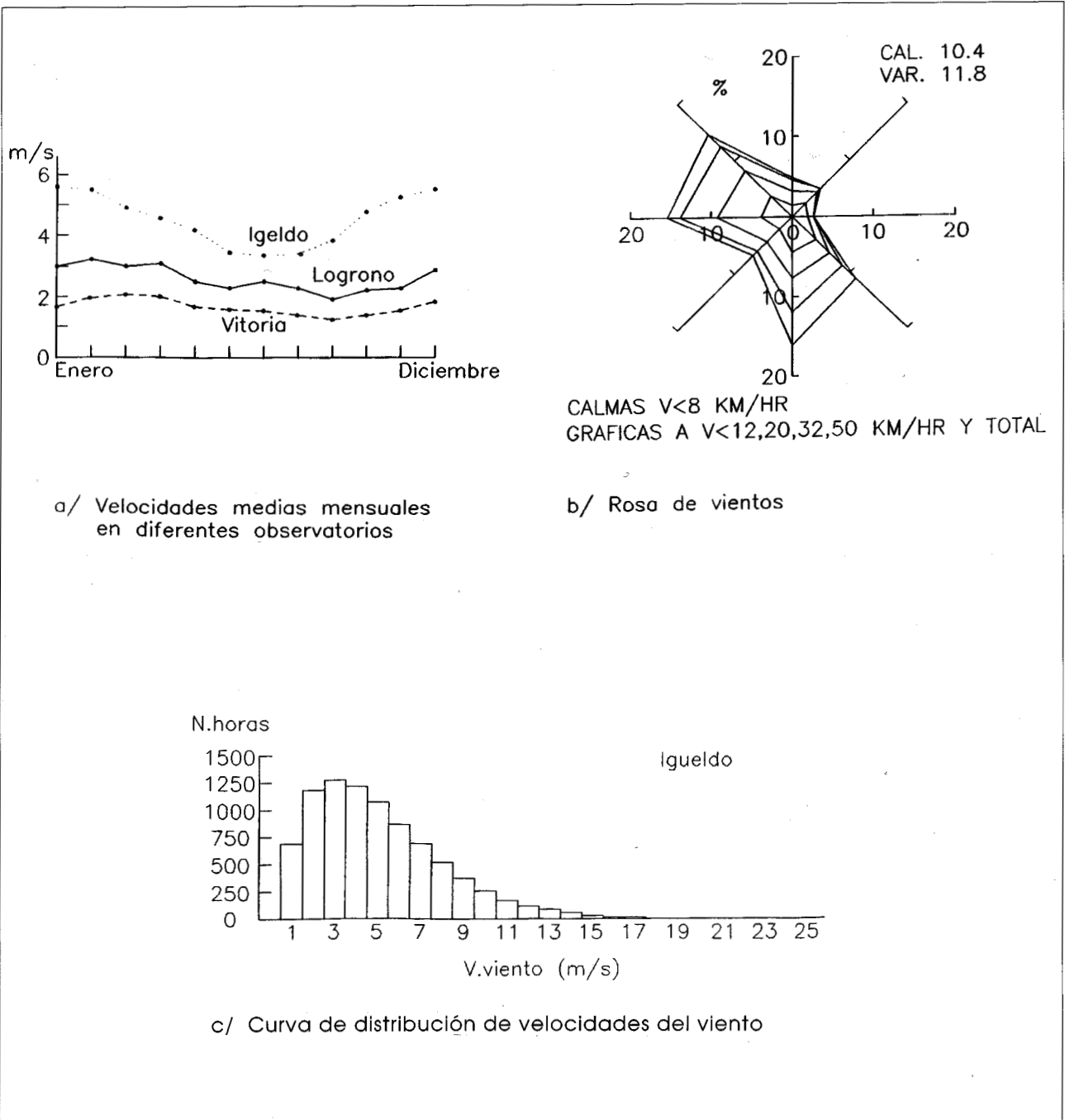


Figura 18. Distintas formas de presentar datos de viento.

vientos anual de Igeldo, se observa que para velocidades inferiores a 12 km/h (curva interior), los vientos del Oeste representan alrededor del 4% y los del Norte cerca del 1.5%; a velocidades iguales o inferiores a 32 km/h, los vientos del Oeste representan el 13% y los del Norte el 4%, y en la curva exterior, que recoge todas las velocidades del viento, la dirección Oeste representa el 15%, mientras que la Norte representa el 4.5% del tiempo.

- Curvas de frecuencia de velocidades de viento. En ellas se representa el número de horas anual (o mensual, dependiendo del período de tiempo elegido) en las que la velocidad de viento media horaria ha estado comprendido entre dos valores dados (figura 18-c).
- Tablas de duración de condiciones de viento. Expresan la estadística del número de ocasiones en que la velocidad del viento ha sido inferior a un valor dado durante un número consecutivo de horas.

Desde el punto de vista energético otro parámetro interesante es la energía eólica disponible en el viento. En un instante dado, la potencia eólica

por unidad de área perpendicular al viento se calcula mediante la relación:

$$PE = 1/2 \cdot \rho \cdot v^3$$

Donde, ρ = Densidad del aire (1.25 Kg/m³ a 10° C).

v = Velocidad del viento.

Si la densidad se expresa en Kg/m³ y la velocidad del viento en m/s la potencia eólica resulta en W/m².

Un método para caracterizar la energía eólica disponible en un emplazamiento consiste en utilizar la potencia eólica media por unidad de superficie en un período de tiempo dado:

$$\langle PE \rangle = 1/2 \cdot \langle \rho \rangle \cdot \langle v^3 \rangle$$

Donde los signos $\langle \rangle$ representan valores medios en el tiempo.

La energía eólica disponible en dicho tiempo vendría expresada mediante la relación:

$$EO = \langle PE \rangle \cdot T$$

Donde EO resultaría en julios si T es la duración del período de tiempo expresada en segundos.

Hay que tener en cuenta que el valor de la velocidad cúbica media del viento $\langle v^3 \rangle$ es un parámetro que depende de la turbulencia del viento y, por lo tanto, es característico del emplazamiento.

3. DATOS DE VIENTO EN VARIAS ESTACIONES DE MEDIDA DEL PAIS VASCO

En este apartado se presentan una serie de datos de condiciones de viento en las estaciones de Igeldo, Vitoria, Sondica, Fuenterrabia, Mondragón, Briñas, Logroño, Zumaia, Ispaster, Itxumendi, Oiz, Lagarbea, Orduña, Kapildui, Bóveda y Herrera. La figura 19 muestra la distribución geográfica del conjunto de estaciones en las que se han tomado datos de viento.

En cada estación particular la situación es la siguiente:

1. Los datos de la estación de Igeldo son los más completos ya que se han realizado a partir de los registros del anemocinemógrafo de la estación meteorológica y de los datos de la estación de la red EM instalada en el mismo observatorio.
2. Los datos de Vitoria corresponden a los registros realizados en la estación meteorológica del aeropuerto de Vitoria y a la estación de la red EM instalada en el edificio del Gobierno Vasco. Además, en Vitoria se ha producido un cambio en la localización del aeropuerto, lo que puede motivar que las condiciones del viento, muy influenciadas por la naturaleza del terreno, sean diferentes en ambos emplazamientos. A pesar de estas diferencias, todos los datos se han incluido dentro de una misma referencia (la estación denominada «Vitoria»), ya que al ser el terreno relativamente llano y las condiciones de viento no muy fuertes, las diferencias entre los datos de las distintas fuentes no son muy significativas y proporcionan en conjunto una indicación clara de las condiciones de viento predominantes en Vitoria
3. Los datos de las estaciones de Mondragón y Briñas provienen de los registros de las esta-

ciones de la red EM emplazadas en dichos lugares.

4. Los datos de Logroño se han calculado a partir de los registros que se efectúan en el observatorio agrometeorológico de Logroño.
5. Los datos de Sondica y Fuenterrabia se han tomado de la publicación «Mapa Eólico Nacional - Análisis del viento para el aprovechamiento energético» editado por el Instituto Nacional de Meteorología.
6. Los datos de las estaciones de Zumaia, Ispaster, Itxumendi, Oiz, Lagarbea, Orduña, Kapildui, Boveda y Herrera, corresponden a los registrados por las estaciones de la red EO situadas en dichos emplazamientos.

En las hojas correspondientes a cada estación se incluye una breve descripción de los emplazamientos de las estaciones de medida. Además en cada conjunto de datos se especifica la forma de cálculo empleada.

Los datos disponibles se han agrupado en los apartados siguientes:

- 1/ Cuadro de velocidades medias mensuales de viento, junto con los valores medios más altos y bajos registrados en el período de medida.
- 2/ Tabla de la relación entre la velocidad cuadrática media $\langle v^2 \rangle / \langle v \rangle^2$, y la relación entre la velocidad cúbica media y el cubo de la velocidad media $\langle v^3 \rangle / \langle v \rangle^3$ en diferentes intervalos de la velocidad media del viento. Indican el grado de turbulencia en cada estación.
- 3/ Cuadro de las medias de las rachas máximas que se han registrado cada mes junto con el valor máximo y el valor mínimo de la racha máxima mensual. Estos datos sólo se presentan para las estaciones de Igeldo, Vitoria y Logroño.
- 4/ Tablas de valores medios de rachas máximas horarias en distintos intervalos de velocidad

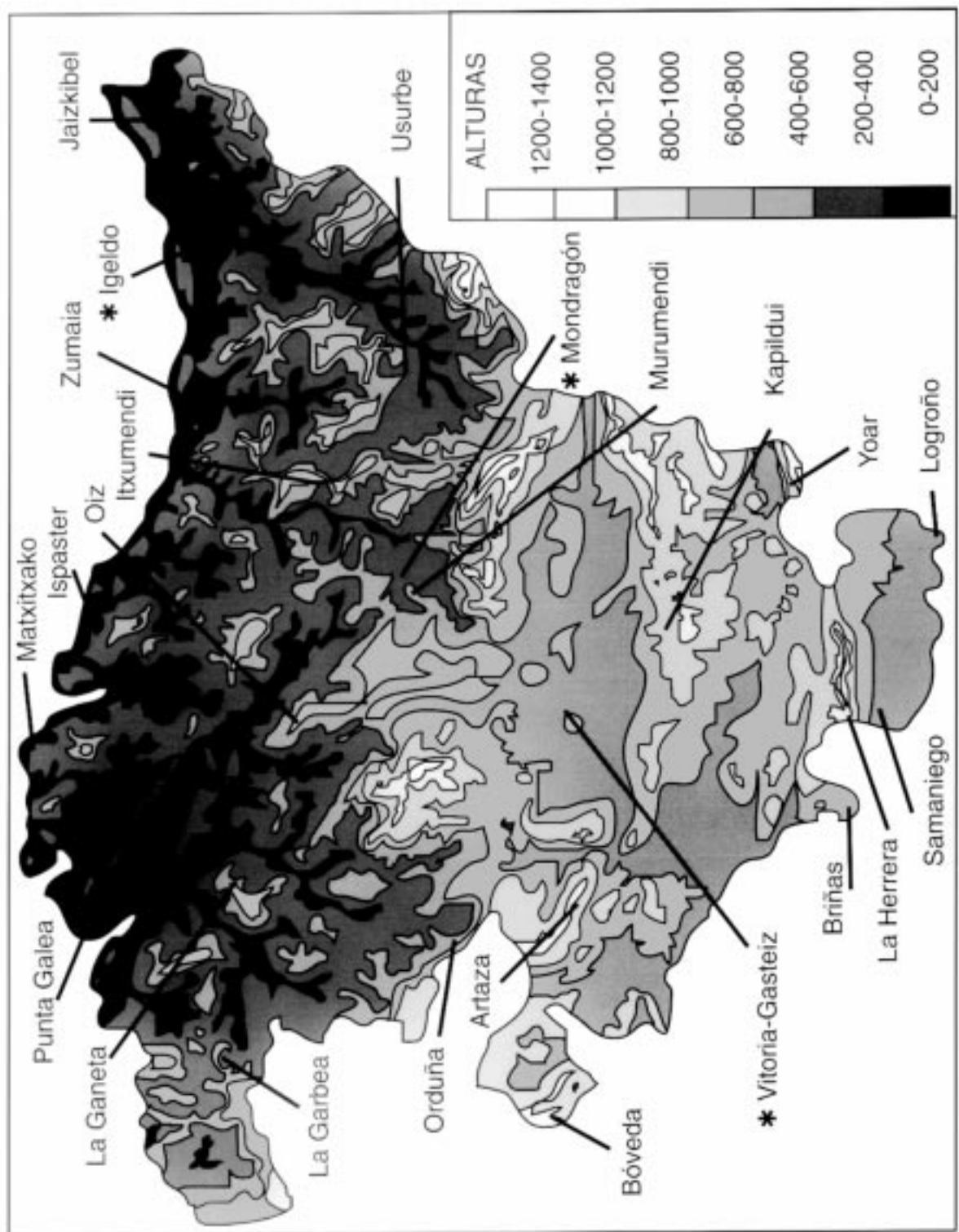


Figura 19. Distribución geográfica de las estaciones de las redes EM y EO

del viento. Muestran el valor de la racha máxima que puede esperarse en promedio para una velocidad media horaria de viento dada.

5/ Curva y cuadro de distribución de velocidades de viento.

Se presenta el porcentaje de horas en los que la velocidad media del viento ha estado comprendido entre dos valores dados (1ª fila) o ha sido inferior a un valor dado (2ª fila). Se incluyen las constantes «k» y «c» de la curva de distribución de Weibull que mejor se ajusta a los valores experimentales. Asimismo se

incorpora el valor de la energía eólica anual total disponible en dicho emplazamiento.

6/ La rosa de vientos anual y la correspondiente a los meses de verano (de mayo a setiembre ambos incluidos) y a los meses de invierno (resto del año). En Ikerlan y Logroño sólo se presentan las rosas anuales ya que no se aprecian diferencias significativas entre las diferentes estaciones del año.

Dependiendo de la información disponible en cada estación, puede presentarse todo el conjunto de datos o solamente algunos de ellos.

IGELDO (GIPUZKOA)

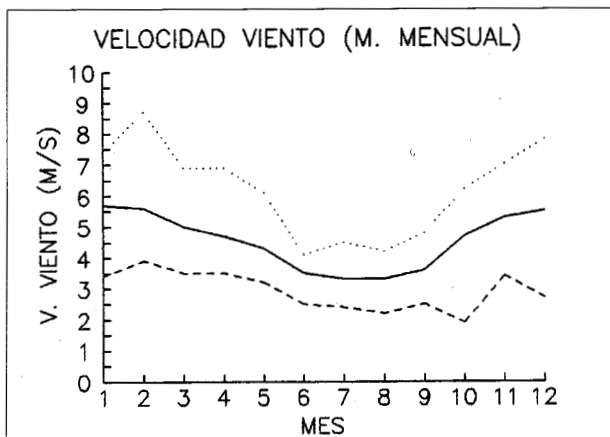
1. SITUACION

Los datos de Igeldo provienen de los equipos instalados en el edificio del Observatorio Meteorológico, que son fundamentalmente un anemocinógrafo y la estación de la red EM.

El Observatorio está situado en una colina, orientada en la dirección Oeste-Este y sin obstáculos cercanos. La ladera Norte desciende hasta el mar, mientras que la ladera Sur, algo más irregular, desciende hasta la ría de Orio, casi a nivel del mar.

El Observatorio se sitúa a una altura de 254 m.s.m. y los anemómetros están instalados en la terraza del edificio, con las cazoletas a 20 m. de altura respecto al suelo.

2. VELOCIDADES MEDIAS DEL VIENTO



MES	V. MEDIA	V. MAX.	V. MIN.
1	5.7	7.4	3.4
2	5.6	8.7	3.9
3	5.0	6.9	3.5
4	4.7	6.9	3.5
5	4.3	6.1	3.2
6	3.5	4.1	2.5
7	3.3	4.5	2.4
8	3.3	4.2	2.2
9	3.6	4.8	2.5
10	4.7	6.2	1.9
11	5.3	7.0	3.4
12	5.5	7.8	2.7
Año	4.6		

Datos calculados del registro del anemo- cinemógrafo (años 1964-1984)

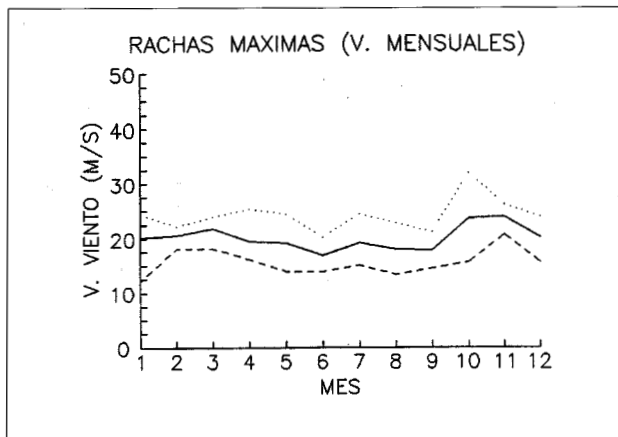
3. VALORES DE LA RELACION f2 Y f3 A DIFERENTES INTERVALOS DE VELOCIDAD MEDIA HORARIA DEL VIENTO

$$f_2 = \frac{\langle v^2 \rangle}{\langle v \rangle^2} \quad \text{y} \quad f_3 = \frac{\langle v^3 \rangle}{\langle v \rangle^3}$$

Intervalo Velocidad	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
f2	—	1.24	1.09	1.05	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
f3	—	2.1	1.22	1.14	1.14	1.14	1.13	1.13	1.13	1.13	1.12	1.12	1.12	1.11	1.10	1.10	1.09	1.08

Datos calculados a partir de los registros de la estación de la red EM.

4. VALORES MENSUALES DE RACHAS MAXIMAS



MES	MEDIAS RACHAS	RACHA MAX.	RACHA MIN.
1	20.2	24.4	12.2
2	20.5	22.2	18.1
3	21.8	23.9	18.1
4	19.4	25.3	16.1
5	19.1	24.4	13.9
6	16.8	20.2	13.9
7	19.1	24.4	15
8	17.9	22.7	13.3
9	17.8	21.1	14.4
10	23.6	21.9	15.6
11	23.9	26.1	20.6
12	20.2	23.9	15.6

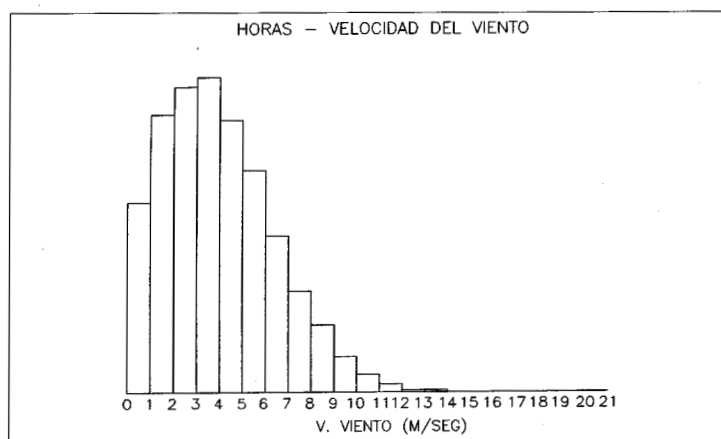
Datos calculados del registro del anemo-cinemógrafo (años 1964-1984)

5. VALORES MEDIOS DE RACHAS MAXIMAS POR INTERVALOS DE VELOCIDAD MEDIA HORARIA DEL VIENTO EN M/S

Intervalos Velocidad	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
Media rachas	1.7	4.5	6.7	8.4	10.0	11.9	13.4	14.7	16.3	17.5	19.0	20.5	21.5	22.8	25.1	26.4	27.7	30.1

Datos de la estación de la red EM.

6. CURVA DE DISTRIBUCION DE VELOCIDADES DEL VIENTO

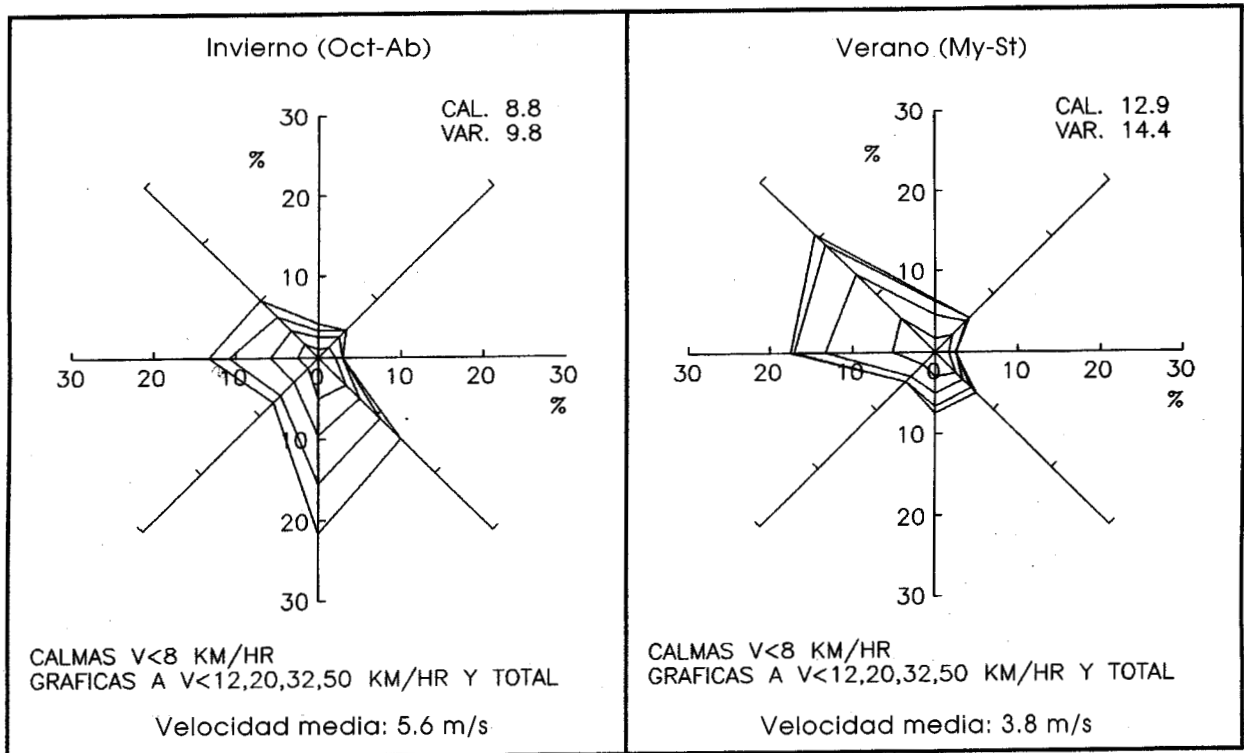
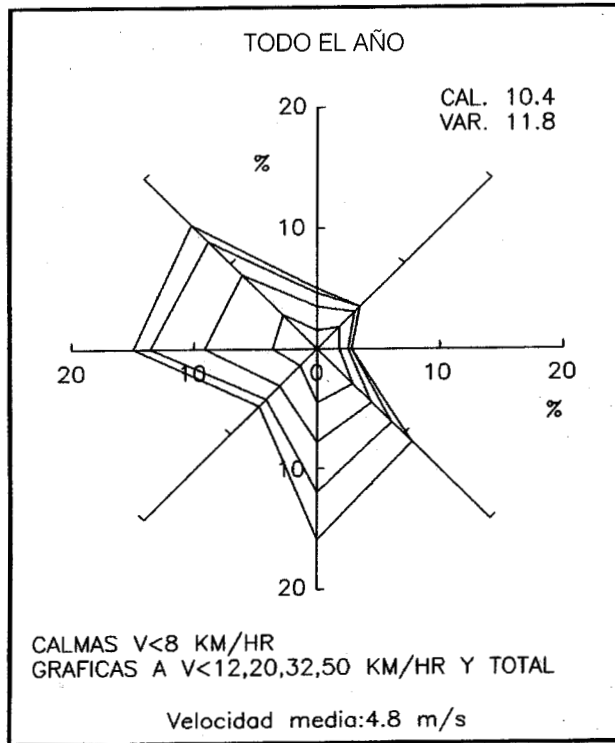


Intervalo Velocidad	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
Porcentaje	9.6	14.1	15.5	16	13.8	11.2	7.9	5.1	3.4	1.8	.9	.4	.1	.1		
Porcentaje Acumulado	9.6	23.7	39.2	55.2	69	80.2	88.1	93.2	96.6	98.4	99.3	99.7	99.8	99.9		

Constante "k" de Weibull = 1.64 Energía eólica anual: 855 kWh/m²
 Constante "c" de Weibull = 4.36

Datos registrados en las estaciones de la red EM (años 1985-1989)

7. ROSA DE VIENTO



Calculados a partir de los datos horarios registrados en las estaciones red EM.
 VAR: Indica que en una hora se han registrado direcciones de viento diferentes en 3 o más cuartos de hora.
 Velocidades medias período 1985-1989.

ARRASATE-MONDRAGON (GIPUZKOA)

1. SITUACION

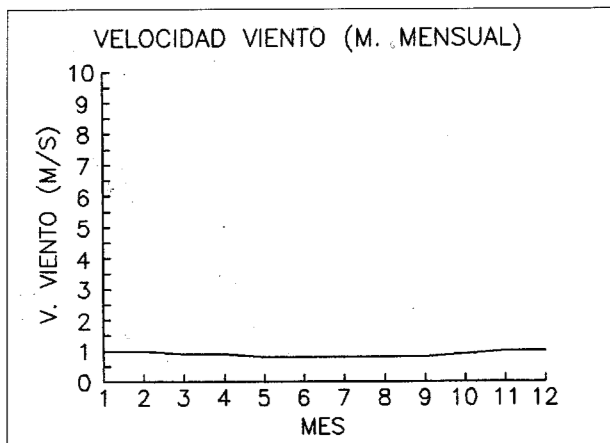
Los datos de Arrasate-mondragón provienen de la estación de la red EM instalada en el tejado del edificio del Centro de Investigación IKERLAN.

El edificio se sitúa en la ladera Norte de una colina que se extiende en la dirección Este-Oeste y junto a un valle que se abre en dicha dirección.

La altura topográfica del emplazamiento es de 230 m.s.m. y las cazoletas del anemómetro están a 15 m. de altura.

La velocidad del viento en esta estación está muy condicionada por la orografía del terreno circundante.

2. VELOCIDADES MEDIAS DE VIENTO



MES	V. MEDIA
1	1.0
2	1.0
3	0.9
4	0.9
5	0.8
6	0.8
7	0.8
8	0.8
9	0.8
10	0.9
11	1
12	1
Año	0.9

Valores calculados mediante una correlación entre los valores medios diarios de velocidad de viento entre Arrasate-Mondragón e Igeldo

3. VALORES DE LA RELACION f_2 y f_3 A DIFERENTES INTERVALOS DE VELOCIDAD MEDIA HORARIA DE VIENTO

$$f_2 = \frac{\langle v^2 \rangle}{\langle v \rangle^2} \quad \text{y} \quad f_3 = \frac{\langle v^3 \rangle}{\langle v \rangle^3}$$

Intervalo	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
f_2	2.6	1.28	1.21	1.18	1.15	1.14	1.13											
f_3	7	2.57	2.05	1.86	1.69	1.61	1.56											

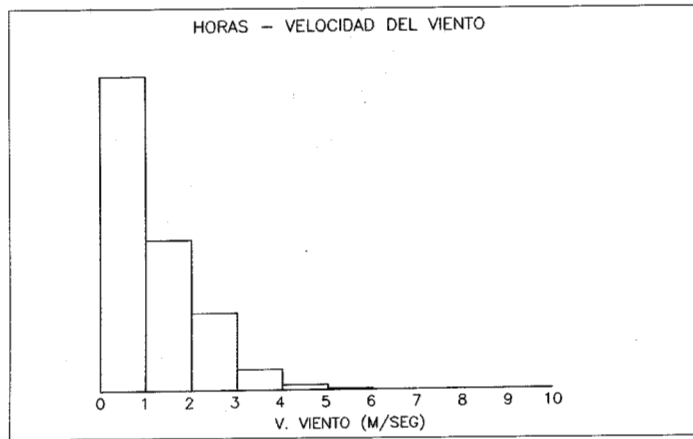
Datos calculados a partir de los registros de la estación de la red EM.

4. VALORES MEDIOS DE RACHAS MAXIMAS POR INTERVALOS DE VELOCIDAD MEDIA HORARIA DEL VIENTO EN M/S

Intervalo	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20
Media rachas	1.9	5.1	7.5	9.9	12.5	14.8	18.7													

Datos de la estación de la red EM.

5. CURVA DE DISTRIBUCION DE VELOCIDADES DEL VIENTO



Intervalo	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	
Velocidad																				
Porcentaje	55.1	26.4	13.6	3.7	.9	.2	0.05													

Constante «k» de Weibull = 1.47

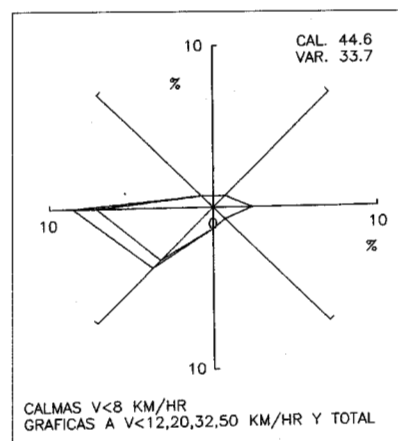
Energía eólica anual: 29 kWh/m²

Constante «c» de Weibull = 5.60

Calculado a partir de los datos de la estación red EM.

6. ROSA DE VIENTOS

Todo el año



Velocidad media: 1.1 m/s

No hay diferencias destacables entre la rosa de vientos del invierno y del verano

Calculados a partir de los datos horarios registrados en las estaciones red EM.

VAR: Indica que en una hora se han registrado direcciones de viento diferentes en 3 o más cuartos de hora.

Velocidades medias período 1985-1988.

VITORIA-GASTEIZ

1. SITUACION

Los datos de Vitoria-Gasteiz provienen de dos fuentes:

1. El anemocinemógrafo del Observatorio Metereológico situado en el aeropuerto de Foronda, y
2. La estación de la red EM instalada en el tejado del edificio del Gobierno Vasco en Lakua.

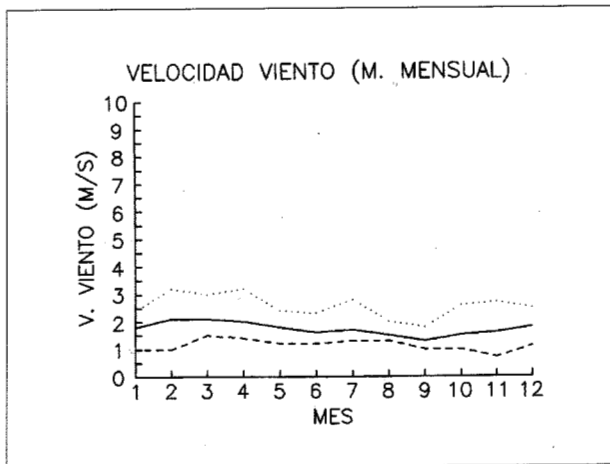
La altura topográfica de Vitoria-Gasteiz es de 540 m.s.m..

No se conoce la altura a la que está el anemómetro del Observatorio. La altura del anemómetro de la red EM es de 40 m.

El terreno circundante a la posición de ambas estaciones es llano, abierto y sin obstáculos cercanos. En el caso de la estación EM, las primeras casas de la ciudad quedan hacia el Sureste a unos 300-400 m. de distancia.

2. VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO

Unidades m/s Observatorio de Vitoria-Gasteiz Red EM



MES	V. MEDIA	V. MAX.	V. MIN.	V. MEDIA
1	1.8	2.4	1.0	2.6
2	2.1	3.2	1.0	2.6
3	2.1	3.0	1.5	2.3
4	2.0	3.2	1.4	2.2
5	1.8	2.4	1.2	2
6	1.6	2.3	1.2	1.8
7	1.7	2.8	1.3	1.7
8	1.5	2.0	1.3	1.7
9	1.3	1.8	1.0	1.8
10	1.5	2.6	1.0	2.2
11	1.6	2.7	0.7	2.4
12	1.8	2.5	1.1	2.5
Año	1.7			2.2

Datos calculados a partir de los registros del anemocinemógrafo (años 1964-1984)

3. VALORES DE LA RELACION f2 Y f3 A DIFERENTES INTERVALOS DE VELOCIDAD MEDIA HORARIA DEL VIENTO

$$f_2 = \frac{\langle v^2 \rangle}{\langle v \rangle^2} \quad \text{y} \quad f_3 = \frac{\langle v^3 \rangle}{\langle v \rangle^3}$$

Intervalo Velocidad	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
f2	2.4	1.24	1.23	1.18	1.19	1.14	1.14	1.14	1.13	1.12	1.12	1.10	1.10			
f3	6.4	2.0	1.80	1.60	1.44	1.19	1.47	1.43	1.43	1.38	1.34	1.32	1.32			

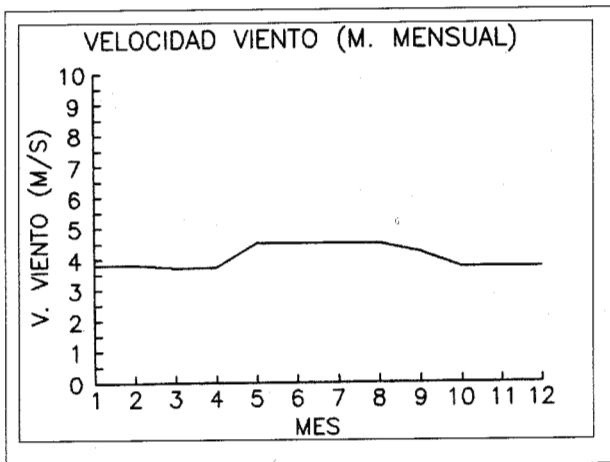
Datos calculados a partir de los registros de la estación de la red EM.

BRIÑAS (LA RIOJA)

1. SITUACION

Los datos de Briñas provienen de la estación de la red EM instalada en el edificio de la residencia infantil de la BBK. La altura topográfica de Briñas es de 460 m.s.m. El anemómetro está situado en lo alto de una torre a 20 m. del suelo. El terreno cercano a la estación es abierto y ajardinado. Hacia el Norte empiezan las estribaciones de la Sierra de Cantabria, y hacia el Oeste se sitúan los montes de las Conchas de Haro.

2. VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO



MES	V. MEDIA
1	3.8
2	3.8
3	3.7
4	3.7
5	4.5
6	4.5
7	4.5
8	4.5
9	4.2
10	3.7
11	3.7
12	3.7
Año	4.0

Valores calculados por correlación entre los valores medios diarios de velocidad de viento de la estación y los de Igeldo.

3. VALORES DE LA RELACION f_2 Y f_3 A DIFERENTES INTERVALOS DE VELOCIDAD MEDIA HORARIA DE VIENTO

$$f_2 = \frac{\langle v^2 \rangle}{\langle v \rangle^2} \quad \text{y} \quad f_3 = \frac{\langle v^3 \rangle}{\langle v \rangle^3}$$

Intervalo	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
f_2	2.4	1.28	1.16	1.12	1.09	1.08	1.06	1.05	1.05	1.04	1.04	1.05	1.03	1.03	1.04	1.02
f_3	8	2.19	1.44	1.30	1.18	1.16	1.14	1.13	1.12	1.10	1.08	1.07	1.07	1.07	1.06	1.06

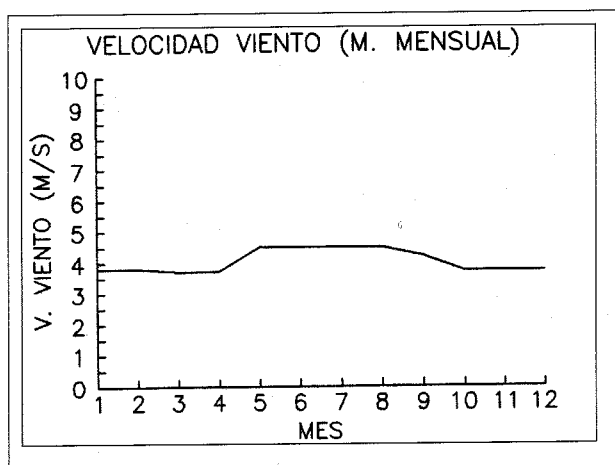
Datos calculados a partir de los registros de la estación de la red EM.

BRIÑAS (LA RIOJA)

1. SITUACION

Los datos de Briñas provienen de la estación de la red EM instalada en el edificio de la residencia infantil de la BBK. La altura topográfica de Briñas es de 460 m.s.m. El anemómetro está situado en lo alto de una torre a 20 m. del suelo. El terreno cercano a la estación es abierto y ajardinado. Hacia el Norte empiezan las estribaciones de la Sierra de Cantabria, y hacia el Oeste se sitúan los montes de las Conchas de Haro.

2. VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO



MES	V. MEDIA
1	3.8
2	3.8
3	3.7
4	3.7
5	4.5
6	4.5
7	4.5
8	4.5
9	4.2
10	3.7
11	3.7
12	3.7
Año	4.0

Valores calculados por correlación entre los valores medios diarios de velocidad de viento de la estación y los de Igeldo.

3. VALORES DE LA RELACION f2 Y f3 A DIFERENTES INTERVALOS DE VELOCIDAD MEDIA HORARIA DE VIENTO

$$f_2 = \frac{\langle v^2 \rangle}{\langle v \rangle^2} \quad \text{y} \quad f_3 = \frac{\langle v^3 \rangle}{\langle v \rangle^3}$$

Intervalo	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
f2	2.4	1.28	1.16	1.12	1.09	1.08	1.06	1.05	1.05	1.04	1.04	1.05	1.03	1.03	1.04	1.02
f3	8	2.19	1.44	1.30	1.18	1.16	1.14	1.13	1.12	1.10	1.08	1.07	1.07	1.07	1.06	1.06

Datos calculados a partir de los registros de la estación de la red EM.

KAPILDUI (ARABA)

1. SITUACION

Los datos provienen de la estación de medida de la red EO instalada en el repetidor de ETB situado en la cumbre del monte Kapildui. La altura topográfica de la cumbre es de 1175 m. y la altura del anemómetro es de 10 m.

El monte tiene forma de pico con una cima redondeada, las laderas tienen una pendiente media y están recubiertas de bosques de hayas.

2. VELOCIDADES MEDIAS MENSUALES

Unidades m/s

EN	FB	MR	AB	MY	JN	JL	AG	ST	OC	NV	DC	AÑO
5.9	5.9	5.5	5.4	5.1	4.6	4.5	4.5	4.7	5.4	5.7	5.8	5.3

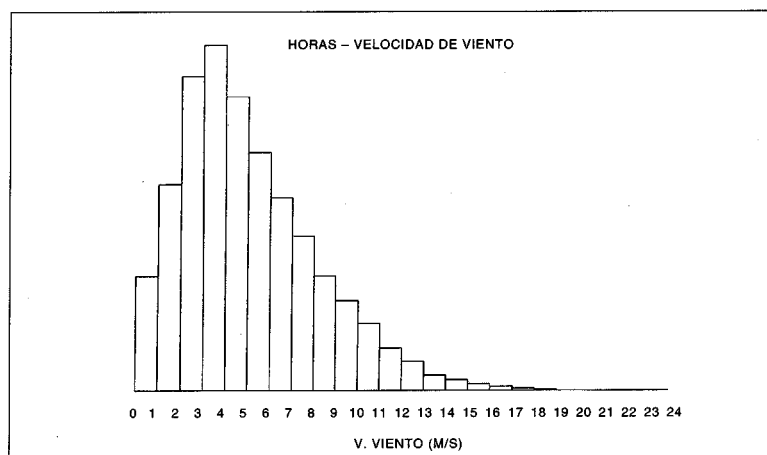
3. VALORES MEDIOS DE RACHAS MAXIMAS POR INTERVALOS DE VELOCIDAD DE MEDIA HORARIA DEL VIENTO

Intervalo Velocidad	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
Media rachas	2.6	3.9	5.0	6.5	7.8	9.5	11.2	12.7	14.5	16.0	17.8	19	20	22.1	23.3	24.9

4. VALORES DE LA RELACION f_3 , $f_3 = \langle v^3 \rangle / \langle v \rangle$ A DIFERENTES INTERVALOS DE VELOCIDAD MEDIA HORARIA DEL VIENTO

Intervalo Velocidad	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
f_3	2.4	1.71	1.33	1.18	1.13	1.11	1.09	1.08	1.07	1.07	1.06	1.06	1.04	1.04	1.02	

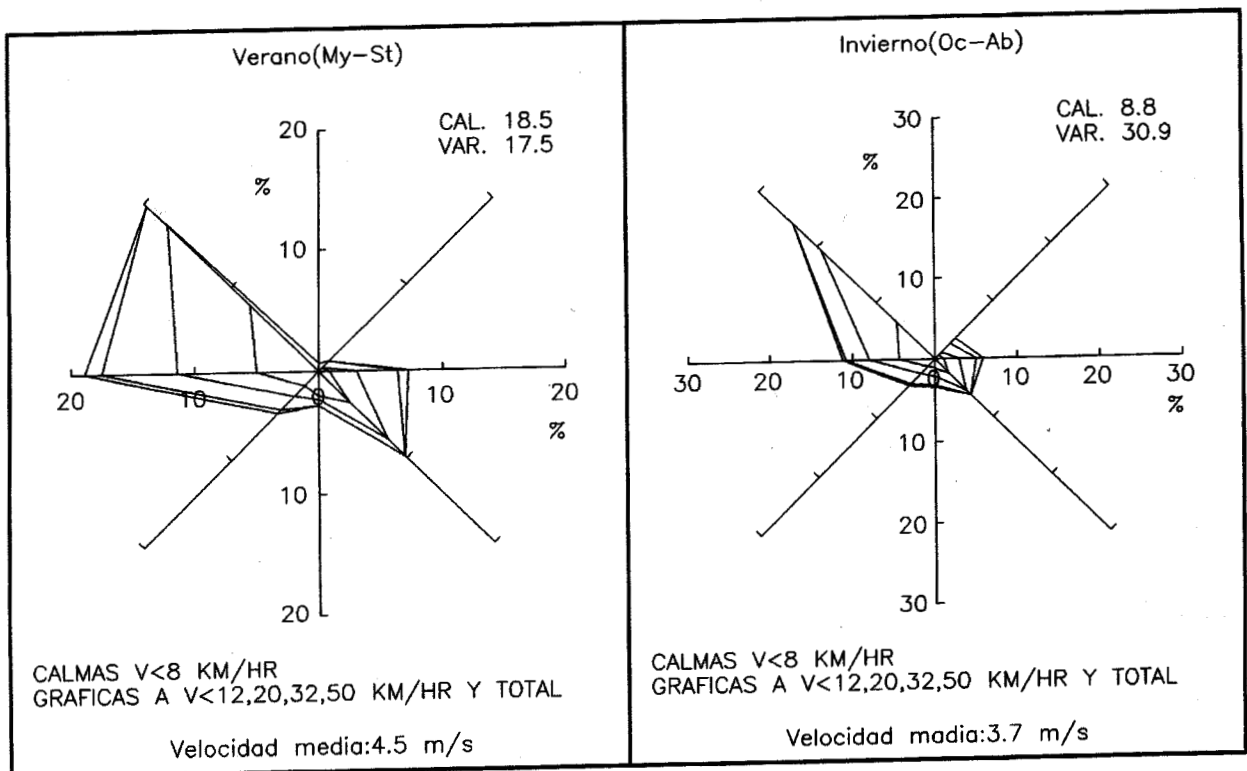
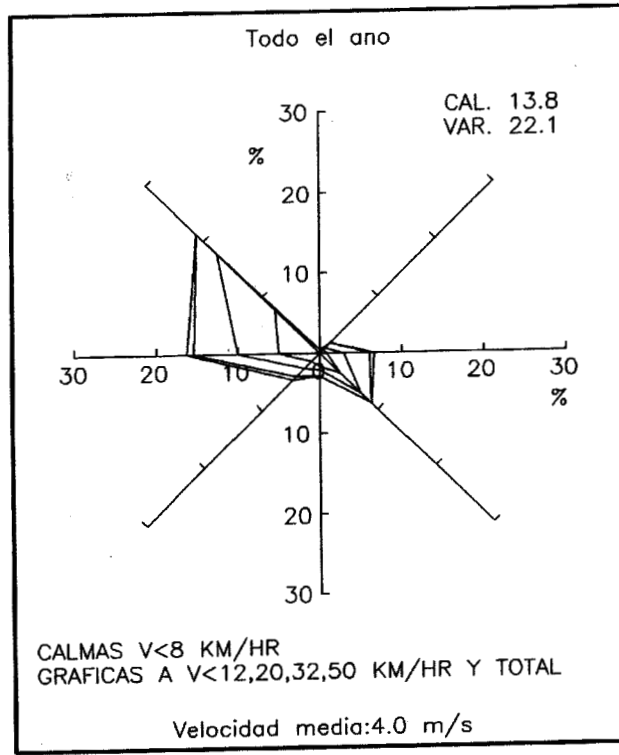
5. CURVA DE DISTRIBUCION DE VELOCIDADES DEL VIENTO



Intervalo Velocidad	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
Porcentajes	12.5	5.2	9.0	13.1	14.1	13.4	10.9	8.2	5.2	3.3	2.0	1.4	0.8	0.5	0.3	0.2

Constante «k» de Weibull: 1.58 Energía eólica: 1953 kWh/m²
 Constante «c» de Weibull: 5.15

6. ROSA DE VIENTO



Calculados a partir de los datos horarios registrados en las estaciones red EM (años 1985-1989).
VAR Indica que en una hora se han registrado direcciones de viento diferentes en 3 o más cuartos de hora.
Velocidades medias en el período 1985-1989.

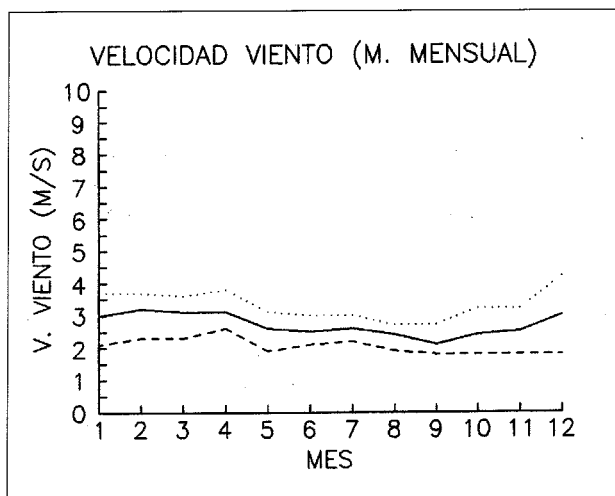
LOGROÑO

1. SITUACION

Los datos de Logroño provienen del anemo-cinemógrafo instalado en el Observatorio Agrometeorológico de Logroño. La altura topográfica de la estación es de 380 m.s.m. y la altura del anemómetro sobre el terreno es de 15 m.

El observatorio está emplazado cerca del pueblo de Varea, próximo a Logroño, en una zona de terreno llano y dedicado a la agricultura.

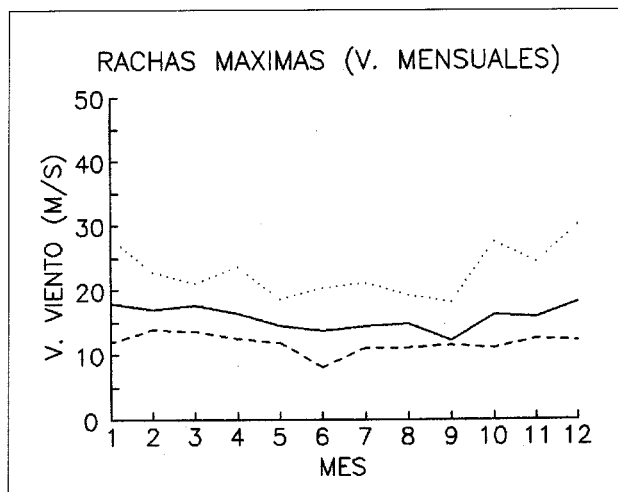
2. VELOCIDADES MEDIAS DE VIENTO



MES	V. MEDIA	V. MAX.	V. MIN.
1	3	3.7	2.1
2	3.2	3.7	2.3
3	3.1	3.6	2.3
4	3.1	3.8	2.6
5	2.6	3.1	1.9
6	2.5	3.0	2.1
7	2.6	3.0	2.2
8	2.4	2.7	1.9
9	2.1	2.7	1.8
10	2.4	3.2	1.8
11	2.5	3.2	1.8
12	3.0	4.2	1.8
Año	2.70		

Datos calculados del registro del anemo-cinemógrafo (años 1964-1984).

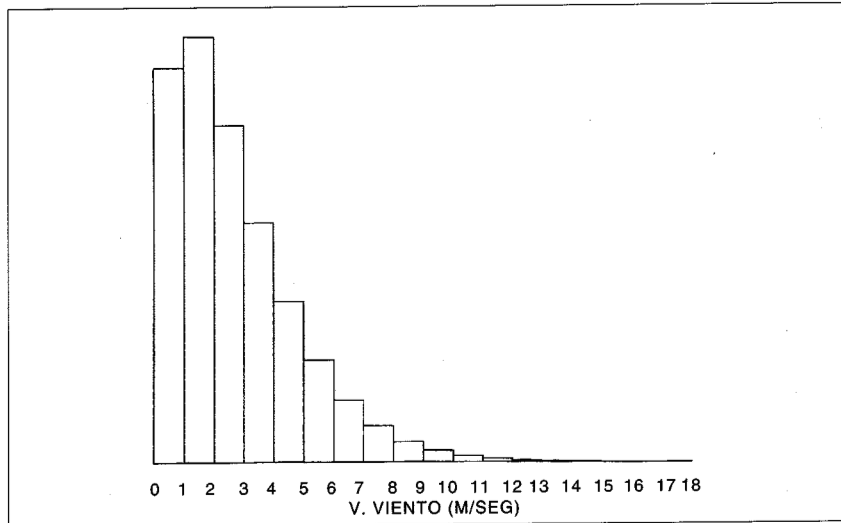
3. VALORES MENSUALES DE LAS RACHAS MAXIMAS



MES	V. MEDIA	V. MAX.	V. MIN.
1	17.9	28.1	11.9
2	17	22.8	13.9
3	17.6	21.1	13.6
4	16.4	23.6	12.5
5	14.5	18.6	11.9
6	13.7	20.3	8.1
7	14.4	21.1	11.1
8	14.8	19.2	11.1
9	12.2	18.1	11.5
10	16.2	27.5	11.1
11	15.8	24.4	12.5
12	18.1	30	12.2

Datos del Observatorio Meteorológico (años 1964-1984).

4. CURVA DE DISTRIBUCION DE VELOCIDADES DEL VIENTO

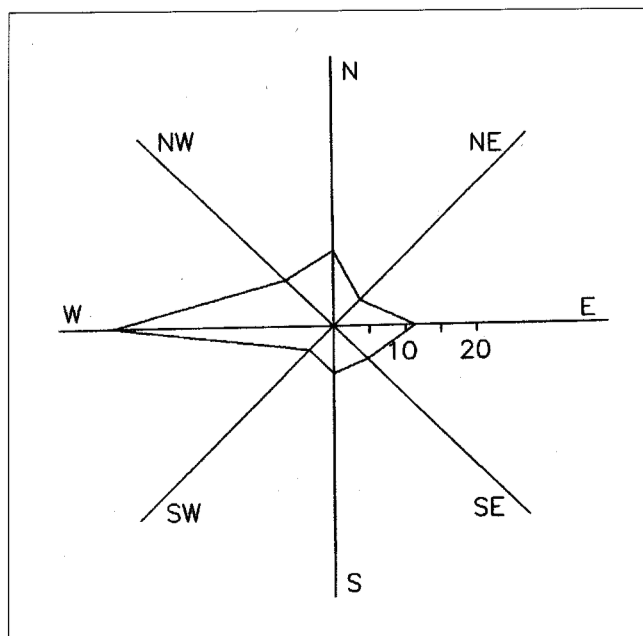


Intervalo Velocidad	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15
Porcentaje	21.9	23.6	18.7	13.3	8.9	5.6	3.4	2.0	1.1	.64	.34	.18	.09	.06	.02
Porcentaje Acumulado	21.9	45.5	64.2	77.5	86.4	92	95.4	97.4	98.5	99.1	99.5	99.7	99.8	99.8	99.8

Constante «k» de Weibull: 1.36 Energía eólica: 434 kWh/m²
 Constante «C» de Weibull: 3.00

Calculado mediante el método explicado en el apéndice 2.

5. ROSA DE VIENTOS



Datos proporcionados por el Observatorio Meteorológico.

ZUMAIA (GIPUZKOA)

1. SITUACION

Los datos provienen de la estación de la red EO instalada en el faro de Zumaia, el faro está localizado en una pequeña colina a la entrada del puerto. La altura topográfica de la colina es de 40 m. y el anemómetro está situado a 10 m. de altura. El terreno es abierto con el mar hacia las dirección NO, N y NE, y hacia el Sur se encuentra el pueblo de Zumaia. Por el Oeste existe una colina de mayor altura, 100 m.

2. VELOCIDADES MEDIAS MENSUALES

Unidades m/s

EN	FB	MR	AB	MY	JN	JL	AG	ST	OC	NV	DC	AÑO
4.3	4.3	4	3.8	3.6	3.1	3	3	3.2	3.8	4.2	4.3	3.7

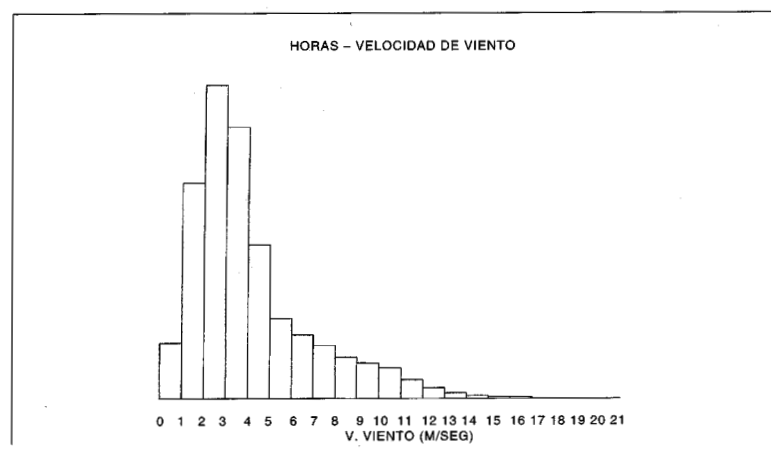
3. VALORES MEDIOS DE RACHAS MAXIMAS POR INTERVALOS DE VELOCIDAD MEDIA HORARIA DEL VIENTO

Intervalo Velocidad	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9
Media rachas	2.2	3.9	5.9	8.5	12.3	18.4	24	29	

4. VALORES DE LA RELACION f_3 , $f_3 = \langle v^3 \rangle / \langle v \rangle$ A DIFERENTES INTERVALOS DE VELOCIDAD MEDIA HORARIA DEL VIENTO

Intervalo Velocidad	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9
f_3	8	1.95	1.44	1.30	1.20	1.24	1.19	1.17	1.12

5. CURVA DE DISTRIBUCION DE VELOCIDADES DEL VIENTO



Intervalo Velocidad	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	10-11	11-12	12-13	> 12
Porcentajes	4.2	16.1	23.4	20.3	11.5	6.0	4.8	4.0	3.1	2.3	1.4	0.8	1.6

Constante «k» de Weibull: 1.55 Energía eólica: 887 kWh/m²
 Constante «C» de Weibull: 4.98

ISPASTER (BIZKAIA)

1. SITUACION

Los datos provienen de la estación de la red EO instalada en un repetidor de ETB situado entre Ea e Ispaster a unos 5 km. del mar. La altura topográfica de la estación es de 230 m.s.m., y el anemómetro está a 10 m. de altura del suelo.

El terreno es ondulado ganando altura hacia el Sur donde se presentan montes en la dirección Este-Oeste. En las cercanías de la estación al terreno es una mezcla de prados y bosques de pinos.

2. VELOCIDADES MEDIAS MENSUALES

Unidades m/s

EN	FB	MR	AB	MY	JN	JL	AG	ST	OC	NV	DC	AÑO
3.4	3.4	3.1	2.9	2.6	2.2	2.1	2.1	2.3	2.9	3.2	3.4	2.8

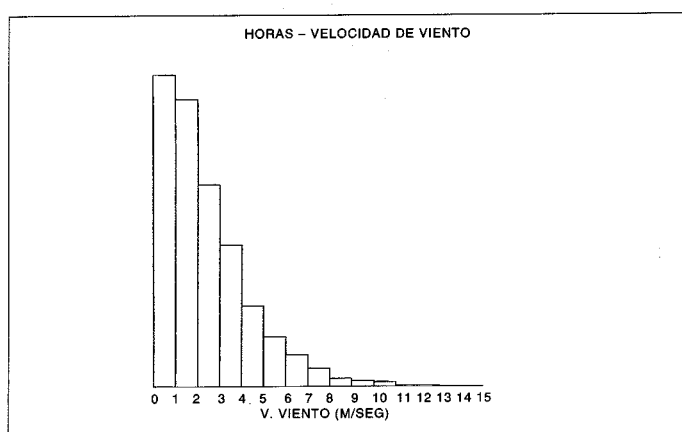
3. VALORES MEDIOS DE RACHAS MAXIMAS POR INTERVALOS DE VELOCIDAD MEDIA HORARIA DEL VIENTO

Intervalo Velocidad	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15
Media rachas	2.3	4.0	6.0	8.1	10.5	12.9	14.7	16.8	18.7	20.2	22.5	24.9	25.3	24.3	27.5

4. VALORES DE LA RELACION F3 , $F3 = \langle V^3 \rangle / \langle V \rangle$ A DIFERENTES INTERVALOS DE VELOCIDAD MEDIA HORARIA DEL VIENTO

Intervalo Velocidad	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14
Intervalo V viento (m/s)	9.10	1.60	1.55	1.50	1.40	1.30	1.21	1.14	1.10	1.06	1.04	1.02	1.05	1.02

5. CURVA DE DISTRIBUCION DE VELOCIDADES DEL VIENTO



Intervalo Velocidad	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	10-11	11-12	12-13	13-14
Porcentajes	27.3	25.2	17.8	12.5	7.1	4.4	2.8	1.6	0.7	0.4	0.1	0.1	

Constante «k» de Weibull: 1.28 Energía eólica: 505 kWh/m²
 Constante «c» de Weibull: 2.54

ITXUMENDI (GIPUZKOA)

1. SITUACION

Los datos provienen de la estación de medida de la red EO instalada en el monte de Itxumendi, cerca del alto de Gorla, entre Bergara y Azkoitia. La altura topográfica de la estación es de 725 m. y el anemómetro está a una altura de 10 m. sobre el suelo. El eje de la cadena montañosa tiene una orientación preferente del Norte al Sur. El terreno circundante a la estación es un cambio de vertiente de forma ondulada, existiendo bosques de pinos al Oeste y Noroeste.

2. VELOCIDADES MEDIAS MENSUALES

Unidades m/s

EN	FB	MR	AB	MY	JN	JL	AG	ST	OC	NV	DC	AÑO
3.5	3.5	3.2	3.1	3.0	2.6	2.5	2.5	2.7	3.1	3.4	3.5	3.1

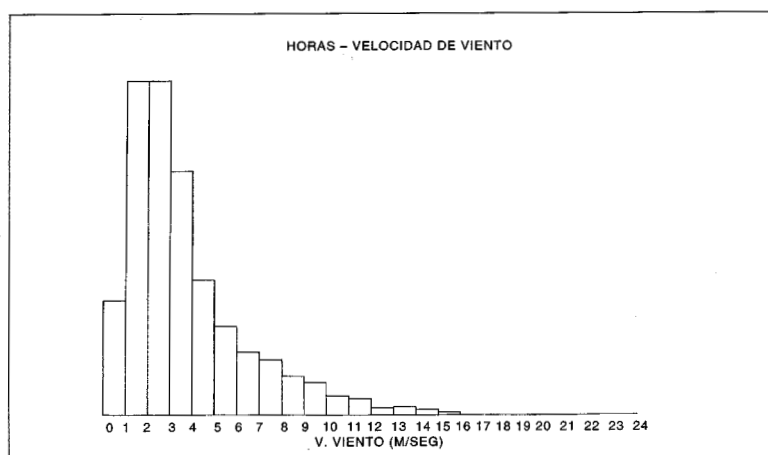
3. VALORES MEDIOS DE RACHAS MAXIMAS POR INTERVALOS DE VELOCIDAD MEDIA HORARIA DEL VIENTO

Intervalo Velocidad	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
Media rachas	2.1	3.5	5.3	7.1	9.0	10.7	12.4	14.1	15.7	17.0	18.6	20.3	22	23.2	25	27.4

4. VALORES DE LA RELACION f_3 , $f_3 = \langle v^3 \rangle / \langle v \rangle$ A DIFERENTES INTERVALOS DE VELOCIDAD MEDIA HORARIA DEL VIENTO

Intervalo Velocidad	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
f_3	6.4	1.54	1.33	1.24	1.18	1.16	1.14	1.11	1.10	1.09	1.10	1.08	1.07	1.07	1.07	1.06

5. CURVA DE DISTRIBUCION DE VELOCIDADES DEL VIENTO



Intervalo Velocidad	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
Porcentajes	7.6	22.2	22.2	16.2	9.0	5.9	4.2	3.7	2.6	2.2	1.3	1.1	0.5	0.6	0.4	0.2

Constante «k» de Weibull: 1.41 Energía eólica: 573 kWh/m²
 Constante «c» de Weibull: 4.38

OIZ (BIZKAIA)

1. SITUACION

Los datos provienen de la estación de medida de la red EO instalada en la cumbre del monte Oiz. La altura topográfica del monte es de 1.028 m.s.m. y el anemómetro está colocado en la torre repetidora de ETB a 20 m. de altura. El monte Oiz tiene una forma elíptica con su eje principal orientado del Noroeste al Sureste. La pendiente de las laderas es suave o media y con poco arbolado.

2. VELOCIDADES MEDIAS MENSUALES

Unidades m/s

EN	FB	MR	AB	MY	JN	JL	AG	ST	OC	NV	DC	AÑO
6.5	6.5	6	5.8	5.4	4.8	4.6	4.6	4.9	5.8	6.2	6.4	5.7

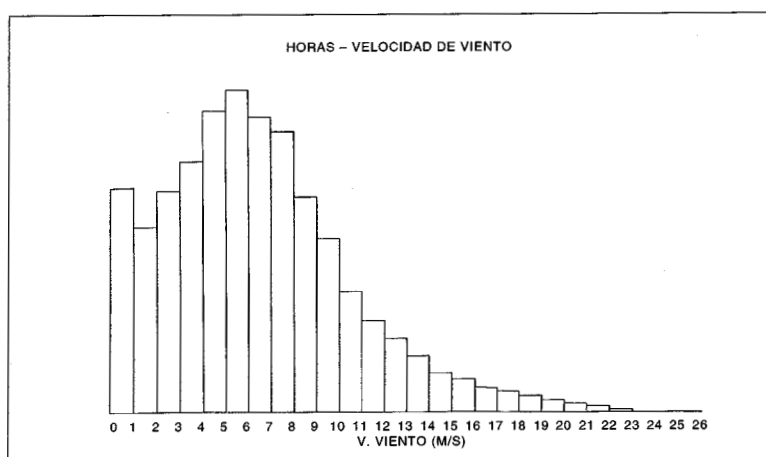
3. VALORES MEDIOS DE RACHAS MAXIMAS POR INTERVALOS DE VELOCIDAD MEDIA HORARIA DEL VIENTO

Intervalo Velocidad	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
Media rachas	2.1	4.5	5.3	6.5	7.8	8.9	10.1	11.7	12.9	14.2	15.6	17.1	18.3	20.4	21.1	22.5

4. VALORES DE LA RELACION f_3 , $f_3 = \langle v^3 \rangle / \langle v \rangle$ A DIFERENTES INTERVALOS DE VELOCIDAD MEDIA HORARIA DEL VIENTO

Intervalo Velocidad	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
f_3	8.8	2.9	1.54	1.23	1.23	1.16	1.11	1.09	1.07	1.03	1.03	1.04	1.03	1.03	1.02	1.02

5. CURVA DE DISTRIBUCION DE VELOCIDADES DEL VIENTO



Intervalo Velocidad	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
Porcentajes	10.5	7.6	9.5	10.5	10.4	9.8	8.8	7.4	6.1	5.0	4.0	3.1	1.9	1.7	1.1	0.7

Constante «k» de Weibull: 1.42 Energía eólica: 2724 kWh/m²
 Constante «c» de Weibull: 6.09

LA GARBEA (BIZKAIA)

1. SITUACION

Los datos provienen de la estación de medida de la red EO instalada en la cumbre del monte de La Garbea. La altura topográfica de la cumbre es de 719 m. y el anemómetro está situado en el repetidor de ETB a 25 m. del suelo. El eje del monte tiene una orientación preferente del Oeste al Este y las laderas a ambos lados son bastante pronunciadas.

2. VELOCIDADES MEDIAS MENSUALES

Unidades m/s

EN	FB	MR	AB	MY	JN	JL	AG	ST	OC	NV	DC	AÑO
5.8	5.8	5.5	5.3	5	4.3	4.1	4.1	4.4	5.2	5.6	5.8	5.1

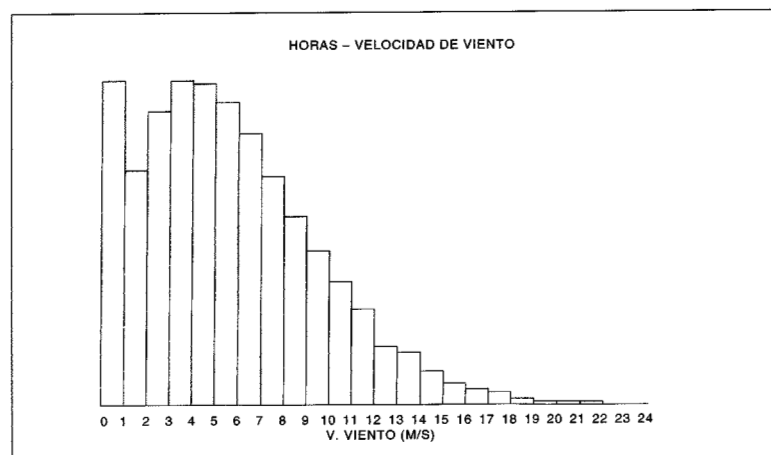
3. VALORES MEDIOS DE RACHAS MAXIMAS POR INTERVALOS DE VELOCIDAD MEDIA HORARIA

Intervalo Velocidad	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
Media rachas	2.2	3.8	5.0	6.5	8.0	9.5	11.1	12.9	14.4	16.2	17.5	19.9	22.5	24	25.8	27.7

4. VALORES DE LA RELACION f_3 , $f_3 = \langle V^3 \rangle / \langle V \rangle$ A DIFERENTES INTERVALOS DE VELOCIDAD MEDIA HORARIA DEL VIENTO

Intervalo Velocidad	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
f_3	7.6	3.0	2.0	1.65	1.42	1.18	1.12	1.08	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.06

5. CURVA DE DISTRIBUCION DE VELOCIDADES DEL VIENTO



Intervalo Velocidad	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
Porcentajes	5.1	9.2	14.0	15.4	13.1	10.6	8.6	6.9	5.1	4.0	3.0	1.9	1.3	0.7	0.5	0.3

Constante «k» de Weibull: 1.70 Energía eólica: 1892 kWh/m²
 Constante «c» de Weibull: 5.72

KAPILDUI (ARABA)

1. SITUACION

Los datos provienen de la estación de medida de la red EO instalada en el repetidor de ETB situado en la cumbre del monte Kapildui. La altura topográfica de la cumbre es de 1175 m. y la altura del anemómetro es de 10 m.

El monte tiene forma de pico con una cima redondeada, las laderas tienen una pendiente media y están recubiertas de bosques de hayas.

2. VELOCIDADES MEDIAS MENSUALES

Unidades m/s

EN	FB	MR	AB	MY	JN	JL	AG	ST	OC	NV	DC	AÑO
5.9	5.9	5.5	5.4	5.1	4.6	4.5	4.5	4.7	5.4	5.7	5.8	5.3

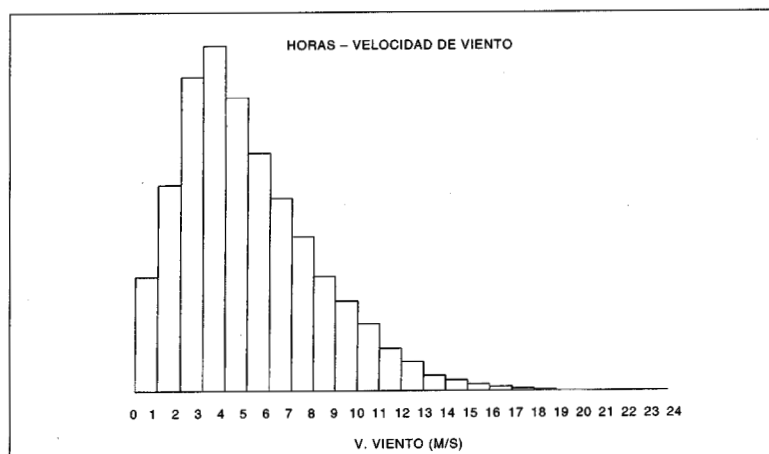
3. VALORES MEDIOS DE RACHAS MAXIMAS POR INTERVALOS DE VELOCIDAD DE MEDIA HORARIA DEL VIENTO

Intervalo Velocidad	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
Media rachas	2.6	3.9	5.0	6.5	7.8	9.5	11.2	12.7	14.5	16.0	17.8	19	20	22.1	23.3	24.9

4. VALORES DE LA RELACION f_3 , $f_3 = \langle v^3 \rangle / \langle v \rangle$ A DIFERENTES INTERVALOS DE VELOCIDAD MEDIA HORARIA DEL VIENTO

Intervalo Velocidad	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
f_3	2.4	1.71	1.33	1.18	1.13	1.11	1.09	1.08	1.07	1.07	1.06	1.06	1.04	1.04	1.02	

5. CURVA DE DISTRIBUCION DE VELOCIDADES DEL VIENTO



Intervalo Velocidad	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
Porcentajes	12.5	5.2	9.0	13.1	14.1	13.4	10.9	8.2	5.2	3.3	2.0	1.4	0.8	0.5	0.3	0.2

Constante «k» de Weibull: 1.58 Energía eólica: 1953 kWh/m²
 Constante «c» de Weibull: 5.15

BOVEDA (ARABA)

1. SITUACION

Los datos provienen de la estación de medida de la red EO situada en el cambio de vertiente de los montes que separan la Hoz de Boveda en el Suroeste de Alava. La altura topográfica del terreno es de 1.100 m. y el anemómetro está colocado a 10 m. del suelo.

El eje de la cadena montañosa tiene una orientación predominante del Norte al Sur y sus laderas tienen pendientes bastante suaves.

2. VELOCIDADES MEDIAS MENSUALES

Unidades m/s

EN	FB	MR	AB	MY	JN	JL	AG	ST	OC	NV	DC	AÑO
5.5	5.5	5.1	4.9	4.6	4.0	3.8	3.8	4.1	4.9	5.3	5.5	4.8

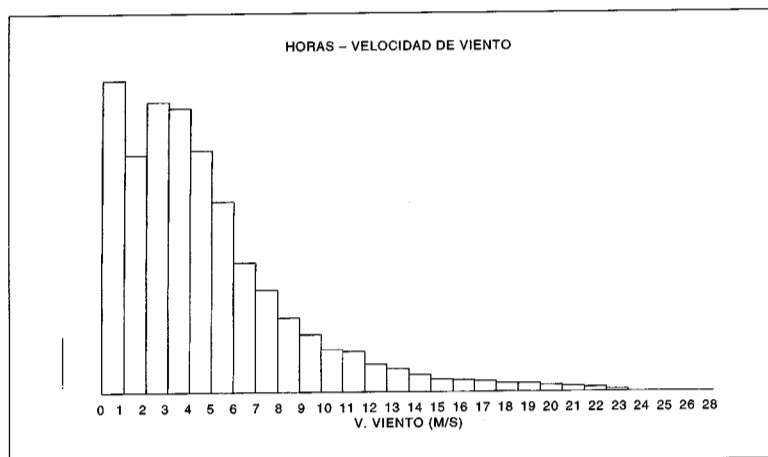
3. VALORES MEDIOS DE RACHAS MAXIMAS POR INTERVALOS DE VELOCIDAD MEDIA HORARIA DEL VIENTO

Intervalo Velocidad	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
Media rachas	2.0	4.3	5.4	6.7	8.1	9.6	11.1	12.8	14.6	16.2	17.8	19.2	21.1	23	24.8	26.5

4. VALORES DE LA RELACION f_3 , $f_3 = \langle v^3 \rangle / \langle v \rangle$ A DIFERENTES INTERVALOS DE VELOCIDAD MEDIA HORARIA DEL VIENTO

Intervalo V viento (m/s)	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
	8	2.2	1.44	1.30	1.18	1.16	1.14	1.13	1.13	1.10	1.08	1.07	1.08	1.07	1.06	1.06

5. CURVA DE DISTRIBUCION DE VELOCIDADES DEL VIENTO



Intervalo V viento (m/s)	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
	14.7	11.4	13.7	13.4	11.4	9.0	6.1	4.8	3.5	2.7	2.0	1.9	1.3	1.1	0.8	0.6

Constante «k» de Weibull: 1.22 Energía eólica: 2264 kWh/m²
 Constante «c» de Weibull: 4.92

LA HERRERA (ARABA)

1. SITUACION

Los datos provienen de la estación de la red EO instalada en el repetidor de ETB situado en el cerro de S. León, muy próximo al alto de Herrera. La altura topográfica del terreno es de 1150 m.s.m. y el anemómetro está colocado a 10 m. de altura sobre el suelo. La cadena montañosa tiene su eje principal en la orientación Este-Oeste, y tanto la ladera Norte como la Sur tienen fuertes precipicios en la zona de la cumbre, descendiendo suavemente a continuación.

2. VELOCIDADES MEDIAS MENSUALES

Unidades m/s

EN	FB	MR	AB	MY	JN	JL	AG	ST	OC	NV	DC	AÑO
6.4	6.4	6.1	6.0	5.9	5.6	5.6	5.6	5.6	6.0	6.3	6.4	6.0

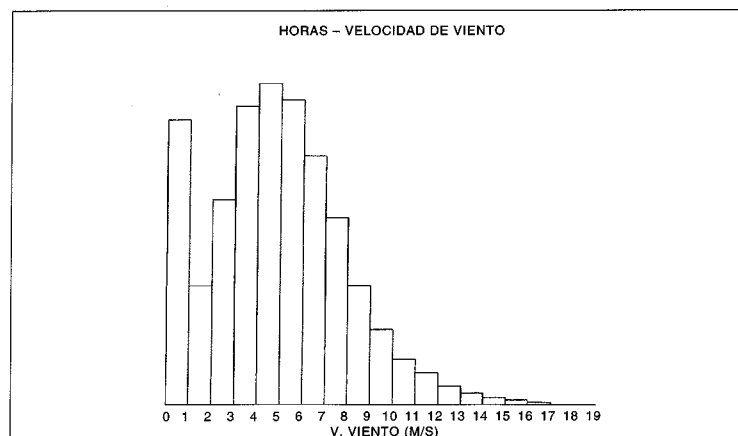
3. VALORES MEDIOS DE RACHAS MAXIMAS POR INTERVALOS DE VELOCIDAD MEDIA HORARIA DEL VIENTO

Intervalo Velocidad	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
Media rachas	1.8	4.8	6.2	7.8	9.0	10.1	11.5	12.5	13.5	14.6	15.4	16.5	17.5	18.5	19.9	20.5

4. VALORES DE LA RELACION f_3 , $f_3 = \langle v_3 \rangle / \langle v \rangle$ A DIFERENTES INTERVALOS DE VELOCIDAD MEDIA HORARIA DEL VIENTO

Intervalo Velocidad	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
f_3	8.0	3.0	1.7	1.42	1.27	1.19	1.13	1.10	1.06	1.04	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03

5. CURVA DE DISTRIBUCION DE VELOCIDADES DEL VIENTO



Intervalo Velocidad	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
Porcentajes	7.6	6.3	7.5	8.5	10.2	10.9	10.6	9.5	7.3	5.9	4.1	3.1	2.5	1.9	1.3	1.1

Constante «k» de Weibull: 1.58 Energía eólica: 2646 kWh/m²

Constante «C» de Weibull: 6.7

ORDUÑA (BIZKAIA)

1. SITUACION

Estación localizada en lo alto del risco, cerca del precipicio. Hacia el Sur la ladera descende suavemente y hacia el Norte existe un fuerte desnivel. Altura de la estación 960 m. Altura del anemómetro: 20 m.

2. VELOCIDADES MEDIAS MENSUALES

Unidades m/s

EN	FB	MR	AB	MY	JN	JL	AG	ST	OC	NV	DC	AÑO
5.2	5.2	4.9	4.8	4.6	4.3	4.2	4.2	4.3	4.8	5.1	5.2	4.8

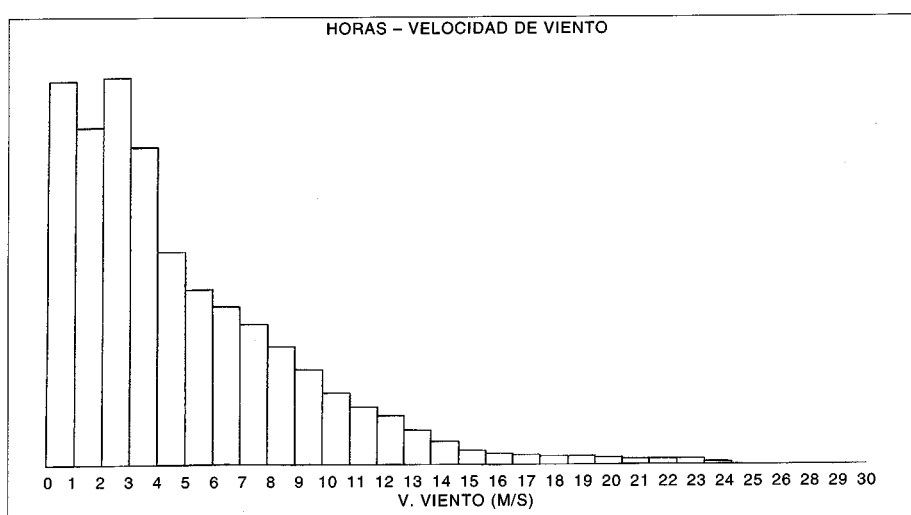
3. VALORES MEDIOS DE RACHAS MAXIMAS POR INTERVALOS DE VELOCIDAD MEDIA HORARIA DEL VIENTO

Intervalo Velocidad	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
Media rachas	2.4	5.6	7.2	8.3	9.0	10.0	11	12.2	12.9	13.9	14.5	15.8	17	18	19.4	21.1

4. VALORES DE LA RELACION f_3 , $f_3 = \langle v^3 \rangle / \langle v \rangle$ A DIFERENTES INTERVALOS DE VELOCIDAD MEDIA HORARIA DEL VIENTO

Intervalo Velocidad	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
f_3	9.6	3.2	1.96	1.61	1.40	1.26	1.19	1.14	1.11	1.08	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02	1.02

5. CURVA DE DISTRIBUCION DE VELOCIDADES DEL VIENTO



Intervalo Velocidad	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
Porcentajes	13.3	11.7	13.4	11.0	7.4	6.1	5.5	4.9	4.1	3.3	2.5	2.0	1.7	1.2	.8	20.5

Datos de la red EO

4. CONDICIONES GENERALES DE VIENTO EN EL PAIS VASCO. ZONAS EOLICAS

En este capítulo se presenta una descripción general de las condiciones de viento que son características en la Comunidad Autónoma basada en las consideraciones del capítulo 2 y en los datos eólicos presentados en el capítulo 3. El País Vasco está situado a una latitud media de 43°, por lo que puede incluirse en la denominada zona templada. La circulación a nivel de macroescala en esta zona se caracteriza por el paso de depresiones y anticiclones predominantemente en la dirección Oeste-Este. La sucesión típica de condiciones de viento asociadas a la circulación general es la presencia de vientos del Sur y Sudoeste al acercarse la depresión por el Oeste; vientos del Noroeste y Norte cuando la depresión se aleja por el Este; y vientos encalmados al entrar el anticiclón. Este comportamiento es característico de los meses de otoño, invierno y primavera. La figura 20 muestra las velocidades medias horarias registradas en Igeldo el mes de enero de 1990, donde se observa las fuertes diferencias de condiciones de

viento que pueden existir de un día a otro dependiendo de la situación climatológica general. En la época del verano, la circulación de las depresiones y anticiclones se localiza a latitudes más altas que en invierno, por lo que su influencia en las condiciones de viento está mucho más atenuada y sólo se presenta esporádicamente. En estas circunstancias predominan los vientos locales, brisas marinas y vientos de montaña y valle. La figura 21 muestra las velocidades medias horarias del viento en Igeldo durante el mes de Agosto de 1989. Se puede observar que las condiciones de viento (brisas marinas) son bastante regulares de un día a otro y generalmente presentan un máximo hacia media tarde.

Las rosas de vientos de Igeldo y Vitoria-Gasteiz muestran también claramente la diferencia entre las condiciones de verano e invierno. En invierno predominan los vientos de componente Sur y Suroeste, característicos de la circulación general del viento en esta zona; mientras que en verano, al atenuarse la dependencia de la circulación general predominan los vientos de dirección Noroeste y Norte característicos del

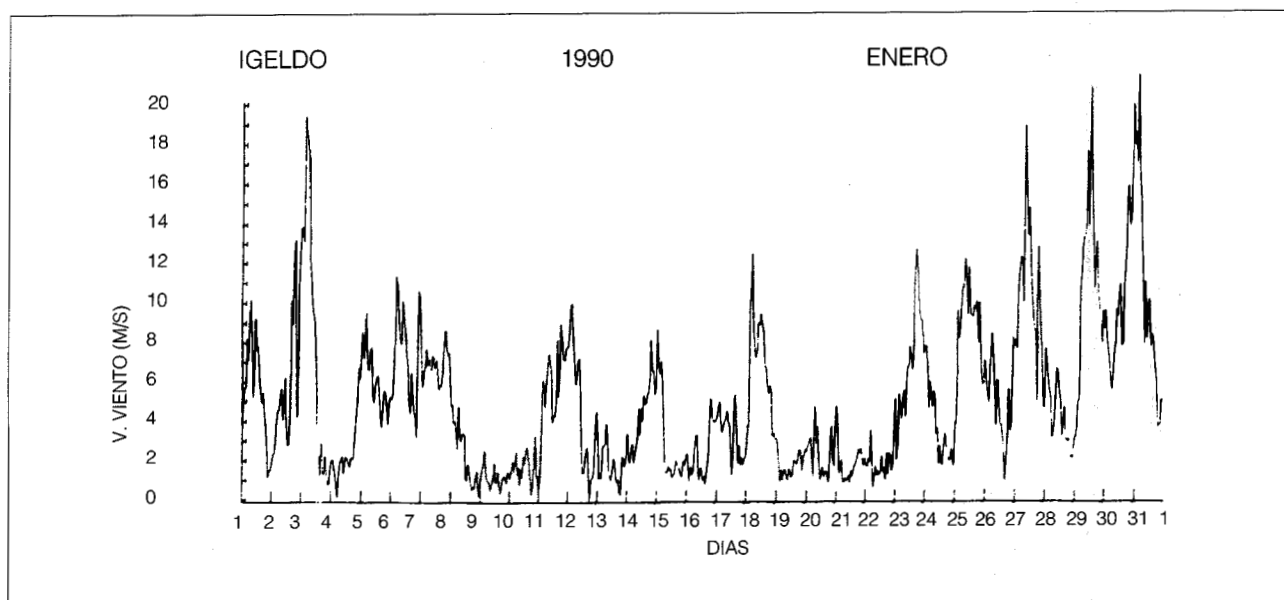


Figura.20. Velocidades horarias registradas en Igeldo en el mes de Enero de 1990. Velocidad media mensual: 5.2 m/s.

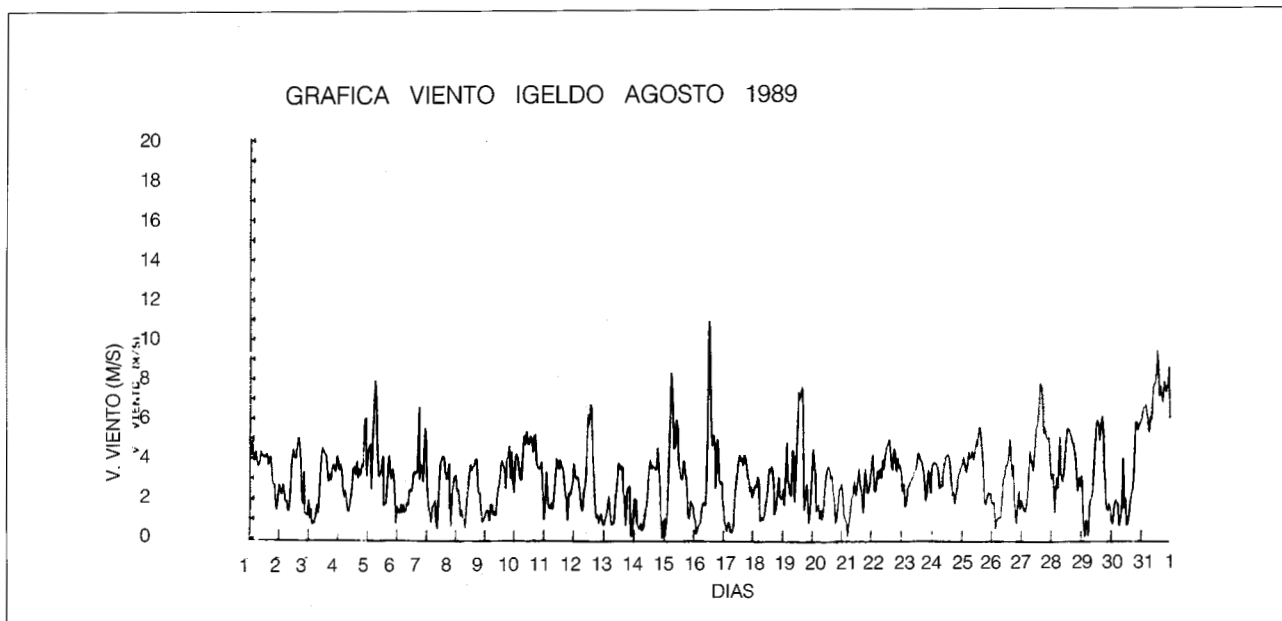


Figura 21. Velocidades medias horarias registradas en Igeldo el mes de Agosto de 1989. Velocidad media mensual: 3.2 m/s.

régimen de brisas.

Por lo tanto, una de las características importantes del viento en la Comunidad Autónoma es la diferencia de velocidades de viento entre el período de invierno y el período de verano. Como ejemplo típico de este comportamiento se pueden considerar los datos correspondientes a Igeldo. Además, por otro lado, la variabilidad entre las velocidades medias de un mes a otro en diferentes años es mucho más acentuada en invierno que en verano. Así, en dicha estación, en el mes de diciembre las velocidades medias pueden ir de valores cercanos a 3.5 m/s hasta los 8 m/s, dependiendo de las situaciones atmosféricas que predominen en el mes, mientras que en un mes como julio la variabilidad está comprendida entre 2.5 y 4.5 m/s.

La segunda característica importante de las condiciones de viento en la Comunidad Autónoma es que la orografía altera fuertemente tanto la velocidad como la dirección del viento, por lo que pueden existir diferencias apreciables de viento entre lugares geográficamente cercanos entre sí.

Para dar una visión conjunta de los diferentes tipos de condiciones de viento que se dan en la Comunidad Autónoma se han definido las llamadas «zonas eólicas», o lugares del territorio donde las condiciones de viento son comparables entre sí.

Las diferentes zonas eólicas que se pueden distinguir son:

1/ **Zonas de cumbres de montes.** Son los lugares de cambio de vertiente de los montes y cadenas montañosas que no sufran interferencias de montes más altos. Tal como se aprecia en los datos de Igeldo y en los de las estaciones de la red EO, las velocidades medias anuales de viento están comprendidas entre los 3.5 m/s a los 6.5 m/s. En invierno los valores de las velocidades medias de viento pueden estar comprendidos entre los 4 m/s y los 10 m/s y en verano entre los 3.0 m/s y los 5.5 m/s. Las velocidades de viento están muy influenciadas por la forma y orientación del monte. Así, las velocidades más altas se presentan en los montes con orientación preferente Este-Oeste, ya que tanto los vientos del

Estación	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.	Año
Igeldo	5.7	5.6	5	4.7	4.3	3.5	3.3	3.3	3.6	4.7	5.3	5.5	4.6
Oiz	6.5	6.5	6	5.8	5.4	4.8	4.6	4.6	4.9	5.8	6.2	6.4	5.7
La Garbea	5.8	5.8	5.5	5.3	5.0	4.3	4.1	4.1	4.4	5.2	5.6	5.8	5.1
Orduña	5.2	5.2	4.9	4.8	4.6	4.3	4.2	4.2	4.3	4.8	5.1	5.2	4.8
Kapildui	5.9	5.9	5.5	5.4	5.1	4.6	4.5	4.5	4.7	5.4	5.7	5.8	5.3
Bóveda	5.5	5.5	5.1	4.9	4.6	4.0	3.8	3.8	4.1	4.9	5.3	5.5	4.8
Herrera	6.4	6.4	6.1	6.0	5.9	5.6	5.6	5.6	5.6	6.0	6.3	6.4	6.0
Itxumendi	3.5	3.5	3.2	3.1	3.0	2.6	2.5	2.5	2.7	3.1	3.4	3.5	3.1

Tabla 3. Velocidades medias mensuales de viento calculadas en diversas estaciones situadas en zonas altas de terreno.

Sur-Suroeste como los del Noroeste-Norte sufren una importante aceleración al circular por dichas cadenas.

La tabla 3 presenta agrupadas las velocidades medias mensuales calculadas en diversas estaciones que se consideran características de las zonas altas.

En esta zona las condiciones de viento son un reflejo bastante aproximado de las condiciones generales y no se presentan diferencias notables entre unos puntos y otros, salvo las aceleraciones producidas por la forma del monte. Así, la rosa de vientos de Igeldo puede considerarse característica de las zonas altas. Cabe destacar que en los montes de la Sierra de Cantabria se presentan en verano unas velocidades de viento más altas que en el resto de las estaciones (datos de la estación de La Herrera). Este comportamiento puede explicarse por el hecho de que en verano parece existir una brisa tipo montaña-valle entre la zona alta y fresca de Alava y el valle del Ebro, muy recalentado por el Sol.

Observando las curvas de distribución de velocidades de viento de las estaciones de Oiz, Orduña, Kapildui, Bóveda y Herrera se observa

que a pesar de las altas velocidades medias del viento en estos emplazamientos se presenta un fuerte número de horas con velocidades de viento comprendidas entre 0 y 1 m/s, de tal forma que la curva de distribución de velocidades queda algo distorsionada. La explicación puede residir en el hecho de que cuando predominan las condiciones anticiclónicas y existe una fuerte estabilidad atmosférica, los posibles vientos locales que se produzcan tiendan a sortear estos montes en vez de sobrepasarlos.

2/ Zonas bajas entre montañas y la Llanada Alavesa. En estos lugares la cobertura que proporcionan los montes hace que las velocidades medias de viento sean bajas, entre 1 y 3 m/s anuales, y que no se aprecie una diferencia notable entre el invierno y el verano. El viento es muy irregular y dependiendo de la situación climatológica y de la orografía del terreno, pueden aparecer rachas de viento ocasionalmente fuertes en algunos puntos muy localizados.

La tabla 4 presenta valores de velocidades medias mensuales de viento en algunos observatorios de esta zona.

Estación	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Año
Arrasate-Mondragón	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	1	1	0.9
Vitoria-Gasteiz (Lakua)	2.6	2.6	2.3	2,2	2	1.8	1.7	1.7	1.8	2.2	2.4	2.5	2.2
Vitoria-Gasteiz (Obser. M.)	1.8	2.1	2.1	2.0	1.8	1.6	1.7	1.5	1.3	1.5	1.6	1.8	1.7

Tabla 4. Velocidades medias mensuales de viento, calculadas en diversas estaciones situadas en zonas bajas de terreno.

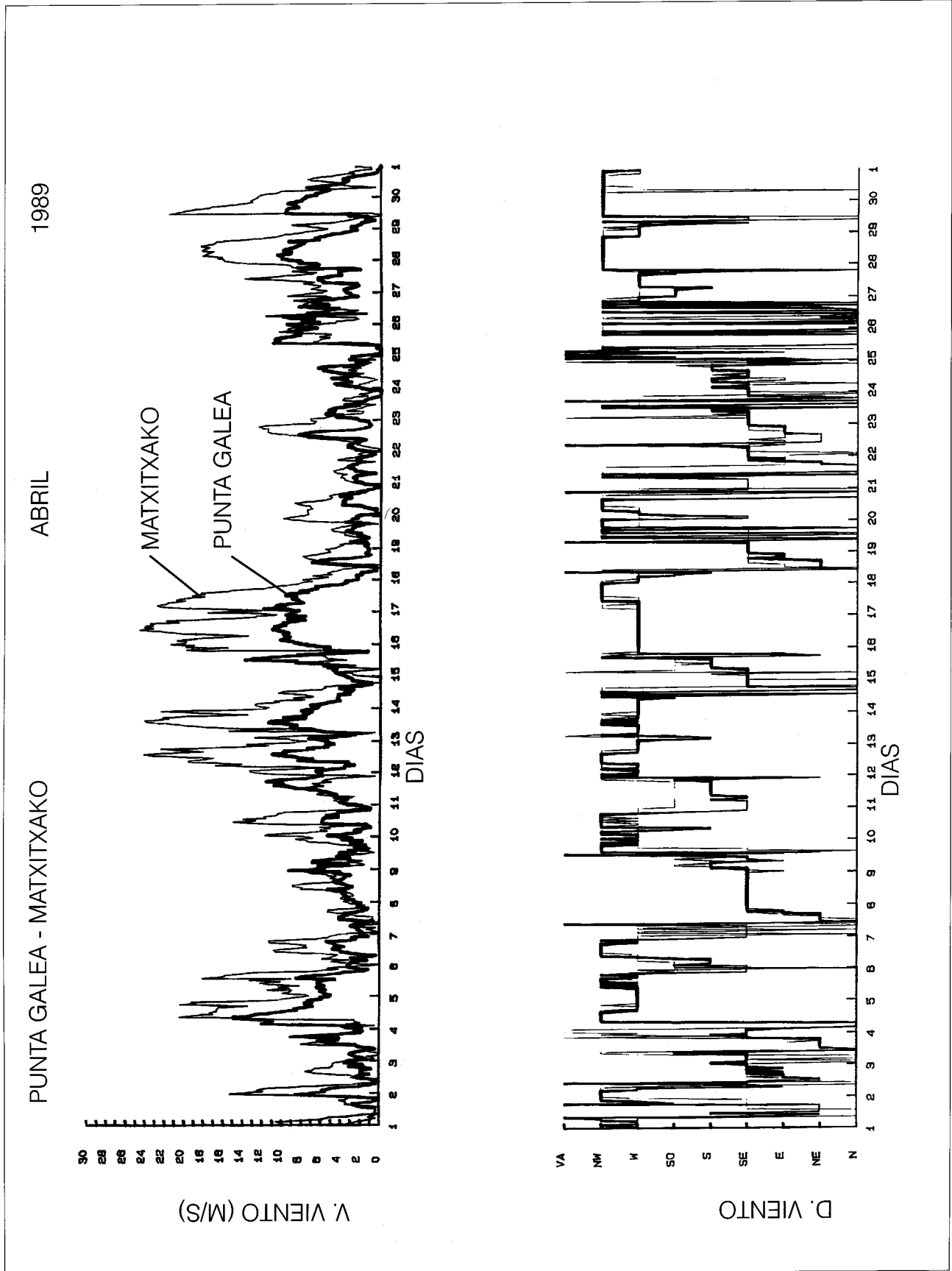


Figura 22. Comparación entre los datos de velocidades medias horarias entre las estaciones del Faro de Matxitxako (color rojo) y el Faro de Punta Galea (color negro) para el mes de Abril 1.989.

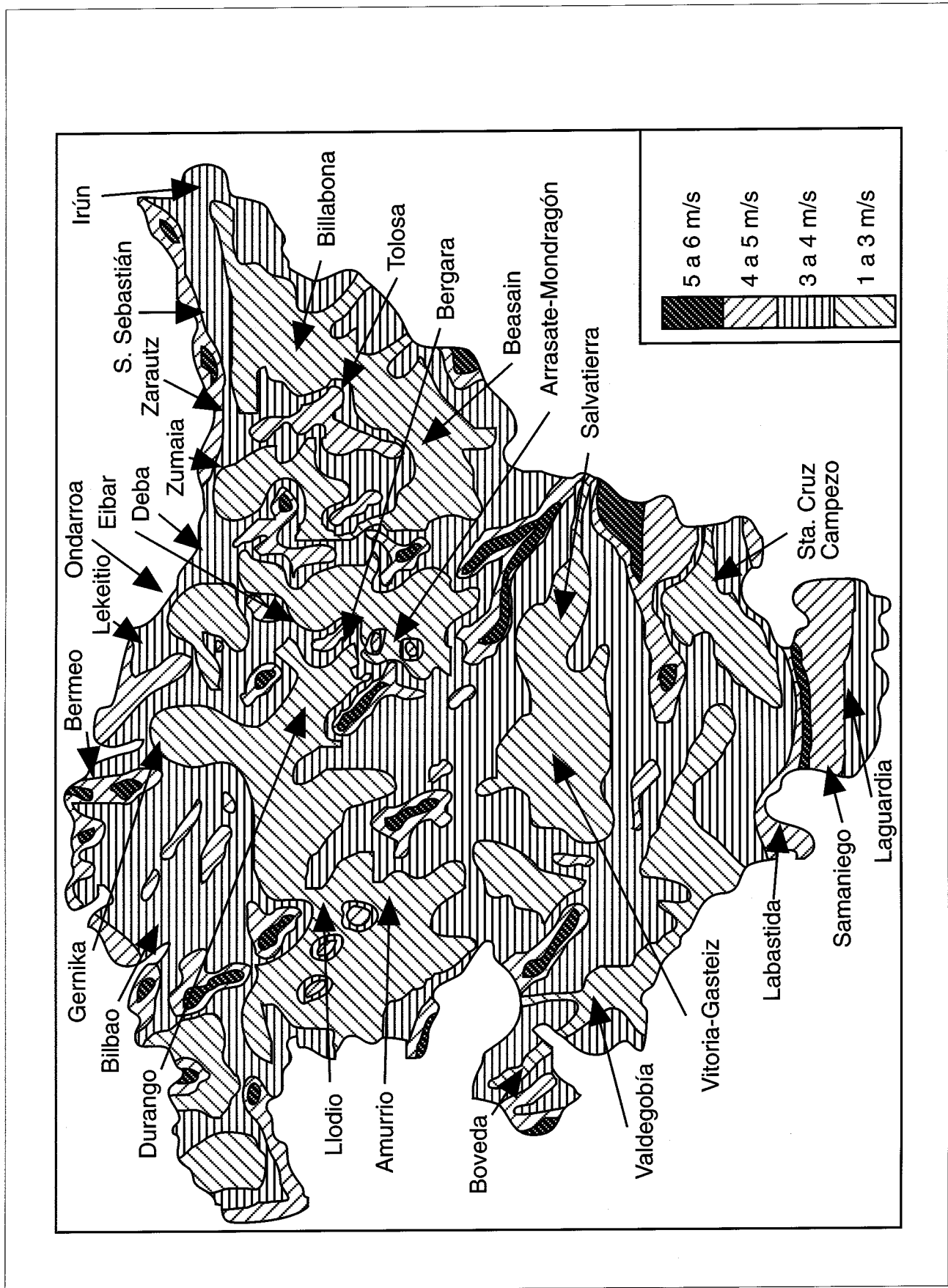


Figura 23. Isolíneas de velocidades de viento anuales en la Comunidad Autónoma Vasca.

Estación	Enero	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agos	Sept.	Oct.	Nov.	Dic	Año
Zumaia	4.3	4.3	4	3.8	3.6	3.1	3	3	3.2	3.8	4.2	4.3	3.7
Ispaster	3.4	3.4	3.1	2.9	2.6	2.2	2.1	2.1	2.3	2.9	3.2	3.4	2.8
Faro Viejo de P. Galea	6.2	5.1	5.1	4.8	3.9	3.6	3.4	3.3	3.9	4.7	5.4	6.8	4.7

Tabla 5. Velocidades medias mensuales de viento calculadas en estaciones situadas en el litoral.

3/ **El litoral marítimo.** En esta zona los vientos son relativamente fuertes, debido a que está totalmente expuesto a los vientos del Noroeste-Norte y los vientos del Sur sufren una aceleración general producido por un efecto de acanalamiento, ya que en promedio la altura del los montes en la zona del País Vasco es inferior a la del Pirineo y los montes de los Picos de Europa. Las velocidades medias anuales del viento se sitúan entre los 3 y los 5 m/s anuales, con valores entre los 3 y 6 m/s en invierno, y los 2 y 4 m/s en verano.

La tabla 5 presenta las velocidades medias del viento en algunos observatorios de esta zona. Sin embargo, al ser el litoral orográficamente irregular, con acantilados, promontorios, desembocaduras de ríos, etc. las velocidades del viento pueden variar notablemente de un punto a otro. La figura 22 muestra la comparación entre los datos registrados en la estación del faro del Matxitxako, con una fuerte aceleración de los vientos provenientes del Noroeste y Norte y protegido por el monte de los vientos de dirección Sur y los de la estación del faro de Punta Galea, abierto a todas las direcciones.

4/ **Zona de la Rioja Alavesa.** Esta zona presenta unas condiciones de viento influenciadas

por la orografía del valle del Ebro, que se abre en la dirección Oeste-Este. Así, en invierno quedan atenuadas las condiciones de la circulación general de viento, y en verano se presentan vientos de tipo brisa en la dirección del valle. Este último fenómeno es claramente apreciable en la estación de Briñas, donde las velocidades medias de viento, en los meses de verano, son superiores a los de los meses de invierno, en claro contraste con el comportamiento general. La tabla 6 recoge valores de velocidades medias mensuales de viento para diversas estaciones de esta zona. Los valores de velocidades medias anuales están comprendidos entre 2.5 y 4 m/s y, excepto en Briñas, no se observa una diferencia clara entre las condiciones de invierno y de verano.

A partir de las consideraciones anteriores y de las condiciones geográficas del País Vasco, la figura 23 muestra las isolíneas de velocidades de viento medias anuales.

Las curvas de velocidad de viento deben interpretarse en el sentido que dentro de cada de ellas es factible encontrar emplazamientos con velocidades medias de viento similares a las indicadas.

Estación	Enero	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agos	Sept.	Oct.	Nov.	Dic	Año
Logroño	3	3.2	3.1	3.1	2.6	2.5	2.6	2.4	2.2	2.4	2.5	3.0	2.7
Briñas	3.8	3.8	3.7	3.7	4.5	4.5	4.5	4.5	4.2	3.7	3.7	3.7	4.0

Tabla 6. Velocidades medias mensuales de viento calculadas en estaciones situadas en La Rioja.

APENDICE A

DESCRIPCION DE LAS REDES DE ESTACIONES METEOROLOGICAS DE MEDIDA DE CONDICIONES DE VIENTO EXISTENTES EN EL PAIS VASCO

En el año 1985, cuando se realizó el primer estudio sobre las condiciones de viento en la Comunidad Autónoma, los datos provenían de los Observatorios Meteorológicos de Igeldo, Vitoria-Gasteiz y Logroño. En general, consistían en registros de anemocinómetro que incluían la velocidad, el recorrido y la dirección del viento. También se disponía de los datos del faro de Punta Galea entre los años 1952-1969 y de la rosa de vientos de Sondika.

Para determinar el Atlas Eólico de la Comunidad Autónoma, los datos disponibles presentaban dos carencias:

- Eran insuficientes para definir con seguridad las condiciones de viento en una orografía tan compleja como la que se encuentra en la Comunidad.
- Su tratamiento era muy laborioso debido a que estaban en forma de registro gráfico.

En vista de esta situación, el EVE instaló el año 1985 la red EM de estaciones meteorológicas automáticas. Las estaciones estaban ubicadas en Igeldo (edificio del Observatorio Meteorológico), Arrasate-Mondragón (edificio del Centro de Investigación Ikerlan), Vitoria-Gasteiz (edificio del Gobierno Vasco en Lakua), Briñas (edificio de la Residencia Infantil de la BBK).

Las estaciones de la red EM registran los parámetros siguientes:

- Temperatura seca.
- Temperatura húmeda.
- Velocidad media, media cuadrática y media cúbica del viento.

- Dirección del viento.
- Racha máxima y su dirección.
- Irradiación solar en la horizontal.

Los datos se miden una vez al segundo. Cada 15 minutos, se calculan los valores medios, máximos y mínimos (o los valores acumulados según los casos) y se graban en un disquete. Cada mes se retira el disquete y se tratan los datos para obtener los valores horarios de los parámetros anteriores y una hoja resumen mensual de la información registrada en cada estación.

Las estaciones de la red EM, al disponer de un almacenamiento informático, resolvían el problema de facilidad de tratamiento pero seguían siendo insuficientes para cubrir adecuadamente toda la extensión del territorio. La laguna de información más destacable era la correspondiente a las zonas altas de terreno, siendo estos lugares los puntos donde se esperan las mejores condiciones desde el punto de vista del aprovechamiento eólico.

En el año 1987, el EVE instaló la red de estaciones EO con el objetivo de determinar con mayor detalle las condiciones de viento de las distintas zonas eólicas, especialmente en la zona alta de cumbres de montañas. Se instalaron dos tipos de estaciones:

- Estaciones automáticas dedicadas a la adquisición de datos de viento (velocidad y dirección del viento y parámetros asociados como velocidad cuadrática, velocidad cúbica y racha máxima respectivamente), con una metodología similar a las de la red EM y registrando los valores medios en unas memorias Eprom cada 10 minutos.
- Anemómetros de recorrido cuya lectura se realizaba una vez al mes aproximadamente.

Las estaciones de la red EO se emplazaron en los lugares siguientes:

Estaciones automáticas

Faro de Zumaia.
Faro nuevo de Punta Galea (año 1989).
Ispaster (repetidor de ETB).
Lagarbea (repetidor ETB).
Oiz (repetidor de ETB).
Itxumendi (cerca del emisor de R. Popular).
Usurbe (repetidor de ETB).
Orduña (repetidor de ETB).
Kapildui (repetidor de ETB).
Boveda (repetidor de ETB).
La Herrera (repetidor de ETB).

Anenómetros de recorrido

Cabo Matxitxako (repetidor de ETB).
La Gañeta (repetidor de ETB).
Jaizkibel (repetidor de ETB).
Artaza (repetidor de ETB).
Samaniego (residencia geriátrica).
Murumendi (repetidor de ETB).
Yoar (repetidor de ETB).

La figura 19 presenta la distribución geográfica de las estaciones de la red EO.

El funcionamiento de las estaciones de la red EO ha sido bastante irregular, sobre todo en las medidas de dirección de viento, razón por la que en esta publicación sólo se han presentado los datos parciales más significativos. Sin embargo, la información recogida ha servido para confirmar la definición de las zonas eólicas y para tener una idea bastante aproximada de las condiciones de viento en la Comunidad.

Finalmente, a lo largo de los años 1988 y 1989, tanto el Servicio Meteorológico Nacional como el Servicio Vasco de Meteorología han ido instalando una serie de estaciones automáticas donde, entre otros valores, se miden la dirección y velocidad del viento. Los emplazamientos de estas estaciones han sido:

Servicio Meteorológico Nacional

Aeropuerto de Sondika.
Aeropuerto de Fuenterrabía.
San Sebastián (Edif. del C. Meteorológico).
Aeropuerto de Foronda.
Faro de Matxitxako.
Faro de Bermeo
Faro de Lekeitio.
Faro de Zumaia (sustituyendo a la estación de la red EO).

Servicio Vasco de Meteorología

Gernika
Llodio
Gueñes
Elgoibar
Durango
Arrasate-Mondragón
Ormaiztegi
Berastegi
Alto Etxegarate
Alto de Altube
Alto de Urkiola
Iturrieta
Zizurkil
Salvatierra
Azpeitia
Iurreta
Igorre
Bilbao-Basurto
Espejo-Valdegobia
Laguardia

A la vista de la cobertura de estaciones existente en la actualidad, las redes EM y EO, habiendo ya cumplido su cometido, se han remodelado durante el año 1990 de tal forma que únicamente quedan las estaciones de:

La Garbea
Oiz
Kapildui
La Herrera

APENDICE B

APLICACION DE LA FUNCION DE PROBABILIDAD DE WEIBULL PARA LA DETERMINACION DE DATOS DE CONDICIONES DE VIENTO

Las ventajas que proporciona la definición de una función de probabilidad que represente la curva de distribución de velocidades de viento reside en que, mediante cálculos matemáticos, se pueden determinar las características eólicas de un emplazamiento.

La función de probabilidad de Weibull es la más utilizada para este propósito. Viene expresada por la relación:

$$p(v) = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (b-1)$$

Donde c = Factor de escala (tiene dimensiones de velocidad).

k = Factor de forma que caracteriza la disimetría de la curva.

v = velocidad del viento (m/s).

$p(v)$ = probabilidad de que la velocidad del viento tenga el valor v .

La forma de la curva de distribución viene determinada por el valor de la constante « k », tal como se muestra en la figura 24. En el caso de las curvas de distribución de velocidades de viento la constante « k » varía entre 1 y 2.

A partir de esta expresión pueden calcularse los parámetros siguientes:

- Frecuencia acumulada o probabilidad de que el valor de la velocidad del viento sea inferior a un valor dado V_x .

$$f(v \leq V_x) = \int_0^{V_x} p(v) \cdot dv = 1 - \exp\left[-\frac{V_x^k}{c^k}\right] \quad (b-2)$$

- Velocidad media

$$\langle v \rangle = \int_0^{\infty} v \cdot p(v) \cdot dv = c \cdot \Gamma\left[1 + \left(\frac{1}{k}\right)\right] \quad (b-3)$$

- Desviación típica de la velocidad

$$\sigma = \int_0^{\infty} (v - \langle v \rangle)^2 \cdot p(v) \cdot dv = c^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)^2 \right] \quad (b-4)$$

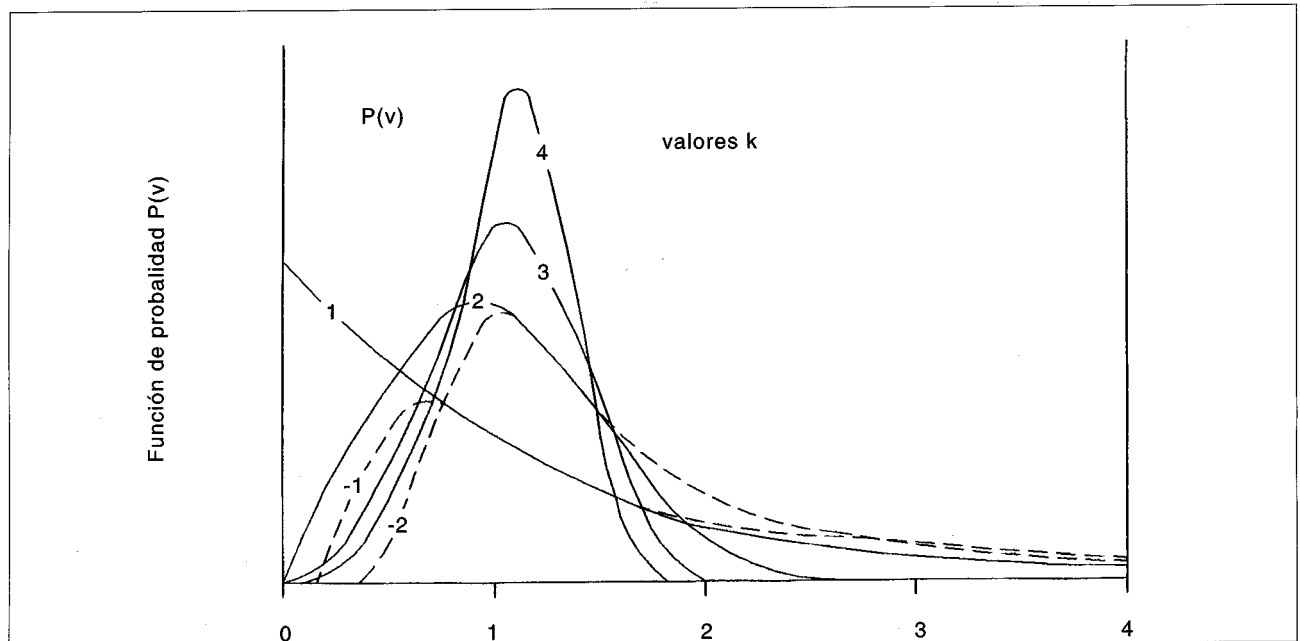


Figura 24. Forma de la curva de distribución de Weibull para diferentes valores de los parámetros « k » y « c ».

x	Γ(x)	x	Γ(x)	x	Γ(x)	x	Γ(x)
1.00	1.00000	1.25	.90640	1.50	.88623	1.75	.919906
1.01	.99433	1.26	.90440	1.51	.88659	1.76	.92137
1.02	.98884	1.27	.90250	1.52	.88704	1.77	.92376
1.03	.98355	1.28	.90072	1.53	.88757	1.78	.92623
1.04	.97844	1.29	.89904	1.54	.88818	1.79	.92877
1.05	.97350	1.30	.89747	1.55	.88887	1.80	.93138
1.06	.96874	1.31	.89600	1.56	.88964	1.81	.93408
1.07	.96415	1.32	.89464	1.57	.89049	1.82	.93685
1.08	.95973	1.33	.89338	1.58	.89142	1.83	.93969
1.09	.95546	1.34	.89222	1.59	.89243	1.84	.94261
1.10	.95135	1.35	.89115	1.60	.89352	1.85	.94561
1.11	.94740	1.36	.89018	1.61	.89468	1.86	.94869
1.12	.94359	1.37	.88931	1.62	.89592	1.87	.95184
1.13	.93993	1.38	.88854	1.63	.89724	1.88	.95507
1.14	.93642	1.39	.88785	1.64	.89864	1.89	.95838
1.15	.93304	1.40	.88726	1.65	.90012	1.90	.96177
1.16	.92980	1.41	.88676	1.66	.90167	1.91	.96523
1.17	.92670	1.42	.88636	1.67	.90330	1.92	.96877
1.18	.92373	1.43	.88604	1.68	.90500	1.93	.97240
1.19	.92089	1.44	.88581	1.69	.90678	1.94	.97610
1.20	.91817	1.45	.88566	1.70	.90864	1.95	.97988
1.21	.91558	1.46	.88560	1.71	.91057	1.96	.98374
1.22	.91311	1.47	.88563	1.72	.91258	1.97	.98768
1.23	.91075	1.48	.88575	1.73	.91466	1.98	.99171
1.24	.90852	1.49	.88595	1.74	.91683	1.99	.99581
						2.00	1.000000

Tabla 7. Valores de la función Sigma Γ(x) en función de x.

- Velocidad cúbica media

$$\langle v^3 \rangle = \int_0^{\infty} v^3 \cdot p(v) \cdot dv = c^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right) \quad (b - 5)$$

Donde, Γ es la función gamma habitual

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} e^{-t} \cdot t^{(x-1)} \cdot dt \quad \text{para } x > 0 \quad (b - 6)$$

El cuadro 7 representa una tabla de valores de, (x) en función de x.

Se observa que el problema de aplicar la estadística de Weibull a los cálculos de condiciones de viento consiste en determinar los valores de las constantes «k» y «c». Para ello es necesario

disponer de datos relativos a las condiciones de viento.

En el caso del Atlas Eólico del País Vasco se dispone de datos de las curvas de distribución anuales de las estaciones de las redes EO y EM. El cálculo de las constantes «k» y «c» se realiza partiendo de la expresión de la frecuencia acumulada (b-2) modificada para que quede de la forma siguiente:

$$\ln\left(\ln\left[\frac{1}{1-f(v)}\right]\right) = k \ln v - k \ln c \quad (b - 7)$$

Representando $\ln\{\ln[1/(1-f(v))]\}$ en función de $\ln(v)$ el resultado debe de ser una recta cuya pendiente proporciona el valor de «k» y la orde-

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5) V viento (m/s)				
	k	c	v	f ₃	2-3	5-6	8-9	11-12	14-15
Igeldo	1.46	5.60	5.1 4.8	3.25 3.4	13.5 17.2	9.8 7.9	5 4.1	2.1 2.1	0.7 0.8
Zumaia	1.50	4.98	4.5 4.0	3.86 3.17	15 23.4	9.9 6.0	4.2 3.1	1.4 1.1	0.4 0.3
Oiz	1.42	6.09	5.5 5.7	2.67 2.75	12.1 9.5	9.4 9.8	5.4 6.1	2.6 3.1	1.1 1.1
Vitoria	1	2.01	2 2	6.1 7.77	14.3 14.4	3.2 2.9	0.7 0.7	0.2 0.2	— 0.1
Kapildui	1.58	5.15	4.6 4.8	2.26 2.50	14.7 9	10.5 13.4	4.5 5.2	1.4 1.4	0.3 0.3
La Herrera	1.58	6.69	6 6.3	2.24 2.33	10.8 7.5	10.1 10.9	6.3 7.3	3.1 3.1	1.2 1.3
Briñas	1.64	4.36	3.9 4.0	2.23 2.50	17.6 15.5	10.1 11.2	2.9 3.4	0.5 0.4	0.1 —

Tabla 8. Comparación entre los datos experimentados (negrita), calculados a partir de los datos de las estaciones de la red EO y los calculados aplicando la estadística de Weibull (letra normal).

1 y 2. Valores de las constantes "k" y "c" determinados a partir de las tablas de distribución de velocidades de viento.

3. Velocidad del viento media anual.

4. Rotación $\langle v^3 \rangle / \langle v \rangle^3$

5. Probabilidades en % de la tabla de distribución de velocidades de viento.

nada en el origen es igual a $-k \ln(c)$, determinándose de este modo las dos constantes. Los valores de «k» y «c» que se presentan para cada estación debajo de la curva de distribución de velocidades de viento han sido calculados siguiendo este método.

Con objeto de ilustrar el grado de aproximación con el que la estadística de Weibull predice las condiciones eólicas en un emplazamiento dado, la tabla 8 muestra una comparación para diversos emplazamientos entre varios parámetros eólicos ($\langle v \rangle$, f_3 , porcentajes de la curva de distribución de viento) determinados a partir de los datos de velocidad de viento registrados y los calculados a partir de las ecuaciones correspondientes de la estadística de Weibull y las constantes «k» y «c» evaluadas para el emplazamiento. Se observa que la concordancia entre los datos calculados mediante la estadística de Weibull y los calculados de datos registrados es

aceptable.

Por lo tanto, si hubiera una forma de determinar los valores de las constantes «k» y «c» en un emplazamiento, se podrían utilizar las expresiones de Weibull para calcular las condiciones eólicas del lugar.

Para ello se han correlacionado los valores de las constantes «k» y «c» calculados para las distintas estaciones con la velocidad media de viento en las mismas, obteniéndose las expresiones:

$$\langle c \rangle = -0.08776 \cdot v^2 + 1.783 \cdot v - 1.186$$

$$c.c. = 0.985 \quad (b.8)$$

$$\langle k \rangle = 0.093 \cdot v + 1.009$$

$$c.c. = 0.494$$

c.c. = coeficiente de correlación

En la tabla 9 se presentan los valores de las tablas de distribución de velocidad de viento calculados para distintas velocidades medias de viento anuales. El método de cálculo es el si-

Velocidad media m/s	3	4	5	6
Intervalo velocidad				
0-1	1725	1050	684	465
1-2	1835	1385	1060	829
2-3	1533	1360	1165	996
3-4	1170	1195	1130	1038
4-5	856	1001	1016	1001
5-6	593	779	873	914
6-7	395	590	721	793
7-8	256	440	572	662
8-9	161	314	439	535
9-10	100	219	329	419
10-11	60	150	240	320
11-12	36	100	172	328
12-13	21	66	120	173
13-14	12	43	83	123
14-15	7	27	56	86
15-16	4	17	37	59
16-17	2	10	24	39
17-18	1	6	15	26
18-19	-	4	10	17
19-10	-	2	6	11
20-21	-	1	4	7
21-22	-	1	2	4

Tabla 9. Tablas de distribución horaria de velocidades de viento, para distintos valores medios anuales de velocidad del viento.

guiente: primeramente, mediante el valor de la velocidad del viento y las expresiones b.8, se determinan los valores de las constantes «k» y «c», y, posteriormente, utilizando la expresión b.1, se calcula el porcentaje de tiempo en el que

la velocidad de viento está comprendida entre dos valores dados. Finalmente, multiplicando este dato por 8.760, número de horas en un año, se obtiene el número de horas de la tabla de distribución (Tabla 9).

APENDICE C

DETERMINACION DE LAS CONDICIONES DE VIENTO EN UN EMPLAZAMIENTO. CALCULO DE LA ENERGIA PRODUCIDA POR UN AEROGENERADOR

La realización de un estudio de viabilidad técnico-económico será el primer paso a dar una vez que se contempla la posibilidad de producir electricidad mediante un aerogenerador.

Para centrar el estudio técnico, éste deberá contemplar los siguientes aspectos:

- Estimar la producción de electricidad.
- Analizar las características del consumo de energía a cubrir por el aerogenerador, y por último,
- Si se trata de una instalación no apoyada por la red eléctrica, habrá de dimensionarse el sistema de almacenamiento de forma tal que se acople la generación al consumo.

A continuación, se analizará en detalle cada uno de estos tres aspectos:

1. **Energía producida por el aerogenerador.**

Para ello es necesario conocer las condiciones de viento en el emplazamiento y la curva de potencia del aerogenerador.

a. **Determinación de las condiciones de viento en un lugar dado.**

El conocimiento de las condiciones de viento en el emplazamiento es el aspecto más difícil de evaluar, ya que las condiciones topográficas y la naturaleza del terreno pueden influir notablemente en las disponibilidades de viento.

Primeramente hay que situar el emplazamiento en la zona eólica correspondiente definida en el capítulo 4. De esta forma, se conocen aproximadamente las condiciones de viento que puede esperarse en dicho lugar, y a partir de este dato

realizar un estudio preliminar con la metodología que se comentará más adelante. Desde un comienzo pueden desecharse todos aquellos lugares en donde la velocidad media del viento sea inferior a los 3 m/s.

Si el estudio preliminar indica que las condiciones de viento pueden ser adecuadas, el paso siguiente consiste en seleccionar el punto más favorable desde el punto de visto eólico dentro del terreno. Tal como se ha comentado en el capítulo 3, los puntos más favorables suelen situarse en:

— Las zonas de cambio de vertiente de puntos altos o cumbres de montañas. Especialmente aquellas en las que la orientación del eje del monte se sitúe en la dirección Este-Oeste. En los montes con barrancos y acantilados o fuertes inclinaciones de pendiente en la dirección de los vientos predominantes, los lugares más adecuados se sitúan en el borde del barranco, ya que en estos lugares se producen fuertes aceleraciones del viento.

— Las puntos donde existan pasos entre cimas que puedan producir acanalamientos de los vientos del Sur-Suroeste o del Nor-Noroeste.

— Las cercanías del litoral marino, añadiéndole las consideraciones sobre las aceleraciones de viento debidas a las inclinaciones de laderas o pasos entre montes.

— Los lugares donde la vegetación muestre señales claras de haber sido deformada por el viento.

En el punto seleccionado, además de las mejores condiciones de viento, deben tenerse en cuenta las condiciones de rugosidad de la superficie y la presencia de obstáculos cercanos, especialmente en la dirección de los vientos predominantes en el lugar.

Asimismo, es preciso estudiar con detalle las posibles turbulencias del viento en dicho lugar.

Para ello, una forma cualitativa de visualizar turbulencias consiste en hacer volar una cometa con una larga cinta colgada en el extremo. Cuanto más se balancee la cometa o cuanto más se ondule la cinta, mayores serán las condiciones de turbulencia.

Una vez seleccionado el emplazamiento más apropiado resulta conveniente determinar con un mayor detalle las condiciones de viento. Para ello, se puede instalar un anemómetro de recorrido (*) a una altura de 10 m. del suelo y tomar lecturas, a ser posible diarias, durante varios meses consecutivos. Es importante también apuntar la dirección predominante del viento en cada día. Además los meses en los cuales se toman las medidas, deben comprender períodos del invierno y del verano.

A partir de los valores diarios se calculan los valores de la velocidad media diaria del viento y se comparan con los que se han registrado en alguna estación meteorológica de referencia. Las estaciones meteorológicas de referencia podrían ser: Igeldo para los puntos que se sitúan en las zonas altas de los montes y en el litoral; Foronda para las situadas en la Llanada Alavesa, y Logroño para las situadas en la Rioja.

La primera comparación a realizar entre los datos del emplazamiento y de la estación de referencia es puramente visual. Hay que fijarse si existe una correspondencia entre condiciones de viento fuertes en ambos emplazamientos y,

en estos casos, si se aprecia alguna atenuación o aceleración del viento respecto a la estación de referencia y en qué direcciones se producen estos efectos. Posteriormente se puede cuantificar la comparación representando en una gráfica los valores diarios de velocidad media del viento del emplazamiento seleccionado y el de referencia. Se traza la recta aproximada que mejor se ajuste a los puntos y se determinan la pendiente «a» de la recta y la ordenada en origen «b». Las curvas deberían abarcar de forma diferente las fechas del invierno y las del verano.

La velocidad media del viento en el lugar seleccionado vendría dada por la expresión:

$$vv(\text{emplazamiento}) = a * vv(\text{estación referencia}) + b$$

vv (estación referencia) es la velocidad media mensual en la estación de referencia y viene dado en las tablas del capítulo 2.

El paso siguiente consiste en calcular la tabla de distribución de velocidades de viento. El cuadro 9, en el apéndice b, presenta los valores propuestos para distintas velocidades medias anuales de viento.

En el caso de que los datos experimentales de las velocidades de viento en el emplazamiento muestren que las condiciones de invierno son bastante diferentes de las de verano, se utiliza una velocidad media para cada época del año y con ellas se calculan las tablas de distribución de velocidades de viento en cada período del año.

b. **Curva de potencia de un aerogenerador.**

La curva de potencia de un aerogenerador presenta la potencia media que produce el aerogenerador en función de la velocidad del viento promediada en intervalos de 10 minutos. Esta curva se determina en condiciones de viento reales y suele estar incluida en los

(*) En los anemómetros de recorrido, cada vuelta de la cazoleta corresponde a un distancia recorrida por el viento. El instrumento contabiliza las vueltas dadas y presenta en un indicador la distancia recorrida por el viento. Dividiendo la diferencia de lecturas entre dos días consecutivos (expresado en metros) por el número de segundos que hay en un día, se obtiene la velocidad media del viento en el día expresada en m/s.

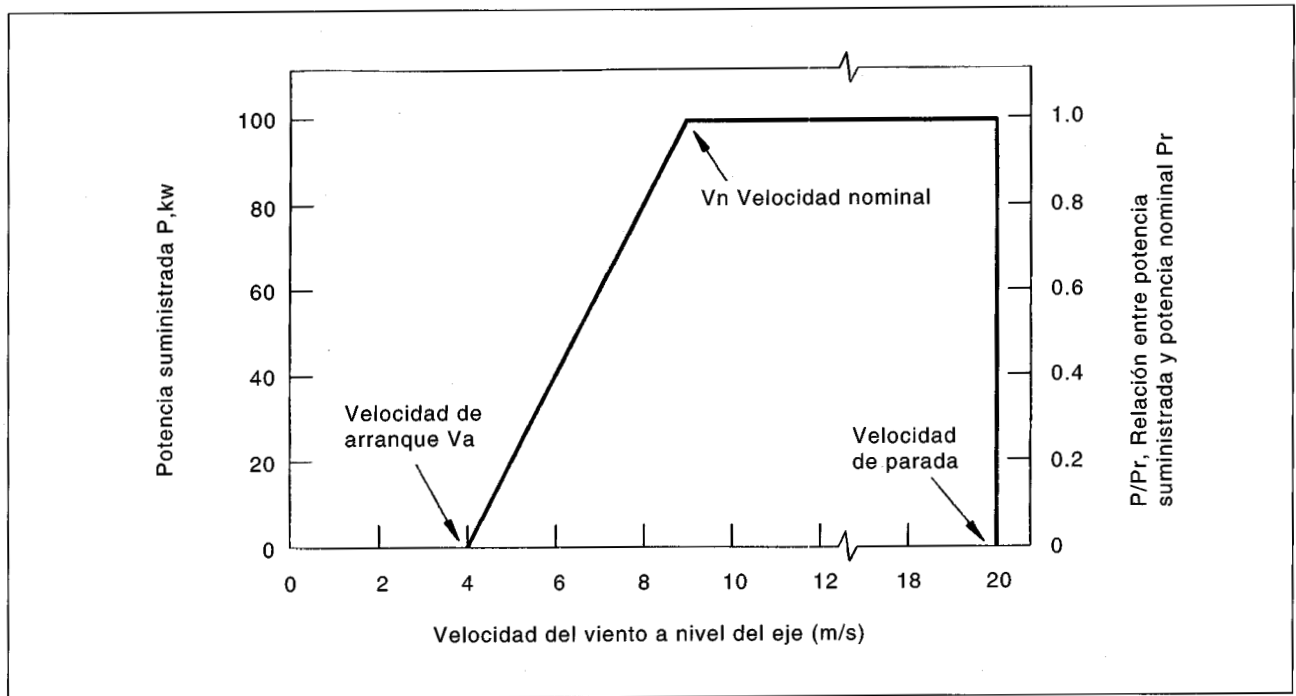


Figura 25. Curva de potencia de un aerogenerador.

catálogos que representan las características de los aerogeneradores.

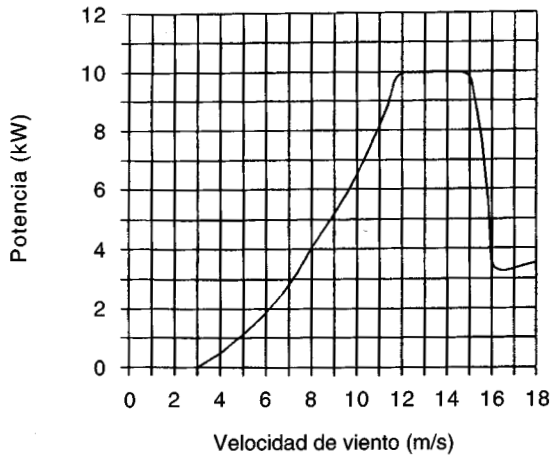
La curva de potencia tiene en general una forma como la indicada en la figura 25. Hasta la denominada **velocidad de arranque, v_a** , (suele estar entre 4 a 5 m/s), el aerogenerador no se pone en marcha. A partir de esta velocidad la curva de potencia del aerogenerador crece rápidamente, hasta que se llega a una velocidad de viento, llamada **velocidad nominal, v_n** , en la que entran en funcionamiento los mecanismos de regulación de la velocidad de giro del rotor y la potencia generada permanece constante. La velocidad nominal suele estar comprendida entre los 10 y los 12 m/s. Finalmente a una velocidad de viento alta entra en funcionamiento el freno de seguridad que detiene el funcionamiento del aerogenerador. La velocidad de freno se sitúa en los 22 - 25 m/s (80-90 km/h). Para las condiciones de viento de la Comunidad Autónoma, las rachas de velocidades de 22 a 25 m/s se presentan a velocidades medias horarias de 15 a

16 m/s.

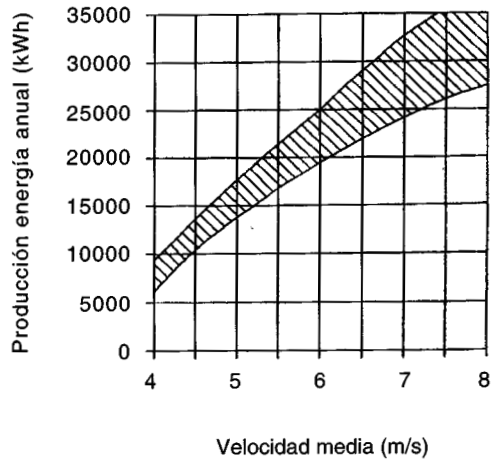
La energía eléctrica anual producida por el aerogenerador se determina multiplicando el número de horas anuales en cada intervalo de velocidad de viento por el valor medio de la potencia eólica a dicha velocidad y sumando los valores calculados para las distintos intervalos de velocidad. El cálculo se efectúa hasta una velocidad de viento media horaria de 15 o 16 m/s, porque normalmente a velocidades superiores suele actuar el freno.

Como muestra de la forma de realizar el proceso completo de cálculo de la energía que proporciona un aerogenerador, se presenta el caso concreto del aerogenerador cuyas características recoge la figura 26 y que se desea emplazar en el monte del Mazo en Carranza, a 600 m. de altura. En este lugar se disponen de datos de viento a 20 m. de altura y que abarcan un período de tiempo de un año. El monte tiene una forma alargada con orientación predominante SE-NO. Las laderas del monte son redondeadas

**CURVA DE POTENCIA
BWC EXCEL**



**PRODUCCION ANUAL ENERGIA
BWC EXCEL**



CARACTERÍSTICAS

RENDIMIENTO

- Velocidad de arranque 3.4 m/s
- Velocidad de conexión 3.1 m/s
- Velocidad de potencia máxima 12.1 m/s
- Velocidad de desconexión no existe
- Velocidad de desorientación 15.7 m/s
- Velocidad de diseño 54 m/s
- Potencia nominal 10 kW
- Velocidad del rotor 60-350 RPM

MECANICAS

- Tipo 3 palas barlovento
- Diámetro del rotor 7.0 m
- Peso 463 Kg
- Sistema de control de palas POWERFLEX
- Protección de sobrevelocidad AUTOFURL
- Multiplicador no existe
- Rango de temperatura -40 a 60 C

ELECTRICAS

- Generador Alternador de imanes permanentes
- Tensiones disponibles: Alterna 220 VAC, 50 HZ
- Continua 48 ó 120 VDC
- Equipos de control para bombeo, carga de baterías y otros.

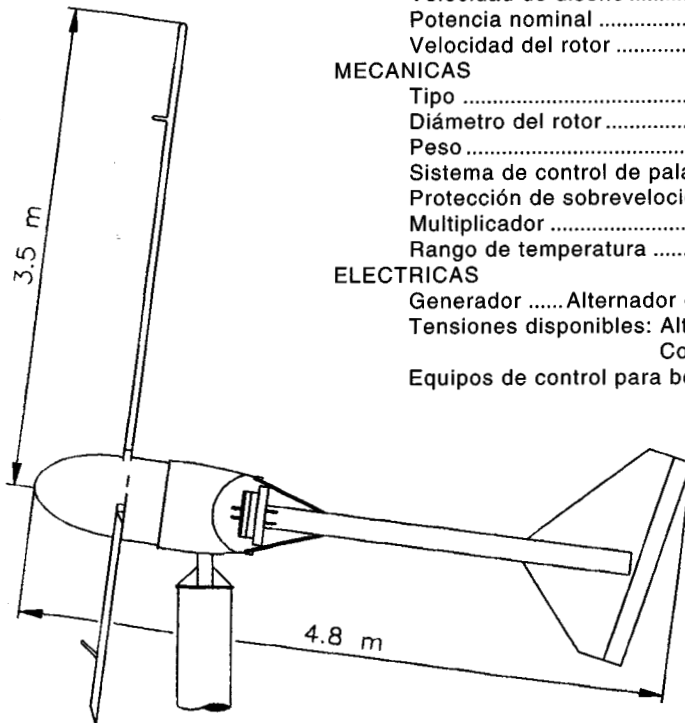


Figura 26. Hoja de características del aerogenerador a instalar en el monte del Mazo (Carranza).

y rodeadas de prados, y con pocos árboles. Por el Oeste aproximadamente se abre un valle en cuya parte alta se encontraba la torre de medida.

Las condiciones de viento eran aproximadamente las descritas para las zonas altas de terreno y podían esperarse medias anuales cercanas a los 5 m/s. Realizando la comparación de las velocidades medias diarias de viento con los datos de Igeldo, figura 27, se obtuvo la relación:

$$vv(\text{El Mazo}) = 1.2 \cdot vv(\text{Igeldo}) + 0.1$$

resultando los siguientes valores de la velocidad media mensual del viento:

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
<v>	6.8	6.8	6.1	5.7	5.2	4.3	4.0	4.0	4.1	5.7	6.4	6.7

La velocidad media anual de viento resultante es:
 $vv(\text{El Mazo}) = 1.2 \cdot 4.6 + 0.1 = 5.6 \text{ m/s}$

En el cálculo de los valores horarios de la distribución de velocidades de viento se utilizan los datos presentados en la tabla 9, apéndice B. En una primera aproximación se toma el valor medio entre las tablas correspondientes a los valores de velocidad de viento de 5 y 6 m/s

La tabla 10 muestra la forma de realizar el cálculo de energía eólica producida en un año. La producción eléctrica anual estimada para el aerogenerador es de 18.480 kWh.

2. Características del consumo de la energía.

El perfil del consumo de energía tiene una fuerte influencia en el rendimiento del conjunto aerogenerador -sistema almacenamiento-. Los aspectos que definen el perfil de consumo de energía son los siguientes:

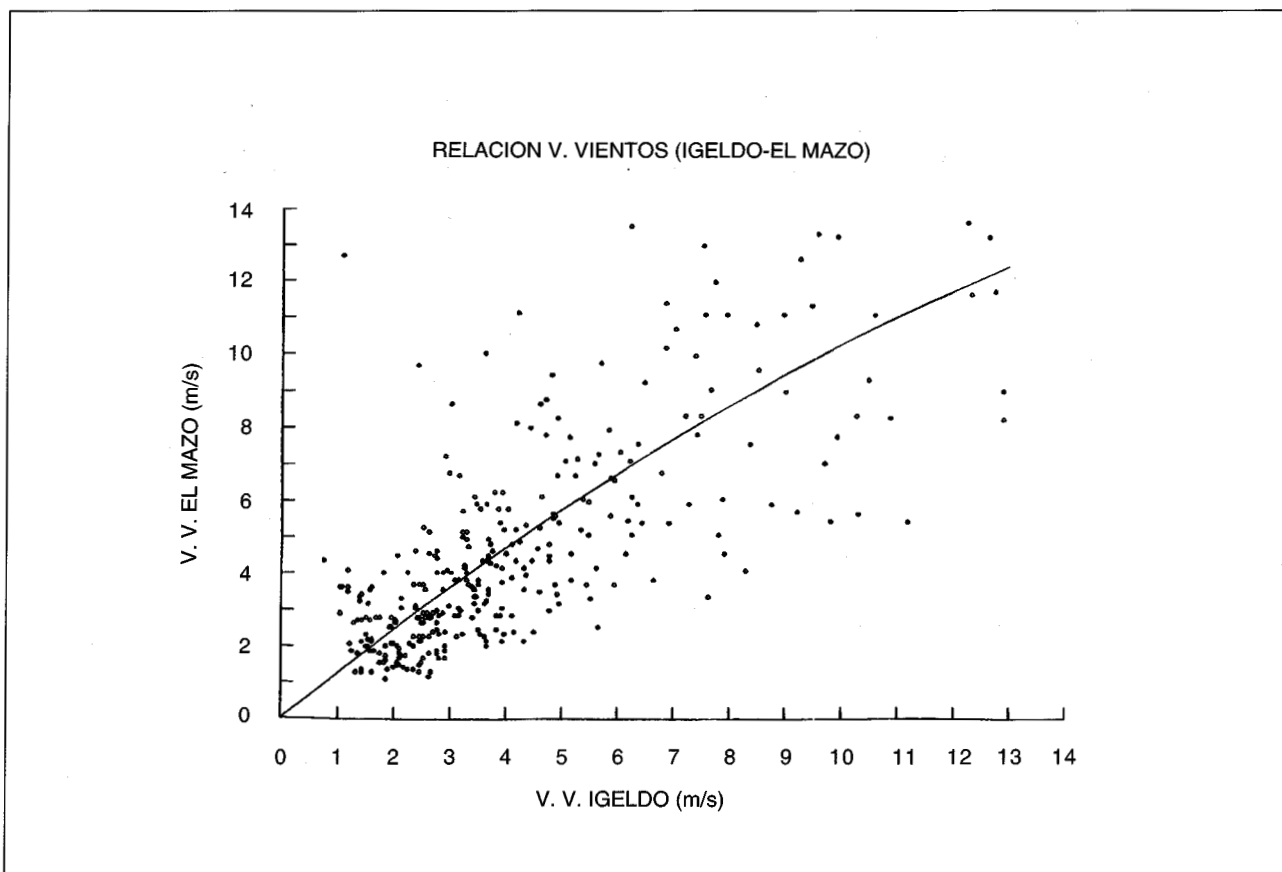


Figura. 27. Correlación de la velocidad media diaria de viento en Igeldo y El Mazo.

Intervalo velocidad	Horas anuales	Potencias aerogenerador kW	Energía producida
0-1	576	0	-
1-2	946	0	-
2-3	1083	0	-
3-4	1035	0.2	207
4-5	1009	0.8	807
5-6	895	1.5	1343
6-7	750	2.3	1743
7-8	618	3.5	2163
8-9	488	4.6	2246
9-10	375	6	2250
10-11	281	7.5	2108
11-12	206	9.6	1978
12-13	148	10	1480
13-14	104	10	1040
14-15	72	10	720
15-16	49	8	392
16-17	33	Frenado	-
17-18	22	Frenado	-
18-19	14	Frenado	-
19-20	10	Frenado	-

Tabla 10. Cálculo de la producción de energía eléctrica anual del aerogenerador descrito en la figura 25 y en las condiciones de viento determinadas en el monte del Mazo (Carranza).

- Consumos totales diarios.
- Potencia máxima requerida.
- La distribución del consumo a través de las horas del día.
- Variación de los consumos diarios a lo largo del año.
- Grado de necesidad de suministro continuo de energía ¿pueden permitirse interrupciones en el suministro?

3. El sistema de almacenamiento de energía.

Si el aerogenerador suministra energía a una aplicación que no tiene soporte de la red eléctrica, el sistema de almacenamiento permite acoplar las variaciones de la producción de energía con el consumo.

Es necesario resaltar que la capacidad del sistema de almacenamiento influye decisivamente en la cantidad de energía eólica que se aprovecha, ya que si está lleno, no se podrá aprove-

char la energía que pueda estar produciendo el aerogenerador.

Generalmente, se dimensiona el sistema de almacenamiento para que la instalación tenga una autonomía de unos siete días en las épocas de condiciones de viento más bajas. Si las condiciones de viento en los meses de verano son excesivamente bajas, sería necesario aumentar la capacidad de almacenamiento hasta 15 días de autonomía o más, resultando sistemas muy caros. En este caso resulta conveniente disponer del apoyo de un sistema auxiliar como un grupo diesel o paneles fotovoltaicos.

Por último, el estudio económico permitirá determinar el coste de la instalación y su viabilidad.

El coste total de un aerogenerador es la suma de los conceptos siguientes:

- Precio de aerogenerador.
- Precio de la torre que soporta al aerogenerador.

dor y de la obra civil necesaria para plantar la torre.

- Precio del tendido eléctrico entre el aerogenerador y la aplicación.
- Precio del sistema de almacenamiento de la energía y de la obra necesaria para su adecuada instalación.

El tiempo de vida de las baterías eléctricas y el coste de mantenimiento del aerogenerador son dos aspectos básicos a tener en cuenta en el estudio económico.

La comparación del coste total de la instalación con el coste de los sistemas competidores (sistema fotovoltaico, grupos diesel y realización del tendido eléctrico) dará una idea de la viabilidad económica del proyecto:

En muchos casos, tanto por razones de economía como por la seguridad en el suministro, los sistemas combinados aerogenerador-diesel o aerogenerador-sistema fotovoltaico puede resultar más ventajosos que los sistemas individuales.



EVE

Ente Vasco de la Energía

EUSKO JAURLARITZA



GOBIERNO VASCO

INDUSTRIA ETA
ENERGI SAILA

DEPARTAMENTO
DE INDUSTRIA Y ENERGIA