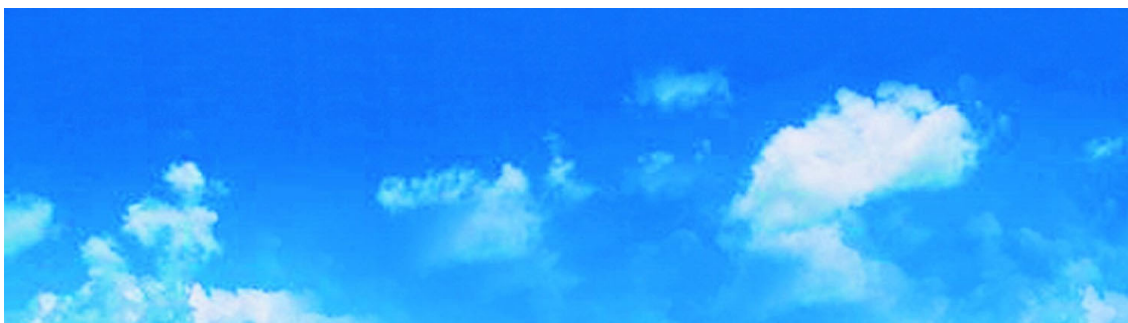


9 - CONDICIONES DE VIENTO EXISTENTES EN EUSKADI

Se describe en este apartado el potencial de viento existente en la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV). Si bien la Comunidad comenzó a dotarse de estaciones meteorológicas automáticas en el año 1985, no es hasta septiembre de 1995 cuando dicha dotación abarca zonas de potencial eólico con medidas representativas de los emplazamientos. Este estudio se basa en los datos de dicha red de medición y el estudio realizado en el Atlas Eólico del País Vasco. Los aspectos más significativos son:



- Existen en la Comunidad dos vientos dominantes, uno de dirección Norte-Noroeste, llamado también Iparra, y otro de dirección Sur, llamado Hegoa, que condicionan los requisitos que deberán reunir los emplazamientos de aprovechamiento eólico.
- Se dispone de una red de medición de viento, que cubre buena parte de los emplazamientos considerados como de mejor implantación eólica, estimándose que la red de mediciones es suficiente para el presente estudio
- Con las mediciones realizadas se ha confirmado que existen emplazamientos de la Comunidad Autónoma del País Vasco que alcanzan la media de algunos lugares del estado y del mundo en los que el aprovechamiento de la energía eólica es una realidad.
- Los atlas eólicos español y europeo no incluyen a la CAPV entre las zonas de aprovechamiento eólico a causa de que se han basado en los valores del viento de Estaciones Meteorológicas situadas en ciudades, o en zonas llanas de valles, en las que no hay viento suficiente, no disponiendo de datos en puntos en los que por causas orográficas el viento alcanza altos valores medios, como pueden ser las zonas altas.

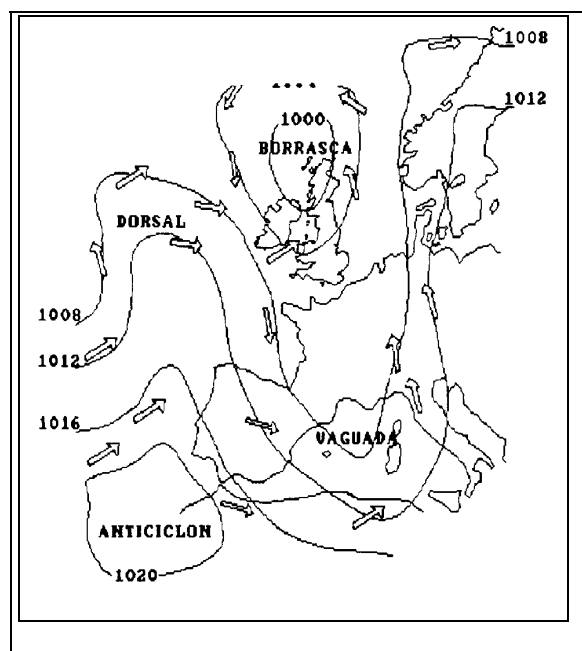
1. ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS DEL VIENTO

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, de manera que un desigual calentamiento de la superficie terrestre y del aire que des cansa sobre ésta va a originar una desigual distribución de presiones. 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 los polos al Ecuador, es decir de zonas frías con altas presiones a zonas cálidas con baja presión. Pero debido a la acción de la fuerza de Coriolis, originada por el movimiento de rotación de la Tierra y que actúa cuando el viento se pone en movimiento, la trayectoria del viento se desvía a la derecha en el hemisferio Norte y a la izquierda en el hemisferio Sur, haciendo que la trayectoria del viento sea paralela a las isobaras, dejando a la derecha las altas presiones y a la izquierda las bajas presiones. El efecto del rozamiento de la superficie terrestre hace que el viento en superficie tenga una componente diri-

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



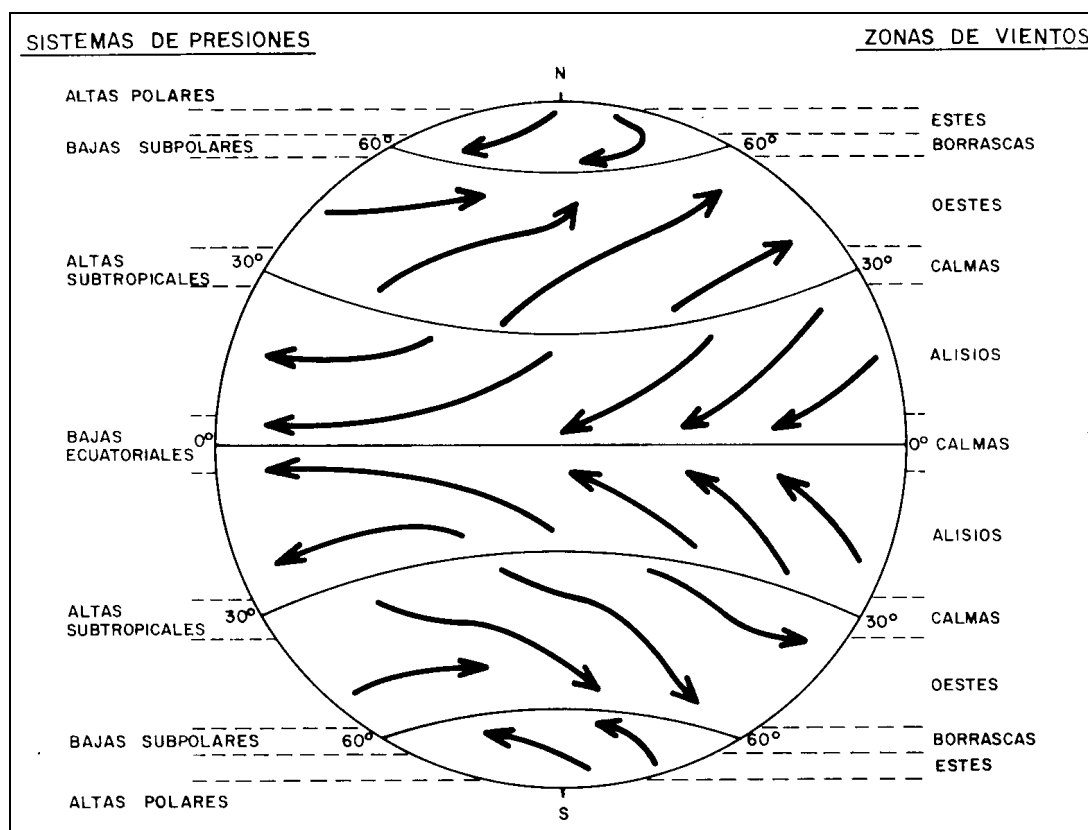
gida de las altas a las bajas presiones de manera que el viento rellena las bajas presiones por su base a la vez que éstas se van vaciando por su parte superior. Lo contrario sucede con las altas presiones. La Fig. IX. 1 muestra la distribución de presiones y direcciones de viento en una fecha concreta en la zona occidental de Europa.

Las condiciones de viento en un territorio vienen determinadas por la distribución de presiones que son características de dicha zona del planeta, factor que va ligado a los tipos y movimiento de las masas de aire predominantes. Los factores responsables de los movimientos de las masas de aire a nivel del planeta se denominan efectos de macroescala, y la longitud característica de estos efectos es del orden de 1.000 o más kilómetros.

Un análisis a macroescala de los vientos lo daría la “circulación general de la atmósfera” denominándose así a la circulación de las masas de aire considerando el conjunto de la atmósfera de la Tierra. La circulación general trabaja como una máquina térmica que tiende a igualar las temperaturas de las distintas partes de la superficie terrestre.

La circulación general de la atmósfera día a día es muy variable, siendo muy 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 y que quedan resumidas en la figura Fig. IX. 2. Así en esta figura se distingue que la CAPV, situada a una latitud media de 43°, se

Fig. IX. 2. La circulación general sobre la superficie terrestre



encuentra dentro de la zona templada de vientos del Oeste.

La circulación general se ve alterada fuertemente por la distribución de océanos y continentes lo cual es mucho más notorio en el hemisferio Norte por su mayor continentalidad.

Una vez fijadas las condiciones generales del viento por los efectos de macroescala, éste puede sufrir modificaciones debidas a la rugosidad del terreno, presencia de montes o cadenas montañosas, influencia de grandes valles, etc. Los efectos de este tipo se describen en la escala local o mesoescala y las longitudes características de estos fenómenos son del orden de 1 a 1.000 km.

Además de los vientos originados por la circulación general de la atmósfera, pueden existir vientos localizados en 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.

Otro aspecto que tiene influencia a escala local son las modificaciones que sufre el viento al entrar en contacto con el terreno, puesto que éste 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 hasta alcanzar un valor característico de la velocidad del aire sin perturbar, denominado viento geostrófico o viento determinado directamente por la distribución de presiones a nivel de macroescala. Por tanto, la velocidad del viento aumenta con la altura siendo este aumento variable en función de la rugosidad del terreno, factor que se caracteriza por el tamaño y distribución de los elementos que crean rugosidad, como son: la naturaleza del suelo, presencia de vegetación, edificios, etc. La figura Fig. IX. 3 muestra el perfil de velocidades del viento para terrenos de diferente rugosidad. Una conclusión a la vista de la gráfica 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.

Fig. IX. 3. Variación del perfil de velocidades del viento en función de la rugosidad del terreno

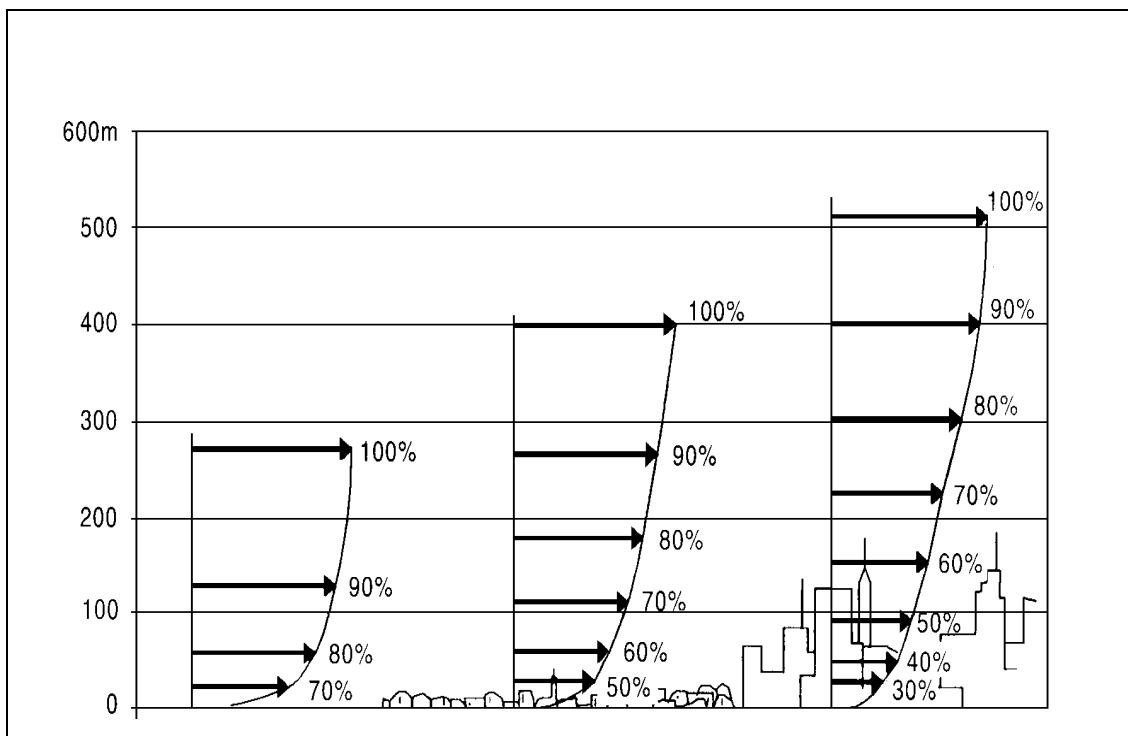
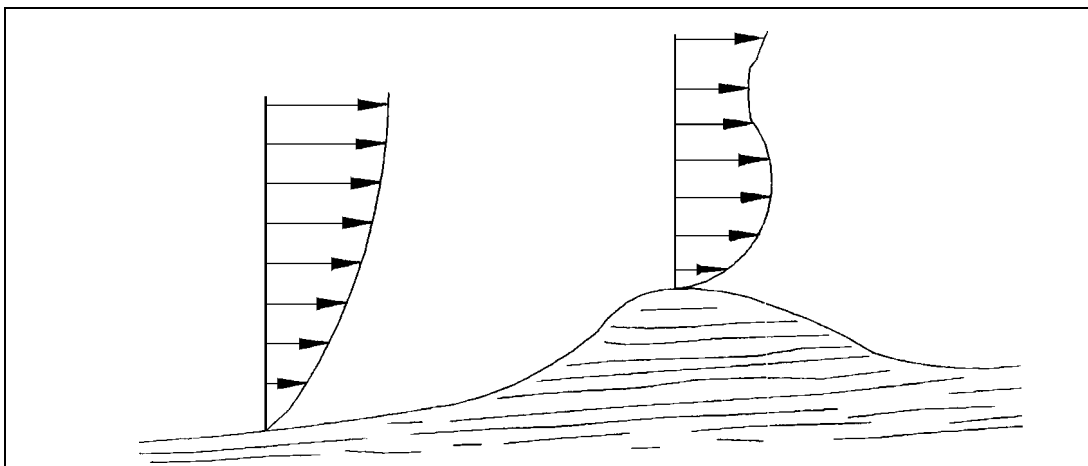
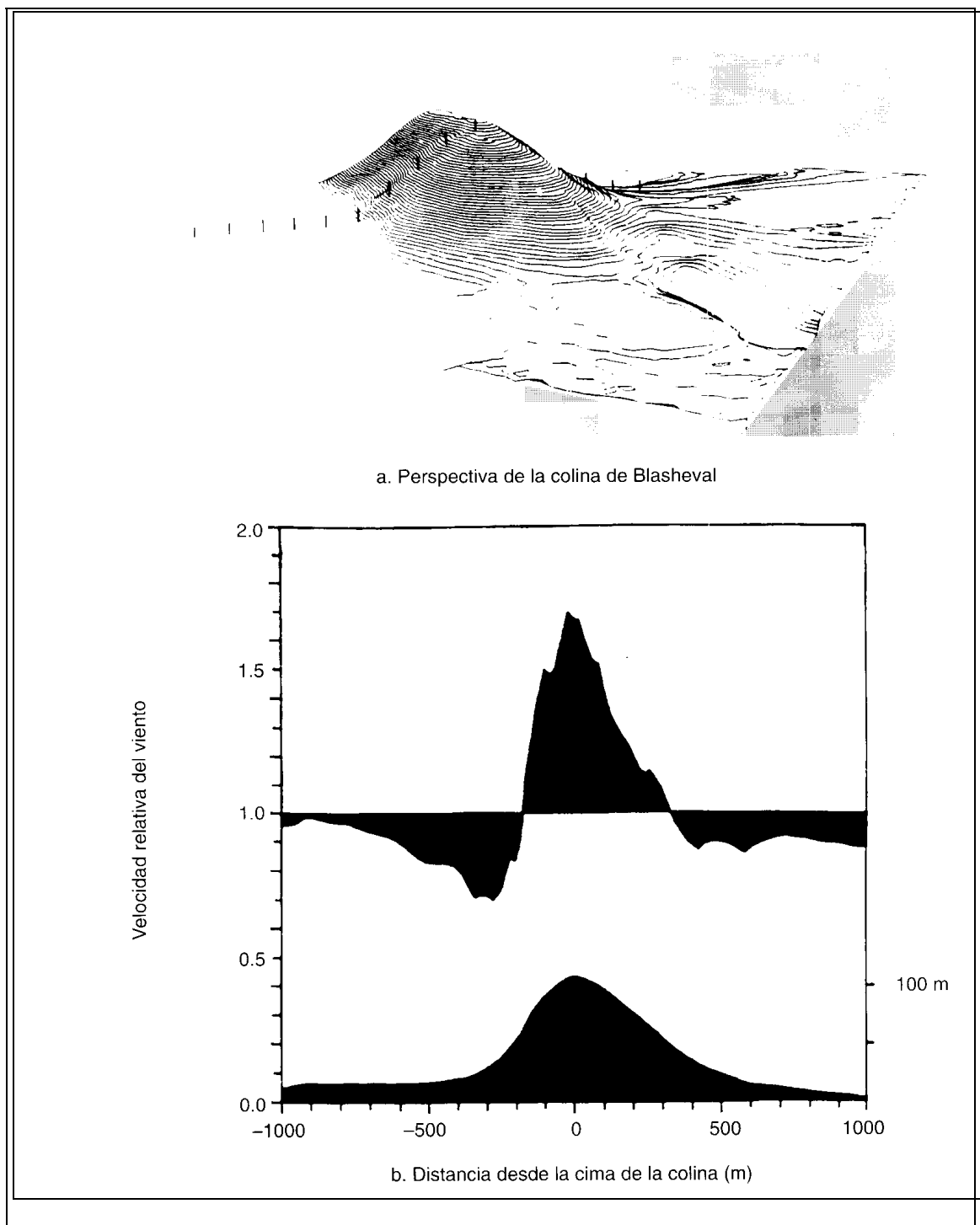


Fig. IX. 4. Aceleración de la velocidad del viento al atravesar una colina



Otro aspecto que altera 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 Fig. IX. 4 muestra el perfil de velocidades del 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.

Fig. IX. 5. Resultado de las experiencias sobre aceleración de la velocidad del viento a 8 m, de altura sobre el suelo, al atravesar la colina del Blasheval



Como ejemplo ilustrativo se presentan los valores numéricos de aceleración de viento determinados experimentalmente en la colina de Blasheval, cuya forma viene representada en la Fig. IX. 5.a. La Fig. IX. 5.b proporciona la velocidad de viento relativa respecto a la que se registra en una zona llana suficientemente lejos de la colina.

La tabla siguiente muestra los valores numéricos de velocidad del viento que se obtendrían en diferentes puntos de la colina para velocidades de viento de 7 y 12 m/s en terreno llano.

Velocidad en la zona llana	Velocidad al comienzo de la colina d= -400	Velocidad en la ladera colina d= -100	Velocidad en la cima de la 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

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 (Fig. IX. 6). Cuando existen pasos entre montes, el viento puede tener tendencia a utilizarlos para cruzar las cadenas montañosas produciéndose fuertes aceleraciones en la velocidad del viento (Fig. IX. 7).

Fig. IX. 6. Aceleración del viento en las laderas de un monte cuyo eje principal es paralelo a la dirección del viento

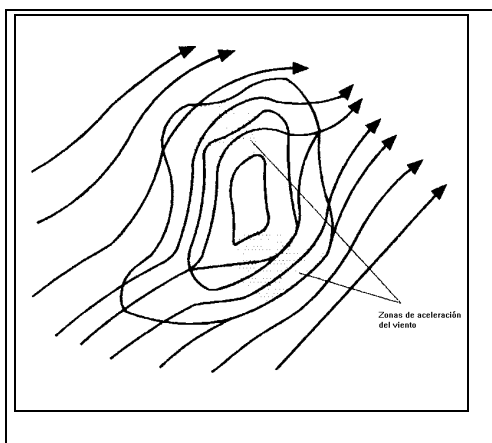
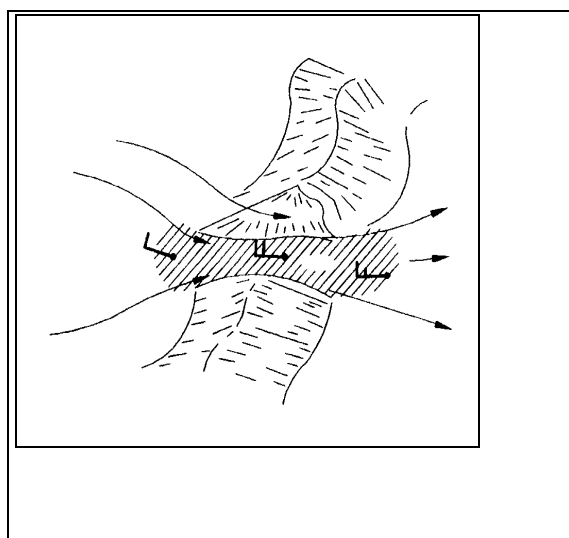


Fig. IX. 7. Aceleración del viento en un paso entre montes



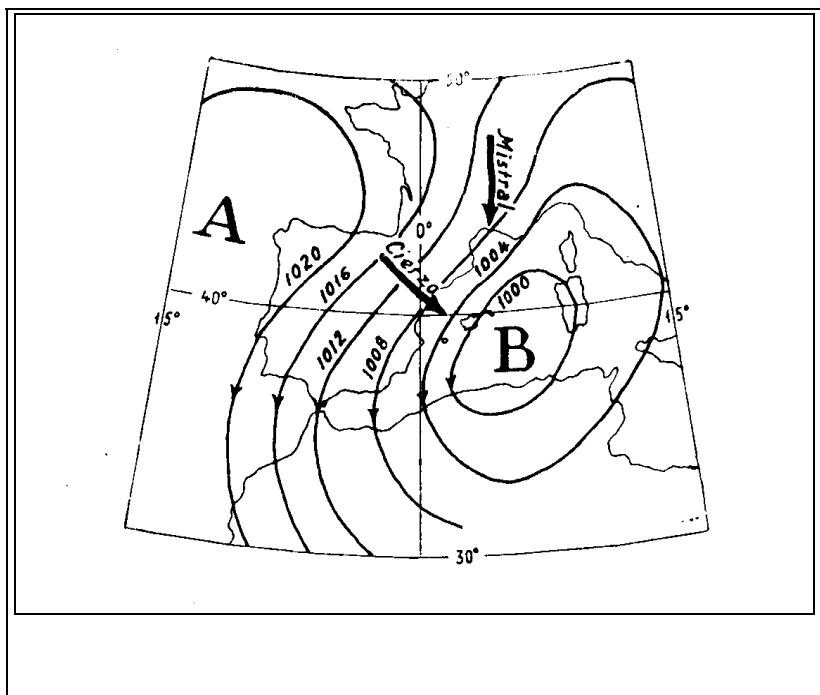
Finalmente las condiciones de viento en un emplazamiento dado pueden estar influidas por la presencia de obstáculos cercanos como casas, árboles, etc. Los efectos originados por estos factores se denominan efectos de microescala y tienen unas longitudes características de 1 m a 1 km. Las consecuencias más importantes que producen los obstáculos antes mencionados son una atenuación de la velocidad del viento y la aparición de turbulencias.

2. CONDICIONES GENERALES DE VIENTO EN LA COMUNIDAD AUTONOMA DEL PAÍS VASCO

La CAPV está situada a una latitud media de 43°, por lo que puede incluirse en la denominada zona templada. La circulación al nivel de macroescala en esta zona se caracteriza por el paso de depresiones y anticiclones predominantemente en la dirección Oeste-Este.

Otro factor destacado para comprender las condiciones de viento de la CAPV derivan de su situación entre las cordilleras pirenaica y cantábrica, con una altitud media de los Montes Vascos notablemente inferior a las de esas cordilleras. Se produce por tanto, a gran escala, el efecto descrito en la Fig. IX. 7, acelerándose los flujos de viento que tienden a cruzar la barrera formada por los Pirineos y la Cordillera Cantábrica. Además, esta situación entre ambos macizos origina que los vientos que circulan sobre la CAPV rolen hacia componentes norte o sur, según procedan de latitudes más bajas o altas.

Fig. IX. 8. Situación típica de cierzo, viento frío, del Norte y NW. Anticiclón en el Cantábrico y borrasca en el Mediterráneo próximo. Tiempo frío y húmedo en el norte con nubosidad de estancamiento y tiempo seco y soleado con viento racheado del NW en el sur



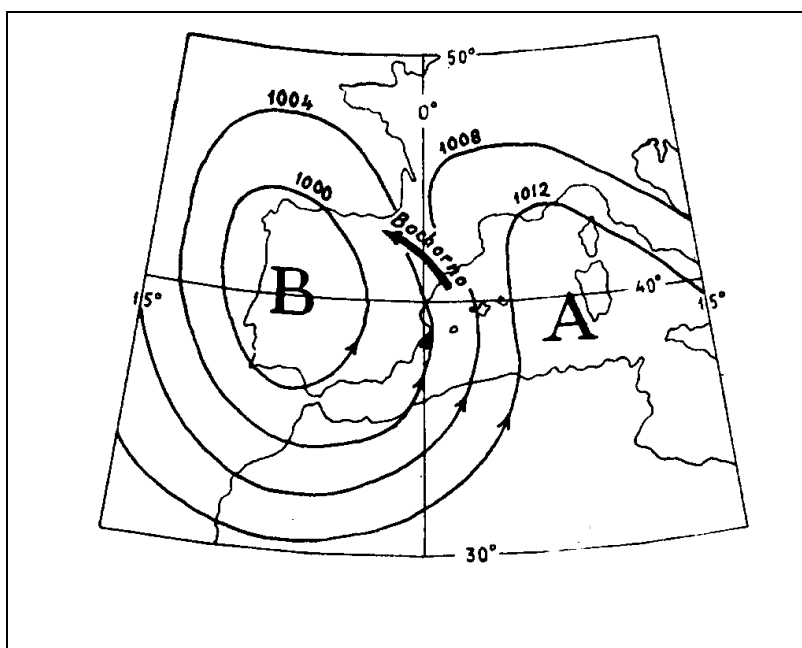
La sucesión típica de condiciones de viento asociadas a la circulación general es la presencia de vientos del Sur y sudoeste al acercarse la depresión por el Oeste; vientos del noroeste y Norte cuando la depresión se aleja por el Este; y vientos suaves del noreste o encalmados al entrar el anticiclón. Este comportamiento es característico de los meses de otoño,

invierno y primavera. En la época del verano, la circulación de las depresiones y anticiclones se localiza a latitudes más altas que en invierno. Este hecho origina que en situaciones de borrasca su influencia en las condiciones de viento está mucho más atenuada y sólo se presenta esporádicamente. Por el contrario, la situación en el borde del anticiclón de las Azores origina vientos dominantes del norte.

El proceso meteorológico que origina este viento del NW está vinculado a un anticiclón situado en el Golfo de Vizcaya y el Cantábrico, mientras en las Baleares y el Mediterráneo occidental aparece una borrasca. Se establece así un flujo de aire de las altas a las bajas presiones, y el valle del Ebro actúa como canal de conducción (Fig. IX. 8). Este efecto es muy notable y debe su frecuencia a lo estable del anticiclón de las Azores que al alargarse en cuña hacia la península origina el régimen de vientos del Noroeste antes mencionado.

Cuando el anticiclón de las Azores es sustituido por una borrasca atlántica y se establecen las altas presiones en el mediterráneo, se establece una circulación del sureste denominada “bochorno” de menor frecuencia e intensidad que el cierzo, excepto en los montes de la divisoria de aguas y en el Cantábrico donde se denomina

Fig. IX. 9. Situación típica de “bochorno”, viento templado y húmedo del SE. Anticiclón en el Mediterráneo occidental y depresión sobre Portugal. Tiempo nuboso en el sur y seco y soleado en la cornisa Cantábrica con acusado efecto föehn



también hego-haize que, transformado en viento sur o suroeste, se refuerza por efecto fohën y tiene gran importancia, principalmente en el otoño y el invierno.

El hecho de que en esta dirección exista un gradiente térmico muy acusado, hace que el viento frío del norte se acelere barriando los valles y montañas al ir a desplazar al aire cálido y menos denso. Este

gradiente térmico se ve incrementado por el efecto föehn que se ocasiona cuando en la zona cantábrica se producen precipitaciones y el aire llega seco al valle del Ebro. De esta manera el aire ascendente se enfría 0,5°C por cada 100 m de ascenso al liberarse el calor latente de condensación; por el contrario, en su descenso, el aire se ha despojado de gran parte de su humedad en forma de precipitación, con lo cual, al no existir evaporación, se calienta 1°C por cada 100 m de descenso, produciéndose una ganancia neta de temperatura de la vertiente norte a la sur para la misma altitud. A ello no es ajeno el hecho de que la zona sur tiene hasta 700 horas de sol al año más que la zona norte y 1.200 mm menos de precipitación anual. Este efecto es muy acusado en la sierra de Toloño y Cantabria que es donde se produce el gran cambio climático de la Comunidad.

Tampoco hay que olvidar que los montes de la divisoria de aguas presentan altitudes que oscilan entre los 600 y los 1.400 m, no ofreciendo mayor dificultad al viento que, proveniente del Cantábrico va a parar al Mediterráneo. Esto no ocurre así en las zonas más altas de los Pirineos y la Cordillera Cantábrica, los cuales ejercen una barrera a la penetración del viento por lo que una pequeña parte del flujo de aire los atraviesa remontándolos, ya que normalmente prefiere bordearlos por sus flancos, siendo estos montes junto con los próximos de Navarra, una de las principales vías de flujo de viento, actuando a media escala como lo hace un paso entre montañas a pequeña escala, que ejerce un efecto de encauzamiento y estrechamiento del flujo del viento, haciendo que éste se acelere.

En la zona más oriental de la CAPV comienzan a adquirir importancia los flujos de vientos de procedencia atlántica y que discurren a lo largo de la meseta superior por el valle del Duero. En su salida hacia el Cantábrico originan una frecuencia importante de vientos del suroeste, tal como puede comprobarse en las rosas de viento de estaciones como Salbada, Oiz, Arkamo e incluso Elgea.

Es evidente que el efecto de estrechamiento de flujo se produce también con la altitud cuando el viento tiene que atravesar una barrera montañosa, lo cual, unido a la normal aceleración del viento con la altitud al encontrar un menor rozamiento con la superficie terrestre, hace que la ganancia del viento con la altura sea muy notable, adquiriendo en ocasiones un grado extraordinario, ya que la vegetación y la conformación de los valles hace que el aire en éstos se quede atascado principalmente en otoño e invierno.

Un ejemplo notorio lo encontramos en Álava con la variación que sufre el viento en la Llanada Alavesa. Así, en tres observatorios cercanos entre sí como Vitoria-Gas-

teiz, Elgea y Kapildui. En pocos kilómetros se pasa de poco más de 2 m/s en Vitoria-Gasteiz considerado como una zona llana de valle y sin obstáculos, a los 6,8 m/s de Kapildui, donde el viento ha ganado en altitud, pero se ha acelerado grandemente; finalmente, Elgea es el caso más notorio, ya que se alcanzan los 8,85 m/s al incrementar notablemente la altitud, y sobre todo por aprovechar el efecto colina que además está perfectamente orientada a los vientos dominantes. Así las estribaciones montañosas que presentan orientaciones predominantes de Oeste a Este y con una altitud en general superior a los 700 metros, y que no presenten una vegetación arbórea importante en sus cumbres, reúnen las características óptimas para una aceleración máxima del viento en sus cimas.

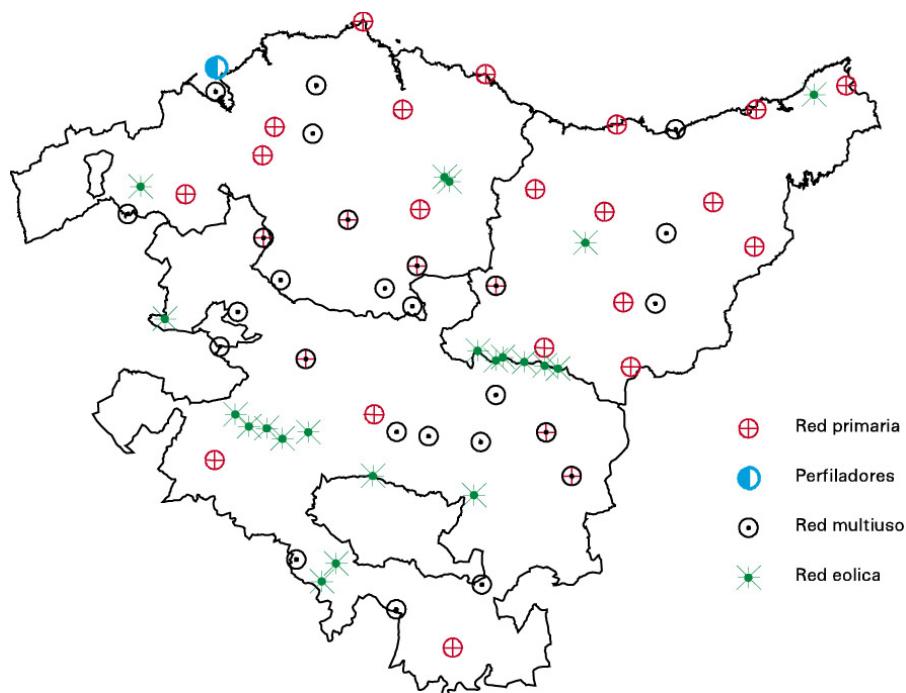
3. RED DE MEDICIÓN

La red de estaciones meteorológicas automáticas comenzó a instalarse hacia el año 1985, siendo a partir de 1990 cuando se instalan la mayor parte de las estaciones por parte del Servicio Vasco de Meteorología. En la actualidad esta red es muy numerosa, sin embargo un buen número de ellas están situadas en valles más o menos abrigados y las que estaban en zonas altas no se ubicaron adecuadamente hasta el mes de septiembre de 1995, año en el que comenzó a instalarse la red propiamente eólica, promovida por el Ente Vasco de la Energía y que cuenta en la actualidad con 8 estaciones con torres de 20 a 40 m de altura y medida de viento a varios niveles, midiendo en algunos casos la temperatura, presión y la componente vertical del viento. Algunas de estas torres se han ido desplazando a distintos emplazamientos de manera que se han llegado a medir 23 emplazamientos con interés eólico dentro de la Comunidad.

3.1. Instalaciones existentes

En la Fig. IX. 10 se ha incluido un mapa con la localización de las estaciones meteorológicas automáticas de la CAPV.

Fig. IX. 10. Distribución geográfica de las estaciones meteorológicas en la CAPV



Estaciones Meteorológicas Automáticas de la CAPV con mediciones de viento.

Red Primaria

Estación	Altitud	Sensores	Fecha inicio en func.	Territorio	Propietario	
E036	Donostia	25	VTHL	1/89	Gipuzkoa	INM
E118	Sondika	34	VTHLP	1/89	Bizkaia	INM
E120	Zumaia	28	VTHL	1/89	Gipuzkoa	INM
E123	Foronda	510	VTHLP	1/89	Araba	INM
E124	Hondarribia	8	VTHLP	2/89	Gipuzkoa	INM
E126	Lekeitio	30	VTHL	1/89	Bizkaia	INM
E127	Matxitxako	93	VTHL	1/89	Bizkaia	INM
E157	Itsaso (Ormaiztegi)	225	VTHLP	1/89	Gipuzkoa	INM
E158	Elgoibar	120	VTHLP	1/89	Gipuzkoa	INM
E160	Güeñes	208	VTHLP	1/89	Bizkaia	INM
E206	Arantzazu	770	VTHL	10/91	Gipuzkoa	INM
E602	Urkiola	695	VTHL	2/89	Bizkaia	SVM
E603	Arrasate	325	VTHL	3/89	Gipuzkoa	SVM
E604	Iturrieta ¹	987	VTHLIPE	2/89	Araba	SVM
E605	Gernika	3	VTHL	2/89	Bizkaia	SVM
E606	Berastegi	380	VTHLI	2/89	Gipuzkoa	SVM
E607	Llodio	207	VTHLIE	2/89	Araba	SVM
E609	Zizurkil	150	VTHLIE	2/90	Gipuzkoa	SVM
E610	Salvatierra	589	VTHLE	3/90	Araba	SVM
E611	Azpeitia ¹	90	VTHL	3/90	Gipuzkoa	SVM
E612	Laguardia	566	VTHLIE	2/90	Araba	SVM
E613	Igorre	150	VTHLI	4/90	Bizkala	SVM
E614	Espejo	520	VTHLE	2/90	Araba	SVM
E615	Altube	618	VTHLIPE	2/90	Araba	SVM
E616	Iurreta	127	VTHLIE	6/90	Bizkaia	SVM
E617	Basurto	47	VTHL	6/90	Bizkaia	SVM
E618	Etzegarate	660	VTHL	4/90	Gipuzkoa	SVM

Perfilador

Estación	Altitud	Sensores	Fecha inicio en func.	Territorio	Propietario	
PRGA	Perfil.Punta Galea	60	Viento hasta 5.000 y tª virtual hasta 1.000 de media	3/1/96	Bizkaia	SVM

Red Multiuso

Estación	Altitud	Sensores	Fecha inicio en func.	Territorio	Propietario	
G001	Arkaute I	517	VTHLIE	5/92	Araba	SVM

¹ Estación que actualmente no se encuentra en funcionamiento

	Estación	Altitud	Sensores	Fecha inicio en func.	Territorio	Propietario
G003	Derio	30	VTHLI	24/5/96	Bizkala	SVM
G022	Urkiola	695	VTHL	13-9-98	Bizkaia	SVM
G023	Arrasate	325	VTHL	21-10-98	Gipuzkoa	SVM
G024	Iturrieta	987	VTHLIPE	27-10-98	Araba	SVM
G027	Llodio	207	VTHLIE	3-5-99	Araba	SVM
G030	Salvatierra	589	VTHLE	5-1-99	Araba	SVM
G033	Igorre	150	VTHLI	22-3-99	Bizkala	SVM
G035	Altube	618	VTHLIPE	5-3-99	Araba	SVM
G040	Gasteiz	546	VTHLIP	3/92	Araba	SVM
G041	Navarrete	689	VTHLIE	4/92	Araba	SVM
G042	Punta Galea	61	VTHLIP	6/92	Bizkaia	SVM
G043	Ordizia	243	VTHLI	1/92	Gipuzkoa	SVM
G045	La Garbea	717	VTHL	1/92	Bizkaia	SVM
G046	Oiz	980	VTHL	10/91	Bizkaia	SVM
G047	Kapildui	1173	VTHL	8/91	Araba	SVM
G048	Herrera	1188	VTHLI	7/92	Araba	SVM
G050	Zambrana	470	VTHLI	9/92	Araba	SVM
G051	Saratxo	230	VTHLIN	5/92	Araba	SVM/DFB
G053	Barazar	608	VTHLI	12/92	Bizkala	SVM
G054	Otxandio	556	VTHLI	12/92	Bizkala	SVM
G055	Ozaeta	548	VTHLI	3/93	Araba	SVM
G056	Alegria	545	VTHLI	3/93	Araba	SVM
G057	Mungia	22	VTHLI	3/93	Bizkala	SVM
G058	Bidania	592	VTHLI	12/92	Gipuzkoa	SVM
G064	Zarautz	80	VTHLI	1/93	Gipuzkoa	SVM
G070	Zaldiaran	980	VTHL	5/94	Araba	SVM
G071	Jaizkibel	220	VTHL	5/94	Gipuzkoa	SVM
G072	Orduña	934	VTHL	18/2/1997	Bizkaia	SVM
GOB4	Orozko	200	VTHLN	2/92	Bizkaia	DFB
GOC2	Balmaseda ¹	178	VTHLNI	5/93	Bizkaia	DFB

Siglas de los sensores:

V	Viento	P	Presión atmosférica
T	T ^a del aire	E	Evaporación
H	Humedad relativa	N	Nivel de lámina de agua
L	Precipitación	C	Distintos parámetros físico-químicos del agua de los ríos
I	Irradiación solar		

Estaciones eólicas

	Altitud	Sensores actuales	Fecha instalación	Propietario
Arkamo 1	1.094	VH40	dic-95	EVE
Arkamo 2	986	VH40,20	oct-96	EVE
Arkamo 3	1.087	VH40,20	sep-96	EVE
Arkamo 4	1.106	VH40,20	dic-96	EVE
Elgea 1	1.180	VH40,20,10; T, P, VV40	sep-95	EVE

	Altitud	Sensores actuales	Fecha instalación	Propietario
Elgea 2	988	VH20,10	jul-96	EVE
Elgea 3	1.070	VH40,30	jun-97	EVE
Elgea-Urkilla 1	1.145	VH20,10	jun-96	EVE
Urkilla 1	1.145	VH20,10	jun-96	EVE
Urkilla 2	1.152	VH30,20	feb-97	EVE
Salbada 1	1.115	VH40,20,10; T, P, VV40	sep-95	EVE
Oiz 2	925	VH40,20	ago-97	EVE
Badaya 1	1.027	VH40,20	oct-96	EVE
Samiño 1	850	VH40,20	oct-96	EVE
Chulato 1	885	VH40,20	oct-96	EVE
Oiz 1	980	VH20	mar-95	SVM
Garbea	717	VH30	sep-95	SVM
Zaldiaran	980	VH60	oct-95	SVM
Kapildui	1.173	VH55	abr-96	SVM
Jaizkibel	520	VH70	oct-95	SVM
Etxera	720	VH40,20	feb-98	EVE

VH40: Velocidad horizontal a 40 m de altura VV40 : velocidad vertical a 40 m
T : temperatura VH40, 20, 10 : velocidad horizontal a 40, 20 y 10 m de altura
P : presión

3.2. Formato de presentación de datos

En las páginas siguientes se ha incluido una ficha de 21 estaciones eólicas tipo las cuales han servido para caracterizar los emplazamientos estudiados. Las estaciones nº 1, 2, 3, 4 y 5 se han considerado representativas de las condiciones eólicas existentes en las cumbres montañosas de la zona costera, en general para altitudes comprendidas entre 250 a 1000 m. Las estaciones nº 6, 7, 8, 9, 10, 11, y 12 se han considerado representativas de los montes de la divisoria de aguas con altitudes entre los 800 y los 1200 m. Y finalmente, las estaciones nº 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 y 21 podrían representar a las sierras altas de la zona media y a emplazamientos situados en el entorno del valle del Ebro con altitudes entre los 650 y los 1200 m. En estas fichas hay una tabla en la que se reflejan las velocidades medias mensuales a lo largo del periodo en el cual se han venido realizando mediciones en cada estación. A continuación aparece una tabla con la distribución de velocidades y energías de la estación considerando un aerogenerador de 660 kW de potencia. Finalmente se han incluido dos gráficas, una correspondiente a la curva de distribución de velocidades del viento y otra con la rosa de vientos, velocidades y energías que indica si las orientaciones de las cadenas montañosas son favorables o no a los vientos dominantes y por tanto si van a producirse más o menos sombras unos aerogeneradores a otros, debiéndose separar más en el primer caso. A la hora de realizar dichas gráficas, se utilizó la serie

temporal correspondiente al periodo de referencia asociado a cada estación meteorológica.

En las Fig. IX. 12 y Fig. VIII. 13 se han incluido primeramente las velocidades medias mensuales y anuales de las estaciones eólicas instaladas. Finalmente se ha incluido a título comparativo la Fig. IX. 11 con las velocidades medias anuales medidas en algunas estaciones situadas en zonas bajas de valles tanto del interior como del litoral. Los datos por sí solos dan una idea de la gran diferencia existente entre el viento medido en las estaciones eólicas y las mixtas, diferencia mucho mayor si se hiciese la comparación de la energía disponible en el viento ya que ésta varía proporcionalmente a la velocidad cúbica del viento.

Fig. IX. 11. Red de Estaciones Meteorológicas Automáticas de la Comunidad Autónoma del País Vasco

Velocidad media del viento (m/s)			
Arrasate-Mondragón	0,9 m/s	Ispaster	2,4 m/s
Vitoria-Gasteiz (Lakua)	2,2 m/s	Faro de Punta Galea	4,3 m/s
Vitoria-Gasteiz (obser. M.)	2,3 m/s	Briñas	4,0 m/s
Zumaia	3,7 m/s	Zarautz	3,7 m/s
Igeldo	4,6 m/s	Lekeitio	3,9 m/s
Hondarribia	2,6 m/s	Matxitxako	4,7 m/s
Sondika	2,6m/s	Llodio	2,2 m/s

Fig. IX. 12. Velocidad media del viento en la red de estaciones meteorológicas eólicas de la CAPV

RED DE ESTACIONES METEREOLÓGICAS EOLICAS DE LA C.A.P.V.													
VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO (m/seg.)													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1995													
Elgea-1									8,18	9,12	10,39	9,70	9,43 *
Salbada-1									5,34 *	7,70	8,34	8,62	7,80 *
1996													
Jaizkibel-1	9,17		5,97	5,25	5,89	4,29 *	4,42	4,12	5,34	5,72	7,56	6,61	5,95
Oiz-1	12,83	9,39	7,80	6,56	6,89	6,15 *	5,48	5,43	7,18	7,53	13,68 *	10,00	7,91
Garbea-1	9,49	7,84	6,55			4,54	4,38	5,01	5,99	6,77	7,37	7,67	6,56
Elgea-1	13,84	9,89	8,72	8,51	8,16	8,00	7,76	6,37	8,30	8,85	9,43	10,45	9,02
Elgea-2							6,86 *	5,75	6,67	7,52	7,56	9,65	7,40 *
Elgea-Urkila							7,46	6,04	7,88	9,04	9,53	10,59	8,42 *
Urkila-1							6,58	5,59	6,75	7,79	7,91	9,28	7,32 *
Salbada-1	11,01	7,73	6,52	5,59	6,18	5,24	5,19	4,78	5,72	6,31	6,67	7,78	6,56
Arkamo-1	10,41	8,56	6,97	5,97	6,48	5,83	5,84	4,70 *	6,12	6,90	8,00	8,01	7,07
Arkamo-2							6,25	5,67	6,20	6,42	7,02	7,54	6,52 *
Arkamo-3									5,74 *	6,37	7,40	7,24	6,87 *
Arkamo-4									3,94 *	6,13	6,82	6,88	6,49 *
Zaldiaran-1							6,39	5,73	6,35	6,58	7,43	7,99	6,74 *
Kapildui-1				7,78 *	6,77	6,09	6,14	4,91	6,18	7,02	8,36	7,96	6,68 *
1997													
Jaizkibel-1	6,39	5,73	4,41	4,24 *	6,10	6,07	4,29	4,42	3,75	6,44 *	8,08	7,84	5,66
Oiz-1	8,19 *	7,44		7,18 *	9,66 *		5,59 *	5,03	5,06	8,86	10,15	9,84	7,63 *
Oiz-2								8,10 *	4,74	8,15	10,20	9,41	8,13 *
Garbea-1	7,38	7,25	5,06	5,05	5,48 *	5,77	4,25	4,22	4,00 *	7,32 *	8,76 *		5,79
Zamino-1								5,69 *	3,81 *	7,06 *	8,71	7,58	7,28 *
Elgea-1	10,02	8,89 *	7,80	8,86	8,74	7,95	7,03	6,12	6,07	9,96	10,41	9,65	8,41
Elgea-2	8,46	7,50											8,09 *
Elgea-3						7,21 *	6,36	5,48	5,48	8,31	8,06	7,58	6,90 *
Elgea-Urkila	10,30	8,65	7,56	8,38	8,73	7,54	6,43	6,03	6,03	10,06	11,12	10,20	8,41
Urkila-1	8,43	7,67	6,71	7,37	7,59	6,55	5,98	5,44	5,49	8,60	9,53	8,77	7,34
Urkila-2		7,71 *	5,34 *	6,59	6,61	5,72	5,30	4,94	5,06	7,51	7,61 *		6,10
Salbada-1	7,05	6,70	5,14	6,25	6,70	5,72	4,75	4,54	4,58	8,03			5,87
Arkamo-1	7,07	7,60 *	5,71	6,51	7,08	6,03	5,26	4,95	4,98	7,83	9,26	8,74	6,71
Arkamo-2	6,39	6,96	5,69	6,53	6,57	6,03	5,94	4,98 *					6,26 *
Arkamo-3	6,46	6,45	5,57	6,49	6,59	6,33	5,68	4,29 *					6,11 *
Arkamo-4	6,03	6,38	5,31	5,84	6,33								5,96 *
Badaya-1										5,83 *	8,53	7,27	7,59 *
Zaldiaran-1	7,37	7,85	6,08	6,92	7,38	6,27	5,32 *	5,66	5,77	7,66	9,55	8,74	7,13
Kapildui-1	7,88 *	8,14	6,21	6,65	7,51	6,30	4,98	5,53	4,79 *				6,42 *
Chulato-1										4,05 *	6,43	5,93	5,95 *

* Ausencia de más del 25% de los datos para obtener las medias mensuales.

RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS EOLICAS DE LA C.A.P.V.													
VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO (m/seg.)													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1998													
Jaizkibel-1	8,19	5,53	5,80	8,57	5,84	4,91	4,22	4,04	7,03	6,20	6,45	6,31	6,09
Oiz-1	11,39	8,19	8,10	9,79	7,94	5,98	5,52	5,36	8,17	8,36 *		11,18 *	7,82
Oiz-2	10,52		7,53	6,46	3,80	5,59	4,95	4,96	7,95	7,04	7,93	7,91	6,68
Garbea-1	6,21 *	6,68	5,72	7,97	6,54	5,10	4,32	4,15	6,13	6,28	6,25	7,24	6,02
Zamino-1	8,31 *	7,86 *											8,05 *
Elgea-1	11,69	8,77	9,79	9,76	9,57	7,74	8,02	7,48	8,51	8,15	8,62		8,90
Elgea-3	9,00	7,07 *	8,08	7,83	8,20	6,96	6,82		8,19 *	6,87	7,78	6,84 *	7,64
Elgea-Urkila-1	12,44	9,48	9,66	9,81	12,78 *								10,54 *
Urkila-1	10,67	8,01	8,42	8,14	8,34	6,52	7,17	6,65	7,23	6,75	7,22	7,58	7,72
Arkamo-1	9,86	7,05	7,53	8,60	7,46	5,70	5,79	5,78	6,92	6,66	7,19	7,56	7,16
Badaya-1	8,69	6,69	7,11	8,18	7,11	5,56	5,78	5,49	6,65	6,05	6,54	6,33	6,68
Zaldiaran-1	10,18	7,43	7,81	8,32	7,13	6,68	6,61	6,57	7,29	6,72	6,56	7,40	7,39
Kapildui-1	9,27 *	7,08	7,21	8,75 *	7,34	5,68	6,13	5,41	7,16	7,32	7,36	7,84	6,98
Echera-1		4,45 *	5,00	5,84	5,22	4,90	5,27	4,60	4,67	4,10	4,34	4,21	4,79
Chulato-1	7,49	3,65	5,82	6,64	5,80	5,50	6,03	5,02	5,05	4,43	4,76	4,83	5,43
1999													
Jaizkibel-1	7,26	6,82	7,07	6,87	6,15	4,92	4,70	4,36	6,37	6,45	6,43	7,83	6,25
Oiz-1	9,98	7,22	6,70	7,80	7,22	5,87	5,89	5,97	7,65	8,59	9,85	9,15	7,68
Oiz-2	9,95 *			7,97 *	6,80	5,41	5,46	5,57	7,68	8,56	8,67	8,78	7,28
Garbea-1	8,44	6,31	6,78	5,80	5,72	4,78	4,28	4,64	6,88	6,72	7,25	7,85	6,30
Elgea-3			7,19 *	7,33	7,06	6,74	6,12	5,99	6,78	7,21	8,36	8,20	7,08
Urkila-1	9,24	9,27	8,24	7,51	7,17	6,89	6,24	6,23	7,41	7,85	9,32 *		7,69
Arkamo-1	8,90	8,32	8,18	7,08	6,59	5,82	5,24	5,46	6,34	8,30	9,99	7,29 *	7,27
Badaya-1	7,66	7,54	7,16	7,07	6,24	5,64	5,31	5,38	6,81	7,15	7,47	7,74	6,76
Zaldiaran-1	8,79	7,33	7,51	7,02	6,79	6,73	6,33	6,40	7,44	7,72	7,82	9,12	7,41
Kapildui-1	9,30	8,95 *	7,73	7,21	6,61	5,71	5,16	6,26 *	7,19	7,30	9,52	11,20	7,61
Echera-1	4,60	5,24	5,14	5,16	4,50	5,04	4,56	4,69	4,48	4,45	4,97	4,84	4,80
Chulato-1	5,44	5,50 *	5,70	5,60	4,91	5,77	5,15	5,38	5,41	5,18	5,39	3,93 *	5,38
2000													
Jaizkibel-1	4,80	6,77	5,81	7,64	4,25	5,38	5,77	4,76	4,90	6,13	9,94	10,45	6,37
Oiz-1	7,64 *	8,14	7,97	10,00	5,71	7,23	6,92	6,31	6,15	7,93	11,39	13,90	8,27
Oiz-2	6,74	7,34	6,96	9,75	5,00	5,93	6,02	5,44	4,90 *			13,61	7,32
Garbea-1	5,65	6,34	8,20	8,32	4,46	5,00	5,01	4,88	5,03	6,31	9,19	11,51	6,64
Elgea-3	6,53	7,07	6,00 *			7,93	7,47	7,46	6,82	8,64	9,80	13,89	8,30
Badaya-1	5,83	6,05	6,16	8,74	5,24	6,53	6,02	5,64	5,42	6,31		10,32	6,57
Zaldiaran-1	7,21	6,98	7,16	9,62	6,49	7,52	6,69	6,51	6,55	7,30	10,42	11,76	7,86
Kapildui-1	6,63	7,02	6,23	8,51	5,75	6,72	6,36	5,71	6,06	7,46	9,52	11,20	7,18
Echera-1	4,31	4,07	5,50	6,62	3,29 *								4,96 *
Chulato-1	4,61	4,30	4,76	5,70 *									4,78 *

* Ausencia de más del 25% de los datos para obtener las medias mensuales.

Fig. IX. 13. Velocidad media mensual y anual del viento de la red de estaciones eólicas de la CAPV

RED DE ESTACIONES EÓLICAS DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA VASCA															
VELOCIDAD MEDIA MENSUAL Y ANUAL DEL VIENTO (m/seg). Período 1996-99															
Estación	Mes inicial	Mes final	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Anual
1	Jaizkibel-1	ene-96	7,16	6,21	5,81	6,51	5,65	5,11	4,68	4,34	5,48	6,19	7,69	7,81	6,05
2	Oiz-1	ene-96	10,01	8,08	7,10	7,71	7,14	6,27	5,86	5,61	6,89	8,29	10,60	10,58	7,85
3	Oiz-2	ago-97	9,16	7,34	7,24	7,94	5,20	5,64	5,46	5,45	6,32	7,92	8,93	9,95	7,21
4	Garbea-1	ene-96	7,75	6,89	6,49	6,80	5,57	5,03	4,45	4,58	5,80	6,61	7,65	8,57	6,35
5	Zamino-1	ago-97	8,31 * 7,86 *							5,69 *	3,81 *	7,06 *	8,71	7,58 *	7,47 *
6	Elgea-1	sep-95	11,97	9,28	8,77	9,05	8,82	7,90	7,60	6,66	7,74	9,02	9,75	9,93	8,85
7	Elgea-2	jul-96	8,46	7,50 *					6,86 *	5,75	6,67	7,52	7,56	9,65	7,57
8	Elgea-3	jun-97	7,76	7,07	7,36	7,58	7,63	7,15	6,68	6,30	6,41	7,76	8,50	9,28	7,46
9	Elgea-Urkila-1	jul-96	11,38	9,06	8,61	9,10	9,67 *	7,54	6,94	6,04	6,96	9,55	10,33	10,40	8,82
10	Urkila-1	jul-96	9,44	8,32	7,79	7,67	7,70	6,65	6,49	5,98	6,72	7,75	8,49	8,56	7,63
11	Urkila-2	feb-97		7,71 *	5,34 *	6,59	6,61	5,72	5,30	4,94	5,06	7,51	7,61 *		6,10
12	Salbada-1	sep-95	9,03	7,23	5,83	5,92	6,44	5,48	4,97	4,66	5,19	7,26	7,51	8,20	6,47
13	Arkamo-1	ene-96	9,09	7,92	7,10	7,04	6,90	5,84	5,53	5,28	6,08	7,42	8,61	7,92	6,97
14	Arkamo-2	jul-96	6,39	6,96	5,69	6,53	6,57	6,03	6,08	5,58 *	6,20	6,42	7,02	7,54	6,38
15	Arkamo-3	sep-96	6,46	6,45	5,57	6,49	6,59	6,33	5,68	4,29 *	5,74 *	6,37	7,40	7,24	6,35
16	Arkamo-4	sep-96	6,03	6,38	5,31	5,84	6,33				3,94 *	6,13	6,82	6,88	6,17
17	Badaya-1	oct-97	7,40	6,76	6,81	7,96	6,19	5,91	5,71	5,50	6,29	6,36	7,51	7,91	6,69
18	Zaldiaran-1	jul-96	8,39	7,40	7,13	7,97	6,95	6,80	6,38	6,17	6,67	7,20	8,35	9,01	7,37
19	Kapildui-1	abr-96	8,30	7,57	6,80	7,54	6,78	6,09	5,75	5,40	6,36	7,27	8,29	8,87	7,09
20	Echera-1	feb-98	4,55	4,73	4,97	5,87	4,34	4,97	4,91	4,65	4,58	4,27	4,65	4,52	4,75
21	Chulato-1	oct-97	5,84	4,18	5,43	5,98	5,36	5,63	5,59	5,20	5,23	4,63	5,52	4,90	5,29

* Ausencia de más del 25% de los datos para obtener las medias mensuales.

Fig. IX. 14. Estación eólica nº 1. Jaizkibel. Zona Cantábrica

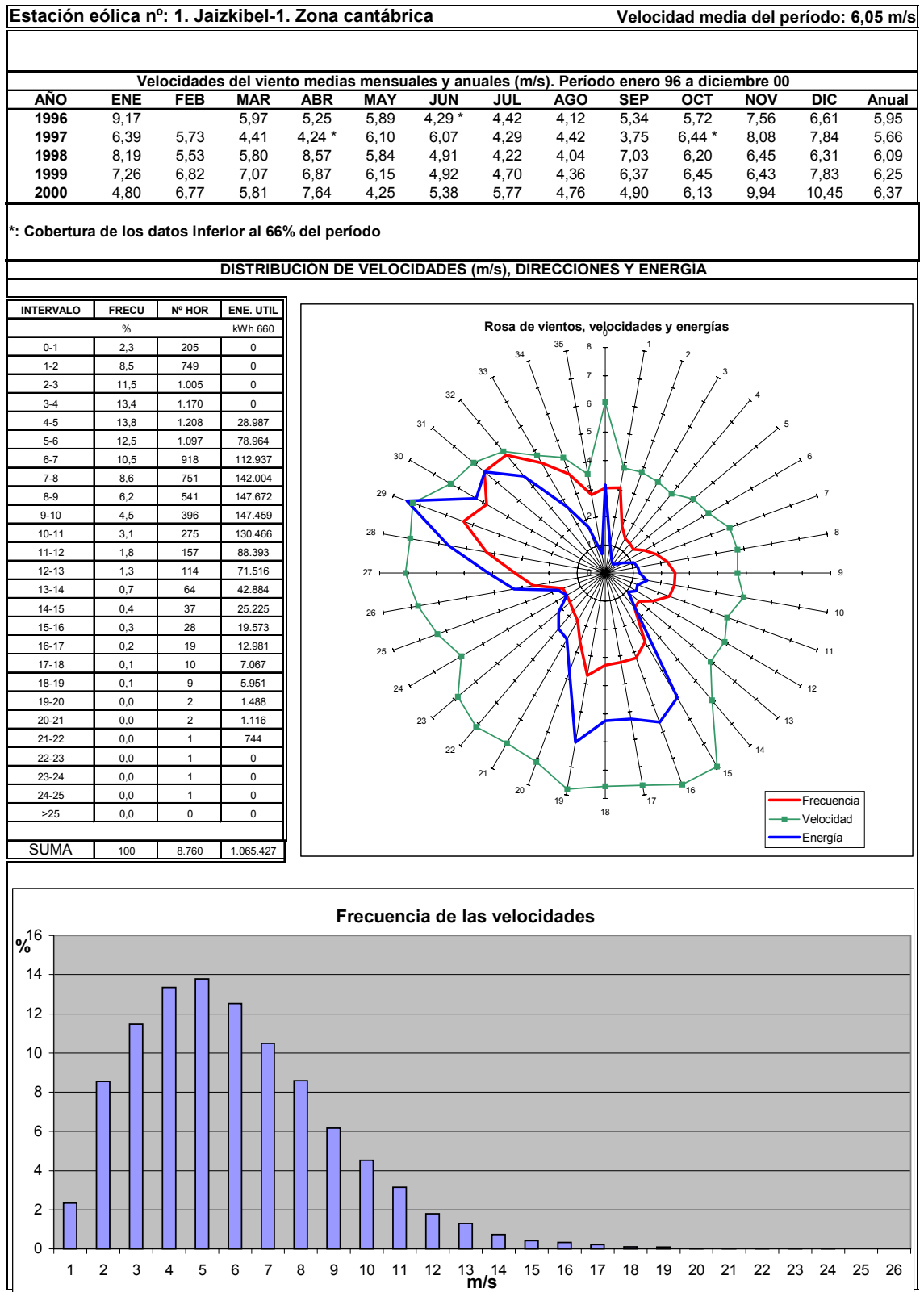


Fig. IX. 15. Estación eólica nº 2. Oiz 1. Zona Cantábrica

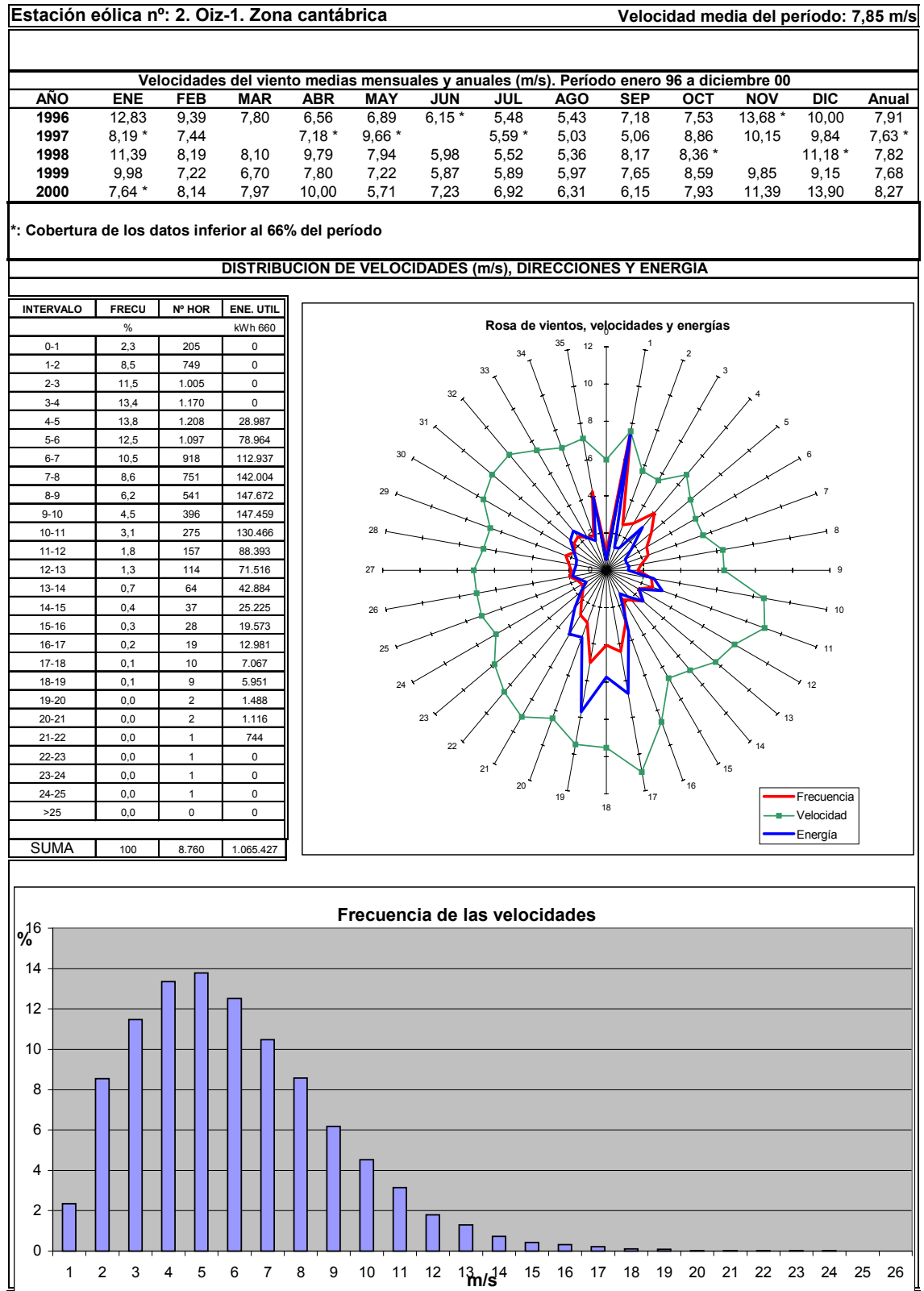


Fig. IX. 16. Estación eólica nº 3. Oiz-2. Zona Cantábrica

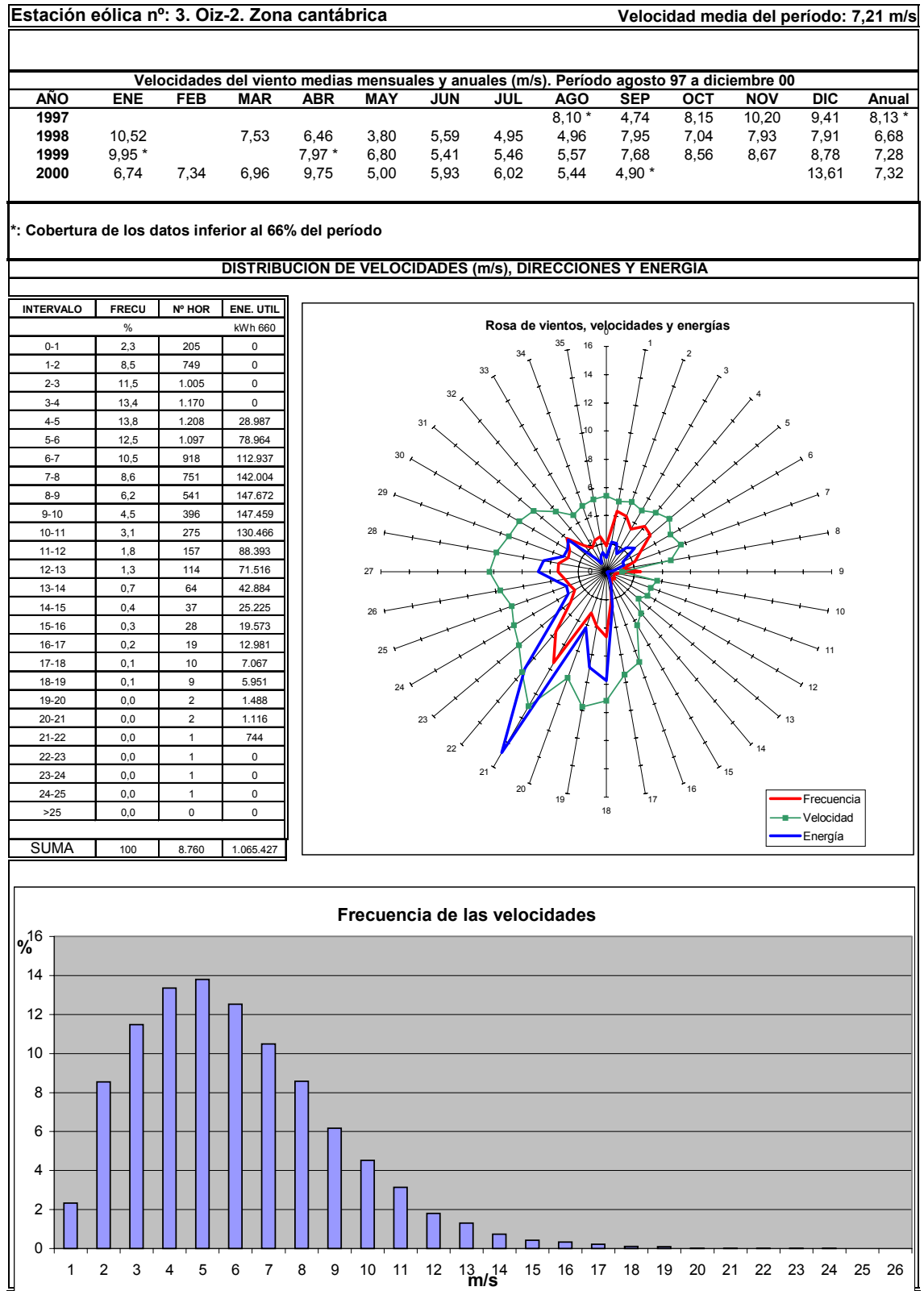


Fig. IX. 17. Estación eólica nº 4. Garbea-1.Zona cantábrica

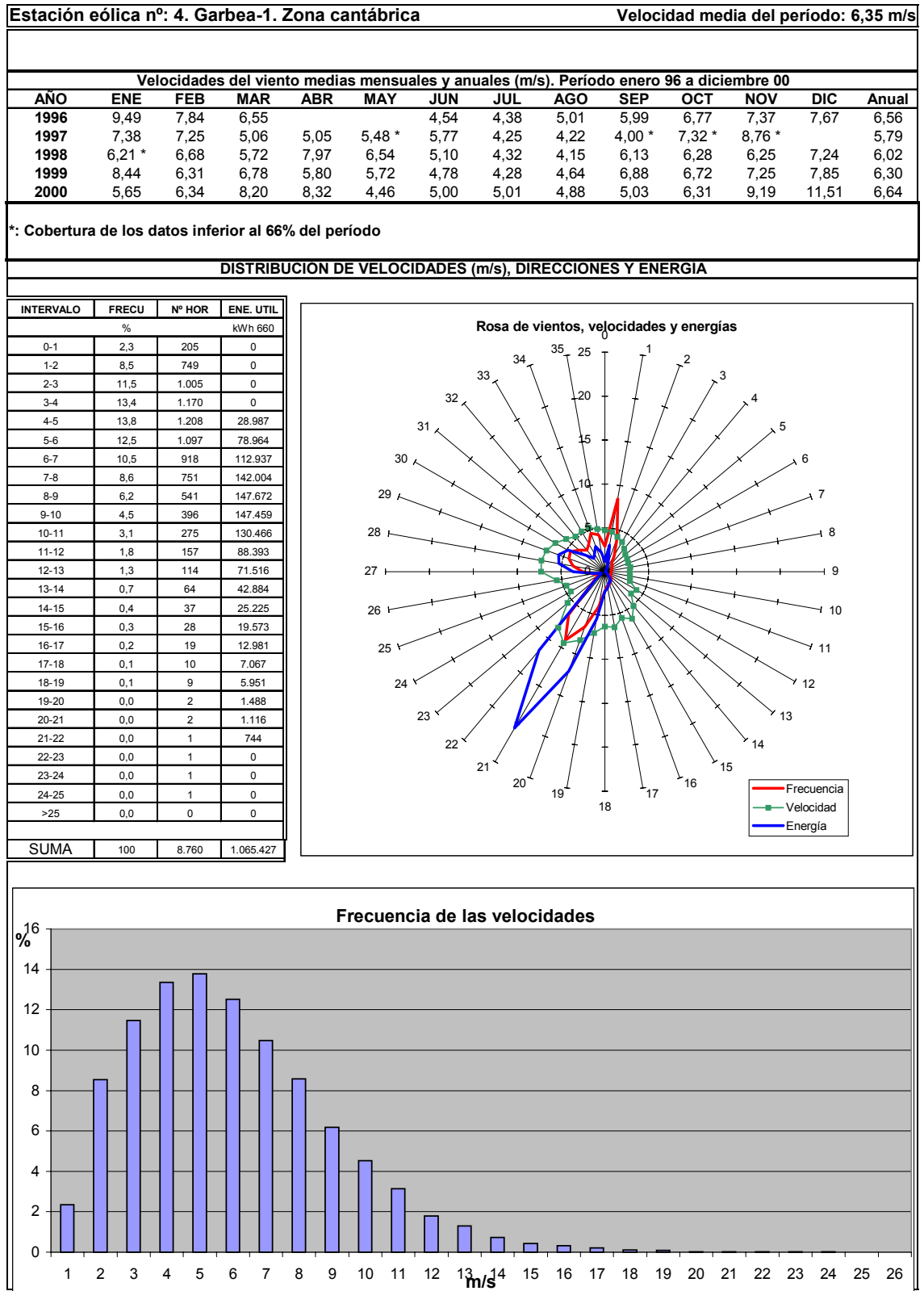


Fig. IX. 18. Estación eólica nº 5. Zamino. Zona cantábrica

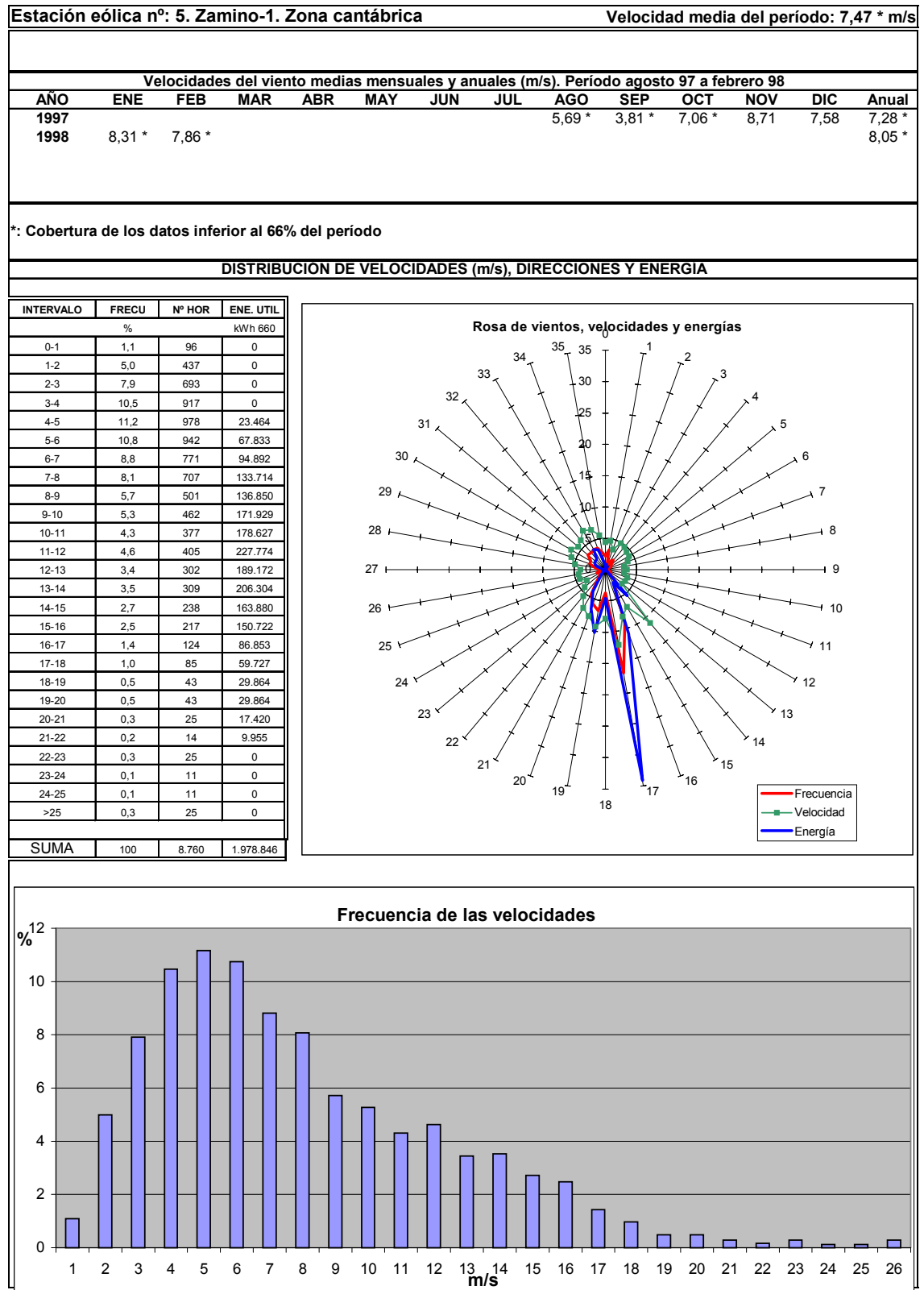


Fig. IX. 19. Estación eólica nº 6. Elgea - 1. Zona divisoria de aguas

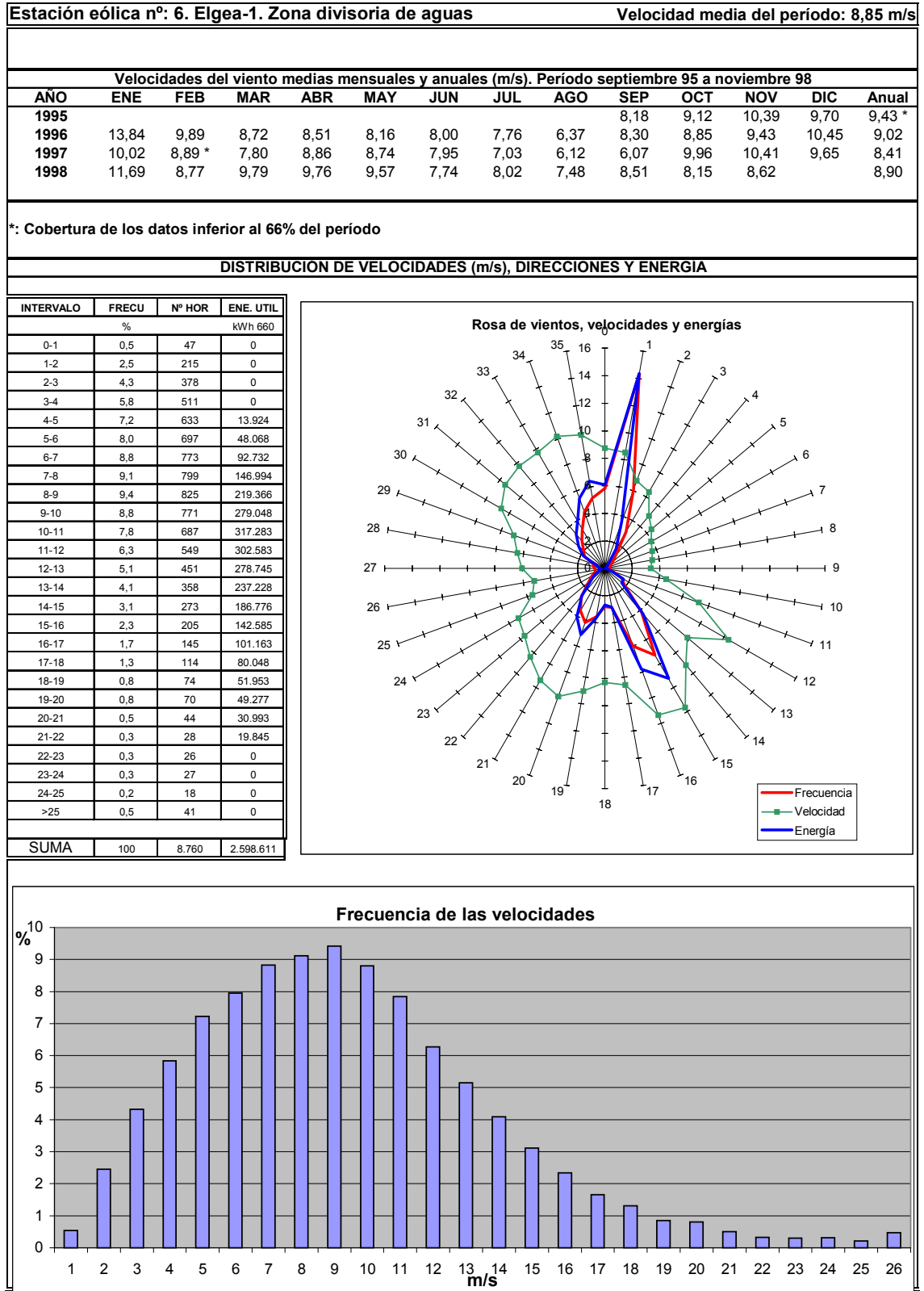


Fig. IX. 20. Estación eólica nº 7. Elgea-2. Zona divisoria de aguas

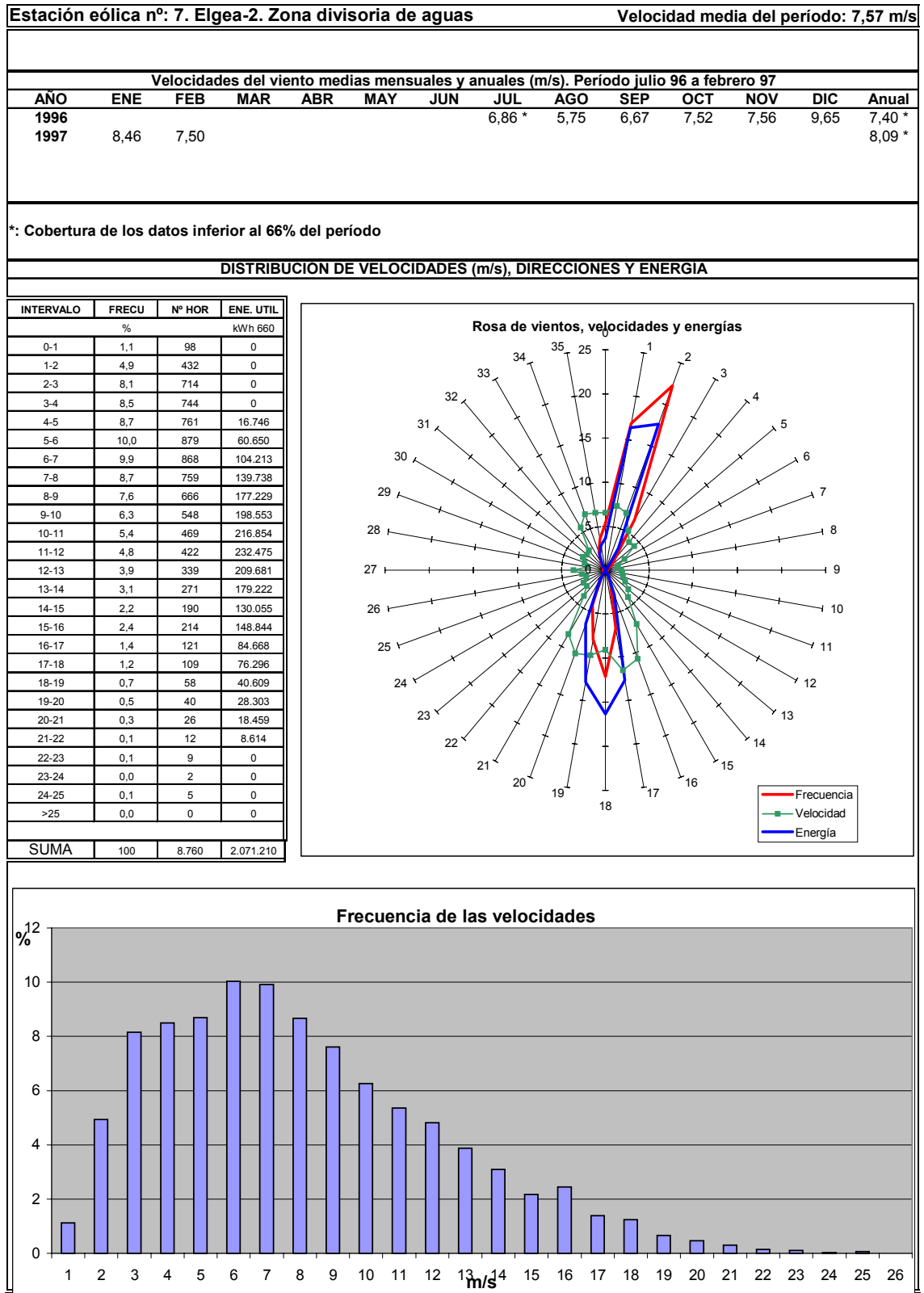


Fig. IX. 21. Estación eólica nº 8. Elgea-3. Zona divisoria de aguas

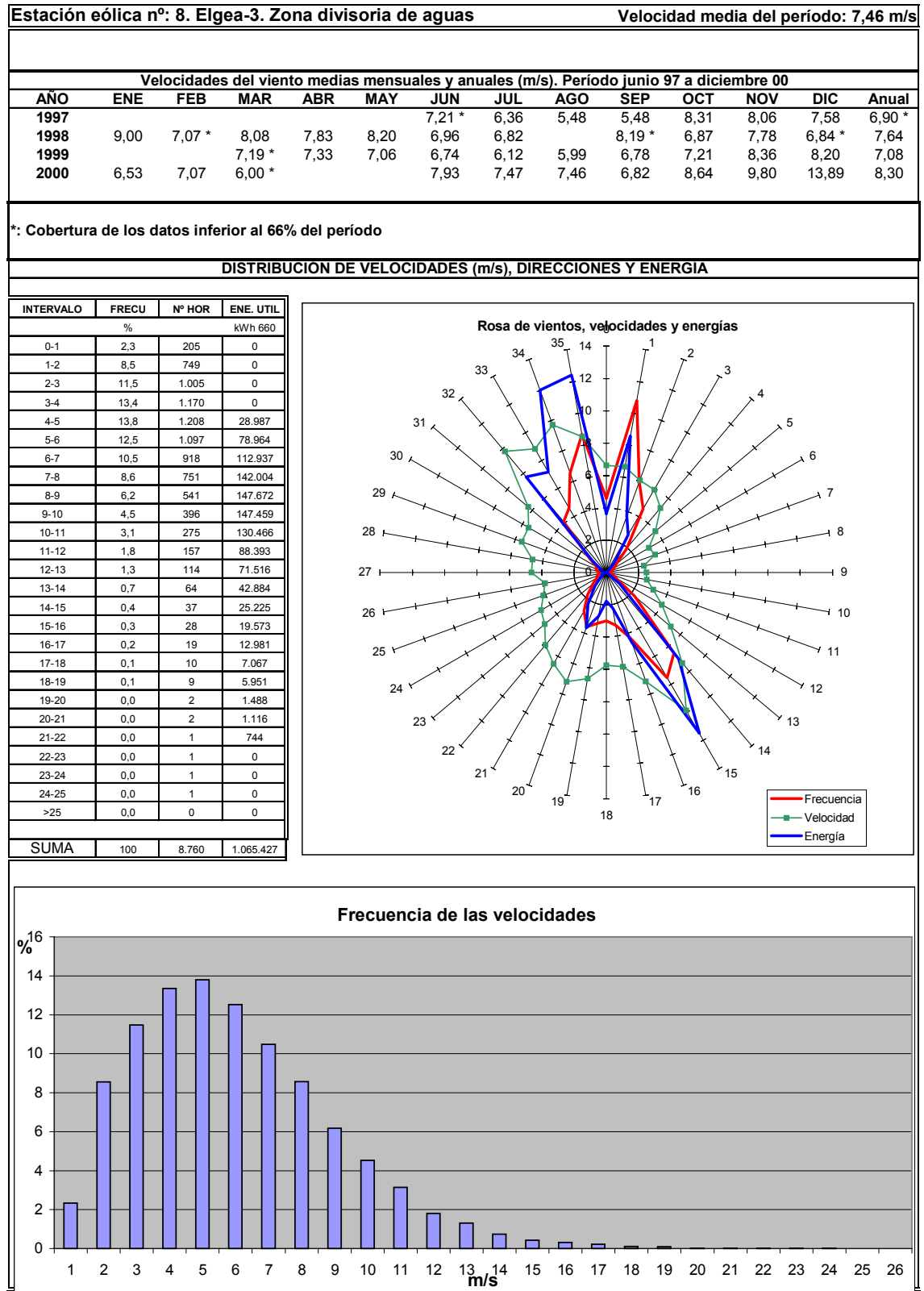


Fig. IX. 22. Estación eólica nº 9. Elgea-Urkilla-1. Zona divisoria de aguas

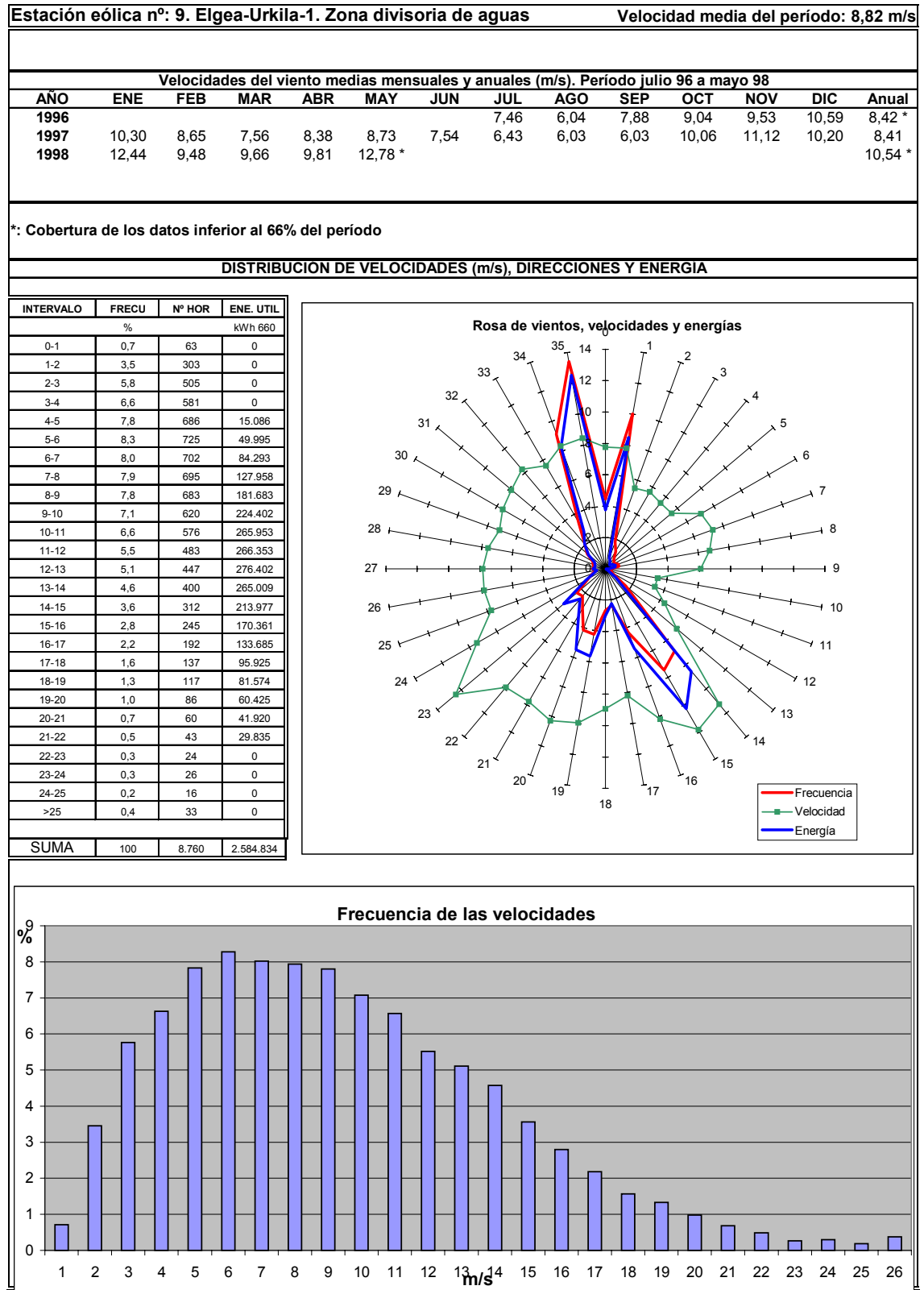


Fig. IX. 23. Estación eólica nº 10. Urkilla-1. Zona divisoria de aguas.

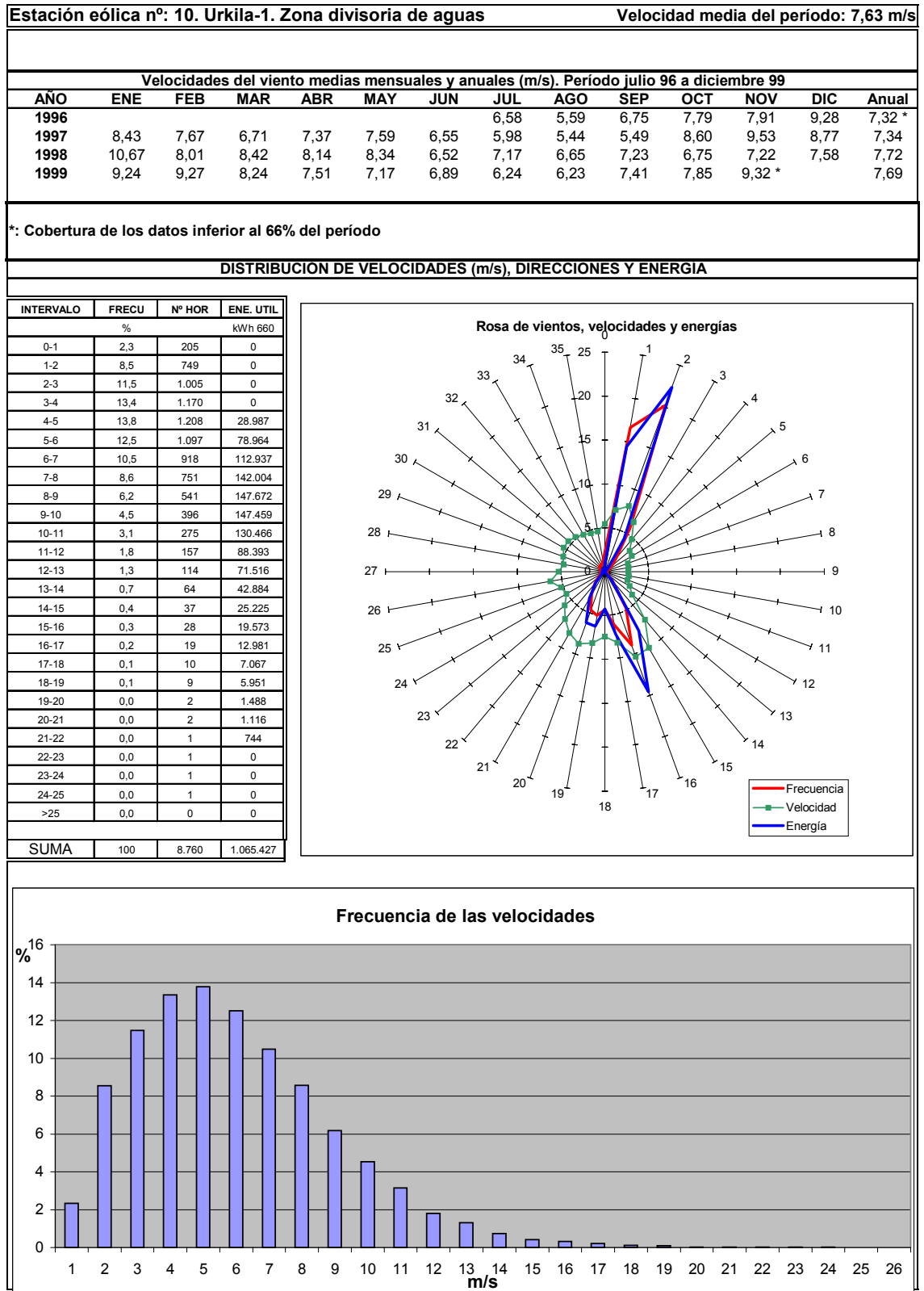


Fig. IX. 24. Estación eólica nº 11. Urkilla-2. Zona divisoria de aguas

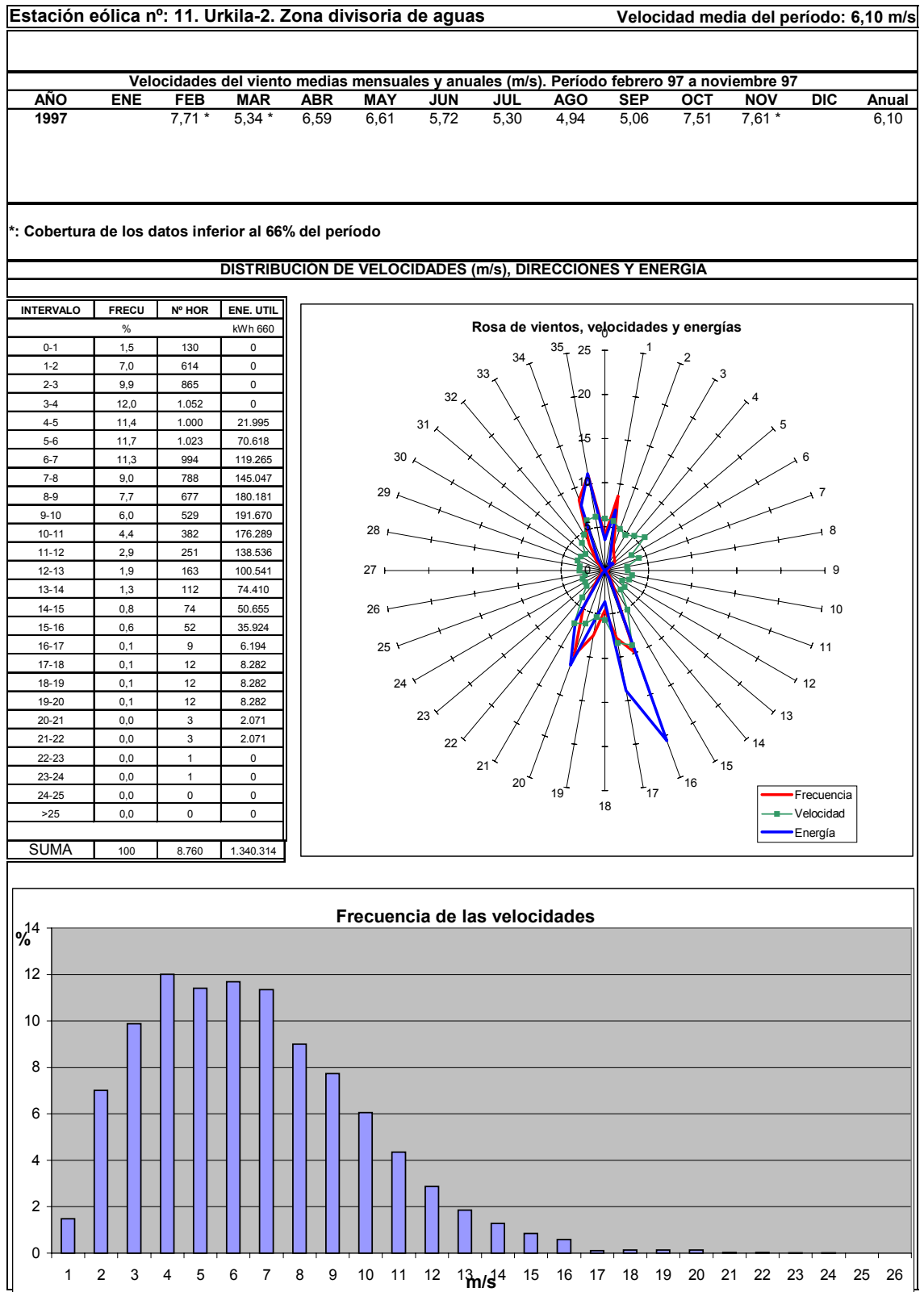


Fig. IX. 25. Estación eólica nº 12. Salbada-1. Zona divisoria de aguas

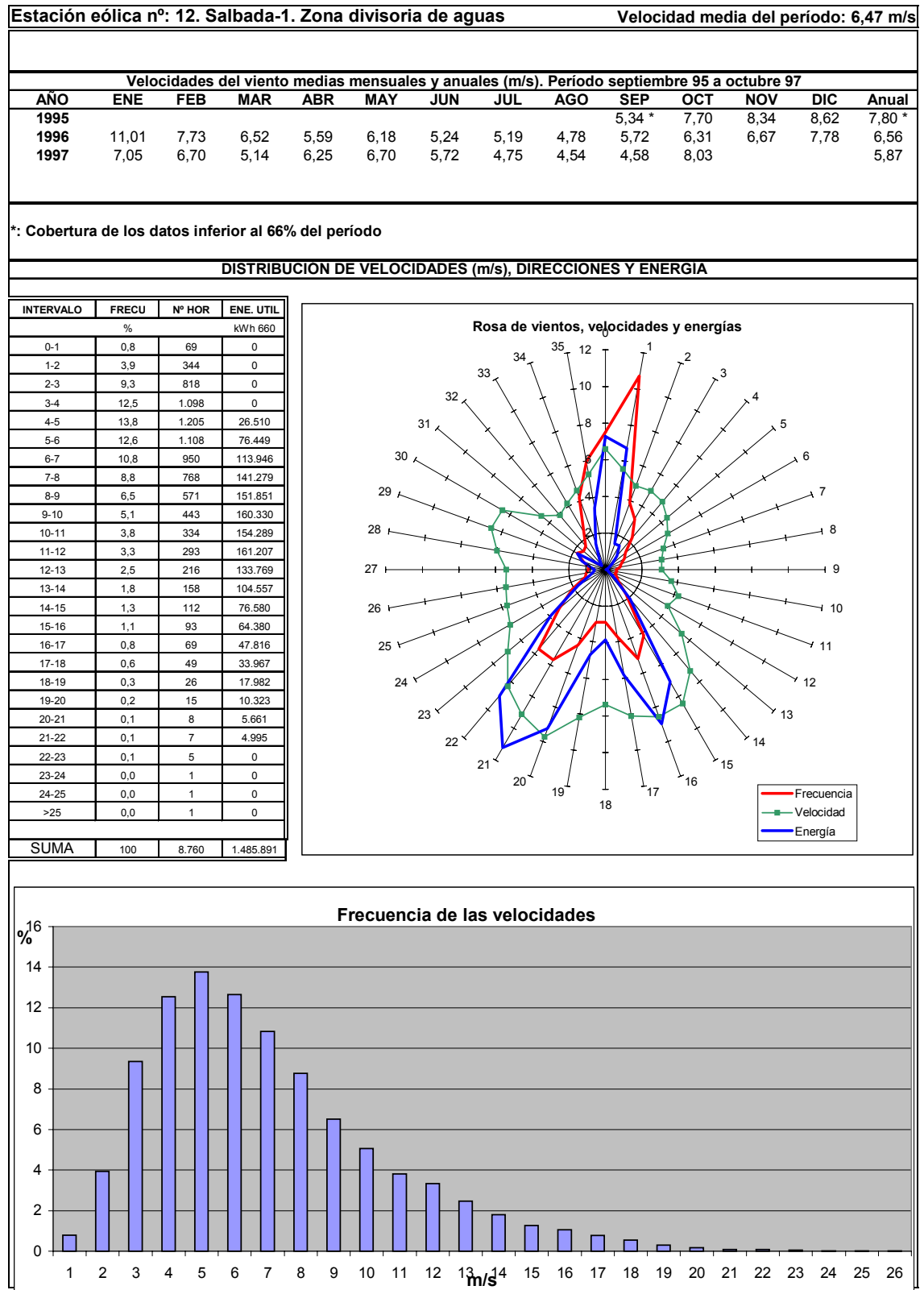


Fig. IX. 26. Estación eólica nº 13. Arkamo-1. Zona intermedia y ribera del Ebro

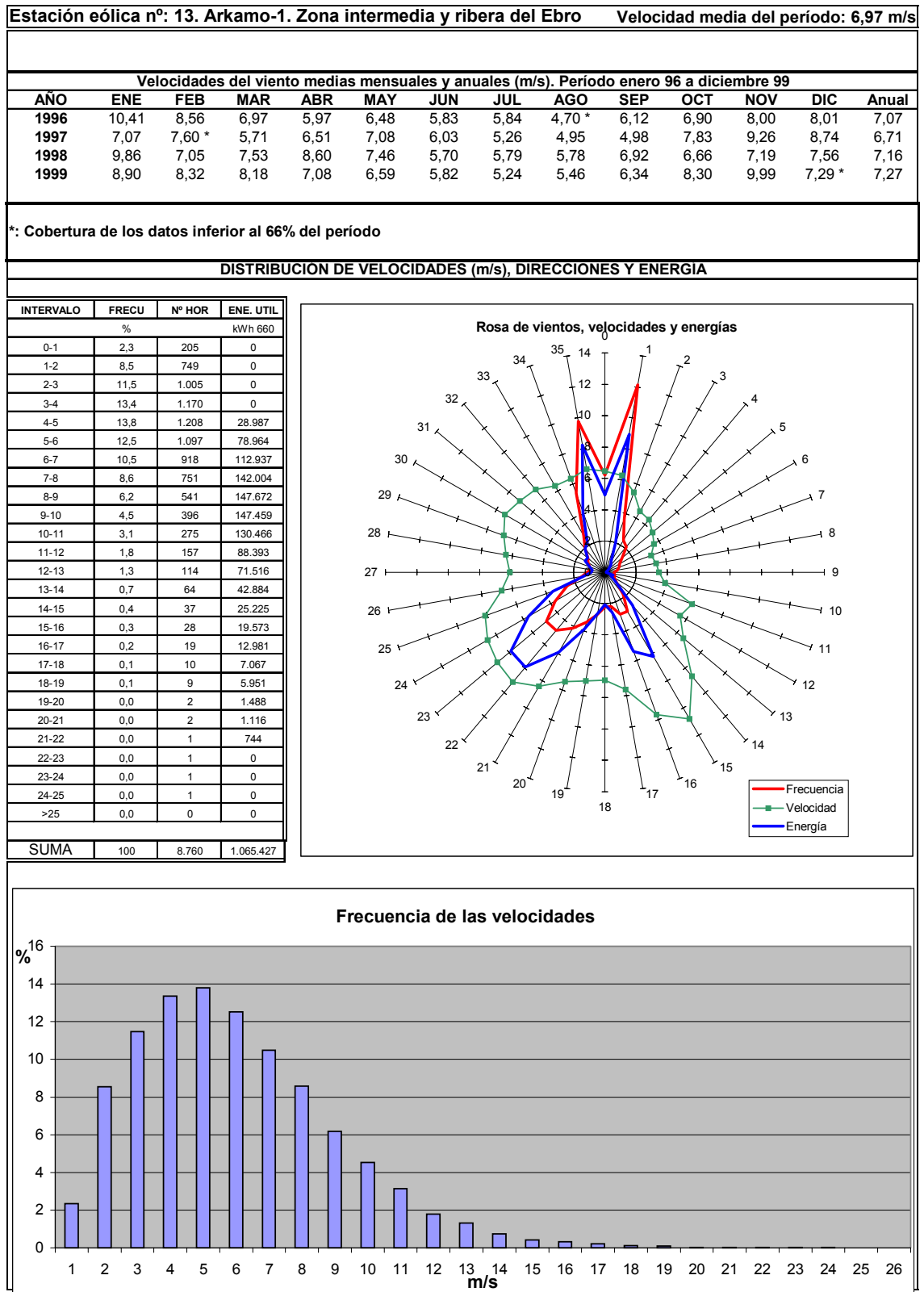


Fig. IX. 27. Estación eólica nº 14. Arkamo-2. Zona intermedia y ribera del Ebro.

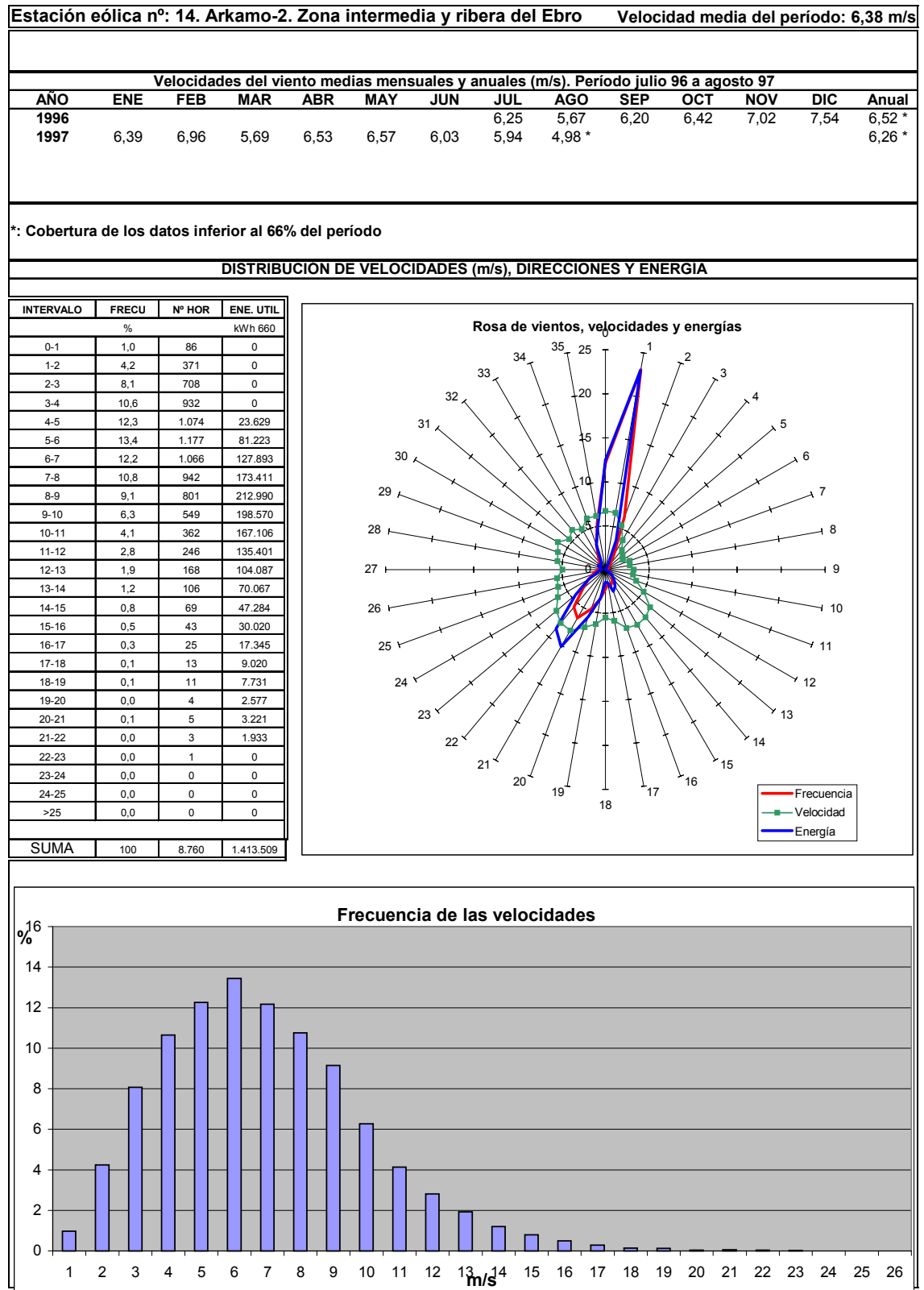


Fig. IX. 28. Estación eólica nº 15. Arkamo-3. Zona intermedia y ribera del Ebro

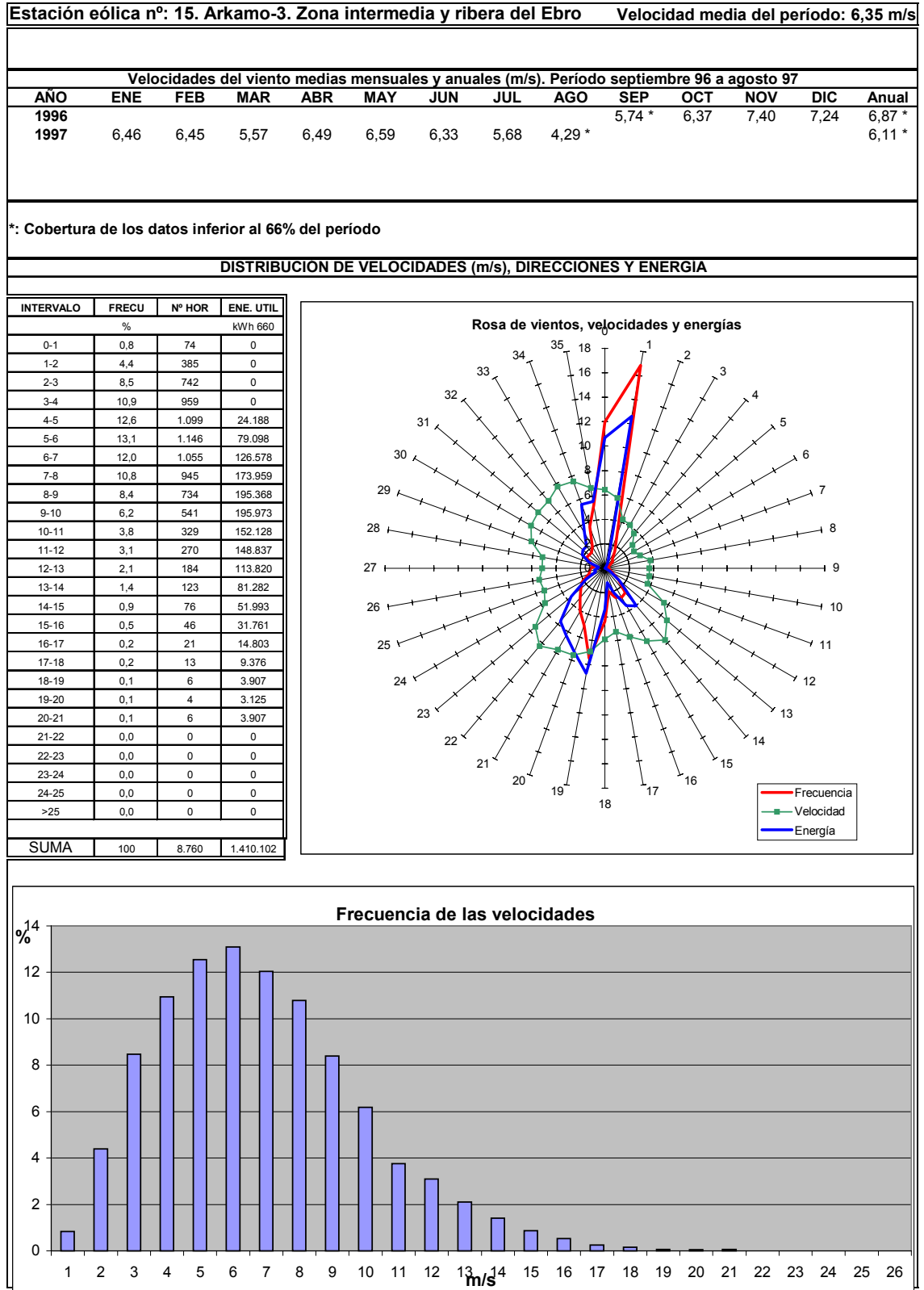


Fig. IX. 29. Estación eólica nº 16. Arkamo-4. Zona intermedia y ribera del Ebro

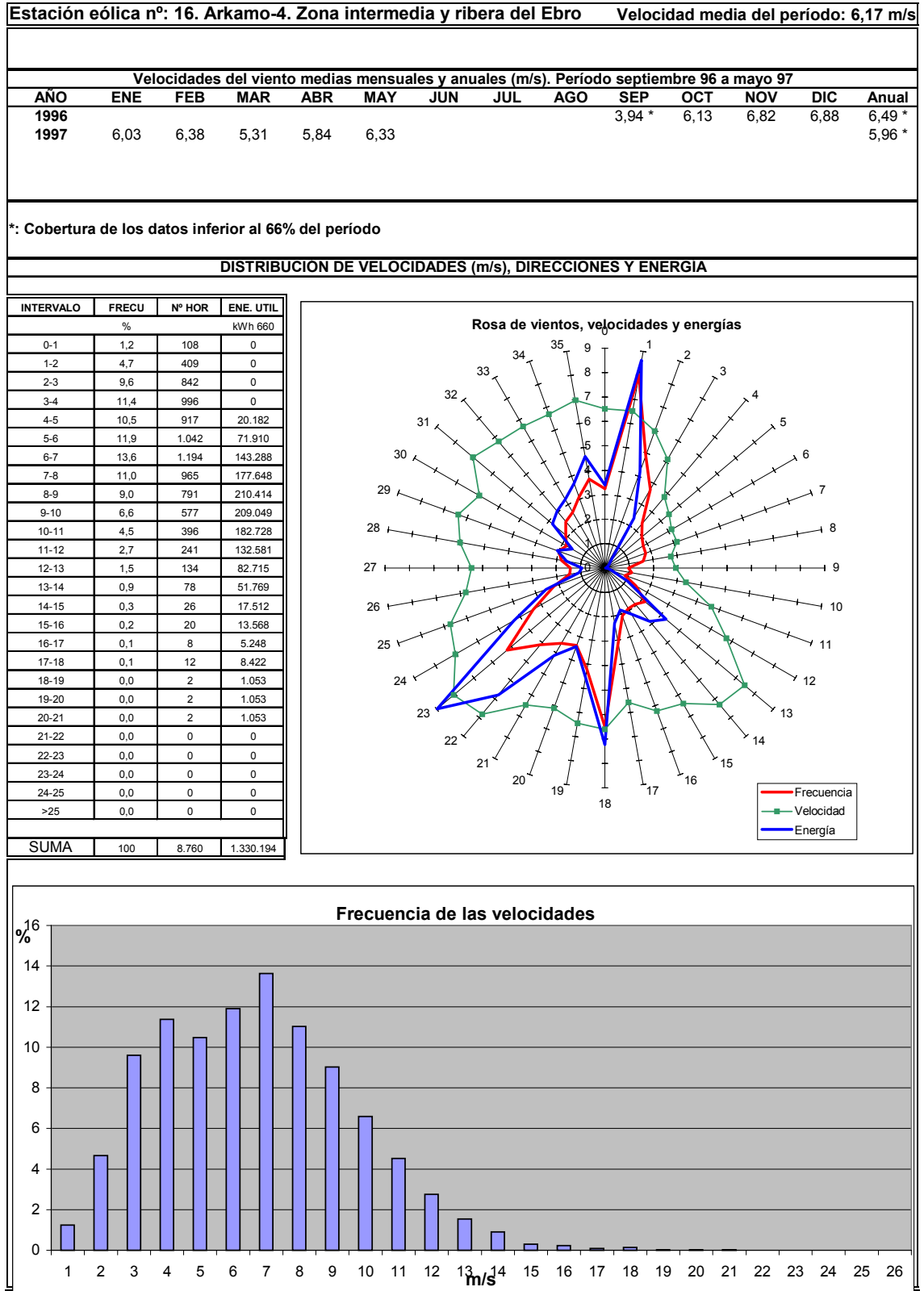


Fig. IX. 30. Estación eólica nº 17. Badaya-1. Zona intermedia y ribera del Ebro

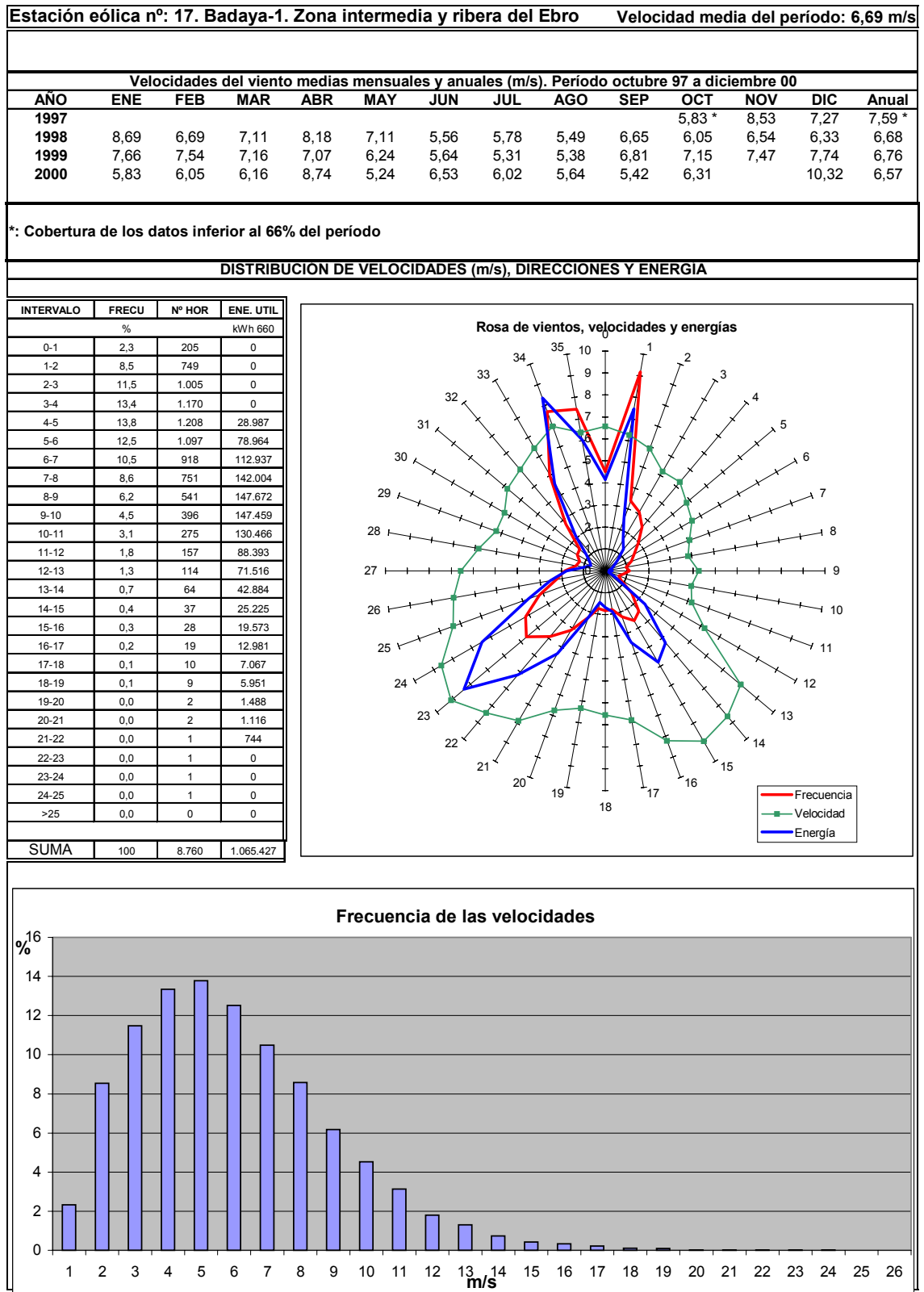


Fig. IX. 31. Estación eólica nº 18. Zaldiaran-1. Zona intermedia y ribera del Ebro

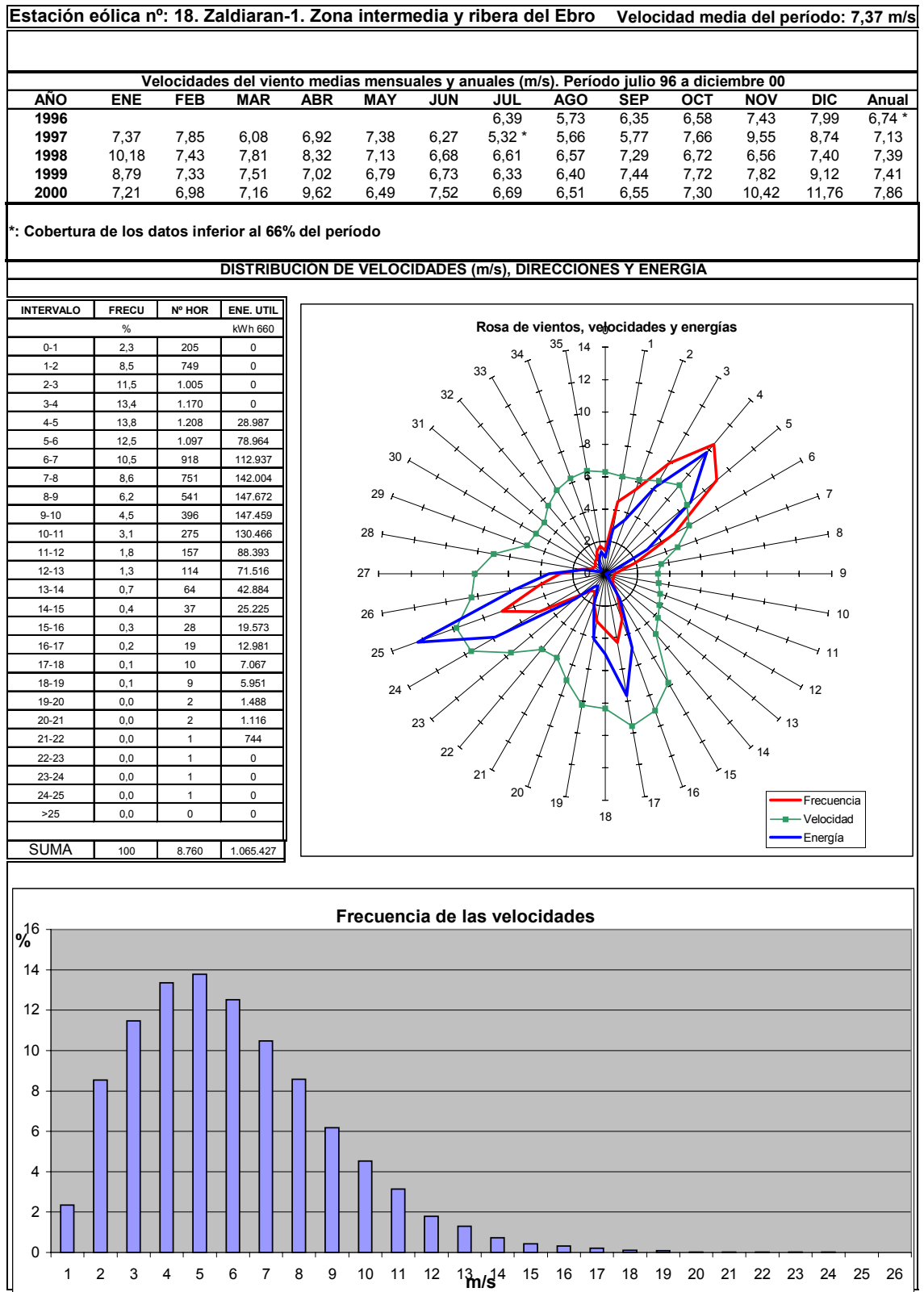


Fig. IX. 32. Estación eólica nº 19. Kapildui-1. Zona intermedia y ribera del Ebro

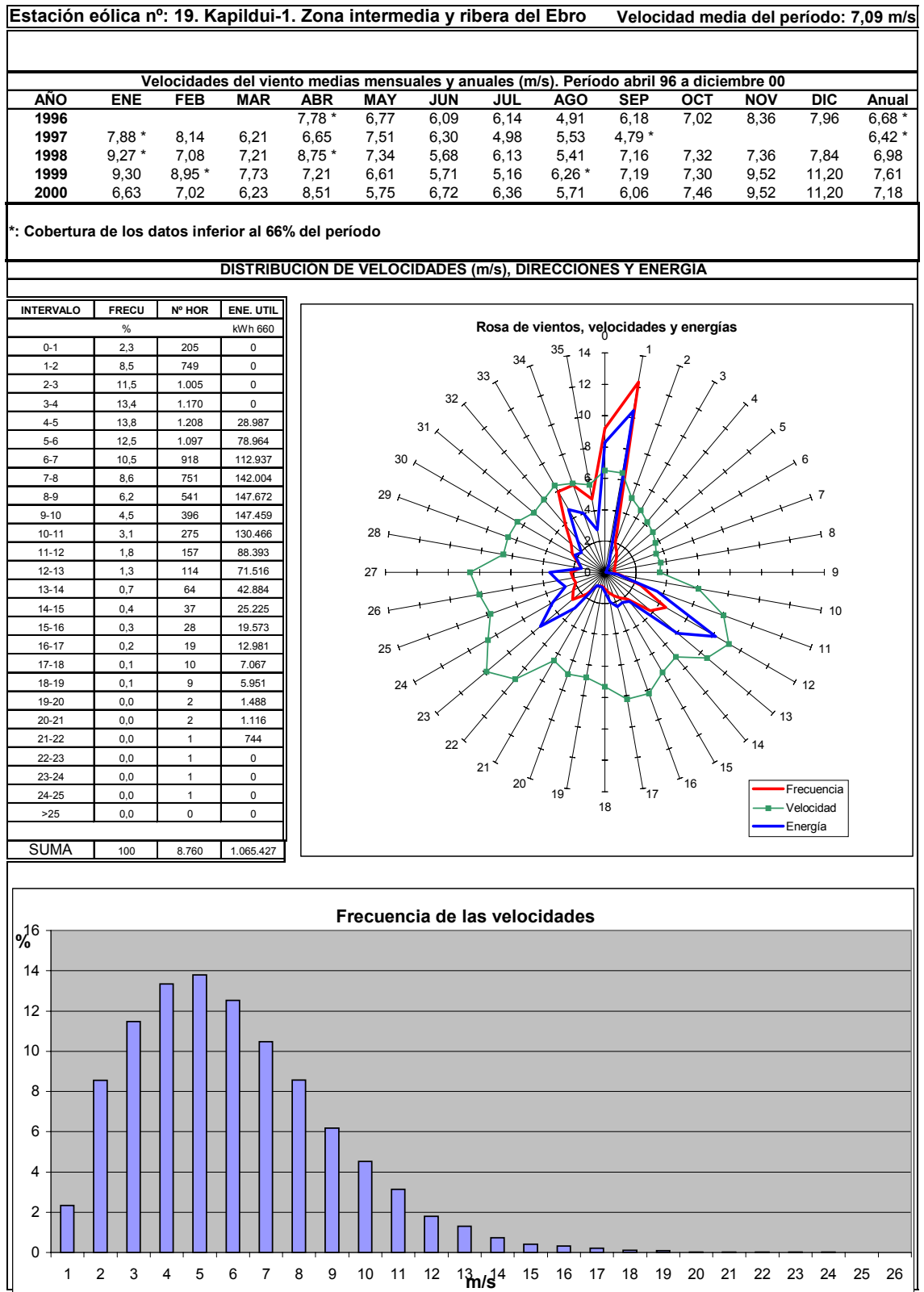


Fig. IX. 33. Estación eólica nº 20. Echera-1. Zona intermedia y ribera del Ebro

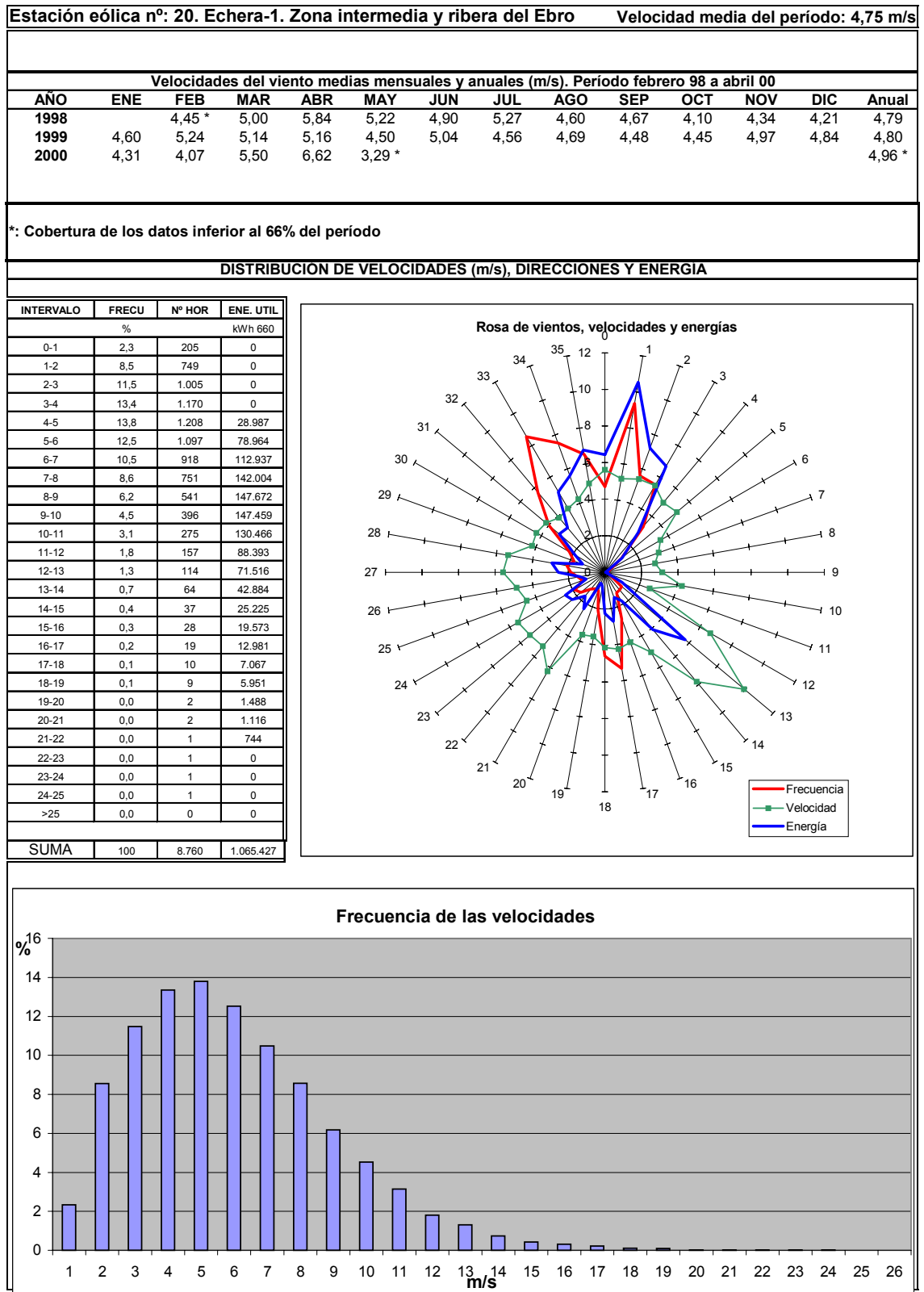
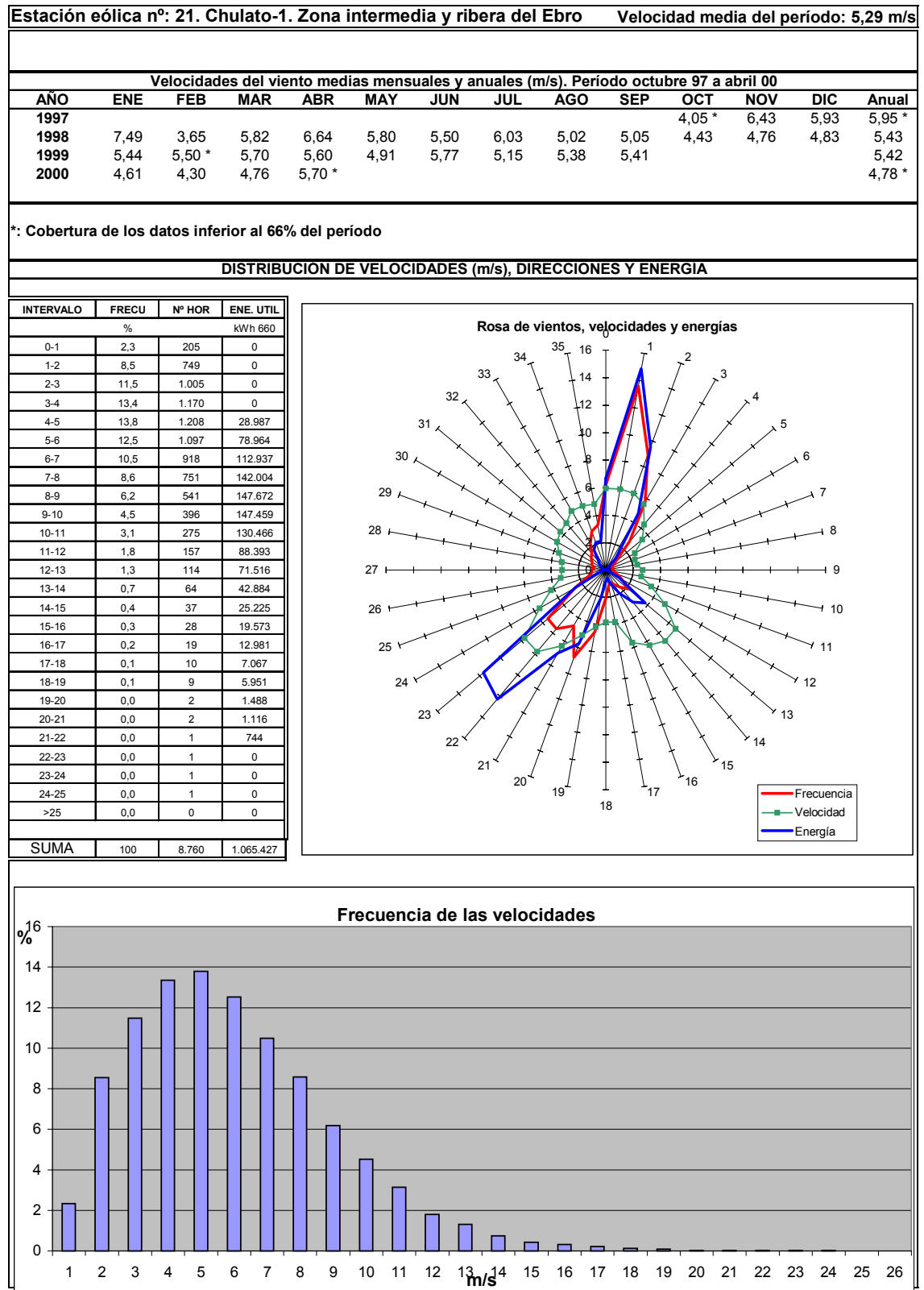


Fig. IX. 34. Estación eólica nº 21. Chulato-1. Zona intermedia y ribera del Ebro



4. ZONAS EÓLICAS DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DEL PAÍS VASCO

4.1. Clasificación geográfica

Cuando se habla de zonas eólicas, normalmente se entienden por tales comarcas geográficas con unas características similares del viento. Sin embargo, aunque esto fuera factible, siempre habría que hacer referencia a las zonas de valle y zonas de cumbres de montes y sierras, dada la gran disparidad de valores de viento existentes. La orografía altera enormemente tanto la velocidad como la dirección del viento, por lo que pueden existir diferencias de viento apreciables entre lugares geográficamente cercanos entre sí, tal como se ha visto al analizar los datos existentes.

Puesto que son las zonas altas las únicas con un cierto interés desde el punto de vista del aprovechamiento energético, únicamente se contemplan aquéllas en este Estudio.

En un primer análisis se pueden distinguir tres zonas eólicas con características más o menos homogéneas:

4.1.1. Zona cantábrica

Esta zona está representada por los Montes de Ordunte, Ganekogorta, Oiz, Irukurtzeta, Samiño-Izazpi, Gazume y otras. Las estaciones meteorológicas representativas de la zona serían la número 1, 2, 3, 4, y 5. La altitud media se sitúa entre los 250 y 1000 m.

El área que abarca la zona se caracteriza por disponer de abundantes cumbres aunque algunas de ellas no son aprovechables por la existencia de arbolado cercano de cierta envergadura (generalmente pinos o hayas) que aumentan mucho la rugosidad y obligarían a utilizar torres de 60 o más metros de altura para encontrar un flujo de viento adecuado; en otros casos es lo intrincado del terreno con numerosos cortados o terrenos muy abruptos desaconsejan su utilización.

La zona presenta una mayor disparidad de direcciones al adquirir cierta importancia la componente oeste del viento. El viento sur, con respecto a otras direcciones, presenta en esta zona más fuerza y frecuencia que en ninguna otra, sobre todo en el otoño y en el invierno, ya que en estas fechas el Valle del Ebro y en general toda la

Península se está enfriando más rápidamente que el mar, creándose en éste una depresión térmica que favorece la entrada de vientos del sur. Por otra parte, el otoño es la época de entrada de frentes atlánticos por el suroeste y de las lluvias torrenciales del mediterráneo con vientos del sureste que al llegar a la divisoria de aguas se aceleran fuertemente por efecto fohën, de manera que son estas estaciones las más favorables desde el punto de vista energético, aunque le gana en importancia el invierno. El verano es una época en la que baja sensiblemente el valor del viento, quedando la primavera con valores muy cercanos a los del otoño.

Aunque la orografía condiciona fuertemente las direcciones del viento, de la observación de las rosas de viento de Garbea, Oiz y Jaizkibel se aprecia que la dirección sur se torna sudeste en la parte oriental de la zona y suroeste en la parte occidental. En cuanto a las direcciones del norte presentan una mayor disparidad sobre todo en Oiz mientras que en Garbea y Jaizkibel se tornan fundamentalmente en direcciones oeste y noroeste.

El monte Jaizkibel, a pesar de presentar unos perfiles idóneos para la aceleración del viento en su cresterío, no se ha considerado como un emplazamiento potencial a causa de su baja altitud. Los datos de viento medidos en la cumbre del monte Jaizkibel, a 520 m de altitud dan una media de 5,95 m/s, al descender rápidamente las laderas del monte, el conjunto del posible parque no parece que pueda superar los 5,5 m/s, con lo cual el parque se vería reducido a muy pocas máquinas en una zona que además está muy saturada de torres repetidoras.

Lo mismo que para Jaizkibel podríamos decir en general de todas las sierras que no superen los 700 m.

4.1.2. Zona de los montes de la divisoria de aguas

Como sierras más características pueden citarse las de Salbada, Gorbeia, Urkiola, Elgea y Urkilla, Aralar y otras. Como estaciones representativas caben mencionarse las nº 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12. Aquí se alcanzan las mayores altitudes de todo el territorio oscilando entre los 800 y 1400 m.

En esta zona los meses predominantes en cuanto a intensidades de viento son el invierno, seguidos por el otoño y la primavera prácticamente por igual, descendiendo notablemente en verano.

En cuanto a direcciones, habría que decir que las componentes principales son la Norte-Sur, sin embargo, así como la dirección norte es bastante uniforme en todos los emplazamientos, la dirección sur se divide en suroeste y sudeste, adquiriendo ma-

yor importancia el suroeste en la zona occidental y el sudeste en la oriental, tal como ocurre en la zona cantábrica.

4.1.3. Zona intermedia y ribera del Ebro

En esta zona se encuentran las sierras de Arkamo, Brava de Badaia, Cantoblanco, Montes de Vitoria, Sierra de Cantabria, Belabia, Pagolan, Chulato, Cerro de Moraza, San Cristóbal, Echera y otras. Las estaciones representativas de la zona son la nº 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 y 21. Las altitudes oscilan entre los 600 y 1.400 m.

En esta zona el viento del sector norte se presenta una dirección bastante marcada si bien cambia según la orientación de las sierras y los valles, pasando desde el norte que indica la estación de Arkamo-1 al nordeste de Zaldiarán para pasar al noroeste en Badaya. La componente sur sin embargo se encuentra claramente dissociada en los sectores suroeste y sudeste, presentando una frecuencia similar a la norte, sin embargo, la rosa de energías indica que los sectores norte, suroeste y sudeste son energéticamente similares, en contraste con algunas de las estaciones de la divisoria de aguas como son las de Elgea y Urkilla. Por otra parte, sorprende la alta frecuencia que presenta la dirección oeste en la estación de Zaldiarán, la cual no parece justificarse por la orientación de la sierra ni por la de los valles circundantes.

En cuanto a la estacionalidad del viento, viene marcada por la mayor importancia del invierno, seguida por el otoño y la primavera, quedando el verano como la estación con vientos más flojos. Esto no ocurre así la estación de Chulato donde es la primavera la estación más ventosa seguida por el invierno en las zonas altas, finalmente el verano y el otoño se encuentran con niveles parecidos de viento, lo cual es probable que ocurra en las zonas más al sur de la comunidad. Incluso también es probable que en las zonas más bajas el verano supere en importancia al invierno y a la primavera (como ocurre en la estación de Etxera), quedando en último orden de importancia el otoño.

Es en primavera cuando los frentes fríos del Noroeste irrumpen con más frecuencia y cuando mayor contraste térmico existe entre el norte de la Comunidad, que no termina de salir del invierno, y la depresión del Ebro, que se calienta rápidamente. En otoño ocurre el efecto contrario, ya que la tierra se está enfriando más rápidamente que el aire, con lo cual se forman balsas de aire frío en los valles que actúan en forma de cuña haciendo que los vientos circulen por altitudes mayores, sobre todo los de componente sudeste y sur, ya que, al ser cálidos y por tanto menos densos, tienden a elevarse. Esto es más acusado todavía en invierno, formándose las nieblas de irradia-

ción que cubren todo el valle del Ebro hasta cotas que alcanzan los 600-700 m y que pueden llegar a prolongarse 5 e incluso hasta 15 días. Si un anticiclón invernal se mantiene estable, el aire dentro de la capa de niebla se mantiene en calma mientras que por encima de ella puede existir algo de viento; únicamente una irrupción de aire frío del norte suele ser capaz de disipar las nieblas y el aire frío estancado en los valles.

4.2. Velocidades medias

Como se ha comentado anteriormente, la velocidad del viento varía de forma significativa con la orografía, altitud y orientación a los vientos dominantes, sombras que produzcan otras cadenas montañosas, así como por la vegetación que aumenta la rugosidad y por tanto la altura a la que se pueda alcanzar un viento estable y aprovechable energéticamente. Todo ello hace que sea muy difícil determinar de forma exhaustiva y con precisión la velocidad y energía disponible en un territorio tan heterogéneo como es este.

Sin embargo, gracias a las mediciones realizadas, se puede determinar con bastante precisión las zonas más interesantes para el aprovechamiento eólico y aproximarnos suficientemente en las otras zonas menos favorables. Siguiendo la zonificación anterior, las velocidades medias que podemos estimar son las siguientes:

- Zona Cantábrica: de 5,5 a 7,7m/s
- Zona de la divisoria de aguas: de 6 a 8,5 m/s
- Zona intermedia y ribera del Ebro: de 4,8 a 7,5 m/s

4.3. Energía producible

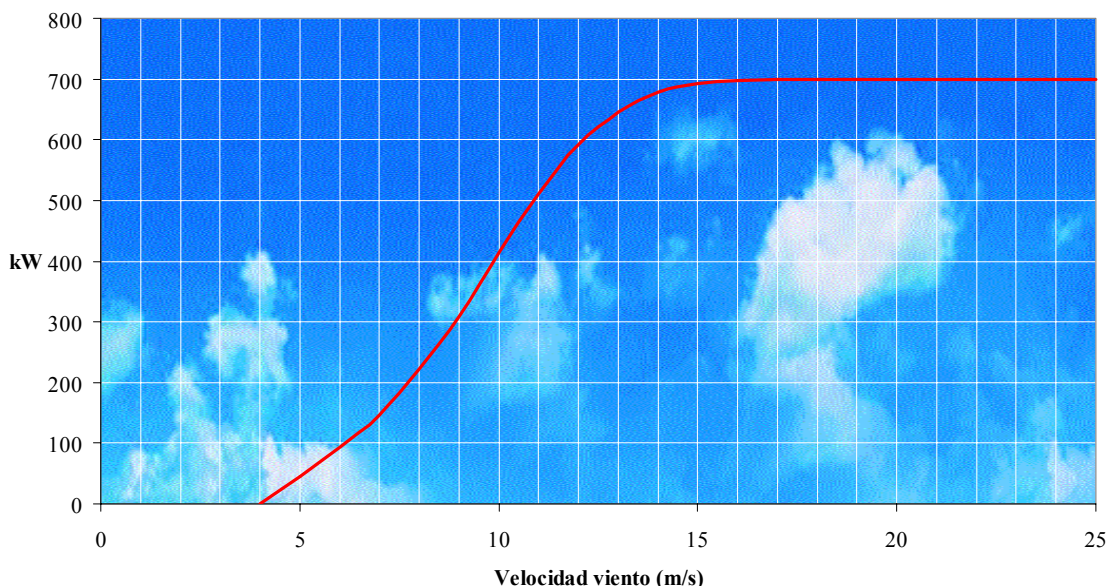
Al estudiar la energía producible por un aerogenerador o por un parque eólico, se consideran varios parámetros muchos de los cuales están relacionados entre sí. Por una parte, está la energía cinética del viento, que es la materia prima de la que se aprovecha la energía a base de restarle parte de la velocidad que poseía antes de llegar al aerogenerador. La energía cinética se expresa en vatios hora por metro cuadrado de superficie.

Existe un límite teórico de la energía cinética que un aerogenerador puede extraer del viento y viene determinado por el hecho de que el viento no puede pararse al atravesar el aerogenerador. Este límite se denomina límite de Betz e indica que una máquina eólica no puede extraer más del 59 por ciento de la energía cinética del

viento. A este valor hay que descontar posteriormente las pérdidas de rendimiento en los distintos procesos de transformación de la energía cinética en energía útil que tienen lugar en el aerogenerador.

No obstante, la energía extraíble por un aerogenerador depende, como se ha comentado anteriormente, de la velocidad cúbica del viento y, en menor medida, de la densidad del aire que a su vez dependen de la presión y de la temperatura, factores que están íntimamente ligados a la altitud del lugar, de manera que, a mayor altitud, menor densidad y por tanto menor energía extraíble para la misma velocidad del viento. Todos estos efectos vienen dados por la curva de potencia del aerogenerador (fig. VIII.35), que es la relación que existe entre el viento medido y la potencia extraíble por un aerogenerador dado. Normalmente los aerogeneradores suelen empezar a generar potencia a partir de 4 m/s de velocidad y llegan a un punto en el que alcanzan su máxima potencia (potencia nominal) que suele oscilar entre los 13 y 15 m/s para estabilizarse ésta hasta valores de viento en torno a 25 m/s, en las que el aerogenerador se para por razones de seguridad.

Fig. IX. 35. Curva de potencia del aerogenerador GI47-660 kW (Emplazamiento a 1.000 m de altitud)



Se suelen dar tablas de curvas de potencia para distintas densidades del aire y para unas condiciones estándar de flujo de viento, en el cual la turbulencia del viento se considera de un 10% (ver Fig. X.2, pág. 137). Es por ello de gran importancia la medición de dicha turbulencia así como la medida de velocidades verticales importantes ya que pueden modificar las condiciones estándar de la curva de potencia sobre la que se trabaja.

Tal como se ha realizado en las fichas de las estaciones, una vez que se dispone de los valores de viento clasificados por intervalos de velocidad en un período de, normalmente, un año, así como la curva de potencia, se puede calcular la energía extraíble por un aerogenerador en un emplazamiento dado, que en un cálculo simplificado sería multiplicar las horas de funcionamiento en cada intervalo por la potencia que genera el aerogenerador para esos intervalos de velocidad. Sumando todo ello se obtendría la energía producida en el período considerado. Si el período es un año y se divide esta energía por la potencia del aerogenerador, obtendríamos una cifra que expresa el número de horas que habría funcionado el aerogenerador a plena potencia o número de horas de potencia nominal, llamadas también horas de funcionamiento.

Existe una relación bastante estrecha entre las velocidades medias anuales de viento de un emplazamiento y las horas de potencia nominal, por lo que es este parámetro el más utilizado a la hora de evaluar un parque eólico desde el punto de vista de la productividad. No obstante, a la hora de calcular las horas de funcionamiento de un parque, habría que calcular la producción de cada aerogenerador y calcular una media de todos ellos, lo que daría el número de horas brutas del parque. Sin embargo, también se debe tener en cuenta las pérdidas, ocasionadas fundamentalmente por 3 motivos: las sombras que se produzcan unos aerogeneradores sobre otros, las pérdidas de energía producidas por la conducción y transformación eléctricas y las pérdidas producidas por la disponibilidad de la máquina debidas al mantenimiento de la misma, averías. etc. Estas pérdidas suponen entre el 8 y el 10% de la energía extraíble bruta, lo cual proporcionará la energía neta.

4.4. Horas de funcionamiento

Teniendo en cuenta que las horas de funcionamiento es el parámetro más utilizado a la hora de evaluar la productividad de un emplazamiento y sin tener en consideración otros aspectos como pueden ser los medioambientales, paisajísticos, dificultades de infraestructuras, línea eléctrica y otros, se pueden clasificar los emplazamientos de la siguiente manera:

4.4.1. No explotables. Nº horas < 2.000

Aquellos emplazamientos con velocidades inferiores a 6,3 m/s proporcionan menos de 2.000 horas netas de funcionamiento anuales. Dadas las condiciones de precios de máquinas y rendimientos de las mismas, estos emplazamientos no son viables en el estado actual de la tecnología eólica.

4.4.2. Media productividad. $2.000 < N^{\circ} \text{ horas} < 2.500$

Los emplazamientos con velocidades comprendidas entre 6,3 y 7,3 m/s proporcionan un número de horas netas de funcionamiento que se sitúa entre las 2.000 y 2.500 horas. Existen bastantes emplazamientos en la Comunidad Autónoma del País Vasco que se encuentran con estos niveles de productividad. También se detecta que bastantes emplazamientos admiten varias fases de desarrollo, con diferencias importantes de productividad entre unas fases y otras, por lo que es importante empezar por aquellas que resulten más rentables.

4.4.3. Alta productividad. $N^{\circ} \text{ horas} > 2.500$

Aquellos emplazamientos con velocidades por encima de los 7,3 m/s tienen un número de horas netas de funcionamiento que supera las 2.500 horas. No existen muchas zonas en la CAPV que superen las 2.500 horas y en muchos casos hay que ir a las zonas mejores de cada emplazamiento para conseguirlo. Los emplazamientos que superan este umbral se sitúan en las montañas más altas de la divisoria de aguas, tales como Elgea-Urkilla, Aloña, Aralar y Kolometa. Dada la elevada altitud de Codés, es factible que se supere este valor en este emplazamiento.

5. CONDICIONES DE VIENTO DE ZONAS EXPLOTADAS Y COMPARACIÓN CON LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DEL PAÍS VASCO

5.1. Condiciones de viento en zonas explotadas

Son muchas las regiones de la Tierra en las que se explota comercialmente la energía eólica, aunque sobresalen por potencia instalada y por haber sido pioneros en investigación y desarrollo de esta fuente de energía tanto Dinamarca como el estado de California, en Estados Unidos. Sin embargo en los últimos años Alemania ha superado a Dinamarca. España y otros países, sobre todo europeos, así como la India y China, están desarrollando rápidamente su potencial eólico.

Hay que tener en cuenta que los valores mínimos de viento para considerar una explotación rentable varían mucho de unos países a otros, en función principalmente de los precios de la energía, tipos de interés de la inversión a realizar, costes de explotación y de que existan o no subvenciones en el país de referencia, pudiendo variar estos mínimos de los 6 m/s de Dinamarca, Alemania y Suecia a los 7,5 m/s de EE.UU. o los 7 m/s de Gran Bretaña.

A continuación se indica para distintas regiones de España y otros países de Europa y del Mundo los intervalos de velocidad de viento (medida a la altura del rotor) de las zonas en los que existen parques eólicos comerciales instalados.

- Navarra: 6,5-8 m/s
- Galicia: 6-8 m/s
- Estrecho: 7-9 m/s
- Canarias: 7-9 m/s
- Cataluña: 6-7 m/s
- Valle del Ebro: 6-6,5 m/s
- Dinamarca: 6-6,7 m/s
- EE.UU.: 7,8-8,2 m/s
- Australia: 7,7-8,2 m/s
- China: 7,1-8,4 m/s

5.2. Resumen y comparación con la Comunidad Autónoma del País Vasco

A la vista de los datos registrados, parece que el País Vasco se encuentra en una situación similar a la de algunas de las regiones y países mencionados en el apartado anterior, por lo que puede estar en condiciones de abordar un proyecto energético de origen eólico significativo tal como lo demuestran las mediciones realizadas.