

PRIMERA COMPARACIÓN CON DATOS MEDIDOS DE RESULTADOS EÓLICOS Y ENERGÉTICOS EN EL PARQUE EÓLICO DE SOTAVENTO



**Laboratorio de Mecánica de Fluidos
Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecánica
E.T.S.I. Industriales
Universidad Politécnica de Madrid**

**Antonio Crespo Martínez
Emilio Migoya Valor
Fermín Moreno García**

Marzo 2003



ÍNDICE GENERAL

1. Introducción	5
2. Datos	7
2.1. Orografía	7
2.2. Datos de viento	7
2.2.1 Estación N6	7
2.2.2 Estación N12	8
2.3. Características de los aerogeneradores	9
2.4. Posición de los aerogeneradores	9
3. Método y programas de cálculo utilizados	10
3.1. WAsP	10
3.2. UPMORO	10
3.3. UPMPARK	12
3.3.1 Generalidades	12
3.3.2 Modelo de estela aislada: UPMWAKE	13
3.3.3 Modelo para la interacción de varias estelas: UPMPARK	14
4. Resultados	16
5. Conclusiones	18
REFERENCIAS	19



ÍNDICE DE TABLAS

1) Rosa de los vientos en la estación meteorológica N6 a 20 m de altura (02/05/2002-31/12/2002).	21
2) Rosa de los vientos en la estación meteorológica N6 a 46 m de altura (02/05/2002-31/12/2002).	22
3) Rosa de los vientos en la estación meteorológica N12 a 20 m de altura (03/05/2002-31/12/2002).	23
4) Rosa de los vientos en la estación meteorológica N12 a 40 m de altura (03/05/2002-31/12/2002).	24
5) Características de los aerogeneradores del parque.	25
6) Datos de las curvas de potencia a distintas densidades para los aerogeneradores del parque.	26
7) Datos de las curvas de coeficientes de empuje a distintas densidades para los aerogeneradores del parque.	27
8) Posición y altura de los aerogeneradores del parque.	28
9) Resultados para WAsP+UPMPARK con datos de N6 a 20m.	29
10) Resultados para WAsP+UPMPARK con datos de N6 a 46m.	29
11) Resultados para WAsP+UPMPARK con datos de N12 a 20m.	30
12) Resultados para WAsP+UPMPARK con datos de N12 a 40m.	30
13) Resultados para UPMORO+UPMPARK con datos de N6 a 20m.	31
14) Resultados para UPMORO+UPMPARK con datos de N6 a 46m.	31
15) Resultados para UPMORO+UPMPARK con datos de N12 a 20m.	32
16) Resultados para UPMORO+UPMPARK con datos de N12 a 40m.	32
17) Resultados comparativos en velocidades (m/s).	33
18) Resultados comparativos en producciones (horas/año).	33
19) Error de las previsiones de velocidades respecto a las medidas.	34
20) Error de las previsiones de producción respecto a las medidas.	34
21) Mejores resultados absolutos en velocidades.	35
22) Mejores resultados absolutos en producciones.	35



ÍNDICE DE FIGURAS

1) Vista en planta de la zona a estudio.	36
2) Perspectiva tridimensional de la zona a estudio.	36
3) Curvas de nivel de la zona a estudio.	37
4) Mapa de rugosidades de la zona a estudio.	37
5) Datos de viento de entre el 02/05/2002 y el 31/12/2002 en módulo y dirección de la estación meteorológica N6 a 20m de altura.	38
6) Datos de viento de entre el 02/05/2002 y el 31/12/2002 en módulo y dirección de la estación meteorológica N6 a 46m de altura.	38
7) Datos de viento de entre el 03/05/2002 y el 31/12/2002 en módulo y dirección de la estación meteorológica N12 a 20m de altura.	39
8) Datos de viento de entre el 03/05/2002 y el 31/12/2002 en módulo y dirección de la estación meteorológica N12 a 420m de altura.	39
9) Rosa de vientos en la estación meteorológica N6 a 20 m de altura.	40
10) Rosa de vientos en la estación meteorológica N6 a 46 m de altura.	40
11) Rosa de vientos en la estación meteorológica N12 a 20 m de altura.	41
12) Rosa de vientos en la estación meteorológica N12 a 40 m de altura.	41
13) Wind Atlas con los datos de la estación meteorológica N6 a 20 metros de altura.	42
14) Wind Atlas con los datos de la estación meteorológica N6 a 46 metros de altura.	42
15) Wind Atlas con los datos de la estación meteorológica N12 a 20 metros de altura.	43
16) Wind Atlas con los datos de la estación meteorológica N12 a 40 metros de altura.	43
17) Curvas de potencia a distintas densidades para los aerogeneradores del parque.	44
18) Curvas de coeficientes de empuje a distintas densidades para los aerogeneradores del parque.	44
19) Posiciones de los aerogeneradores y torres de medida con altitud (amarillo para las cimas y azul para los valles).	45
20) Modelo de Jackson y Hunt: a) Flujo básico sin perturbar. b) Flujo perturbado	46



21) Regiones en que se divide el modelo de Jackson y Hunt.	46
22) Esquema del modelo de estela aislada: UPMWAKE.	47
23) (a) Vista plana del modelo de estela simple UPMWAKE (b) Vista plana del modelo de estela múltiple UPMPARK.	47
24) Horas/año para WAsP+UPMPARK con datos de N6 a 20m.	48
25) Horas/año para WAsP+UPMPARK con datos de N6 a 46m.	49
26) Horas/año para WAsP+UPMPARK con datos de N12 a 20m.	50
27) Horas/año para WAsP+UPMPARK con datos de N12 a 40m.	51
28) Horas/año para UPMORO+UPMPARK con datos de N6 a 20m.	52
29) Horas/año para UPMORO+UPMPARK con datos de N6 a 46m.	53
30) Horas/año para UPMORO+UPMPARK con datos de N12 a 20m.	54
31) Horas/año para UPMORO+UPMPARK con datos de N12 a 40m.	55
32) Resultados comparativos en velocidades.	56
33) Resultados comparativos en producciones.	57
34) Error de las previsiones de velocidades respecto a las medidas.	58
35) Error de las previsiones de producción respecto a las medidas.	59



1. INTRODUCCIÓN

El Laboratorio de Mecánica de Fluidos, englobado en el Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecánica de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid perteneciente a la Universidad Politécnica de Madrid, ha realizado el presente estudio para Sotavento Galicia, S.A. Se trata del segundo informe del contrato suscrito entre las partes con el fin de estimar el efecto de la orografía y las estelas de 24 aerogeneradores del parque eólico de Sotavento sobre el campo de vientos de la zona. En esta fase del proyecto, el objetivo es conseguir una primera evaluación de los resultados eólicos y energéticos del parque para la configuración real del parque y comparar con los datos medidos. Previamente se había realizado otro estudio para una disposición preliminar del parque, el cuál fue comparado con un trabajo previo realizado por Garrad Hassan para Sotavento Galicia, S.A. con fecha 22 de junio de 1999, nº 2288/BR/01, Raftery 1999.

En este estudio, se va a estimar el efecto de la orografía y de las estelas en la producción del parque para los tipos y posiciones reales de aerogeneradores. Se han usado básicamente tres programas: el *WAsP*, el *UPMORO* y el *UPMPARK*. Con los dos primeros se pretende estudiar la influencia de la orografía en los datos de la estación. El tercero de ellos estima la incidencia de las estelas en la disminución del viento incidente sobre cada aerogenerador cuando ha tenido que pasar a través de alguna otra máquina del parque. Se tratará de combinar el *WAsP* o el *UPMORO* con el *UPMPARK* para encontrar un medio de predecir la producción del parque con lo que poder validar el cálculo de velocidades en las posiciones de los aerogeneradores.

Para cumplir con los objetivos anteriores, el Laboratorio ha obtenido la siguiente información:

- Mapas 1:25.000 del Mapa Topográfico Nacional de España distribuidos por el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG).
- Curva de potencia del aerogenerador Made AE-52.
- Curvas de coeficiente de empuje de los aerogeneradores Made AE-46/I y Made AE-52.

La información facilitada por Sotavento Galicia S.A. y extraída del informe de Garrad Hassan, Raftery 1999, ha sido:

- Medidas cada 10 minutos en media y desviación del módulo y dirección de la velocidad del viento para diversas estaciones de medida situadas en distintas posiciones y alturas dentro del parque desde mayo del 2002 hasta finales de dicho año.
- Producción de cada aerogenerador y velocidad de viento en su anemómetro de góndola, en intervalos de 10 minutos, durante el mismo periodo temporal en el que se disponía de datos eólicos en las estaciones de medida.
- Densidad media del aire en el emplazamiento.



- Curvas de potencia de los aerogeneradores Bazan Bonus MK-IV, Bazan Bonus 1.3 MW, Ecotecnia 44/640, Gamesa G-47, Made AE-46/I, Made AE-61, Neg-Micon Multipower 48 y Neg-Micon Multipower 52.
- Curvas coeficiente de empuje de los aerogeneradores Bazan Bonus MK-IV, Bazan Bonus 1.3 MW, Ecotecnia 44/640, Gamesa G-47, Made AE-61, Neg-Micon Multipower 48 y Neg-Micon Multipower 52.
- Características geométrica y alturas de todos los aerogeneradores del parque.
- Disposición de los aerogeneradores en el emplazamiento.



2. DATOS

2.1 OROGRAFÍA

Los datos de la orografía del terreno son utilizados como entrada por los modelos de evaluación del campo de vientos, WASP o UPMORO. Para la obtención del archivo digitalizado necesario para ejecutar los programas, se ha empleado el Autocad sobre un mapa escaneado 1:25.000 correspondiente a la zona a estudio. Dicho mapa pertenece al Mapa Topográfico Nacional de España y contiene curvas de nivel cada 10 metros.

El entorno considerado es un rectángulo de dimensiones 7'0 x 8'0 km², entre las coordenadas UTM(km): 587x4797 y 594x4805. En la figura 1 y 2 se presenta una vista en planta y otra tridimensional del terreno a estudio. En la figura 3 puede verse la representación orográfica del área del parque mediante sus curvas de nivel tal como será empleado por los modelos de orografía. La figura 4 representa la rugosidad elegida de forma discreta para el tratamiento de dicha región.

2.2 DATOS DE VIENTO

Se ha dispuesto de diversas estaciones de medida situadas en la zona a estudio durante diferentes periodos de tiempo de medida. Se ha decidido emplear las situadas en las posiciones denominadas N6 y N12, figura 19, ya que su periodo temporal de medición coincide con el correspondiente a los datos disponibles de producción y viento medido en los aerogeneradores. Además, son de los que se dispondrá en el futuro para el resto de los estudios, con lo que las conclusiones o trabajos a realizar se podrán basar en los resultados del presente informe.

2.2.1 Estación N6

El emplazamiento se define por los siguientes valores:

- Altura de anemómetro respecto al suelo: 20 y 46 m.
- Coordenada UTMx: 590'345 km.
- Coordenada UTM_y: 4799'510 km.
- Longitud: 07° 53' 07.6'' W.
- Latitud: 43° 20' 32'' N.

Se disponen de 33.734 datos comprendidos entre las 15 horas 10 minutos del día 2 de marzo del 2002 y las 23 horas 50 minutos del día 31 de diciembre del 2002, el 96'26% del periodo considerado, el cuál debería constar de 35.046 datos. Por tanto se considera suficientemente representado el tramo temporal estudiado. Algunas conclusiones significativas de los valores registrados una vez analizados y procesados son:

a) Altura de 20m:

- La velocidad media del viento registrada por el anemómetro es de 6'28 m/s.
- La densidad de potencia superficial en el anemómetro es 330'15 W/m².



- Usando la modelización de Weibull, la velocidad media en la estación sería 6'21 m/s, 1'01 % de discrepancia respecto a la registrada por el anemómetro.
- Para la potencia por metro cuadrado, la distribución asociada de Weibull predice 331'62 W/m², es decir, un 0'44 % de discrepancia respecto a la registrada por el anemómetro.

b) Altura de 46m:

- La velocidad media del viento registrada por el anemómetro es de 6'61 m/s.
- La densidad de potencia superficial en el anemómetro es 379'79 W/m².
- Usando la modelización de Weibull, la velocidad media en la estación sería 6'43 m/s, 2'73 % de discrepancia respecto a la registrada por el anemómetro.
- Para la potencia por metro cuadrado, la distribución asociada de Weibull predice 381'19 W/m², es decir, un 0'37 % de discrepancia respecto a la registrada por el anemómetro.

2.2.2 Estación N12

El emplazamiento se define por los siguientes valores:

- Altura de anemómetro respecto al suelo: 20 y 40 m.
- Coordenada UTMx: 590'725 km.
- Coordenada UTM y: 4800'550 km.
- Longitud: 07° 52' 50.1'' W.
- Latitud: 43° 21' 05.6'' N.

Se disponen de 34.177 datos comprendidos entre las 11 horas 50 minutos del día 3 de marzo del 2002 y las 23 horas 50 minutos del día 31 de diciembre del 2002, el 97'87% del periodo considerado, el cuál debería constar de 34.922 datos. Por tanto se considera suficientemente representado el tramo temporal estudiado. Algunas conclusiones significativas de los valores registrados una vez analizados y procesados son:

a) Altura de 20m:

- La velocidad media del viento registrada por el anemómetro es de 5'46 m/s.
- La densidad de potencia superficial en el anemómetro es 203'64 W/m².
- Usando la modelización de Weibull, la velocidad media en la estación sería 5'44 m/s, 0'29 % de discrepancia respecto a la registrada por el anemómetro.
- Para la potencia por metro cuadrado, la distribución asociada de Weibull predice 204'32 W/m², es decir, un 0'34 % de discrepancia respecto a la registrada por el anemómetro.

b) Altura de 40m:

- La velocidad media del viento registrada por el anemómetro es de 5'9 m/s.
- La densidad de potencia superficial en el anemómetro es 251'62 W/m².
- Usando la modelización de Weibull, la velocidad media en la estación sería 5'83 m/s, 1'15 % de discrepancia respecto a la registrada por el anemómetro.
- Para la potencia por metro cuadrado, la distribución asociada de Weibull predice 252'28 W/m², es decir, un 0'26 % de discrepancia respecto a la registrada por el anemómetro.

A partir de los datos de viento cada 10 minutos (anexo y figuras entre la 5 y la 8, para cada estación de medida y cada una de sus alturas) se puede calcular la rosa de los vientos en la estación meteorológica, tablas de la 1 a la 4 y figuras de la 9 a la 12. Con dichas rosas se realiza



la modelización del campo de vientos en el emplazamiento y la evaluación de los resultados energéticos del parque.

Empleando el programa WASP se pueden obtener el *wind atlas*, para las estaciones meteorológicas. Los “atlas de viento” dan la frecuencia, dirección e intensidad del mismo para distintas alturas y niveles de rugosidad del terreno en cada uno de los sectores en que hemos dividido la rosa de los vientos. Estos datos se obtienen eliminando las perturbaciones locales de orografía, rugosidad y obstáculos que se encuentran alrededor de la estación meteorológica y que generan el viento local. De esta forma, conseguimos saber que valores se obtendrían, para distintas alturas y rugosidades, cuando el viento geostrófico actúa sin interferencias. Dichos valores serán los que se extrapolen a cada posición de aerogenerador y en los que influirán la orografía, rugosidad y obstáculos concretos de donde se encuentra. En las figuras de la 13 a la 16 se muestra el *wind atlas* para las estaciones N6 y N12 a sus dos alturas de medida. Cada R-class corresponde a un tipo de rugosidad especificada entre paréntesis. A sí mismo, se presentan las curvas de distribución de probabilidad en las que A y k son las constantes de Weibull.

2.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS AEROGENERADORES

En el parque de Sotavento existen 9 modelos distintos de aerogeneradores tripala de eje horizontal. Dichos modelos son los siguientes:

- NEG-MICON Multipower 48.
- NEG-MICON 900 kW.
- GAMESA G47.
- ECOTECNIA 44.
- BAZAN BONUS MK-IV.
- BAZAN BONUS 1.3 MW.
- MADE AE-46/I.
- MADE AE 52.
- MADE AE 61.

Las características geométricas y potencia nominal de cada uno de ellos se muestra en la tabla 5. Las curvas de potencia y coeficientes de empuje, para una densidad de $1'15$ o $1'225$ kg/m^3 vienen dadas en las tablas 6 y 7 y representadas en las figuras 17 y 18 respectivamente. En algunas de las curvas de potencia o empuje ha sido necesario acudir a la densidad estándar de $1'225$ kg/m^3 ya que no se disponía de los datos para $1'15$ kg/m^3 . Dicho valor es la densidad media de aire en el emplazamiento evaluada por Garrad Hassan, Raftery 1999.

2.4 POSICIÓN DE LOS AEROGENERADORES

La distribución de los aerogeneradores del parque es distinta de la supuesta en el informe anterior. En la tabla 8 se especifica la posición y el tipo de todos los aerogeneradores del parque. La distribución de los aerogeneradores en el emplazamiento y las curvas de nivel se observan en la figura 19. El color en dicha figura hace referencia a la altura en cada punto (amarillo para las zonas más altas y azul para las de menor cota). Además se ha incluido la posición de las dos torres de medida, N6 y N12.



3. MÉTODO Y PROGRAMAS DE CÁLCULO UTILIZADOS

Con objeto de evaluar el efecto de las estelas en el parque se han realizado tareas de modelización que incluyen:

- Modelización del campo de vientos. A partir de los datos de viento, de topografía del emplazamiento y rugosidad del terreno, se ha elaborado mediante modelización con el código **WAsP** y el **UPMORO** un *Atlas* eólico de la zona.
- Modelización de las estelas dentro del parque mediante la utilización del **UPMPARK**.
- Cálculo de la velocidad y producción en cada aerogenerador. Se han superpuesto de forma apropiada los efectos de las estelas y la orografía, calculados por el **UPMPARK** y **WAsP-UPMORO** respectivamente.

3.1 WAsP

WAsP es un programa de evaluación del campo de vientos desarrollado por Risø National Laboratory de Dinamarca, con el que se ha elaborado, entre otros, el Atlas Eólico Europeo. En este estudio ha sido empleado únicamente con vistas a obtener la corrección originada por la orografía sobre el parque. Para más información sobre el programa véase www.wasp.dk.

3.2 UPMORO

El programa **UPMORO** ha sido desarrollado en el Laboratorio de Mecánica de Fluidos de la E.T.S.I. Industriales de la UPM. Su objetivo es determinar la perturbación inducida en el viento incidente por el efecto de la orografía del emplazamiento.

La corriente básica sin perturbar viene expresada por una ley logarítmica, conocida como ley de la pared.

$$u = 2.5 \times u^* \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$
$$k = 5.77 \times (u^*)^2$$
$$\varepsilon = 2.5 \times \frac{(u^*)^3}{z}$$

donde u es la velocidad de la corriente sin perturbar, u^* la velocidad de fricción, z la altura desde el suelo, z_0 la rugosidad del terreno, k la energía cinética turbulenta y ε la disipación de la energía cinética turbulenta. Se supone que los obstáculos orográficos son lo suficientemente pequeños y suaves para que el flujo sea una pequeña perturbación sobre el que se refleja en las ecuaciones anteriores, figura 20. El modelo de perturbación se basa en el dado por Jackson y



Hunt (1975), modificado en la forma indicada por Hunt (1988), y Belcher y Hunt (1998). La atmósfera se divide en tres regiones, figura 21, delimitadas por las siguientes alturas:

$$l = \frac{z_0}{8} \times \left(\frac{L}{z_0} \right)^{0.9}$$
$$h_m = \frac{L}{\left[\ln \left(\frac{L}{z_0} \right) \right]^2}$$

siendo L la longitud característica del obstáculo. El modelo linealiza las ecuaciones a resolver y supone que la velocidad se perturba de forma que:

$$u = 2.5 \times u^* \times \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) + \Delta u$$
$$v = \Delta v$$

donde v es la velocidad perpendicular a la dirección principal y las correcciones, Δu y Δv , vienen expresadas, según la zona de la atmósfera donde nos encontremos, mediante:

a) $z > h_m$: la perturbación corresponde a un movimiento irrotacional dado por:

$$\Delta u = 2.5 \times u^* \times \ln \left(\frac{h_m}{z_0} \right) \times \sigma(x, y, z)$$
$$\Delta v = 2.5 \times u^* \times \ln \left(\frac{h_m}{z_0} \right) \times \sigma'(x, y, z)$$

con

$$\sigma(x, y, z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{f'(\xi, \eta) \times (x - \xi) \times d\xi d\eta}{\left[(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2 + z^2 \right]^{\frac{3}{2}}}$$
$$\sigma'(x, y, z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{f'(\xi, \eta) \times (y - \eta) \times d\xi d\eta}{\left[(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2 + z^2 \right]^{\frac{3}{2}}}$$

siendo ξ y η variables de integración de la malla y f' la pendiente del terreno en la dirección y sentido del viento.

b) $l < z < h_m$:

$$\Delta u = 2.5 \times u^* \times \frac{\ln^2 \left(\frac{h_m}{z_0} \right)}{\ln \left(\frac{z}{z_0} \right)} \times \sigma(x, y, z)$$



$$\Delta v = 2.5 \times u^* \times \frac{\ln^2\left(\frac{h_m}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \times \sigma'(x, y, z)$$

c) $z_0 < z < l$:

$$\Delta u = 2.5 \times u^* \times \frac{\ln^2\left(\frac{h_m}{z_0}\right)}{\ln^2\left(\frac{l}{z_0}\right)} \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \times \sigma(x, y, z)$$
$$\Delta v = 2.5 \times u^* \times \frac{\ln^2\left(\frac{h_m}{z_0}\right)}{\ln^2\left(\frac{l}{z_0}\right)} \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \times \sigma'(x, y, z)$$

3.3 UPMPARK

Es un modelo desarrollado en el Laboratorio de Mecánica de Fluidos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la UPM, que en forma tridimensional resuelve las ecuaciones de Navier-Stokes, con el cierre k-ε, aplicadas a un parque eólico, suponiendo el flujo parabólico.

3.3.1 Generalidades

El aprovechamiento de la energía eólica en gran escala requiere la disposición de un importante número de aeroturbinas en un parque. Dada la variabilidad en la dirección del viento y las limitaciones en la disponibilidad del terreno, es difícil en muchos casos evitar que la estela o la sombra de una máquina no interfiera con las que están aguas abajo. Esta interferencia se manifiesta en una menor velocidad incidente, y en una mayor turbulencia, así como en irregularidades de la corriente en las máquinas afectadas, dando lugar a una menor producción de energía, mayores cargas dinámicas y de fatiga y fluctuaciones en la energía eléctrica producida. El efecto de la estela se añade o superpone al de la orografía y el estudio de ambos se hace necesario.

El programa UPMPARK es una herramienta de cálculo que sirve para obtener la distribución de magnitudes fluidas: velocidad, presión, temperatura, energía cinética turbulenta y su ritmo de disipación en un parque eólico. El programa tiene fundamentalmente en cuenta el efecto de las estelas. No calcula directamente el efecto de la orografía, aunque puede incorporar los cálculos hechos con otros programas o las mediciones, en parques desprovistos de aeroturbinas, y superponer los efectos orográficos y de las estelas, siempre que se cumplan ciertas condiciones, fundamentalmente que la orografía no sea muy complicada. El programa UPMPARK, propuesto por Crespo et al. (1993, 1994) y Chacón (1994) está basado en un programa anterior, UPMWAKE, que calcula el campo fluido para estelas aisladas, y ha sido presentado por Crespo et al. (1985, 1988^a), Hernández (1985) y Crespo y Hernández (1989).



3.3.2 Modelo de estela aislada: UPMWAKE.

El modelo de estela aislada se muestra esquemáticamente en la figura 22. Una corriente incidente no uniforme que representa la capa superficial de la capa límite terrestre incide sobre la aeroturbina. Este flujo básico está descrito en Panofski y Dutton (1984) y es perturbado por la aeroturbina.

Los parámetros que describen el flujo básico son:

- La rugosidad del terreno.
- Velocidad a una cierta altura, o alternativamente la velocidad turbulenta de fricción.
- Estabilidad atmosférica a través de la longitud de Monin-Obukhov.
- Propiedades del aire al nivel del suelo.

La máquina genera perturbaciones de todas las magnitudes fluidas, fundamentalmente de velocidad y de energía cinética turbulenta, que se difunden aguas abajo de la máquina. Las ecuaciones que describen este flujo perturbado son las de conservación de:

- Masa.
- Cantidad de movimiento (tres componentes)
- Energía.
- Energía cinética turbulenta.
- Ritmo de disipación de energía cinética turbulenta.

Se imponen condiciones de contorno en el suelo, en el infinito, y en el plano normal al suelo y que contiene a la aeroturbina. En todo el contorno, excepto dentro del círculo de radio igual al de la sección expandida de la aeroturbina, se supone que las propiedades fluidas son las del flujo básico. La sección expandida de la aeroturbina tiene un diámetro ligeramente superior al de la turbina real y corresponde a una sección aguas abajo en que la depresión creada, detrás mismo de la aeroturbina, se ha convertido íntegramente en defecto de velocidad. El cálculo del diámetro expandido se hace mediante la aplicación de la clásica teoría del elemento de pala (ver por ejemplo Wilson 1994). Dentro del círculo que contiene a la aeroturbina expandida se suponen conocidas todas las perturbaciones de las propiedades fluidas que introduce la máquina; en la práctica sólo se incluyen perturbaciones de velocidad normal a la aeroturbina (defecto de velocidad), de energía cinética turbulenta y de su ritmo de disipación. El programa permite además introducir perturbaciones de velocidad radial y azimutal y de temperatura (asociada al rendimiento interno de la aeroturbina), pero se ha encontrado que estos efectos son despreciables. Se supone que no hay perturbación de la presión debido a que se ha tomado como punto de partida la turbina expandida. De no hacerse esta suposición, la hipótesis de considerar las ecuaciones de conservación de cantidad de movimiento como parabólicas, que se verá más adelante, no sería válida y el tratamiento del problema, fundamentalmente en su parte relativa a la interacción de múltiples estela (UPMPARK), carecería de validez. Crespo et al. (1990) estudiaron el problema, sin hacer esta simplificación, suponiendo que las ecuaciones son elípticas. Usaron un código comercial y compararon con experimentos y con la aproximación propuesta, encontrando que dos o tres diámetros aguas abajo de la aeroturbina, para todas las



situaciones de interés, el método propuesto proporciona resultados idénticos al más exacto y ambos muy parecidos a los experimentos.

Se han introducido las siguientes hipótesis para tratar las ecuaciones de conservación:

- Aproximación de capa límite o flujo parabólico, consiste en despreciar la difusión turbulenta y la presión en la ecuación en la dirección principal del movimiento.
- Aproximación de Boussinesq para la flotabilidad, que consiste en considerar que las variaciones de densidad son pequeñas y asociadas fundamentalmente a las de temperatura.
- Se desprecia el transporte molecular frente al turbulento.
- Cierre de tipo $k-\varepsilon$ para el transporte turbulento.

Las ecuaciones han sido resueltas numéricamente utilizando un método de diferencias finitas propuesto por Patankar y Spalding (1972).

Crespo et al. (1986, 1988, 1989 y 1990) han comparado los resultados obtenidos con UPMWAKE con los experimentos en túnel aerodinámico de Luken et al. (1986) y de experimentos en escala real de Taylor et al. (1985), y se ha encontrado un acuerdo muy aceptable. Más recientemente, Adams y Quarton (1996) y Schpers (1995) han validado también UPMWAKE por comparación con medidas en túnel y campo.

Crespo y Hernández (1993a, 1996), basándose en resultados de UPMWAKE, han desarrollado correlaciones para calcular la intensidad de la turbulencia en las estelas y las han comparado con mediciones en túnel de 7 autores y en escala real de 4 autores, (muchos de estos trabajos recopilados por Quarton, 1989) proponen un método sencillo para calcular el espectro a partir de los valores de k y ε obtenidos por UPMWAKE y se comparan con medidas de Hojstrup (1990), resultando buena concordancia para distancias intermedias aguas abajo.

Crespo et al.(1993b) estudiaron la superposición de estelas de aeroturbinas y de obstáculos orográficos, y propusieron un método de superposición de ambos efectos, que fue validado con las medidas experimentales del parque de Monteahumada, basándose en los cálculos orográficos efectuados con el programa WASP, y en los resultados de UPMWAKE.

3.3.3 Modelo para la interacción de varias estelas: UPMPARK.

Basados en que la hipótesis de flujo parabólico es válida en la mayor parte del campo fluido (tal como se ve en Crespo et al., 1990), Chacón (1994) y Crespo et al. (1993, 1994) se desarrolló el código UPMPARK, como extensión de UPMWAKE. Las ecuaciones de conservación y el modelo turbulento de cierre son las mismas que las usadas por UPMWAKE. Todas las estelas difunden simultáneamente en un flujo ambiente como el indicado en la figura 22, que representa la capa superficial de la capa límite terrestre. Para terreno uniforme, el flujo ambiente también lo sería, sin embargo, como antes se indicó, el programa puede tener en cuenta variaciones moderadas de orografía usando el método de superposición propuesto por Crespo et al. (1993b).

Las condiciones de contorno en el infinito, en el suelo y en la sección de partida, excluyendo la sección de la primera aeroturbina, son las correspondientes al flujo básico, tal como ocurría en UPMWAKE. La aproximación de tipo parabólico nos permite proseguir nuestra integración numérica en una dirección dominante (flujo principal sin perturbar), sin que



las secciones aguas abajo influyan en las secciones aguas arriba. Partiendo pues de la sección inicial proseguimos la integración numérica, tal como indica la figura 23, hasta que llegamos a una sección en la que aparece otra aeroturbina, donde, en los correspondientes nodos, se imponen unas fuentes o sumideros de las diferentes magnitudes fluidas, fundamentalmente, defecto de velocidad, e incrementos de k y ϵ . El número de nodos en cada sección debe ser ahora bastante mayor que para UPMWAKE, ya que debe contener toda la sección transversal del parque y llegar lateralmente hasta el infinito, o a una distancia donde las perturbaciones se hayan amortiguado. Al ser el modelo parabólico, no hay límite al tamaño del parque en la dirección principal del viento. El número de nodos necesario para un grupo de turbinas en fila es el mismo que para una turbina aislada. UPMWAKE ha sido validado por comparación con medidas en parques eólicos de Nibe, Zeebrugge, Sexbierum y Vindeby, en Crespo et al. (1993, 1993c, 1994). También ha sido aplicado al cálculo de parques eólicos en el mar en Frandsen et al. (1996) y Crespo y Gómez-Elvira (1997)



4. RESULTADOS

Para buscar un procedimiento válido para la predicción del viento y producciones en los aerogeneradores del parque, se han empleado distintas combinaciones de modelos y datos anemométricos. Los resultados de las 8 combinaciones empleadas aparecen en las tablas y figuras siguientes.

- a) WAsP y UPMPARK con N6 a 20 m de altura.- Tabla: 9. Figura: 24.
- b) WAsP y UPMPARK con N6 a 46 m de altura.- Tabla: 10. Figura: 25.
- c) WAsP y UPMPARK con N12 a 20 m de altura.- Tabla: 11. Figura: 26.
- d) WAsP y UPMPARK con N12 a 40 m de altura.- Tabla: 12. Figura: 27.
- e) UPMORO y UPMPARK con N6 a 20 m de altura.- Tabla: 13. Figura: 28.
- f) UPMORO y UPMPARK con N6 a 46 m de altura.- Tabla: 14. Figura: 29.
- g) UPMORO y UPMPARK con N12 a 20 m de altura.- Tabla: 15. Figura: 30.
- h) UPMORO y UPMPARK con N12 a 40 m de altura.- Tabla: 16. Figura: 31.

Cada columna de las tablas indica:

- Velocidad orográfica (m/s): resultados de los cálculos con el modelo orográfico para cada aerogenerador sin tener en cuenta las estelas.
- Velocidad con orografía y estelas (m/s): resultados de la combinación del modelo orográfico y el UPMPARK para cada aerogenerador, por tanto teniendo en cuenta las pérdidas por estelas.
- Producción orográfica (MWh/año): resultados del modelo orográfico para cada aerogenerador sin tener en cuenta las estelas, la media y el total.
- Producción con orografía y estelas (MWh/año): resultados de la combinación del modelo orográfico y el UPMPARK para cada aerogenerador, por tanto teniendo en cuenta las pérdidas por estelas, la media y el total.
- Eficiencia: rendimiento de los aerogeneradores al estar dentro de un parque. Es el cociente entre la producción teniendo en cuenta las estelas que generan otras máquinas y la que existiría si el aerogenerador estuviese aislado.

En las figuras se muestra la comparación para cada caso de las horas/años teniendo en cuenta las estelas y las pérdidas ocasionadas por las mismas.

En las tablas 17 y 18 y figuras 32 y 33 se comparan resultados finales de velocidad y producción con cada una de las 8 combinaciones de modelos (WAsP+UPMPARK, o, UPMORO+UPMPARK) y datos empleados (N6 a 20m, N6 a 46m, N12 a 20m o N12 a 40m) con los registros medidos en cada aerogenerador durante el periodo considerado. Hay que hacer notar que al parecer, en los aerogeneradores de Gamesa, hubo errores en el procesado de las medidas. Existen momentos, especialmente en el aerogenerador 14, en que se produjeron fallos dentro de la estructura de la base de datos de las tablas de ese tipo de aerogeneradores. Por tanto no se puede hacer comparaciones con el aerogenerador número 14. En las tablas 19 y 20 y figuras 34 y 35 se muestra el error cometido por los modelos frente a las mediciones de la velocidad y la potencia.



Independientemente del modelo de orografía, estación meteorológica o altura de medida en ella, se puede observar como la velocidad medida en los aerogeneradores por su anemómetro de veleta es casi siempre superior a las predicciones. Es posible que en el anemómetro de veleta el viento esté acelerado por la presencia del buje, lo cual deberá ser estudiado en informes posteriores. En este sentido, conviene resaltar que hay una mejor concordancia entre las predicciones y medidas para las producciones que para las velocidades. Los resultados obtenidos con el UPMORO muestran que son más dependientes que los del WAsP respecto a que datos de viento se han empleado para su obtención, presentando un mayor rango de valores para cada aerogenerador, figura 32. Se observa como los mejores resultados se obtienen con la combinación de modelos UPMORO+UPMPARK con datos de la estación N6 a 20 metros de altura. El menor error absoluto para cada aerogenerador se muestra en la tabla 21. Además se indica en dicha tabla con qué combinación de modelos y datos se consigue. La combinación UPMORO+UPMPARK (21 aerogeneradores) es claramente mejor que la WAsP+UPMPARK (3 aerogeneradores). La misma proporción se encuentra al comparar las mejores estaciones de medida. La N6 (21 aerogeneradores) da soluciones más aproximadas que la N12 (3 aerogeneradores). La altura de medición más adecuada es la inferior (23 aerogeneradores) frente a la superior (1 aerogeneradores). Es posible que dicha altura esté menos perturbada por efecto de otros aerogeneradores o de la propia orografía. Este efecto deberá ser estudiado más detenidamente.

Comparando los resultados en producción de los modelos empleados y los datos reales se observa como los valores predichos por los primeros crean una banda de resultados dentro de la cual se encuentra la medida. Al igual que en el caso de la velocidad, el programa UPMORO presenta una mayor dependencia con los datos de viento empleados, su banda de variación es considerablemente mayor que en el caso del WAsP. En la tabla 22 se muestra qué combinación de modelos y datos consigue el menor error absoluto para cada aerogenerador, excepto para el 14 por lo ya comentado anteriormente. En líneas generales y al igual que con las velocidades, la combinación UPMORO+UPMPARK (17 aerogeneradores) es mejor que la WAsP+UPMPARK (6 aerogeneradores). En cuanto a la estación de medida ahora la N12 (12 aerogeneradores) presenta ligeramente mejores resultados que la N6 (11 aerogeneradores). La mejor altura de medida de la estación vuelve a ser la baja (15 aerogeneradores) frente a la alta (8 aerogeneradores).



5. CONCLUSIONES

De los resultados anteriores se concluye que los modelos empleados con los datos de entrada disponibles permiten obtener una aproximación válida a los resultados reales. La mejor combinación de todos ellos para obtener la velocidad media en el anemómetro de cada aerogenerador resulta ser emplear el modelo de orografía UPMORO con el modelo de estelas UPMPARK y los datos de la estación N6 a 20 metros de altura. De esta forma se consigue un error medio del 4'1% en velocidades, con valores casi siempre menores que los medidos. Por el contrario, esta combinación no es de las mejores cuando se trata de producciones, error del 13'2%. Si miramos dichos datos, las producciones, los mejores resultados se obtienen con la otra combinación de modelos WAsP+UPMPARK y con datos de la estación N12 a 20 metros, consiguiéndose un error medio del 7'5%. Si tenemos en cuenta las velocidades para esta misma combinación, el error cometido es del mismo orden de magnitud 7'6%.

El hecho de que los datos a 20 metros permitan alcanzar mejores resultados que a 40, altura más cercana a la del buje de los aerogeneradores, parece indicar algún tipo de interferencia en las estaciones de medida. El estar situadas en las cercanías de las cimas puede dar lugar a que, como parece corroborarse en estudios preliminares de los datos, en las direcciones en que la torre y el pico se enfrentan se pierda el perfil logarítmico creciente de velocidades, produciéndose una deceleración del viento a cotas altas. Además, las estaciones de medida se encuentran en medio de las filas de aerogeneradores, con lo que las estarán afectando las estelas generadas. Todo lo anterior hace necesario que se deba realizar un proceso iterativo para corregir las velocidades de entrada al parque. En próximos informes, en cada lugar donde hay una estación de medida se calculará la velocidad perturbada por la orografía y las estelas. La velocidad adecuada que haría válido los cálculos sería aquella en que la localización de los anemómetros diese la velocidad medida por los mismos.

Por último, se debe hacer constar las elevadas discrepancias que se producen en el aerogenerador 22 en cuanto a producción pero no en velocidad. Este hecho debe ser estudiado con detenimiento a la vista del resto de resultados. Puede deberse a alguna anomalía o incidencia en su funcionamiento que haga que la potencia producida sea inferior a la que correspondería a la velocidad registrada.

En Madrid a 3 de marzo del 2003

Antonio Crespo Martínez
Doctor Ingeniero Aeronáutico

Emilio Migoya Valor
Doctor Ingeniero Industrial

Fermín Moreno García
Ingeniero Industrial



REFERENCIAS

Adams, B. M. and Quarton, D. D. "Dynamic Loads in Wind Farms II" Final Report of Joule Project JOU2-CT92-0094. Edited by Garrad Hassan, 1996.

Belcher, S., y Hunt, J. Ann. Rev. Fl. Mech. vol 30, pp 507-538, 1998.

Crespo, A.; Manuel, F. Moreno, D. Fraga, E. and Hernández, J. "Numerical Analysis of wind turbine wakes" Proc. of the Delphi Workshop on Wind Energy Applications. 1985.

Crespo, A. and Hernández J. "A numerical model of wind turbine wakes and wind farms." Proceedings of the EWEC ' 86, Rome, pp. 111 - 115. 1986

Crespo, A.; Hernández, J.; Fraga, E. and Andreu, C. "Experimental Validation of the UPM Computer Code to Calculate Wind Turbine Wakes and Comparison with other Models," Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 27, 1988.

Crespo, A.; Hernández, J.; Fraga, E. and Andreu, C. Final Report of CEC contract EN3W / 0020 / E(B). "Analysis of Wind Turbine Wakes." 1988a.

Crespo, A. and Hernández, J., "Numerical Modeling of the Flow Field in a Wind Turbine Wake," Proceedings of the Forum on Turbulent Flows, ASME meeting, La Jolla, 1989.

Crespo, A.; Manuel, F. and Hernández, J. "Numerical modeling of wind turbine wakes." Proceedings of the ECWEC ' 90, Madrid, pp. 111 - 115. 1990.

Crespo, A.; Hernández, J.; Manuel, F.; Grau, J. C.; Chacón L.; Spanish contribution to the Final Report of the CEC Project "Full scale measurements in wind turbine arrays", jour-0064. Edited by National Power, G.J. Taylor, appendix 4, 1993.

Crespo A., and Hernández J., "Analytical correlations for turbulence characteristics in the wakes of wind turbines". Proceedings of ECWEC'93, pp. 436-439. Travemünde, Germany, 1993a.

Crespo A., Manuel F., Grau J. C. and Hernández J., "Modelization of Wind Farms in Complex Terrain". Application to the Monteahumada Wind Farm. Proceedings of ECWEC'93, pp. 440-443. Travemünde, Germany, 1993b.

Crespo A. Contribution to the Final Report contract CEC JOUR-0087-NL (CEC) "Wake and wind farm modeling". TNO-report 93-374, 1993c.

Crespo A.; Chacón, L.; Hernández J.; Manuel, F. and Grau, J. C. "UPMPARK a parabolic 3D code to model wind farms". Proceedings of EWEC'94, pp. 454-459. 1994.

Crespo A., and Hernández J. "Turbulence characteristics in wind-turbine wakes". Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 61, pp. 71-85, 1996.

Crespo A. and Gómez-Elvira, R. "Effect of the proximity of land on wind farm performance for offshore flow" Proceedings of the European Seminar OWEMES, La Maddalena, Sardinia, Italy pp. 33-41, 1997.



Chacón, L. "Modelización por ordenador de parques eólicos", Engineer's degree project, E.T.S.I.I. Universidad Politécnica de Madrid. 1994.

Frandsen, S. (editor); Chacón, L.; Crespo A.; Enevoldsen, P.; Gómez-Elvira, R.; Hernández, J; Højstrup, J.; Manuel, F.; Thomsen, K. and Sørensen, P. "Measurements on and Modeling of Offshore Wind Farms" Final Report of EU Contract JOU2-CT93-0350. Risø-R-903(EN). June 1996.

Hernández J. "Modelización de estelas de aeroturbinas" Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. 1995.

Højstrup, J. "Wake Measurements on the Nibe wind-Turbines in Denmark. Appendix 1. Nibe Wake 2: Data Report. Power Spectra". Final Report on CEC contract no. EN3W.0039.UK(H1). 1990.

Hunt, J., Leibovich, S., Richards, K., y Quart, J. R. Meteorol. Soc. vol 114, pp 1435-1470, 1988.

Jackson, P., Hunt, J., y Quart, J. R. Meteorol. Soc. vol. 101, pp 929-955, 1975.

Luken, E.; Talmon, A. and Vermeulen, P. E. J. "Evaluation of Two Mathematical Wind Turbine Wake Models in Various Types of Flows" TNO Report, 86-07, 1986.

Patankar, S.V. and Spalding, D.B., "A calculation procedure for heat, mass and momentum transfer in three-dimensional parabolic flows," Int. Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 15, 1972.

Quarton, D. Final Report from Garrad Hassan and Partners to the Energy Technology Support Unit of the Department of Energy of the UK, contract ETSU WN 5096. "Wake Turbulence Characterization." 1989.

Raftery, P. G., Tindal, A. J., y Hassan, U., (1999). "Assessment of the Proposed Sotavento Wind Farm, Galicia, Spain". Informe de Garrad Hassan para Sotavento Galicia, S.A., 22 de junio de 1999, nº 2288/BR/01.

Scheppers, G. Analysis of Alsvik data, contribution to the DLWFII final report, ECN. Private communication. 1995.

Taylor, G. J., "Wake measurements on the Nibe wind-turbines in Denmark. Part 2: Data collection and analysis," Final report CEC Contract No. EN3W.0039.UK(H1), National Power U.K., 1990.

Wilson, R. E., "Aerodynamic behavior of wind turbines" Chapter 5 of the book Wind Turbine Technology by Spera, D., ASME Press, 1994.



	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSO	SO	OSO	O	ONO	NO	NNO	Total
2	0.73	0.85	0.94	1.37	0.75	0.50	0.32	0.28	0.23	0.27	0.35	0.52	0.45	0.45	0.64	1.20	9.85
4	1.29	1.20	0.97	0.81	1.57	1.65	1.20	0.79	0.59	0.60	0.81	1.05	1.10	1.06	1.16	1.47	17.31
6	1.55	1.60	1.69	1.59	2.36	2.96	1.89	0.79	0.82	1.17	1.45	1.70	1.68	1.92	1.52	1.58	26.28
8	0.91	0.40	1.46	1.80	2.58	1.70	1.16	0.91	0.87	0.95	1.86	1.69	1.50	1.44	0.52	0.52	20.28
10	0.19	0.11	0.62	1.08	1.42	0.89	0.39	0.82	1.27	1.02	1.03	1.05	0.77	0.37	0.07	0.01	11.09
12	0.03	0.06	0.19	0.52	0.49	0.41	0.23	0.87	1.44	0.99	0.75	0.73	0.34	0.09	0.00	0.00	7.14
14	0.00	0.00	0.07	0.33	0.07	0.15	0.13	0.60	1.05	1.00	0.48	0.26	0.08	0.04	0.00	0.00	4.26
16	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.01	0.03	0.40	0.68	0.54	0.31	0.16	0.05	0.01	0.00	0.00	2.28
18	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.22	0.23	0.39	0.09	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	1.03
20	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.09	0.10	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28
22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06
26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	4.70	4.23	5.96	7.60	9.24	8.27	5.35	5.75	7.32	7.09	7.18	7.26	5.98	5.38	3.90	4.79	100.0

Tabla 1: Rosa de los vientos en la estación meteorológica N6 a 20 m de altura (02/05/2002-31/12/2002).



	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSO	SO	OSO	O	ONO	NO	NNO	Total
2	0.48	0.72	0.98	1.29	0.52	0.36	0.18	0.15	0.15	0.11	0.16	0.38	0.36	0.28	0.30	0.53	6.95
4	1.35	1.19	1.08	1.68	1.61	1.11	0.66	0.95	0.78	0.41	0.66	1.13	1.04	1.13	1.26	1.59	17.63
6	1.60	1.70	1.98	2.13	1.50	1.68	1.08	1.92	1.26	0.63	1.41	1.85	1.98	2.00	1.96	1.77	26.45
8	0.76	0.79	1.45	1.42	0.84	1.55	0.94	1.22	0.76	1.05	1.67	2.14	2.13	2.25	0.83	0.79	20.60
10	0.09	0.09	0.64	0.46	0.31	0.81	0.66	0.67	0.57	1.28	1.46	1.30	1.32	1.31	0.23	0.14	11.32
12	0.01	0.00	0.21	0.34	0.14	0.23	0.25	0.35	0.33	1.25	1.42	1.05	0.63	0.92	0.12	0.03	7.30
14	0.00	0.00	0.08	0.10	0.02	0.09	0.06	0.25	0.15	1.23	1.04	1.03	0.37	0.30	0.04	0.01	4.76
16	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.04	0.04	0.10	0.06	0.76	0.72	0.57	0.19	0.16	0.00	0.00	2.70
18	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.50	0.35	0.39	0.11	0.06	0.00	0.00	1.45
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.15	0.18	0.06	0.01	0.00	0.00	0.52
22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.07	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.17
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06
26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.05
28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	4.30	4.49	6.44	7.45	4.95	5.88	3.87	5.61	4.09	7.41	9.14	10.11	8.19	8.45	4.75	4.86	100.0

Tabla 2: Rosa de los vientos en la estación meteorológica N6 a 46 m de altura (02/05/2002-31/12/2002).



	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSO	SO	OSO	O	ONO	NO	NNO	Total
2	0.80	0.88	1.11	1.26	0.63	0.42	0.73	0.63	0.41	0.27	0.25	0.50	0.77	0.87	0.58	0.75	10.85
4	1.60	1.65	1.49	0.94	0.53	0.98	2.70	1.94	1.14	0.72	0.70	1.24	2.53	2.08	1.71	1.38	23.33
6	0.86	1.03	1.92	1.80	1.06	1.05	2.72	1.38	1.63	1.17	1.51	2.09	3.36	2.98	2.41	1.53	28.50
8	0.05	0.15	1.15	1.92	1.04	1.10	1.27	0.57	0.64	0.99	1.61	2.01	2.65	2.51	0.74	0.24	18.63
10	0.00	0.02	0.34	1.28	0.59	0.30	0.12	0.31	0.30	0.66	1.79	1.74	1.40	1.22	0.24	0.05	10.36
12	0.00	0.00	0.04	0.55	0.22	0.14	0.07	0.10	0.13	0.23	1.18	1.21	0.81	0.40	0.08	0.00	5.16
14	0.00	0.00	0.01	0.30	0.04	0.01	0.00	0.01	0.03	0.06	0.74	0.53	0.32	0.11	0.03	0.00	2.21
16	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.21	0.25	0.14	0.04	0.00	0.00	0.68
18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.07	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.20
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02
26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	3.31	3.73	6.07	8.07	4.12	3.99	7.60	4.95	4.28	4.13	8.09	9.68	12.00	10.24	5.79	3.94	100.0

Tabla 3: Rosa de los vientos en la estación meteorológica N12 a 20 m de altura (03/05/2002-31/12/2002).



	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSO	SO	OSO	O	ONO	NO	NNO	Total
2	0.74	0.76	0.91	1.09	0.45	0.34	0.37	0.37	0.25	0.20	0.23	0.46	0.59	0.65	0.41	0.65	8.47
4	1.66	1.36	1.15	0.73	0.56	0.90	2.43	1.49	0.82	0.84	1.03	1.44	1.88	1.66	1.39	1.34	20.68
6	1.11	1.54	2.07	1.60	1.01	1.30	2.44	1.06	1.15	1.29	1.70	2.29	3.21	2.86	2.09	1.55	28.29
8	0.08	0.51	1.45	1.97	1.02	1.18	1.30	0.57	1.09	1.38	1.54	1.98	2.88	2.13	0.58	0.32	19.97
10	0.01	0.07	0.68	1.50	0.63	0.31	0.14	0.31	0.38	1.03	1.85	1.70	1.47	1.20	0.21	0.05	11.53
12	0.00	0.01	0.11	0.61	0.30	0.15	0.09	0.21	0.25	0.48	1.31	1.45	0.86	0.41	0.04	0.00	6.26
14	0.00	0.00	0.02	0.42	0.10	0.01	0.00	0.06	0.12	0.14	0.92	0.73	0.44	0.14	0.02	0.00	3.11
16	0.00	0.00	0.01	0.08	0.01	0.00	0.00	0.01	0.04	0.04	0.32	0.39	0.13	0.03	0.01	0.00	1.08
18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.13	0.18	0.06	0.01	0.00	0.00	0.39
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.12
22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02
26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	3.60	4.24	6.41	8.00	4.09	4.20	6.76	4.08	4.08	5.42	9.11	10.68	11.55	9.10	4.75	3.91	100.0

Tabla 4: Rosa de los vientos en la estación meteorológica N12 a 40 m de altura (03/05/2002-31/12/2002).



Número de unidades	Tecnólogo Tipo	Altura (m)	Diámetro (m)	Potencia nominal (kW)
4	BAZAN BONUS MK-IV	40	44	600
1	BAZAN BONUS 1.3 MW	49	62	1300
4	GAMESA G47	45	47	660
4	ECOTECNIA 44	45.25	44	640
4	NEG MICON 48	45	48	750
1	NEG MICON 900 kW	45	52	900
4	MADE AE 46/I	46	46	660
1	MADE AE 52	50	52	800
1	MADE AE 61	60	61	1320

Tabla 5: Características de los aerogeneradores del parque.



Curva de potencia Densidad (kg/m ³)	GAMESA G47	MADE AE-46/I	MADE AE 52	MADE AE 61	ECOTECNIA 44	BAZAN BONUS MK-IV	BAZAN BONUS 1.3 MW	NEG MICON 48	NEG MICON 900 kW
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	14.0	15.0	21.0	0.0	0.0	32.1	19.5	27.0
5	48.0	43.0	49.9	74.9	28.0	20.0	91.6	53.1	67.0
6	99.0	80.9	100.9	144.8	69.0	63.0	172.5	97.4	117.0
7	155.0	123.9	171.8	214.9	125.0	122.0	291.2	155.3	199.0
8	235.0	201.8	264.8	353.8	196.0	191.0	439.3	244.6	303.0
9	327.0	290.8	381.6	520.6	282.0	269.0	604.3	349.2	420.0
10	437.0	387.6	519.6	713.3	370.0	351.0	770.6	462.2	541.0
11	532.0	475.6	667.4	901.3	453.0	423.0	928.7	564.5	644.0
12	609.0	548.7	800.0	1062.3	528.0	490.0	1072.2	640.5	732.0
13	657.0	600.7	800.0	1184.4	578.0	543.0	1183.1	696.3	801.0
14	685.0	636.8	800.0	1259.7	608.0	574.0	1250.1	729.8	849.0
15	694.0	656.9	800.0	1301.8	626.0	592.0	1281.7	745.5	880.0
16	699.0	660.0	800.0	1320.0	637.0	610.0	1294.0	750.0	894.0
17	700.0	650.2	800.0	1319.1	638.0	608.0	1298.2	744.6	900.0
18	700.0	633.2	800.0	1301.3	635.0	596.0	1299.5	734.8	897.0
19	700.0	618.3	800.0	1262.5	628.0	574.0	1299.8	723.0	892.0
20	700.0	604.2	800.0	1224.5	620.0	545.0	1300.0	711.9	887.0
21	700.0	594.2	800.0	1184.6	610.0	521.0	1300.0	701.4	883.0
22	700.0	584.3	800.0	1152.5	600.0	504.0	1300.0	694.3	880.0
23	700.0	579.2	800.0	1128.6	592.0	493.0	1300.0	692.8	879.0
24	700.0	579.2	800.0	1112.5	586.0	475.0	1300.0	695.2	881.0
25	700.0	580.2	800.0	1096.7	579.0	453.0	1300.0	700.6	884.0

Tabla 6: Datos de las curvas de potencia a distintas densidades para los aerogeneradores del parque.



Coefficiente de empuje Densidad (kg/m ³)	GAMESA G47	MADE AE-46/I	MADE AE 52	MADE AE 61	ECOTECNIA 44	BAZAN BONUS MK-IV	BAZAN BONUS 1.3 MW	NEG MICON 48	NEG MICON 900 kW
3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.000	1.029	0.890	1.129	1.250	0.884	0.000	0.923	0.970
5	0.887	0.890	0.800	0.969	1.165	0.774	0.898	0.819	0.840
6	0.878	0.769	0.800	0.849	1.020	0.671	0.839	0.726	0.720
7	0.878	0.650	0.810	1.184	0.910	0.829	0.944	0.855	0.880
8	0.833	0.849	0.810	0.929	0.825	0.757	0.888	0.790	0.790
9	0.811	0.769	0.810	0.849	0.755	0.683	0.801	0.729	0.720
10	0.753	0.690	0.770	0.769	0.685	0.611	0.690	0.668	0.650
11	0.662	0.610	0.700	0.680	0.615	0.539	0.602	0.600	0.570
12	0.570	0.540	0.600	0.609	0.550	0.476	0.521	0.534	0.510
13	0.396	0.470	0.420	0.530	0.490	0.417	0.453	0.471	0.450
14	0.306	0.420	0.320	0.470	0.430	0.363	0.410	0.416	0.400
15	0.243	0.370	0.260	0.410	0.375	0.318	0.357	0.369	0.350
16	0.200	0.330	0.210	0.370	0.330	0.281	0.316	0.330	0.320
17	0.166	0.290	0.180	0.330	0.295	0.250	0.283	0.298	0.290
18	0.141	0.260	0.150	0.290	0.265	0.223	0.255	0.272	0.260
19	0.120	0.240	0.130	0.260	0.240	0.202	0.233	0.250	0.240
20	0.104	0.220	0.110	0.240	0.220	0.185	0.214	0.231	0.220
21	0.090	0.200	0.100	0.220	0.205	0.172	0.198	0.215	0.210
22	0.079	0.190	0.080	0.200	0.190	0.162	0.185	0.201	0.200
23	0.070	0.180	0.080	0.190	0.175	0.153	0.174	0.189	0.180
24	0.069	0.170	0.070	0.180	0.165	0.145	0.165	0.180	0.170
25	0.056	0.160	0.060	0.170	0.155	0.138	0.156	0.171	0.170

Tabla 7: Datos de las curvas de coeficientes de empuje a distintas densidades para los aerogeneradores del parque.



Posición	Tecnólogo	UTMX(m)	UTMY(m)	Altitud (m.)
1	BAZAN BONUS 1.3 MW	590281.00	4799043.00	667
2	NEG MICON 48	590361.00	4799173.00	682
3	GAMESA G47	590331.00	4799288.00	688
4	ECOTECNIA 44	590343.00	4799415.00	695
5	BAZAN BONUS MK-IV	590400.54	4799547.00	693
6	MADE AE 46/I	590445.04	4799661.00	690
7	GAMESA G47	590491.50	4799784.00	678
8	NEG MICON 48	590521.45	4799905.17	669
9	BAZAN BONUS MK-IV	590551.40	4800025.84	661
10	MADE AE 46/I	590581.35	4800146.51	658
11	ECOTECNIA 44	590640.14	4800320.53	655
12	NEG MICON 900 kW	590672.96	4800437.00	654
13	NEG MICON 48	590750.31	4800901.00	637
14	GAMESA G47	590757.47	4801057.89	635
15	ECOTECNIA 44	590601.65	4801340.02	651
16	MADE AE 52	590578.00	4801471.00	668
17	MADE AE 46/I	590553.00	4801609.50	693
18	BAZAN BONUS MK-IV	590538.22	4801749.37	698
19	GAMESA G47	590519.66	4801876.00	698
20	NEG MICON 48	590542.03	4802011.00	690
21	ECOTECNIA 44	590569.64	4802137.00	671
22	BAZAN BONUS MK-IV	590622.00	4802261.00	657
23	MADE AE 46/I	590654.00	4802387.00	646
24	MADE AE 61	590692.29	4802512.00	623

Tabla 8: Posición y altura de los aerogeneradores del parque.



TURBINA	VELOCIDAD OROGRÁFICA (m/s)	VELOCIDAD CON OROGRAFÍA Y ESTELAS (m/s)	PRODUCCIÓN OROGRÁFICA (MWh/año)	PRODUCCIÓN CON OROGRAFÍA Y ESTELAS (MWh/año)	EFICIENCIA
1	6.65	6.56	3109.93	3050.52	0.9809
2	6.74	6.43	1852.14	1688.67	0.9117
3	6.74	6.40	1757.04	1580.28	0.8994
4	6.74	6.48	1442.05	1318.73	0.9145
5	6.65	6.40	1327.13	1221.72	0.9206
6	6.73	6.43	1544.10	1414.31	0.9159
7	6.56	6.25	1621.81	1479.13	0.9120
8	6.38	6.04	1621.73	1452.00	0.8953
9	6.20	5.96	1116.40	1030.37	0.9229
10	6.20	5.94	1255.03	1154.69	0.9201
11	6.20	6.00	1184.43	1117.85	0.9438
12	6.20	5.99	1843.71	1731.68	0.9392
13	6.12	5.90	1500.01	1417.19	0.9448
14	6.21	5.93	1469.98	1361.17	0.9260
15	6.39	6.13	1335.37	1246.23	0.9332
16	6.65	6.33	2028.87	1859.04	0.9163
17	6.74	6.37	1564.34	1396.14	0.8925
18	6.84	6.51	1436.90	1299.16	0.9041
19	7.02	6.67	1878.62	1701.46	0.9057
20	6.84	6.41	1913.36	1676.22	0.8761
21	6.56	6.22	1380.24	1233.37	0.8936
22	6.30	5.97	1211.82	1078.38	0.8899
23	6.39	6.03	1396.09	1244.01	0.8911
24	6.56	6.30	2697.26	2490.83	0.9235
total	6.53	6.23	39488.36	36243.13	0.9178

Tabla 9: Resultados para WAsP+UPMPARK con datos de N6 a 20m.

TURBINA	VELOCIDAD OROGRÁFICA (m/s)	VELOCIDAD CON OROGRAFÍA Y ESTELAS (m/s)	PRODUCCIÓN OROGRÁFICA (MWh/año)	PRODUCCIÓN CON OROGRAFÍA Y ESTELAS (MWh/año)	EFICIENCIA
1	6.50	6.40	3004.64	2946.18	0.9805
2	6.60	6.26	1790.17	1620.19	0.9051
3	6.60	6.31	1703.45	1570.44	0.9219
4	6.50	6.32	1401.32	1331.96	0.9505
5	6.41	6.17	1283.87	1189.13	0.9262
6	6.58	6.26	1479.88	1352.28	0.9138
7	6.31	5.98	1553.09	1414.95	0.9111
8	6.13	5.79	1564.20	1410.39	0.9017
9	6.05	5.80	1098.47	1020.47	0.9290
10	6.05	5.79	1242.53	1150.61	0.9260
11	5.96	5.74	1154.22	1087.45	0.9422
12	6.05	5.84	1781.37	1679.81	0.9430
13	5.98	5.74	1496.92	1415.90	0.9459
14	6.08	5.82	1448.89	1361.23	0.9395
15	6.25	6.02	1304.26	1242.22	0.9524
16	6.50	6.24	1936.66	1827.89	0.9438
17	6.50	6.21	1480.10	1380.42	0.9327
18	6.59	6.34	1331.60	1259.80	0.9461
19	6.68	6.40	1742.20	1631.27	0.9363
20	6.59	6.25	1776.12	1625.26	0.9151
21	6.32	6.06	1294.54	1207.32	0.9326
22	6.05	5.77	1127.27	1027.94	0.9119
23	6.14	5.82	1294.58	1177.32	0.9094
24	6.22	6.00	2498.87	2346.60	0.9391
total	6.32	6.06	37789.22	35277.02	0.9335

Tabla 10: Resultados para WAsP+UPMPARK con datos de N6 a 46m.



TURBINA	VELOCIDAD OROGRÁFICA (m/s)	VELOCIDAD CON OROGRAFÍA Y ESTELAS (m/s)	PRODUCCIÓN OROGRÁFICA (MWh/año)	PRODUCCIÓN CON OROGRAFÍA Y ESTELAS (MWh/año)	EFICIENCIA
1	6.56	6.48	3025.94	2978.30	0.9843
2	6.65	6.37	1808.79	1629.01	0.9006
3	6.74	6.50	1724.40	1603.16	0.9297
4	6.65	6.51	1404.02	1348.70	0.9606
5	6.56	6.40	1278.88	1211.16	0.9471
6	6.64	6.42	1472.19	1376.06	0.9347
7	6.38	6.15	1537.23	1429.35	0.9298
8	6.29	6.04	1543.57	1416.75	0.9178
9	6.11	5.95	1078.91	1028.92	0.9537
10	6.11	5.93	1226.68	1157.88	0.9439
11	6.11	5.97	1126.33	1086.80	0.9649
12	6.11	5.97	1752.77	1685.81	0.9618
13	6.12	5.90	1497.05	1410.56	0.9422
14	6.13	5.89	1449.90	1360.77	0.9385
15	6.39	6.19	1304.13	1258.05	0.9647
16	6.56	6.34	1942.35	1849.70	0.9523
17	6.64	6.39	1475.79	1386.27	0.9393
18	6.64	6.43	1317.06	1263.70	0.9595
19	6.73	6.49	1734.81	1629.55	0.9393
20	6.64	6.35	1764.03	1619.56	0.9181
21	6.38	6.18	1269.29	1203.77	0.9484
22	6.11	5.90	1097.92	1028.93	0.9372
23	6.20	5.95	1260.01	1167.59	0.9267
24	6.29	6.10	2424.99	2288.81	0.9438
total	6.41	6.20	37517.04	35419.17	0.9441

Tabla 11: Resultados para WAsP+UPMPARK con datos de N12 a 20m.

TURBINA	VELOCIDAD OROGRÁFICA (m/s)	VELOCIDAD CON OROGRAFÍA Y ESTELAS (m/s)	PRODUCCIÓN OROGRÁFICA (MWh/año)	PRODUCCIÓN CON OROGRAFÍA Y ESTELAS (MWh/año)	EFICIENCIA
1	6.48	6.38	2965.70	2905.39	0.9797
2	6.57	6.26	1773.37	1596.34	0.9002
3	6.66	6.40	1687.88	1560.68	0.9246
4	6.56	6.39	1374.84	1306.53	0.9503
5	6.47	6.27	1251.81	1171.19	0.9356
6	6.56	6.31	1437.64	1331.08	0.9259
7	6.29	6.03	1500.39	1383.44	0.9221
8	6.11	5.84	1510.92	1376.04	0.9107
9	6.03	5.84	1059.94	1000.15	0.9436
10	6.03	5.83	1205.39	1128.60	0.9363
11	6.03	5.86	1106.92	1058.18	0.9560
12	6.11	5.95	1649.39	1574.59	0.9547
13	6.04	5.82	1476.25	1393.84	0.9442
14	6.05	5.81	1430.94	1341.51	0.9375
15	6.31	6.11	1285.98	1237.72	0.9625
16	6.39	6.17	1983.14	1884.35	0.9502
17	6.56	6.30	1448.22	1357.15	0.9371
18	6.56	6.34	1287.98	1228.36	0.9537
19	6.65	6.40	1692.49	1583.71	0.9357
20	6.56	6.25	1724.75	1573.09	0.9121
21	6.29	6.06	1243.28	1164.37	0.9365
22	6.03	5.80	1076.55	996.18	0.9253
23	6.12	5.85	1235.29	1134.34	0.9183
24	6.20	6.00	2381.28	2241.71	0.9414
total	6.32	6.09	36790.34	34528.52	0.9385

Tabla 12: Resultados para WAsP+UPMPARK con datos de N12 a 40m.



TURBINA	VELOCIDAD OROGRÁFICA (m/s)	VELOCIDAD CON OROGRAFÍA Y ESTELAS (m/s)	PRODUCCIÓN OROGRÁFICA (MWh/año)	PRODUCCIÓN CON OROGRAFÍA Y ESTELAS (MWh/año)	EFICIENCIA
1	7.01	6.91	3433.32	3367.73	0.9809
2	7.03	6.70	2006.83	1829.71	0.9117
3	7.15	6.79	1920.43	1727.23	0.8994
4	7.16	6.89	1641.06	1500.72	0.9145
5	7.07	6.81	1621.52	1492.73	0.9206
6	7.22	6.90	1751.88	1604.62	0.9159
7	6.90	6.57	1781.92	1625.16	0.9120
8	6.73	6.37	1816.78	1626.64	0.8953
9	6.58	6.32	1424.85	1315.05	0.9229
10	6.67	6.39	1505.49	1385.12	0.9201
11	6.68	6.46	1416.34	1336.72	0.9438
12	6.67	6.45	2134.82	2005.10	0.9392
13	6.54	6.30	1735.30	1639.49	0.9448
14	6.51	6.22	1606.26	1487.36	0.9260
15	6.67	6.40	1441.34	1345.12	0.9332
16	6.98	6.64	2196.71	2012.83	0.9163
17	7.15	6.76	1726.31	1540.69	0.8925
18	7.08	6.73	1644.39	1486.77	0.9041
19	7.20	6.84	1966.72	1781.25	0.9057
20	7.11	6.67	2039.12	1786.39	0.8761
21	6.89	6.54	1517.16	1355.72	0.8936
22	6.76	6.41	1506.85	1340.93	0.8899
23	6.77	6.38	1560.63	1390.63	0.8911
24	6.86	6.58	2997.44	2768.03	0.9235
total	6.89	6.58	44393.47	40751.73	0.9180

Tabla 13: Resultados para UPMORO+UPMPARK con datos de N6 a 20m.

TURBINA	VELOCIDAD OROGRÁFICA (m/s)	VELOCIDAD CON OROGRAFÍA Y ESTELAS (m/s)	PRODUCCIÓN OROGRÁFICA (MWh/año)	PRODUCCIÓN CON OROGRAFÍA Y ESTELAS (MWh/año)	EFICIENCIA
1	6.33	6.24	2714.98	2662.15	0.9805
2	6.29	5.97	1555.45	1407.76	0.9051
3	6.47	6.19	1533.91	1414.14	0.9219
4	6.55	6.37	1334.94	1268.86	0.9505
5	6.53	6.29	1374.77	1273.32	0.9262
6	6.75	6.42	1501.54	1372.07	0.9138
7	6.47	6.14	1527.97	1392.06	0.9111
8	6.26	5.92	1539.21	1387.86	0.9017
9	6.09	5.84	1205.28	1119.70	0.9290
10	6.15	5.88	1254.93	1162.09	0.9260
11	6.20	5.97	1186.66	1118.02	0.9422
12	6.19	5.97	1793.50	1691.24	0.9430
13	5.82	5.59	1317.60	1246.29	0.9459
14	5.73	5.49	1165.57	1095.05	0.9395
15	5.88	5.66	1038.33	988.94	0.9524
16	6.24	5.99	1701.69	1606.12	0.9438
17	6.52	6.23	1406.34	1311.63	0.9327
18	6.48	6.23	1356.64	1283.49	0.9461
19	6.57	6.30	1582.38	1481.62	0.9363
20	6.48	6.15	1652.00	1511.68	0.9151
21	6.30	6.04	1218.97	1136.84	0.9326
22	6.20	5.91	1247.48	1137.55	0.9119
23	6.22	5.89	1274.83	1159.36	0.9094
24	6.32	6.09	2447.39	2298.26	0.9391
total	6.29	6.03	35932.36	33526.10	0.9330

Tabla 14: Resultados para UPMORO+UPMPARK con datos de N6 a 46m.



TURBINA	VELOCIDAD OROGRÁFICA (m/s)	VELOCIDAD CON OROGRAFÍA Y ESTELAS (m/s)	PRODUCCIÓN OROGRÁFICA (MWh/año)	PRODUCCIÓN CON OROGRAFÍA Y ESTELAS (MWh/año)	EFICIENCIA
1	6.51	6.43	2976.00	2929.14	0.9843
2	6.46	6.19	1707.32	1537.63	0.9006
3	6.63	6.40	1679.27	1561.20	0.9297
4	6.70	6.56	1456.65	1399.26	0.9606
5	6.68	6.51	1484.65	1406.04	0.9471
6	6.90	6.67	1627.82	1521.52	0.9347
7	6.62	6.38	1656.80	1540.53	0.9298
8	6.40	6.15	1662.49	1525.90	0.9178
9	6.22	6.05	1286.69	1227.08	0.9537
10	6.27	6.09	1339.28	1264.16	0.9439
11	6.33	6.18	1273.47	1228.77	0.9649
12	6.32	6.18	1929.21	1855.51	0.9618
13	5.94	5.72	1411.78	1330.22	0.9422
14	5.86	5.63	1267.47	1189.56	0.9385
15	6.02	5.83	1134.45	1094.37	0.9647
16	6.40	6.18	1864.21	1775.29	0.9523
17	6.68	6.43	1531.28	1438.40	0.9393
18	6.66	6.45	1481.84	1421.81	0.9595
19	6.76	6.52	1751.14	1644.89	0.9393
20	6.66	6.37	1807.90	1659.84	0.9181
21	6.45	6.25	1335.03	1266.11	0.9484
22	6.35	6.13	1342.87	1258.48	0.9372
23	6.38	6.12	1388.24	1286.41	0.9267
24	6.48	6.28	2669.88	2519.95	0.9438
total	6.44	6.24	39065.74	36882.07	0.9441

Tabla 15: Resultados para UPMORO+UPMPARK con datos de N12 a 20m.

TURBINA	VELOCIDAD OROGRÁFICA (m/s)	VELOCIDAD CON OROGRAFÍA Y ESTELAS (m/s)	PRODUCCIÓN OROGRÁFICA (MWh/año)	PRODUCCIÓN CON OROGRAFÍA Y ESTELAS (MWh/año)	EFICIENCIA
1	6.22	6.12	2632.91	2579.37	0.9797
2	6.18	5.89	1506.09	1355.74	0.9002
3	6.34	6.09	1491.10	1378.73	0.9246
4	6.40	6.23	1271.01	1207.86	0.9503
5	6.38	6.18	1332.14	1246.34	0.9356
6	6.59	6.34	1454.92	1347.08	0.9259
7	6.32	6.06	1463.29	1349.23	0.9221
8	6.12	5.85	1468.38	1337.30	0.9107
9	5.94	5.75	1138.31	1074.10	0.9436
10	6.00	5.80	1175.67	1100.78	0.9363
11	6.05	5.88	1111.19	1062.26	0.9560
12	6.04	5.88	1702.95	1625.72	0.9547
13	5.68	5.47	1244.18	1174.72	0.9442
14	5.61	5.39	1103.43	1034.47	0.9375
15	5.76	5.58	980.62	943.82	0.9625
16	6.12	5.91	1639.01	1557.36	0.9502
17	6.38	6.13	1363.70	1277.94	0.9371
18	6.36	6.15	1322.96	1261.72	0.9537
19	6.46	6.21	1549.60	1450.00	0.9357
20	6.36	6.06	1611.05	1469.38	0.9121
21	6.16	5.94	1159.45	1085.86	0.9365
22	6.07	5.84	1193.98	1104.84	0.9253
23	6.10	5.83	1224.36	1124.30	0.9183
24	6.19	5.99	2342.38	2205.09	0.9414
total	6.16	5.94	34482.68	32354.02	0.9383

Tabla 16: Resultados para UPMORO+UPMPARK con datos de N12 a 40m.





Programa	WAsP	WAsP	WAsP	WAsP	UPMORO	UPMORO	UPMORO	UPMORO	MEDICIONES
Torre	N6	N6	N12	N12	N6	N6	N12	N12	
Altura	20	46	20	40	20	46	20	40	
1	6.56	6.40	6.48	6.38	6.91	6.24	6.43	6.12	7.15
2	6.43	6.26	6.37	6.26	6.70	5.97	6.19	5.89	6.90
3	6.40	6.31	6.50	6.40	6.79	6.19	6.40	6.09	7.17
4	6.48	6.32	6.51	6.39	6.89	6.37	6.56	6.23	7.37
5	6.40	6.17	6.40	6.27	6.81	6.29	6.51	6.18	6.60
6	6.43	6.26	6.42	6.31	6.90	6.42	6.67	6.34	7.37
7	6.25	5.98	6.15	6.03	6.57	6.14	6.38	6.06	6.80
8	6.04	5.79	6.04	5.84	6.37	5.92	6.15	5.85	6.48
9	5.96	5.80	5.95	5.84	6.32	5.84	6.05	5.75	6.04
10	5.94	5.79	5.93	5.83	6.39	5.88	6.09	5.80	6.85
11	6.00	5.74	5.97	5.86	6.46	5.97	6.18	5.88	6.68
12	5.99	5.84	5.97	5.95	6.45	5.97	6.18	5.88	6.04
13	5.90	5.74	5.90	5.82	6.30	5.59	5.72	5.47	6.38
14	5.93	5.82	5.89	5.81	6.22	5.49	5.63	5.39	6.45
15	6.13	6.02	6.19	6.11	6.40	5.66	5.83	5.58	6.80
16	6.33	6.24	6.34	6.17	6.64	5.99	6.18	5.91	6.92
17	6.37	6.21	6.39	6.30	6.76	6.23	6.43	6.13	7.44
18	6.51	6.34	6.43	6.34	6.73	6.23	6.45	6.15	6.51
19	6.67	6.40	6.49	6.40	6.84	6.30	6.52	6.21	7.05
20	6.41	6.25	6.35	6.25	6.67	6.15	6.37	6.06	6.70
21	6.22	6.06	6.18	6.06	6.54	6.04	6.25	5.94	6.46
22	5.97	5.77	5.90	5.80	6.41	5.91	6.13	5.84	5.79
23	6.03	5.82	5.95	5.85	6.38	5.89	6.12	5.83	6.53
24	6.30	6.00	6.10	6.00	6.58	6.09	6.28	5.99	6.60
Media	6.2	6.1	6.2	6.1	6.6	6.0	6.2	5.9	6.7

Tabla 17: Resultados comparativos en velocidades (m/s).

Programa	WAsP	WAsP	WAsP	WAsP	UPMORO	UPMORO	UPMORO	UPMORO	MEDICIONES
Torre	N6	N6	N12	N12	N6	N6	N12	N12	
Altura	20	46	20	40	20	46	20	40	
1	2346.6	2266.3	2291.0	2234.9	2590.6	2047.8	2253.2	1984.1	2412.7
2	2251.6	2160.3	2172.0	2128.5	2439.6	1877.0	2050.2	1807.7	2415.3
3	2394.4	2379.5	2429.0	2364.7	2617.0	2142.6	2365.5	2089.0	2680.5
4	2060.5	2081.2	2107.3	2041.5	2344.9	1982.6	2186.3	1887.3	2340.1
5	2036.2	1981.9	2018.6	1952.0	2487.9	2122.2	2343.4	2077.2	2229.4
6	2142.9	2048.9	2084.9	2016.8	2431.2	2078.9	2305.3	2041.0	2178.2
7	2241.1	2143.9	2165.7	2096.1	2462.4	2109.2	2334.1	2044.3	2270.0
8	1936.0	1880.5	1889.0	1834.7	2168.9	1850.5	2034.5	1783.1	2061.8
9	1717.3	1700.8	1714.9	1666.9	2191.8	1866.2	2045.1	1790.2	1805.1
10	1749.5	1743.3	1754.4	1710.0	2098.7	1760.7	1915.4	1667.8	1900.8
11	1746.6	1699.1	1698.1	1653.4	2088.6	1746.9	1920.0	1659.8	1886.0
12	1924.1	1866.5	1873.1	1749.5	2227.9	1879.2	2061.7	1806.4	2031.8
13	1889.6	1887.9	1880.7	1858.5	2186.0	1661.7	1773.6	1566.3	2078.5
14	2062.4	2062.5	2061.8	2032.6	2253.6	1659.2	1802.4	1567.4	
15	1947.2	1941.0	1965.7	1933.9	2101.8	1545.2	1710.0	1474.7	2018.9
16	2323.8	2284.9	2312.1	2355.4	2516.0	2007.7	2219.1	1946.7	2192.7
17	2115.4	2091.5	2100.4	2056.3	2334.4	1987.3	2179.4	1936.3	2173.0
18	2165.3	2099.7	2106.2	2047.3	2478.0	2139.2	2369.7	2102.9	2126.5
19	2578.0	2471.6	2469.0	2399.6	2698.9	2244.9	2492.3	2197.0	2406.0
20	2235.0	2167.0	2159.4	2097.5	2381.9	2015.6	2213.1	1959.2	2353.3
21	1927.1	1886.4	1880.9	1819.3	2118.3	1776.3	1978.3	1696.7	1772.7
22	1797.3	1713.2	1714.9	1660.3	2234.9	1895.9	2097.5	1841.4	1405.6
23	1884.9	1783.8	1769.1	1718.7	2107.0	1756.6	1949.1	1703.5	1630.5
24	1887.0	1777.7	1733.9	1698.3	2097.0	1741.1	1909.1	1670.5	1549.6
Media	2056.6	2005.0	2014.7	1963.6	2319.0	1912.3	2104.5	1845.8	2083.4

Tabla 18: Resultados comparativos en producciones (horas/año).



Tabla 19: Error de las previsiones de velocidades respecto a las medidas.

Programa	WAsP	WAsP	WAsP	WAsP	UPMORO	UPMORO	UPMORO	UPMORO
Torre	N6	N6	N12	N12	N6	N6	N12	N12
Altura	20	46	20	40	20	46	20	40
1	8.3	10.5	9.4	10.8	3.4	12.7	10.1	14.4
2	6.8	9.3	7.7	9.3	2.9	13.5	10.3	14.6
3	10.7	12.0	9.3	10.7	5.3	13.7	10.7	15.1
4	12.1	14.2	11.7	13.3	6.5	13.6	11.0	15.5
5	3.0	6.5	3.0	5.0	3.2	4.7	1.4	6.4
6	12.8	15.1	12.9	14.4	6.4	12.9	9.5	14.0
7	8.1	12.1	9.6	11.3	3.4	9.7	6.2	10.9
8	6.8	10.6	6.8	9.9	1.7	8.6	5.1	9.7
9	1.3	4.0	1.5	3.3	4.6	3.3	0.2	4.8
10	13.3	15.5	13.4	14.9	6.7	14.2	11.1	15.3
11	10.2	14.1	10.6	12.3	3.3	10.6	7.5	12.0
12	0.8	3.3	1.2	1.5	6.8	1.2	2.3	2.6
13	7.5	10.0	7.5	8.8	1.3	12.4	10.3	14.3
14	8.1	9.8	8.7	9.9	3.6	14.9	12.7	16.4
15	9.9	11.5	9.0	10.1	5.9	16.8	14.3	17.9
16	8.5	9.8	8.4	10.8	4.0	13.4	10.7	14.6
17	14.4	16.5	14.1	15.3	9.1	16.3	13.6	17.6
18	0.0	2.6	1.2	2.6	3.4	4.3	0.9	5.5
19	5.4	9.2	7.9	9.2	3.0	10.6	7.5	11.9
20	4.3	6.7	5.2	6.7	0.4	8.2	4.9	9.6
21	3.7	6.2	4.3	6.2	1.2	6.5	3.3	8.0
22	3.1	0.3	1.9	0.2	10.7	2.1	5.9	0.9
23	7.7	10.9	8.9	10.4	2.3	9.8	6.3	10.7
24	4.5	9.1	7.6	9.1	0.3	7.7	4.8	9.2
Media	7.1	9.6	7.6	9.0	4.1	10.1	7.5	11.3

Tabla 20: Error de las previsiones de producción respecto a las medidas.

Programa	WAsP	WAsP	WAsP	WAsP	UPMORO	UPMORO	UPMORO	UPMORO
Torre	N6	N6	N12	N12	N6	N6	N12	N12
Altura	20	46	20	40	20	46	20	40
1	2.7	6.1	5.0	7.4	7.4	15.1	6.6	17.8
2	6.8	10.6	10.1	11.9	1.0	22.3	15.1	25.2
3	10.7	11.2	9.4	11.8	2.4	20.1	11.8	22.1
4	11.9	11.1	9.9	12.8	0.2	15.3	6.6	19.4
5	8.7	11.1	9.5	12.4	11.6	4.8	5.1	6.8
6	1.6	5.9	4.3	7.4	11.6	4.6	5.8	6.3
7	1.3	5.6	4.6	7.7	8.5	7.1	2.8	9.9
8	6.1	8.8	8.4	11.0	5.2	10.2	1.3	13.5
9	4.9	5.8	5.0	7.7	21.4	3.4	13.3	0.8
10	8.0	8.3	7.7	10.0	10.4	7.4	0.8	12.3
11	7.4	9.9	10.0	12.3	10.7	7.4	1.8	12.0
12	5.3	8.1	7.8	13.9	9.7	7.5	1.5	11.1
13	9.1	9.2	9.5	10.6	5.2	20.1	14.7	24.6
14								
15	3.5	3.9	2.6	4.2	4.1	23.5	15.3	27.0
16	6.0	4.2	5.4	7.4	14.7	8.4	1.2	11.2
17	2.7	3.7	3.3	5.4	7.4	8.5	0.3	10.9
18	1.8	1.3	1.0	3.7	16.5	0.6	11.4	1.1
19	7.1	2.7	2.6	0.3	12.2	6.7	3.6	8.7
20	5.0	7.9	8.2	10.9	1.2	14.3	6.0	16.7
21	8.7	6.4	6.1	2.6	19.5	0.2	11.6	4.3
22	27.9	21.9	22.0	18.1	59.0	34.9	49.2	31.0
23	15.6	9.4	8.5	5.4	29.2	7.7	19.5	4.5
24	21.8	14.7	11.9	9.6	35.3	12.4	23.2	7.8
Media	8.0	8.2	7.5	8.9	13.2	11.4	9.9	13.3



Aerogenerador	Menor % de error error absoluto	Modelo orográfico	Estación de medida	Altura de medida
1	3.4	UPMORO	N6	20
2	2.9	UPMORO	N6	20
3	5.3	UPMORO	N6	20
4	6.5	UPMORO	N6	20
5	1.4	UPMORO	N12	20
6	6.4	UPMORO	N6	20
7	3.4	UPMORO	N6	20
8	1.7	UPMORO	N6	20
9	0.2	UPMORO	N12	20
10	6.7	UPMORO	N6	20
11	3.3	UPMORO	N6	20
12	0.8	WAsP	N6	20
13	1.3	UPMORO	N6	20
14	3.6	UPMORO	N6	20
15	5.9	UPMORO	N6	20
16	4.0	UPMORO	N6	20
17	9.1	UPMORO	N6	20
18	0.0	WAsP	N6	20
19	3.0	UPMORO	N6	20
20	0.4	UPMORO	N6	20
21	1.2	UPMORO	N6	20
22	0.2	WAsP	N12	40
23	2.3	UPMORO	N6	20
24	0.3	UPMORO	N6	20

Tabla 21: Mejores resultados absolutos en velocidades.

Aerogenerador	Menor % de error error absoluto	Modelo orográfico	Estación de medida	Altura de medida
1	2.7	WAsP	N6	20
2	1.0	UPMORO	N6	20
3	2.4	UPMORO	N6	20
4	0.2	UPMORO	N6	20
5	4.8	UPMORO	N6	46
6	1.6	WAsP	N6	20
7	1.3	WAsP	N6	20
8	1.3	UPMORO	N12	20
9	0.8	UPMORO	N12	40
10	0.8	UPMORO	N12	20
11	1.8	UPMORO	N12	20
12	1.5	UPMORO	N12	20
13	5.2	UPMORO	N6	20
14				
15	2.6	WAsP	N12	20
16	1.2	UPMORO	N12	20
17	0.3	UPMORO	N12	20
18	0.6	UPMORO	N6	46
19	0.3	WAsP	N12	40
20	1.2	UPMORO	N6	20
21	0.2	UPMORO	N6	46
22	18.1	WAsP	N12	40
23	4.5	UPMORO	N12	40
24	7.8	UPMORO	N12	40

Tabla 22: Mejores resultados absolutos en producciones.

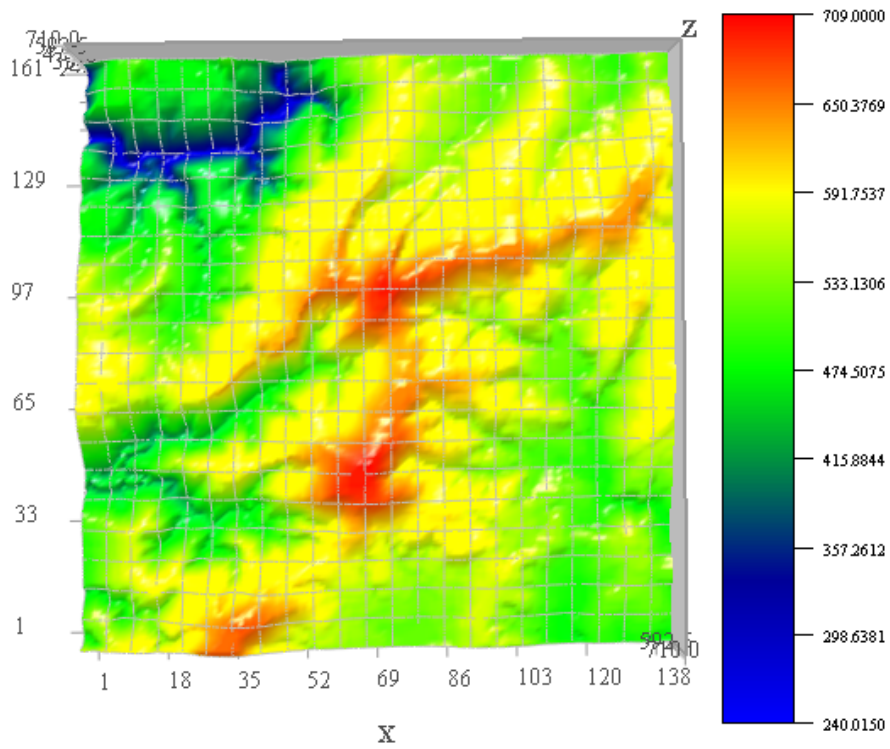


Figura 1: Vista en planta de la zona a estudio.

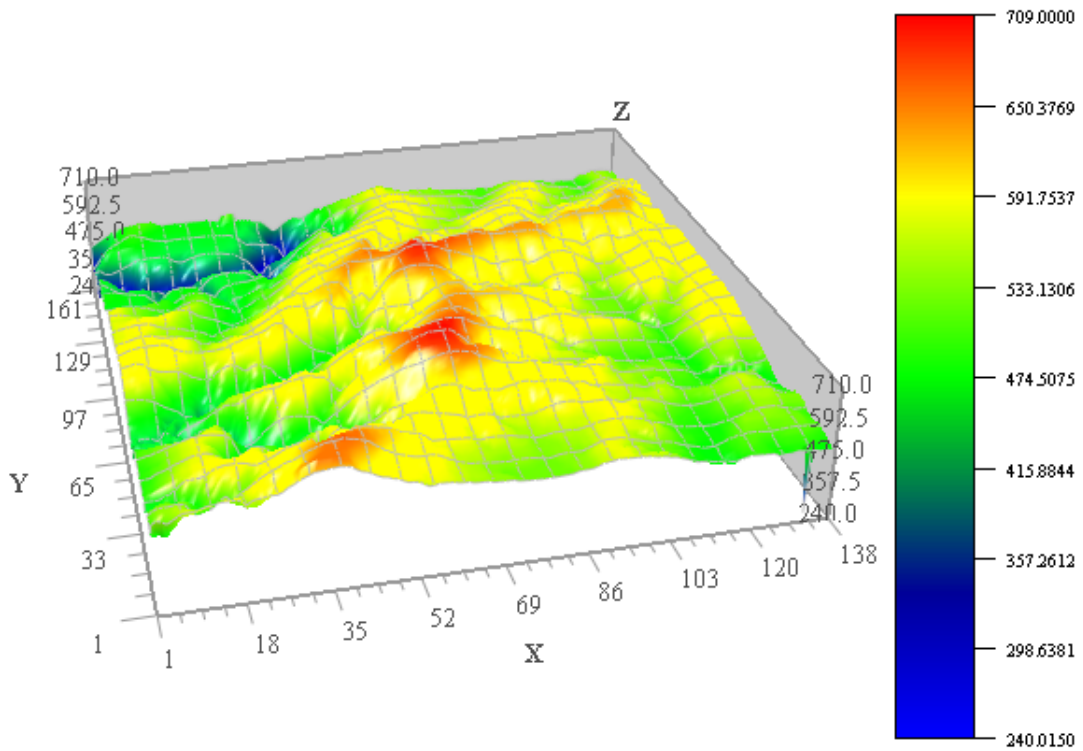


Figura 2: Perspectiva tridimensional de la zona a estudio.

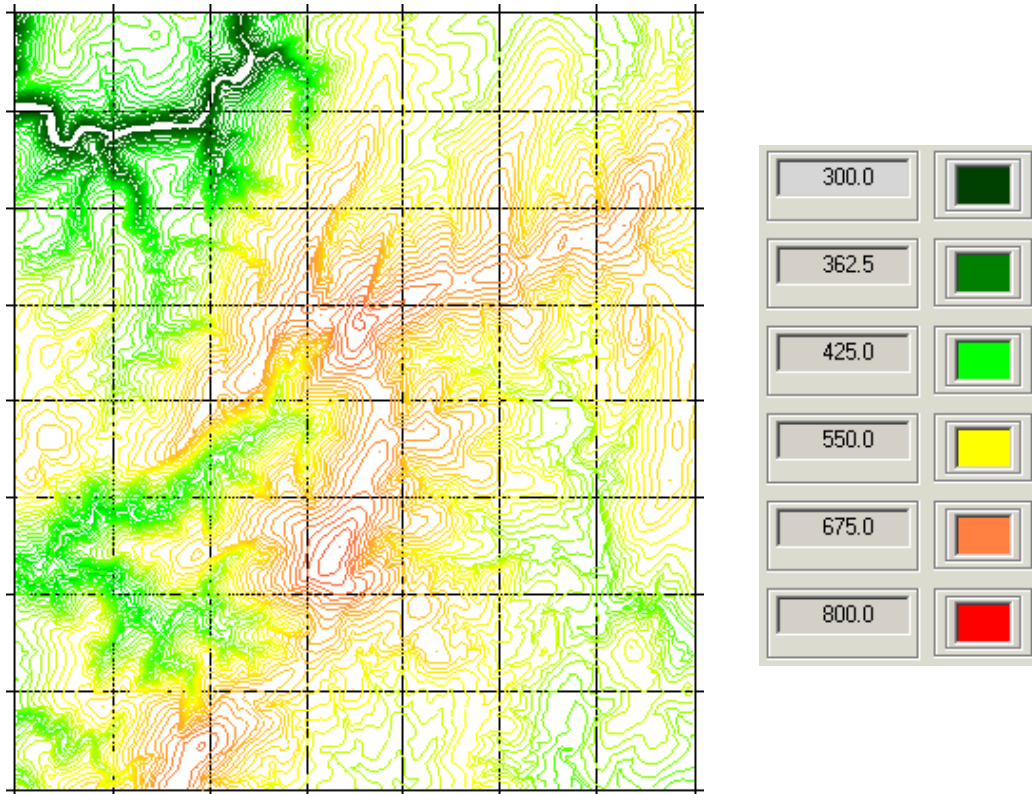


Figura 3: Curvas de nivel de la zona a estudio.

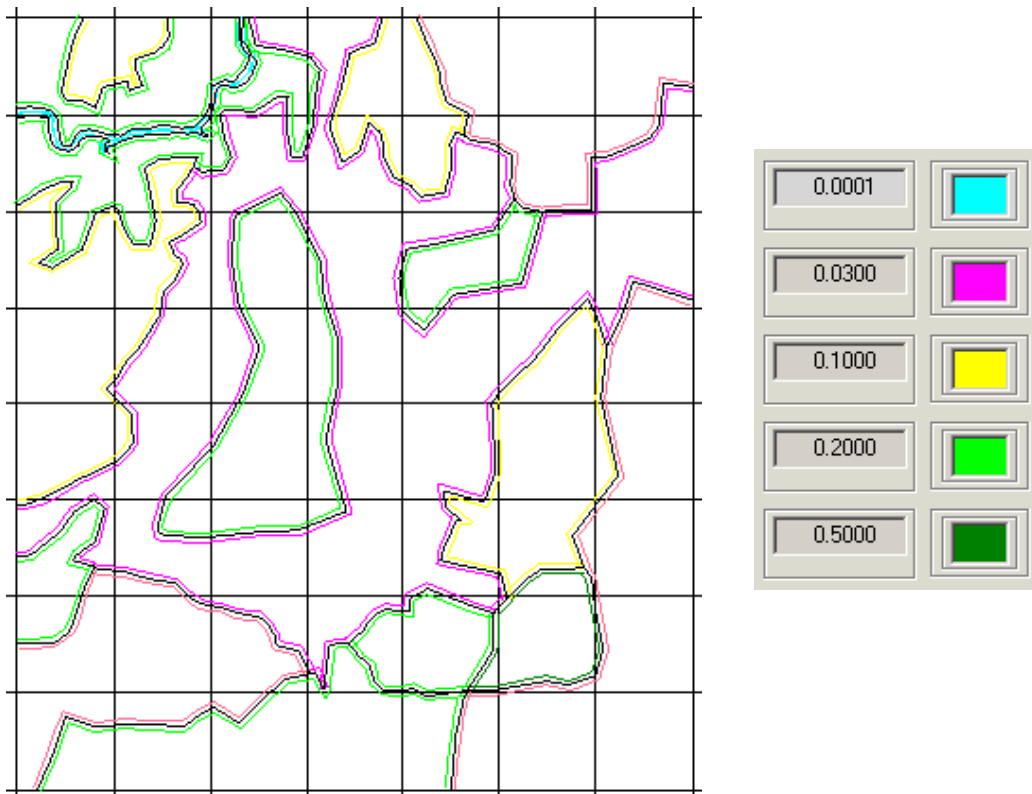


Figura 4: Mapa de rugosidades de la zona a estudio.

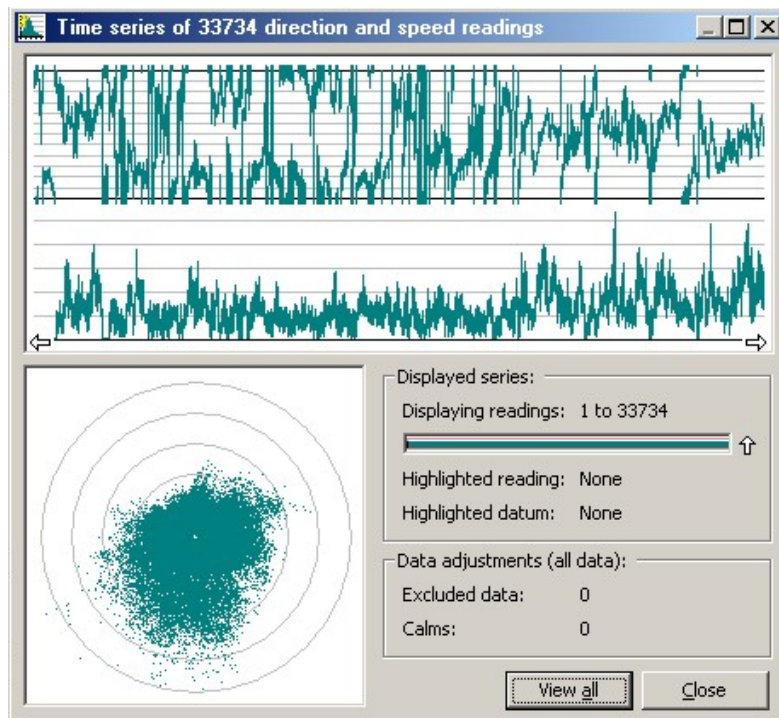


Figura 5: Datos de viento de entre el 02/05/2002 y el 31/12/2002 en módulo y dirección de la estación meteorológica N6 a 20m de altura.

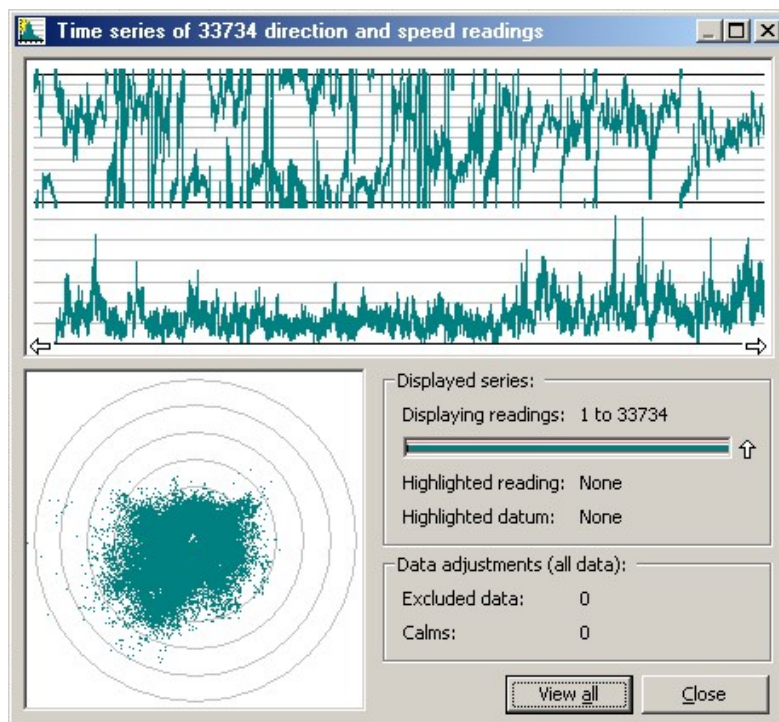


Figura 6: Datos de viento de entre el 02/05/2002 y el 31/12/2002 en módulo y dirección de la estación meteorológica N6 a 46m de altura.

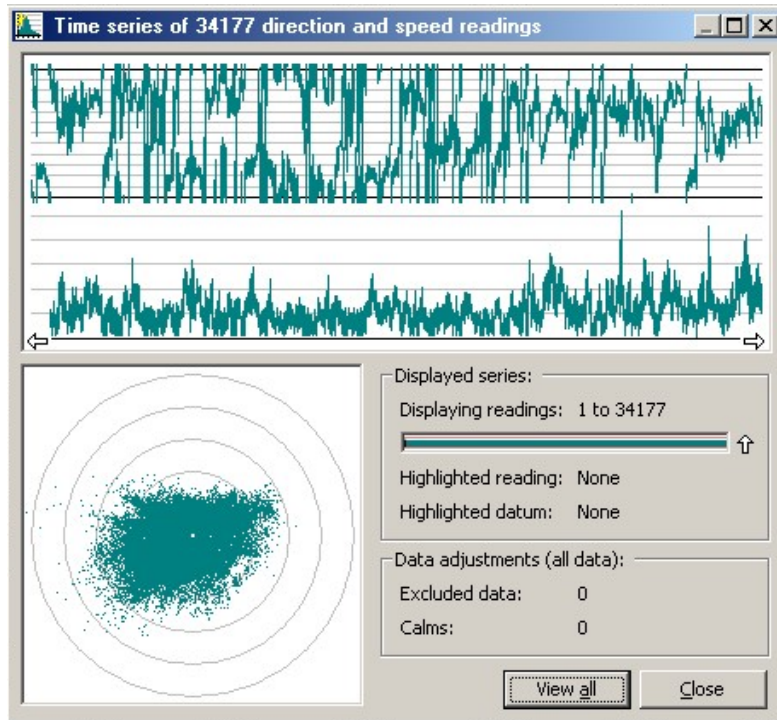


Figura 7: Datos de viento de entre el 03/05/2002 y el 31/12/2002 en módulo y dirección de la estación meteorológica N12 a 20m de altura.

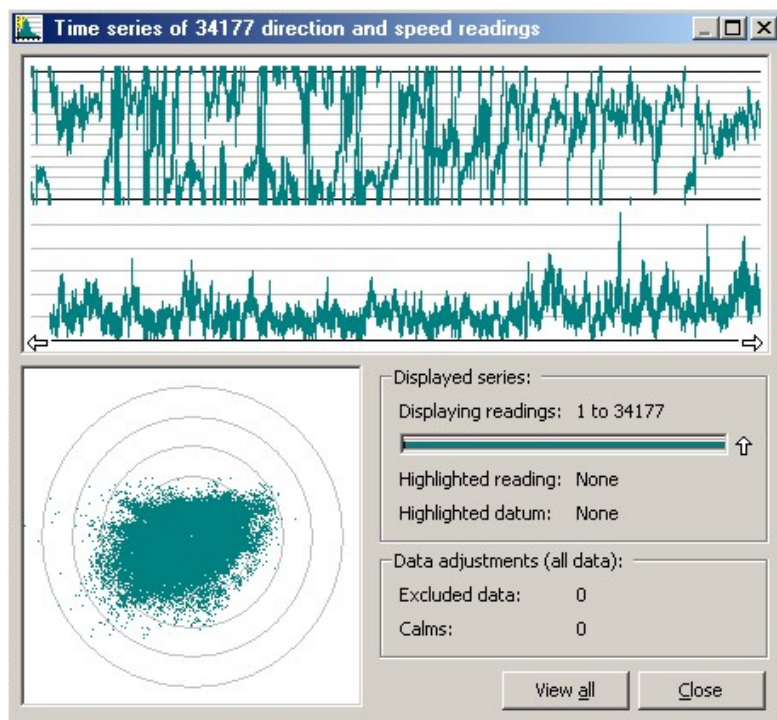


Figura 8: Datos de viento de entre el 03/05/2002 y el 31/12/2002 en módulo y dirección de la estación meteorológica N12 a 420m de altura.

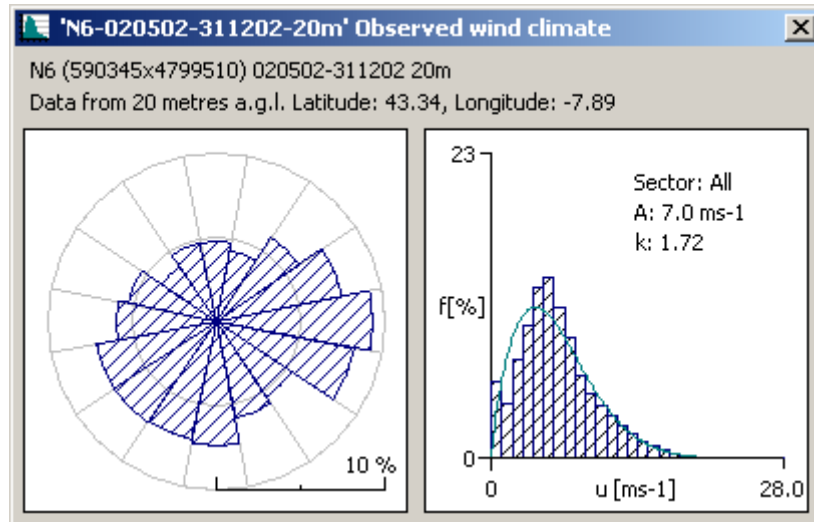


Figura 9: Rosa de vientos en la estación meteorológica N6 a 20 m de altura.

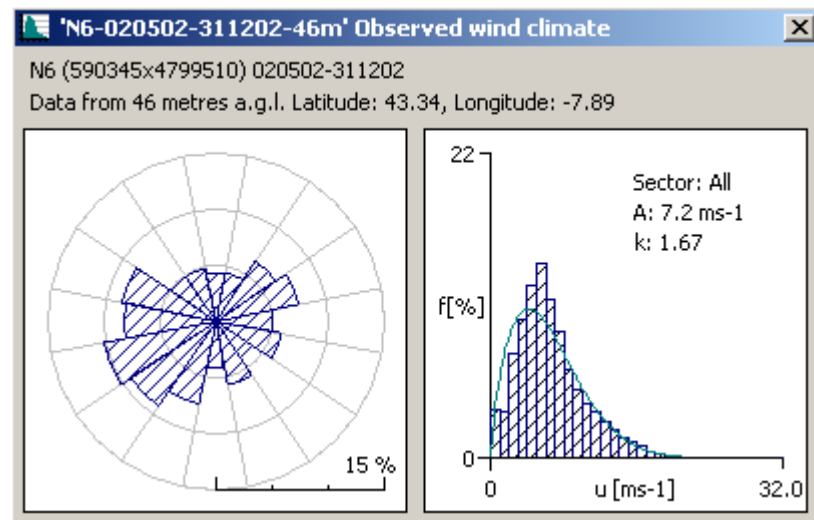


Figura 10: Rosa de vientos en la estación meteorológica N6 a 46 m de altura.

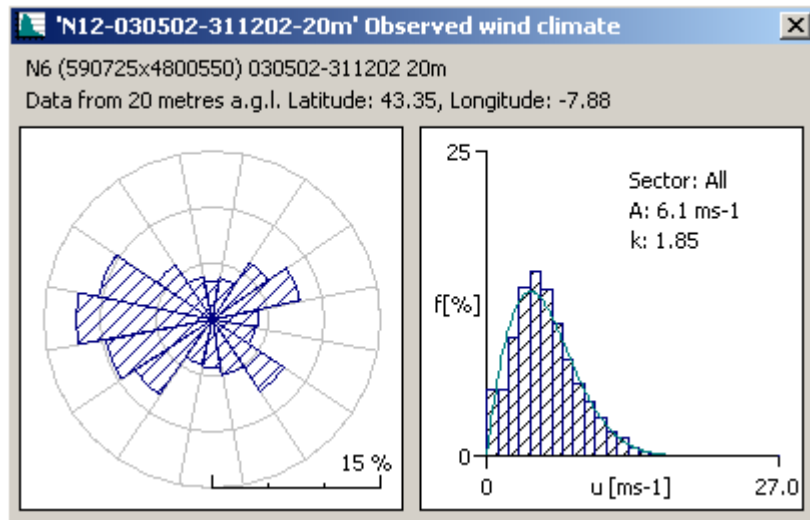


Figura 11: Rosa de vientos en la estación meteorológica N12 a 20 m de altura.

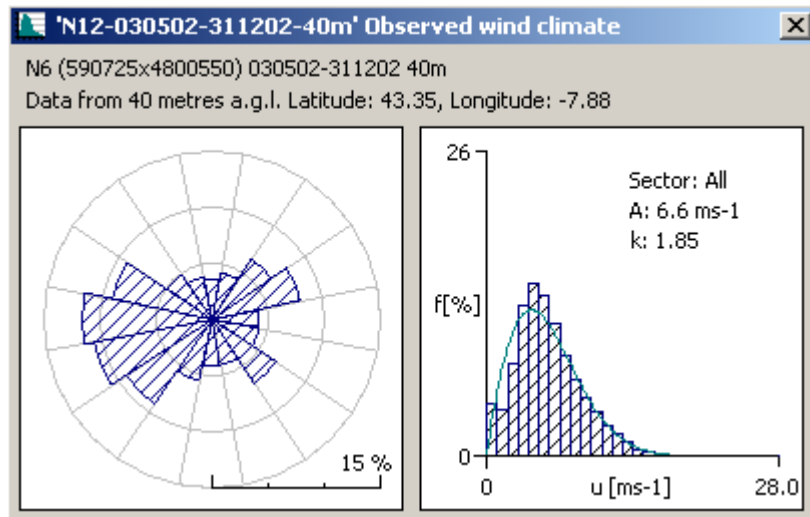


Figura 12: Rosa de vientos en la estación meteorológica N12 a 40 m de altura.

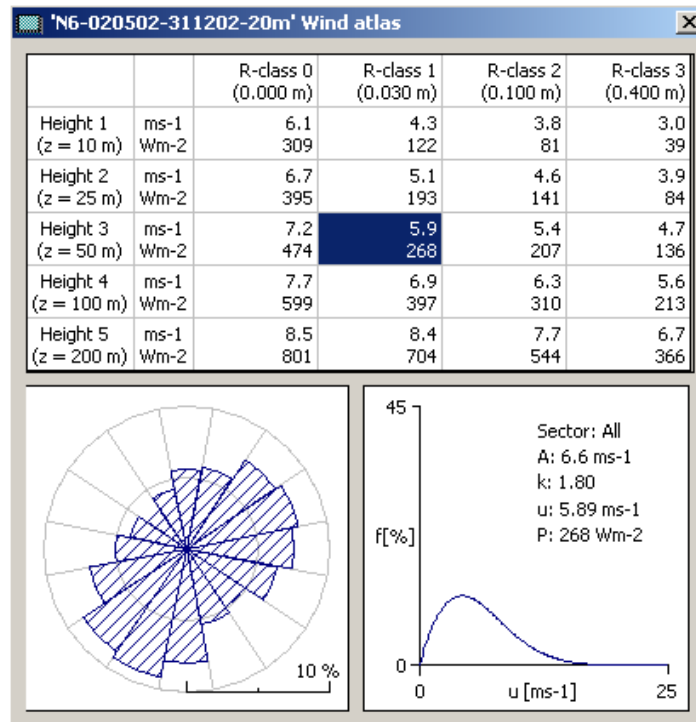


Figura 13: Wind Atlas con los datos de la estación meteorológica N6 a 20 metros de altura.

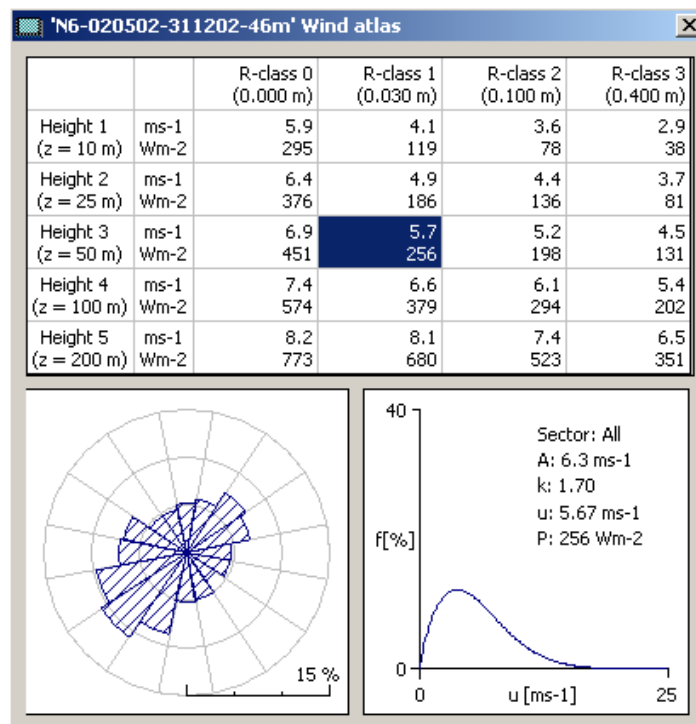


Figura 14: Wind Atlas con los datos de la estación meteorológica N6 a 46 metros de altura.

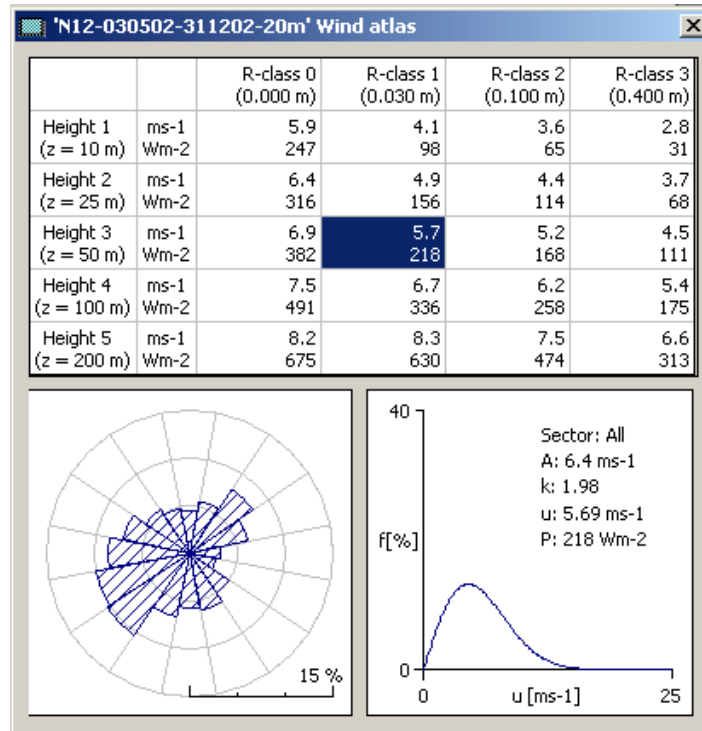


Figura 15: Wind Atlas con los datos de la estación meteorológica N12 a 20 metros de altura.

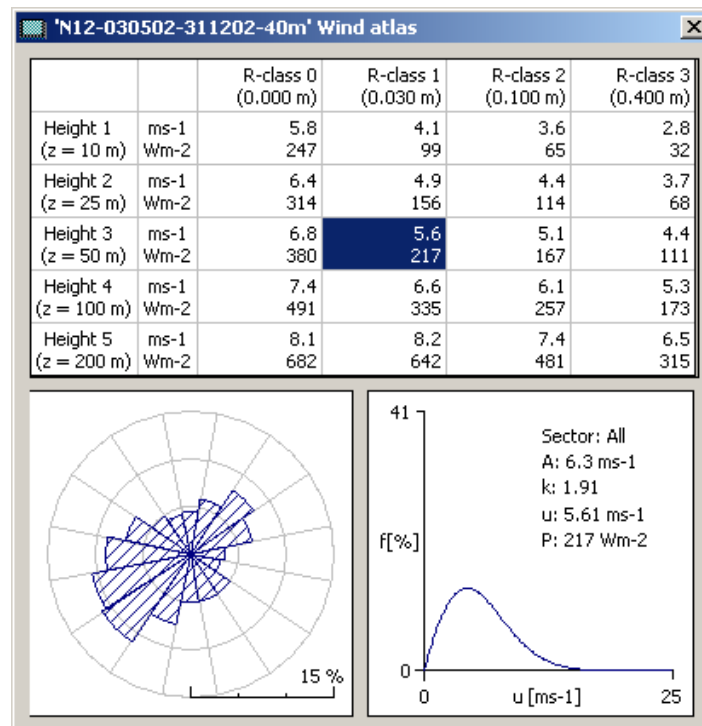


Figura 16: Wind Atlas con los datos de la estación meteorológica N12 a 40 metros de altura.

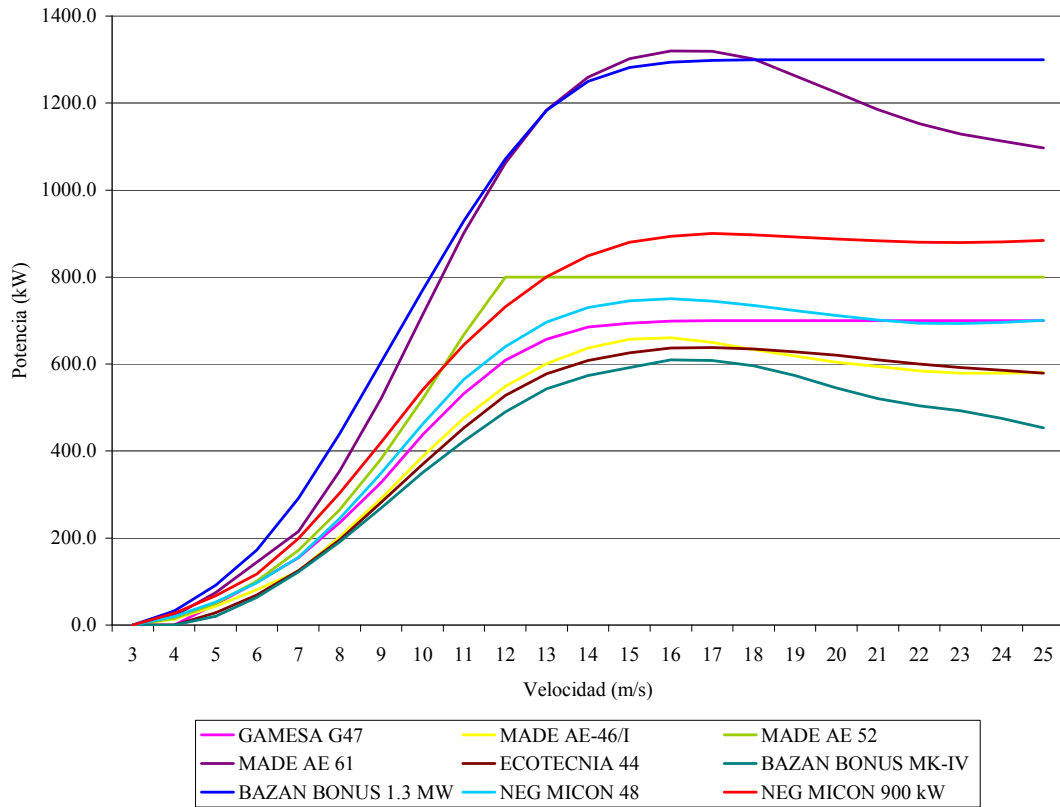


Figura 17: Curvas de potencia a distintas densidades para los aerogeneradores del parque.

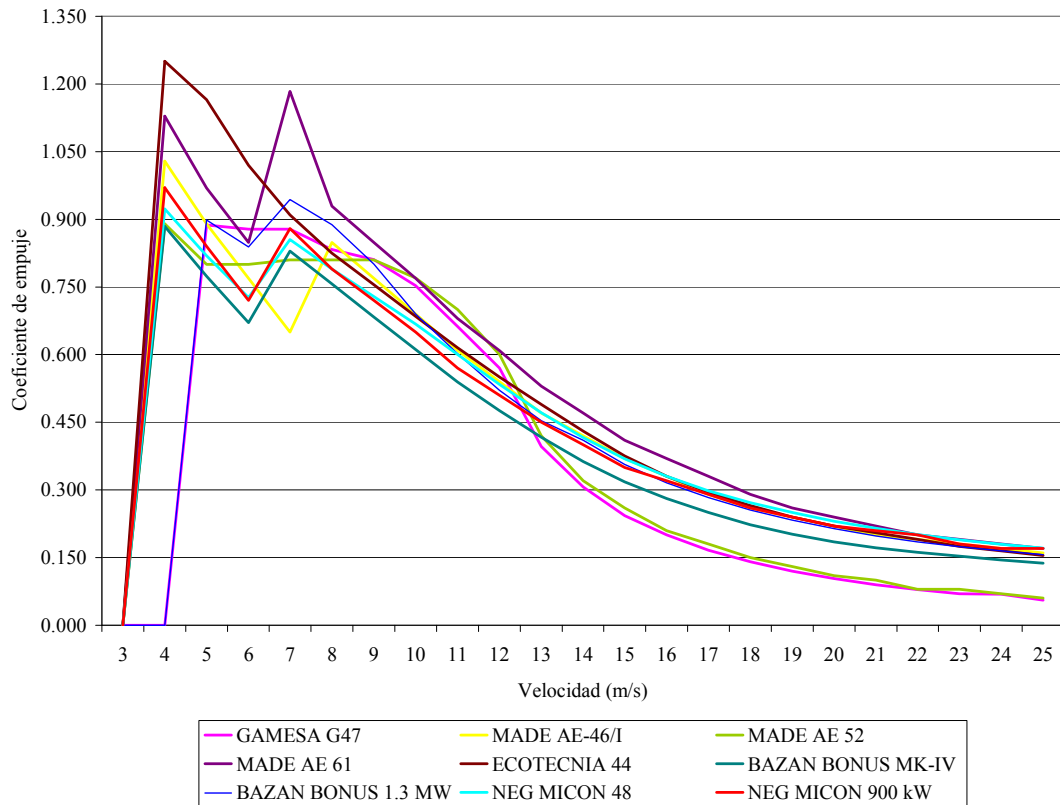


Figura 18: Curvas de coeficientes de empuje a distintas densidades para los aerogeneradores del parque.

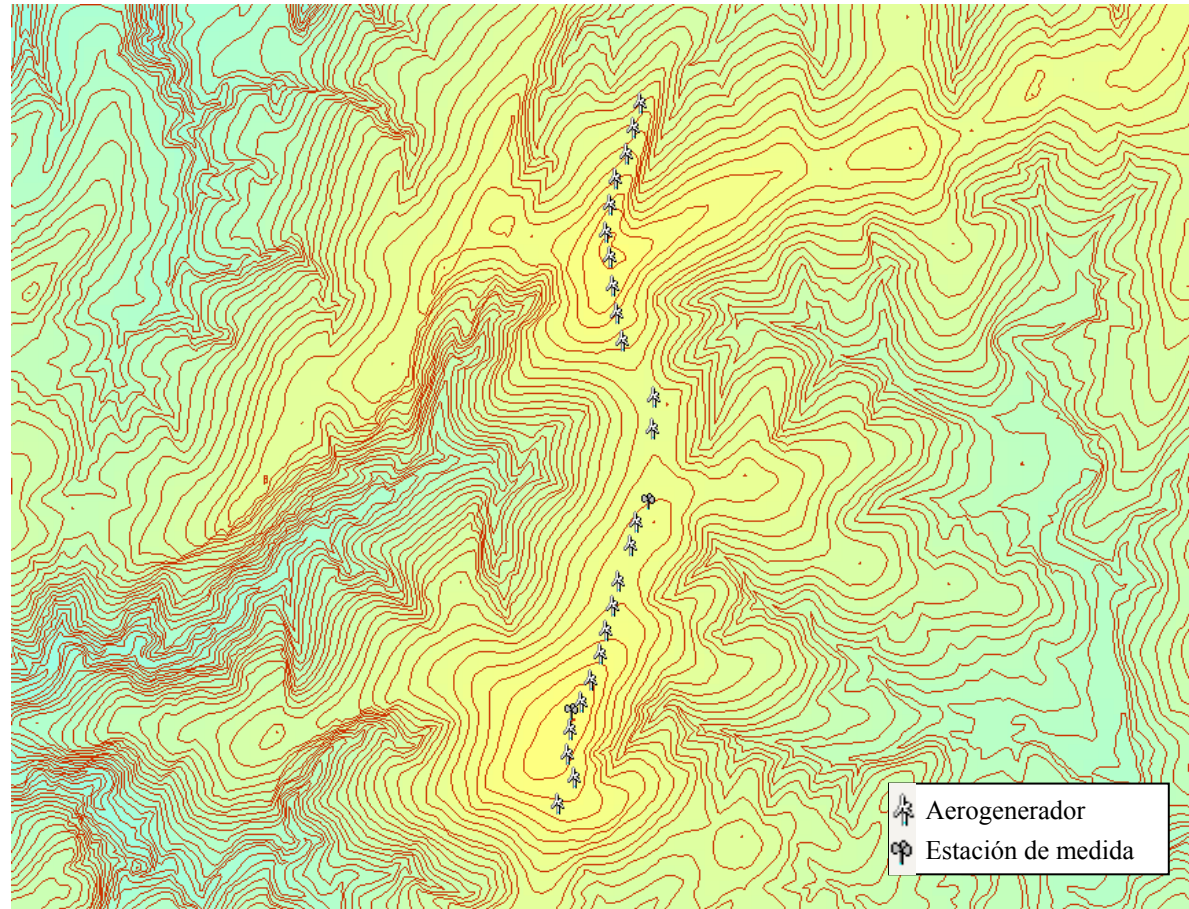


Figura 19 Posiciones de los aerogeneradores y torres de medida con altitud (amarillo para las cimas y azul para los valles).

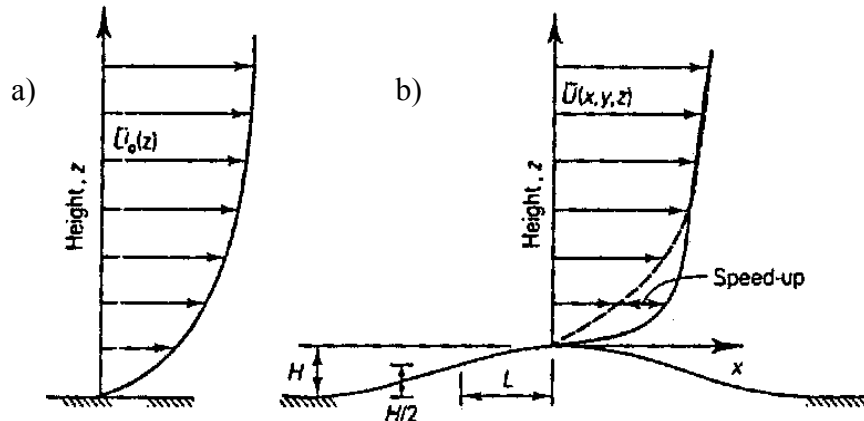


Figura 20: Modelo de Jackson y Hunt: a) Flujo básico sin perturbar. b) Flujo perturbado.

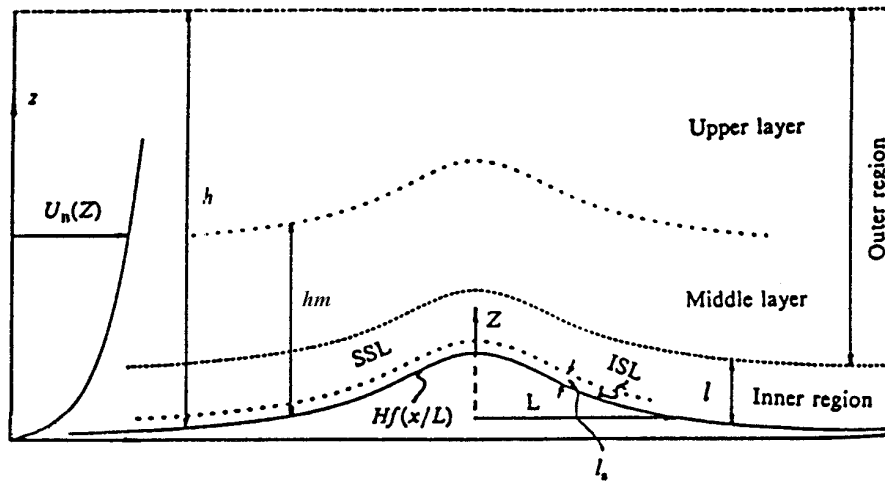


Figura 21: Regiones en que se divide el modelo de Jackson y Hunt.

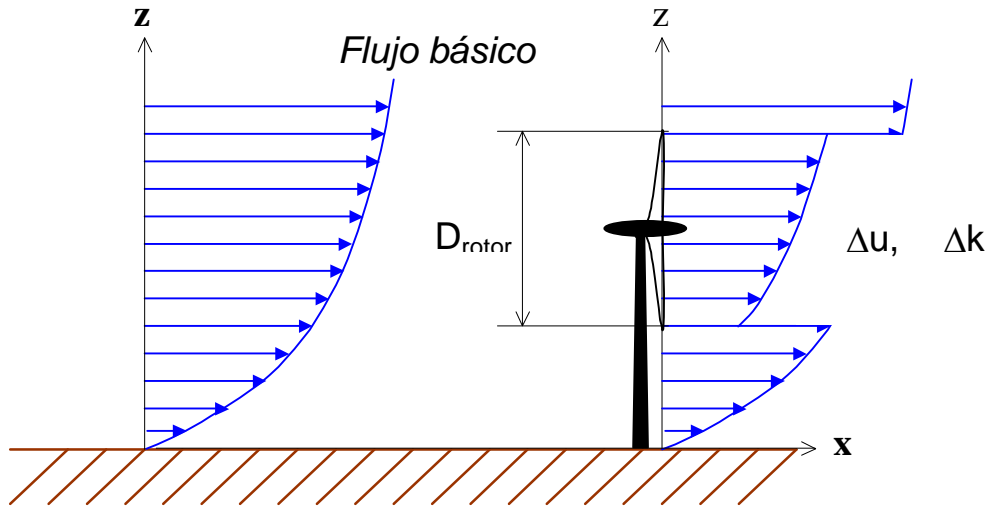


Figura 22: Esquema del modelo de estela aislada: UPMWAKE.

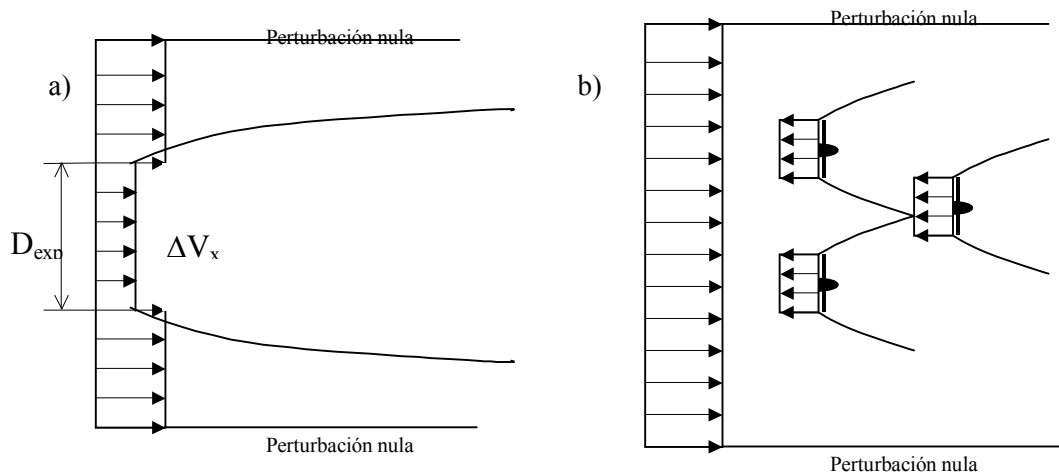


Figura 23: a) Vista plana del modelo de estela simple UPMWAKE. b) Vista plana del modelo de estela múltiple UPMPARK.

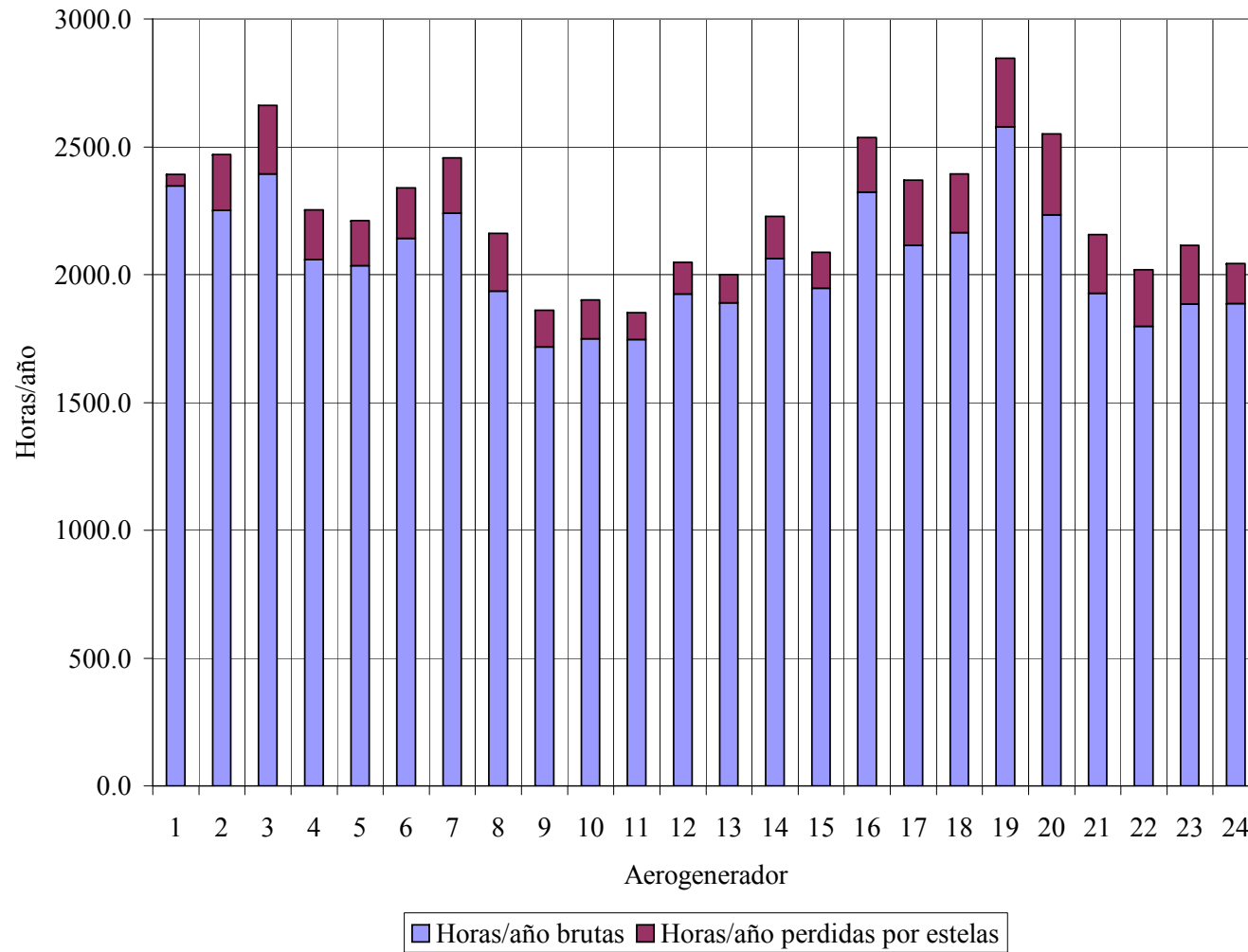


Figura 24: Horas/año para WASP+UPMPARK con datos de N6 a 20m.

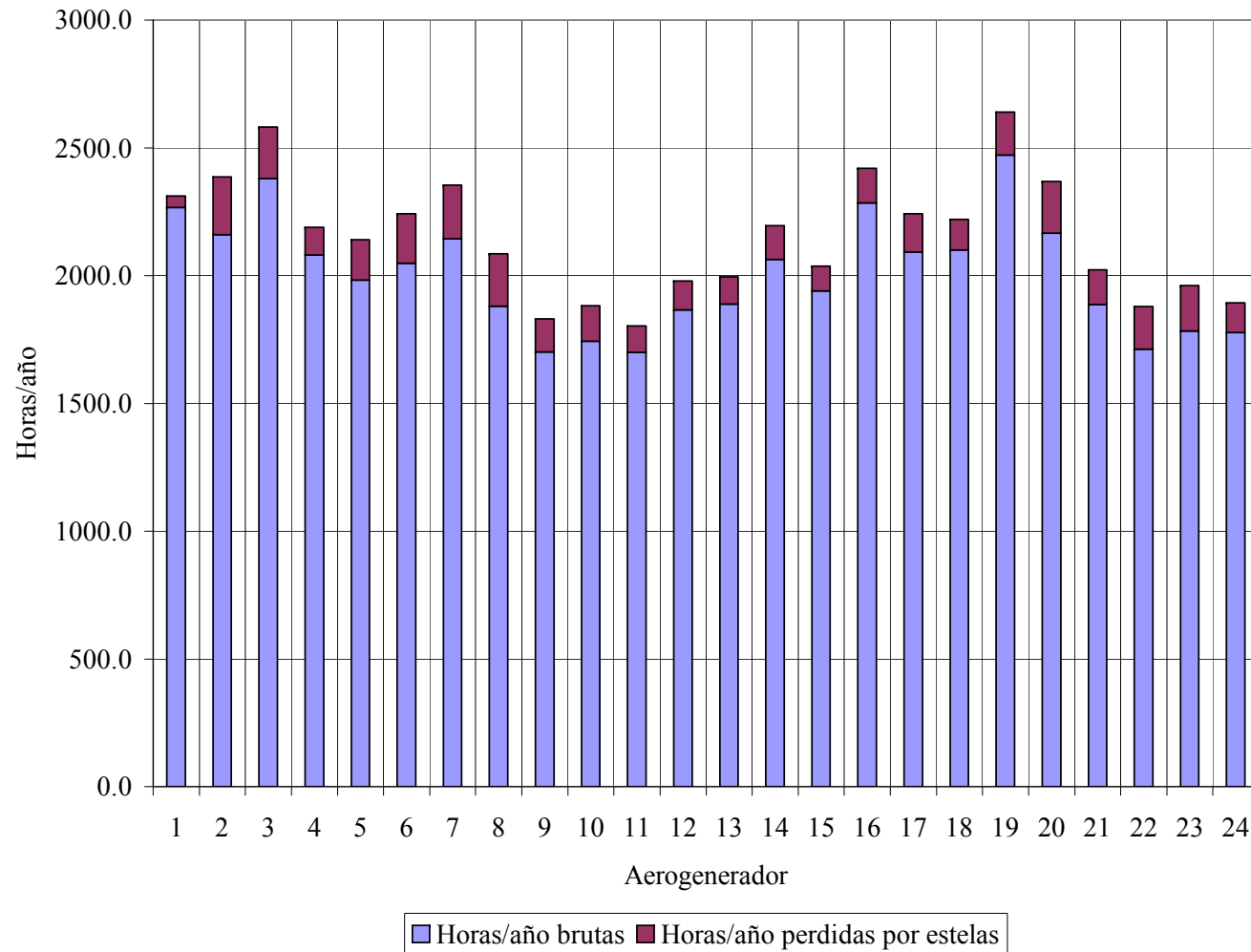


Figura 25: Horas/año para WAsP+UPMPARK con datos de N6 a 46m.

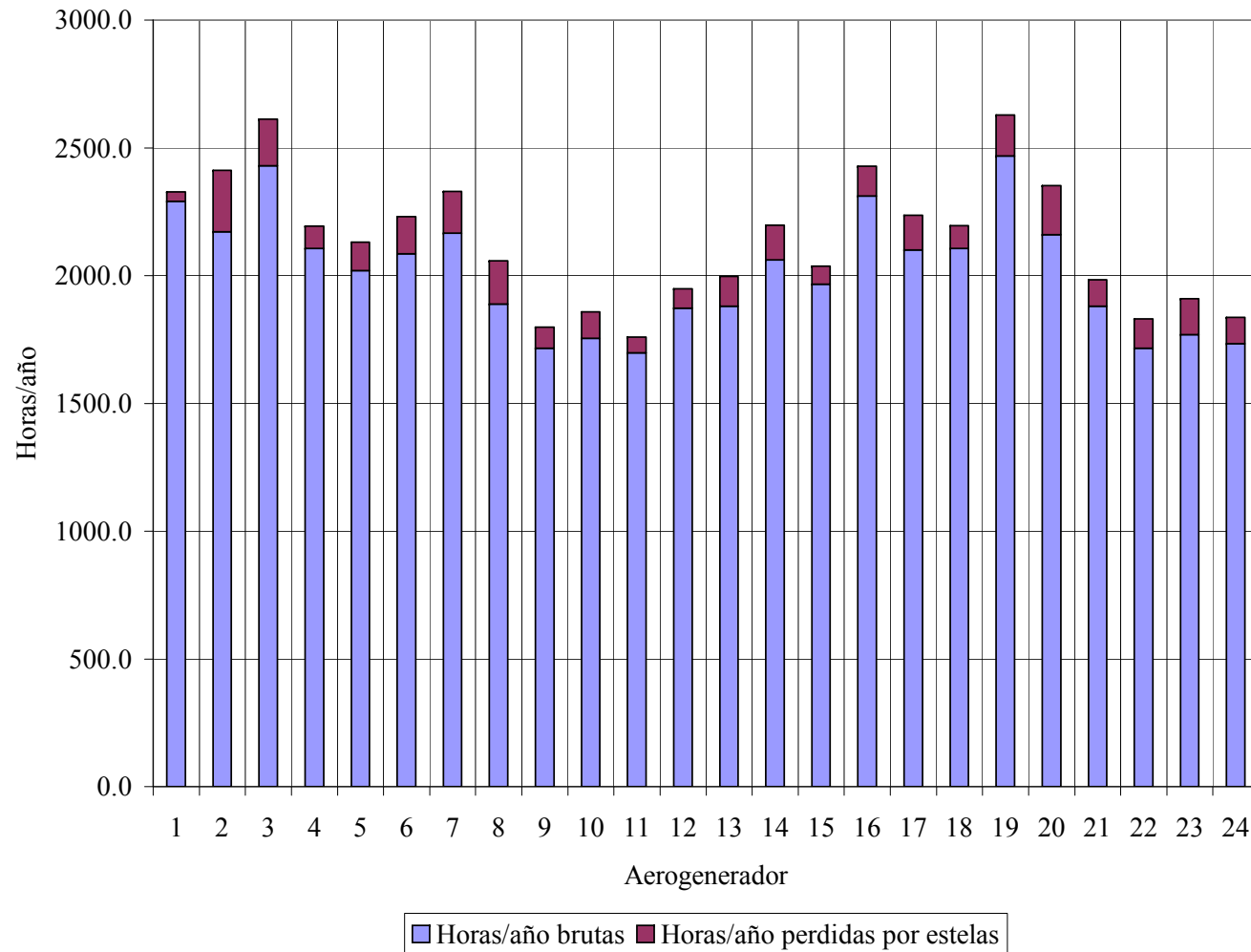


Figura 26: Horas/año para WAsP+UPMPARK con datos de N12 a 20m.

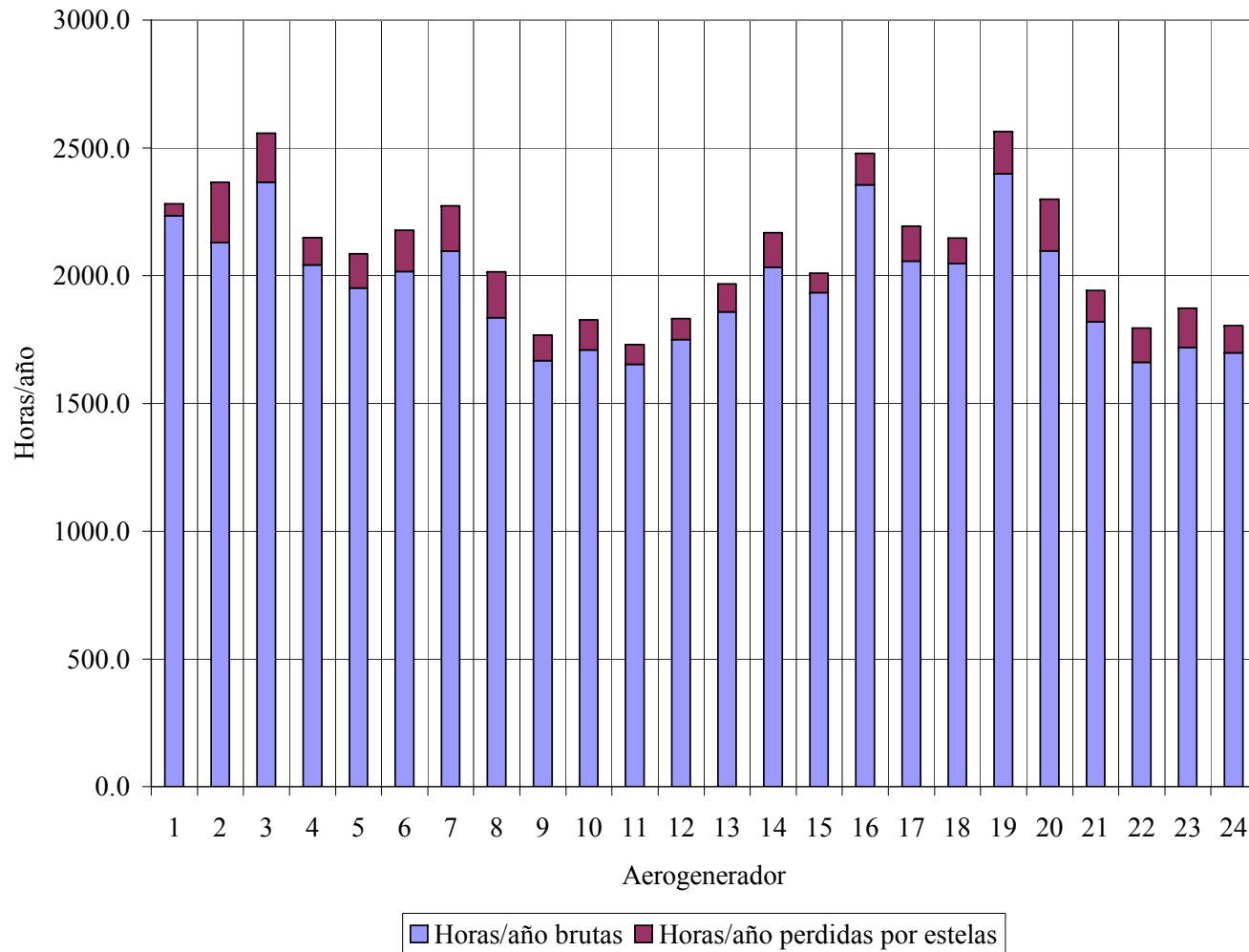


Figura 27: Horas/año para WAsP+UPMPARK con datos de N12 a 40m.

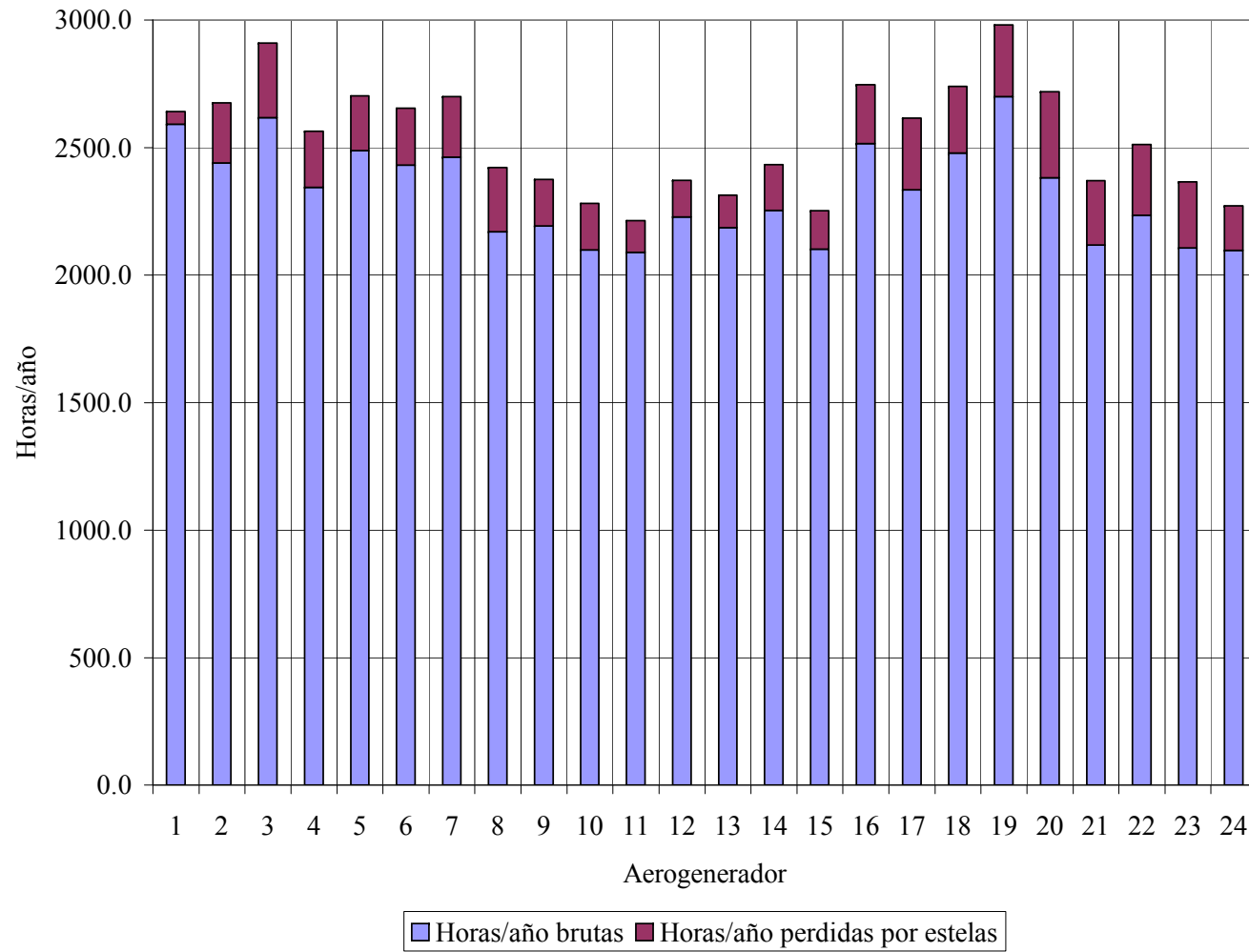


Figura 28: Horas/año para UPMORO+UPMPARK con datos de N6 a 20m.

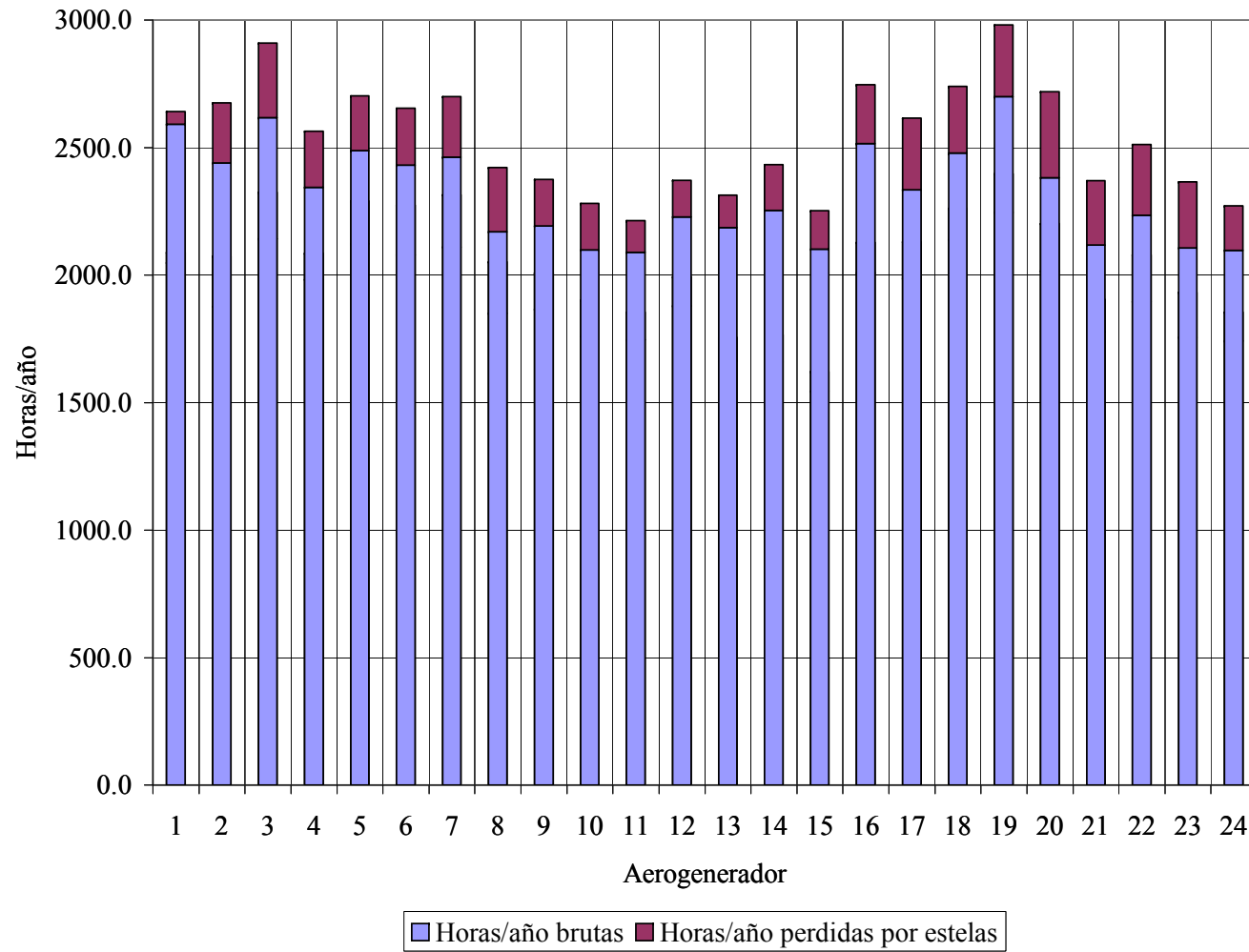


Figura 29: Horas/año para UPMORO+UPMPARK con datos de N6 a 46m.

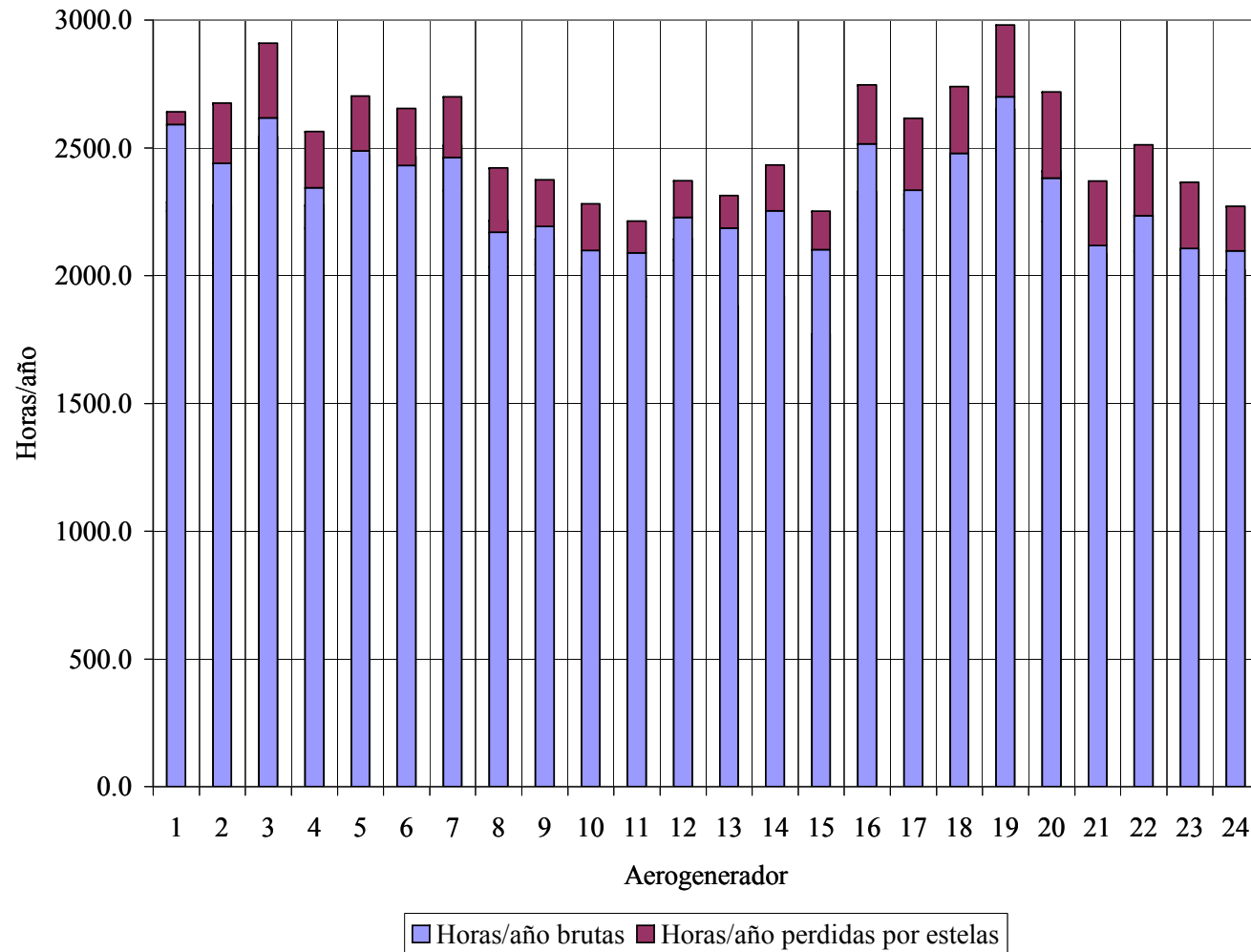


Figura 30: Horas/año para UPMORO+UPMPARK con datos de N12 a 20m.

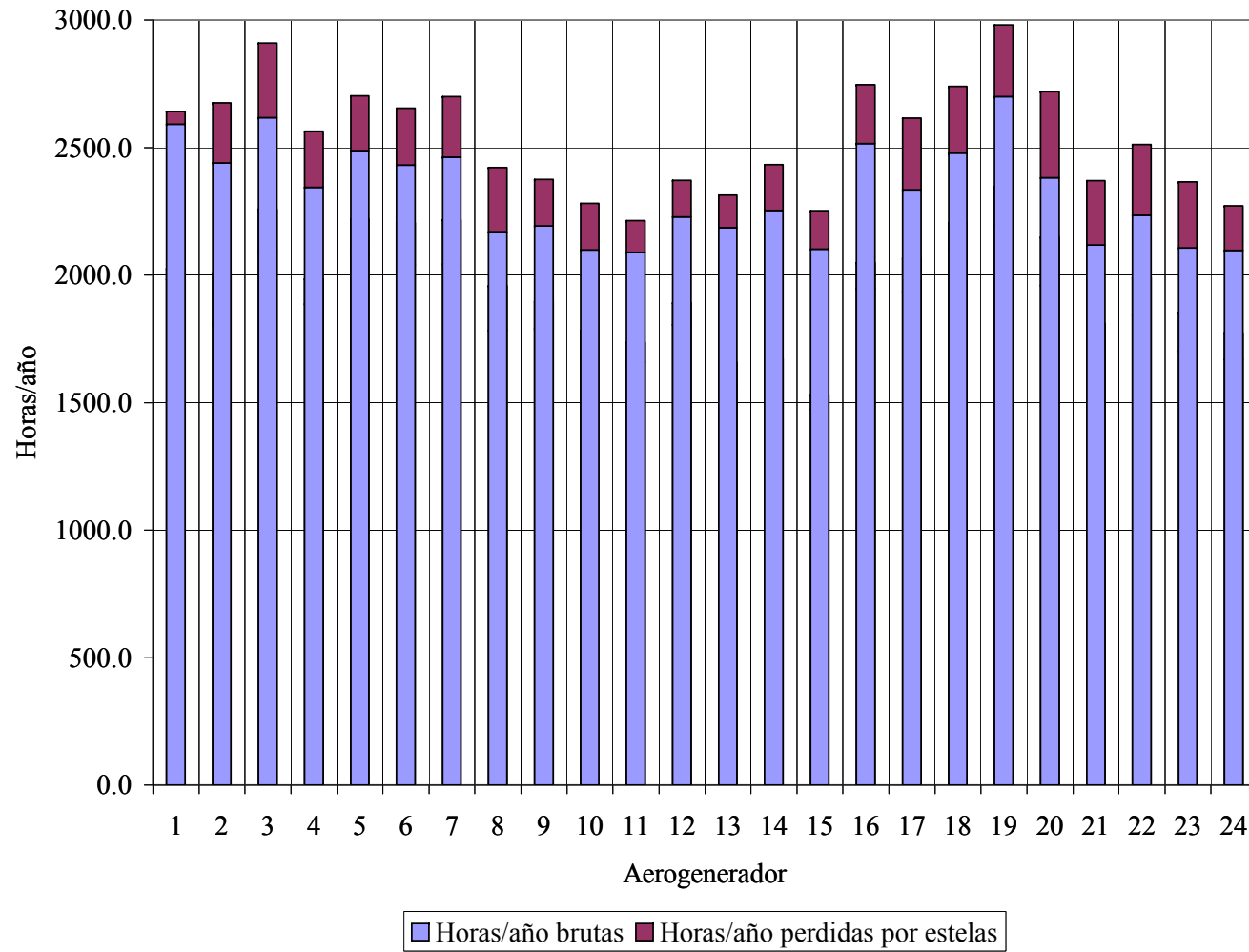


Figura 31: Horas/año para UPMORO+UPMPARK con datos de N12 a 40m.

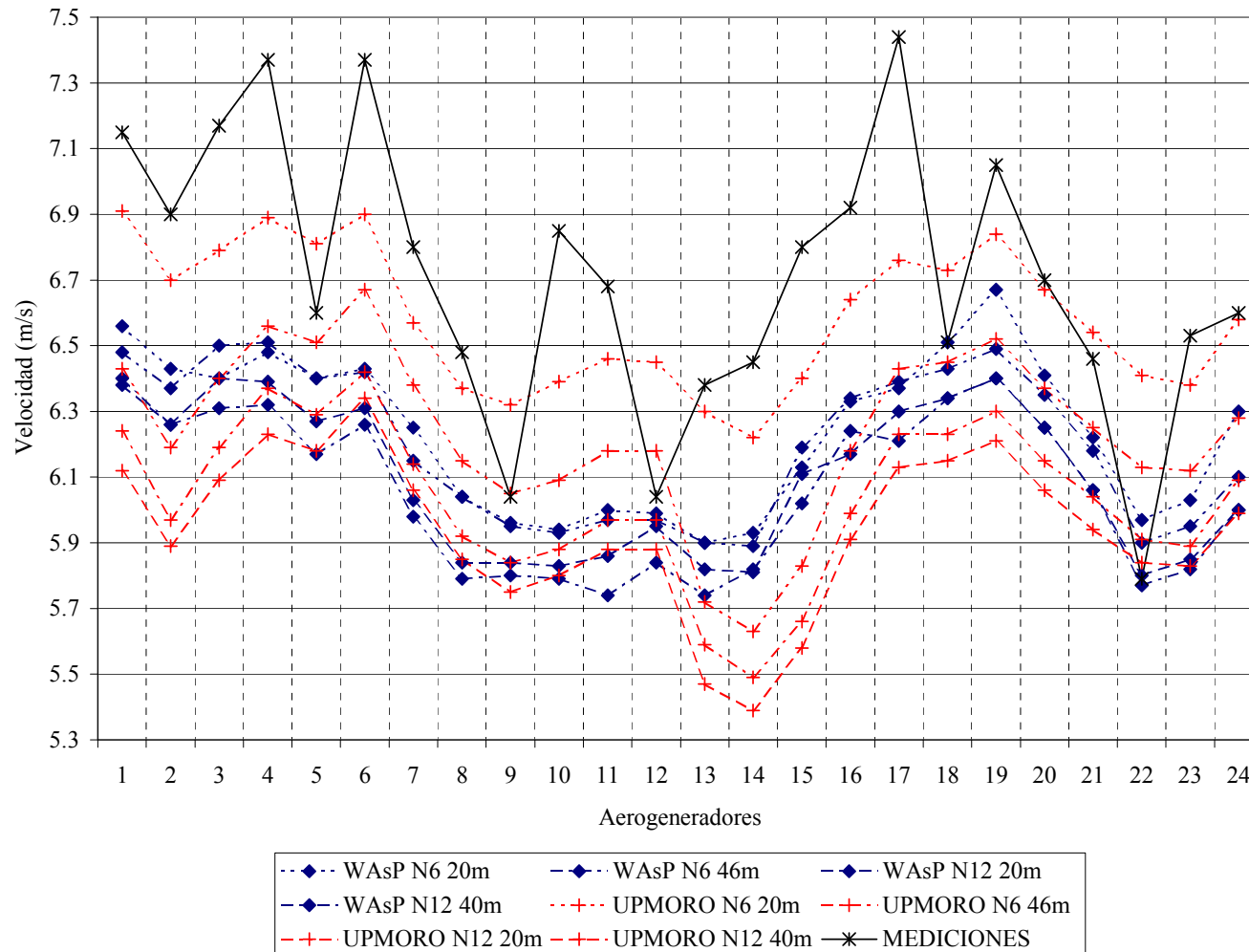


Figura 32: Resultados comparativos en velocidades.

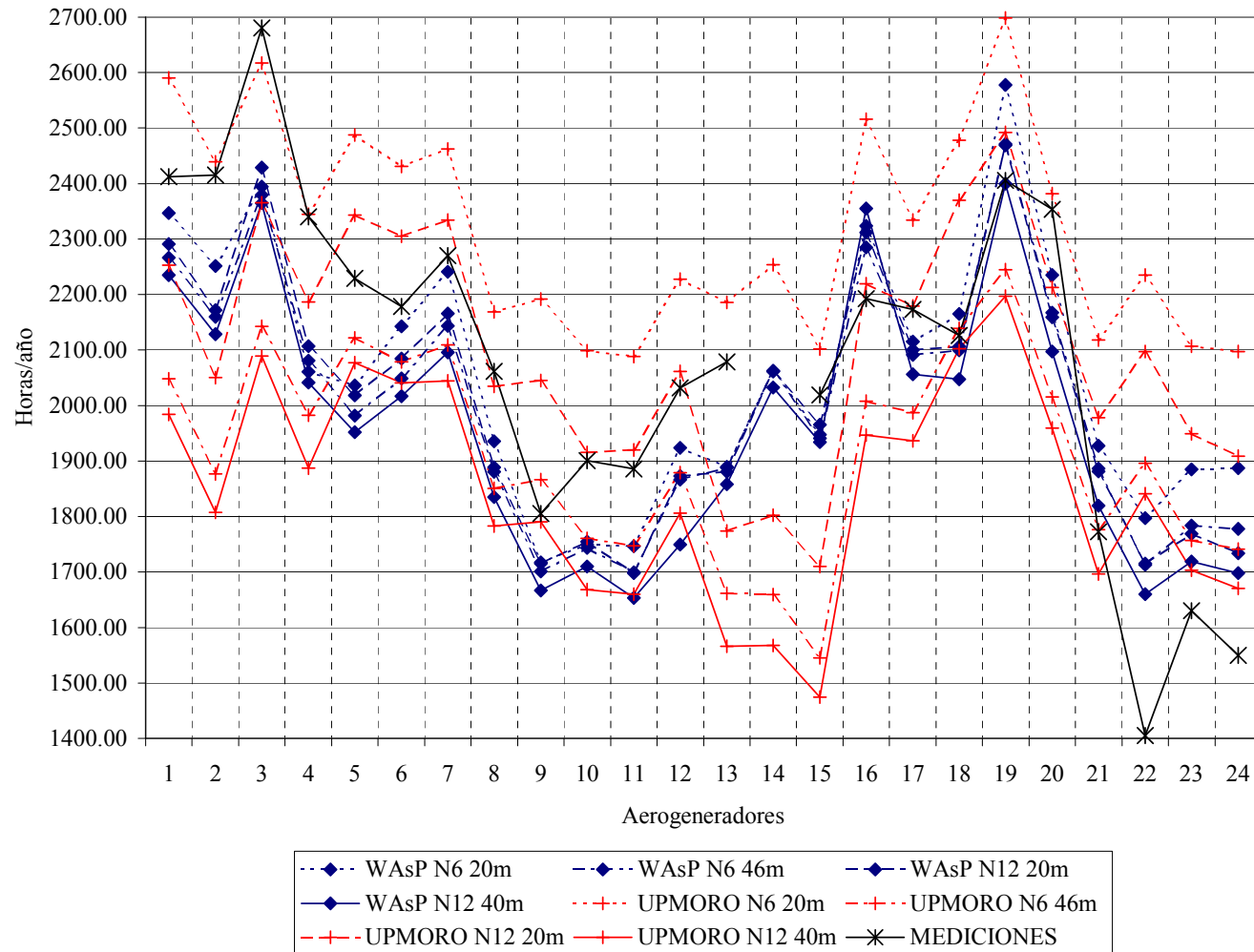


Figura 33: Resultados comparativos en producciones.

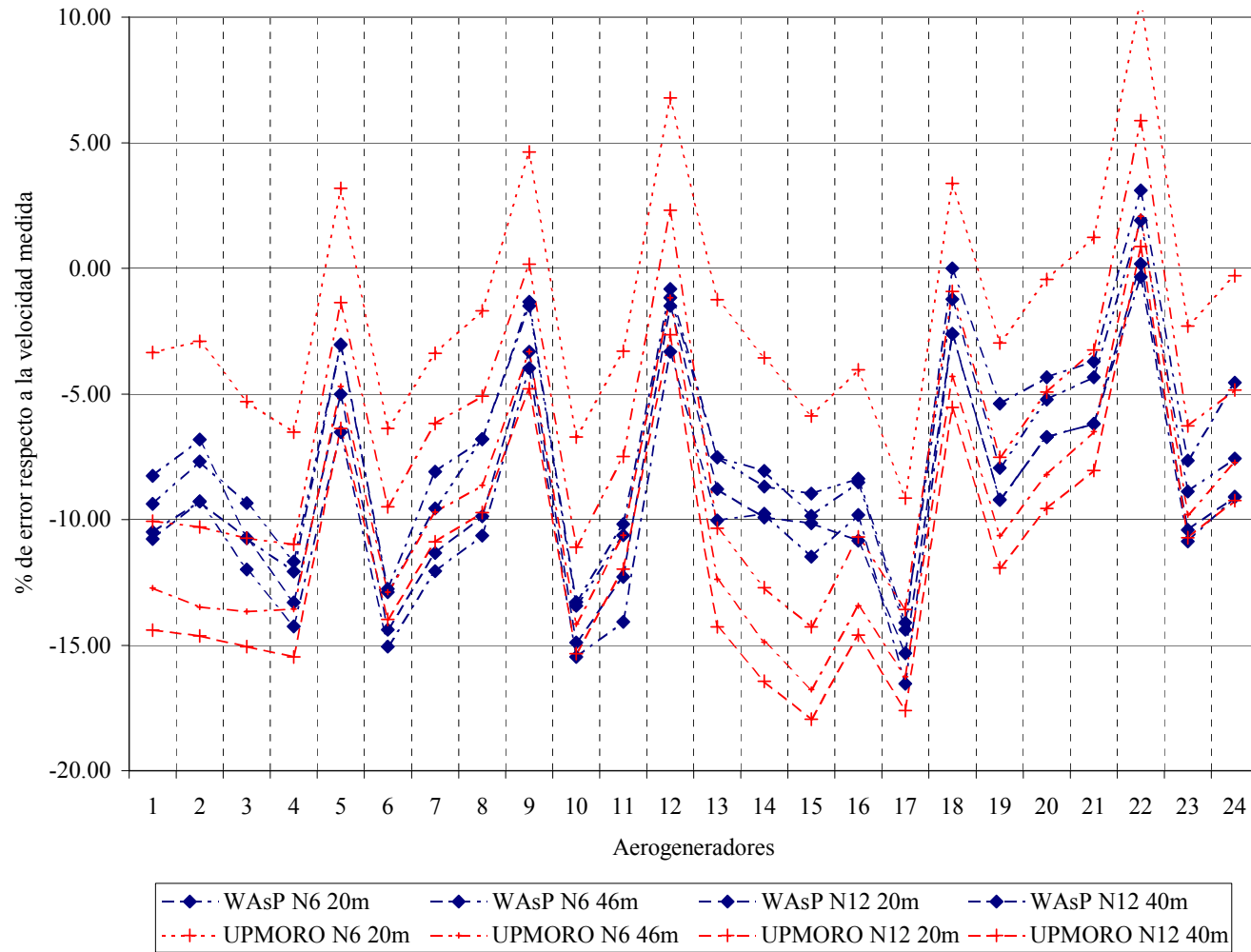


Figura 34: Error de las previsiones de velocidades respecto a las medidas.

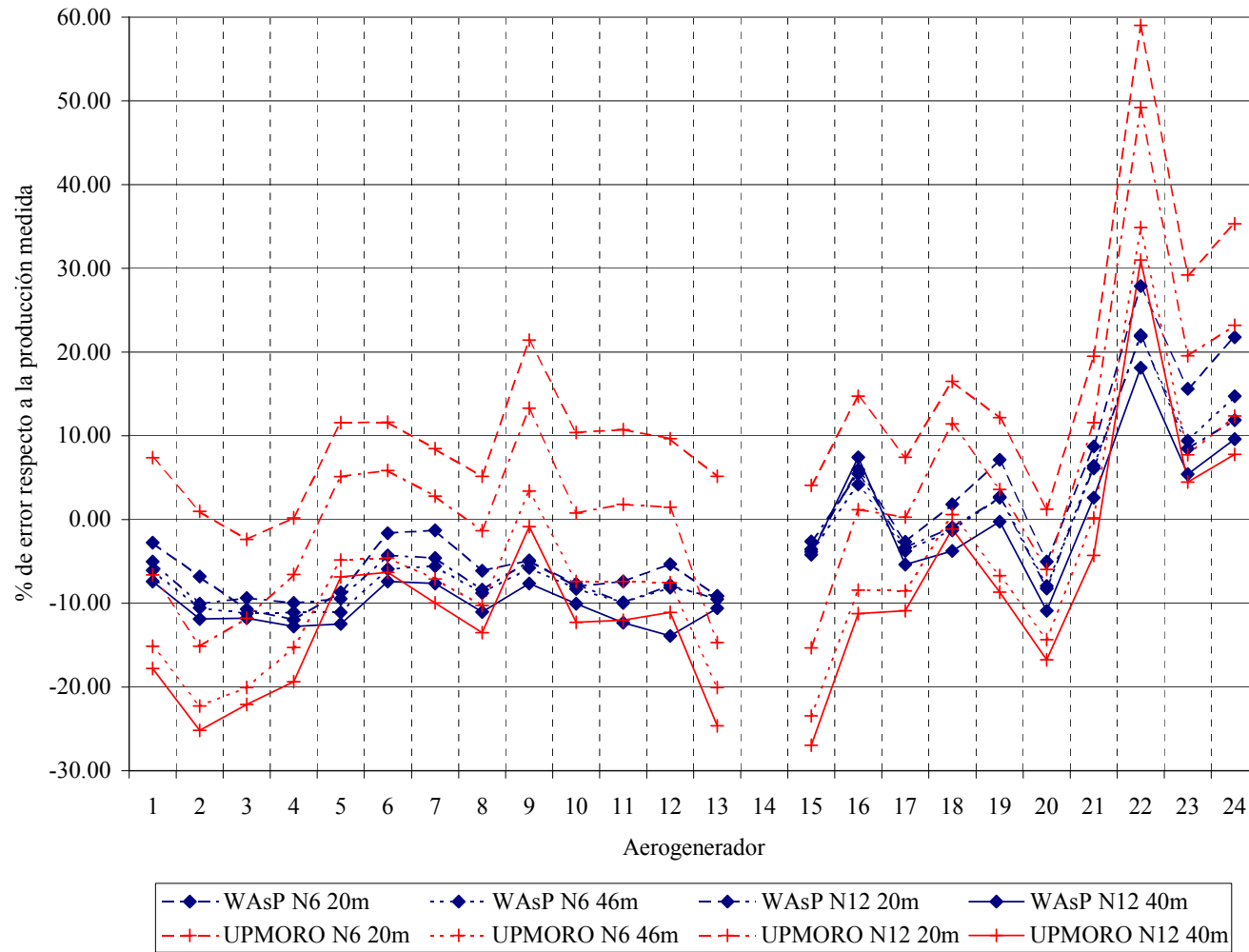


Figura 35: Error de las previsiones de producción respecto a las medidas.

