|  |
| --- |
| **Page 1** **Page 1**  |

 RESUMEN

Este trabajo presenta un estudio de climatología de los vientos en un sitio particular y propone un modelo simple para simular los datos series de tiempo de viento en la superficie horizontal. El modelo se basa en tres hipótesis principales: (i) la velocidad y la dirección son tratados

as independent variables; (ii) wind can be expressed as the sum of a deterministic component (including trend and como variables independientes, (ii) el viento se puede expresar como la suma de un componente determinista (incluyendo la tendencia y

cyclical variations) plus a probabilistic or stochastic component; and (iii) both components (deterministic and las variaciones cíclicas), además de un componente probabilístico o estocástico, y (iii) los dos componentes (determinista y

stochastic) are independent. estocásticos) son independientes. An hourly based 7 year wind series measured at the meteorological station in Almazora, Una hora basada en la serie 7 años de viento medido en la estación meteorológica en Almazora,

located at the Spanish Mediterranean coast, is analyzed. situado en la costa mediterránea española, se analiza. Only the deterministic component of this series is simulated Sólo el componente determinista de esta serie es simulada

in accordance with the model proposed. de conformidad con el modelo propuesto. Results indicate that the model is especially suitable for predicting wind at Los resultados indican que el modelo es especialmente adecuado para la predicción de viento en el

sites in which some cyclic pattern is expected. los sitios en los que se espera un patrón cíclico. Copyright © 1999 Royal Meteorological Society. Copyright © 1999 Royal Meteorological Society.

KEY WORDS PALABRAS CLAVE

: surface wind; deterministic model; time series; wind speed and direction; harmonic analysis; Mediterranean coast : Viento en la superficie; modelo determinista; de series de tiempo, velocidad del viento y dirección, el análisis armónico; costa mediterránea

1. 1. INTRODUCCIÓN

Time series analyses of meteorological data have an increasing interest in many fields. Análisis de series temporales de datos meteorológicos tienen un interés cada vez mayor en muchos campos. Series are especially Series son especialmente

interesting for a better understanding of atmospheric phenomena in order to model them, to determine interesante para una mejor comprensión de los fenómenos atmosféricos, a fin de modelo de ellos, para determinar

the climate of a geographical area, or to forecast possibilities of occurrence of some extreme situations. el clima de una zona geográfica, o para prever las posibilidades de aparición de algunas situaciones extremas.

Therefore, the analysis of meteorological data series is useful in fields such as agriculture, air and sea Por lo tanto, el análisis de series de datos meteorológicos es útil en campos como la agricultura, mar y aire

traffic control, structural engineering calculations, global change studies, solar and wind resources control de tráfico, los cálculos de ingeniería estructural, estudios del cambio global, los recursos de energía solar y eólica

estimation, etc. estimación, etc

Up to the present, this analysis has been carried out from several points of view: (i) simple Hasta el presente, este análisis se ha llevado a cabo desde varios puntos de vista: (i) la simple

characterization of the statistical distribution of the data series; (ii) harmonic analysis, modeling from the la caracterización de la distribución estadística de las series de datos, (ii) el análisis armónico, el modelado de la

harmonic analysis; (iii) fitting to a model or probabilistic process such as AR, ARMA or ARIMA; (iv) análisis armónico, (iii) ajuste a un modelo o proceso probabilístico como AR, ARMA o ARIMA, (iv)

adjustment to a relatively simple mathematical expression depending on physical magnitudes related to de ajuste a una expresión matemática relativamente simple en función de las magnitudes físicas relacionadas con la

the data series; and (v) models that include differential equations establishing relations between the la serie de datos, y (v) los modelos de ecuaciones diferenciales que incluyen el establecimiento de relaciones entre el

variables considered. variables consideradas.

The aim of this paper is to present an approximation to the time series of wind speed and direction El objetivo de este trabajo es presentar una aproximación a la serie de tiempo de la velocidad y dirección del viento

(treated as separated series), mainly studied by means of harmonic analysis, in order to identify trend (if (tratadas como series separadas), principalmente estudiado por medio de análisis armónico, con el fin de identificar la tendencia (si la hay)

any) and cyclic components. hay) y los componentes cíclicos. The final goal is to model wind data series, to reproduce the whole of the El objetivo final es el modelo de datos de viento serie, para reproducir la totalidad de la

observed series and predict future values. serie observada y predecir los valores futuros. Some particular applications are: Algunas aplicaciones específicas son:

(i) To obtain estimations of wind speed and direction at a location where there are historical (i) Para obtener estimaciones de la velocidad y dirección del viento en un lugar donde no son históricos

observations, but current measurements are not available. las observaciones, pero las mediciones actuales no están disponibles. These estimations could be used as input Estas estimaciones podrían ser utilizados como entrada

data for a diagnostic model of air pollutants dispersion in real time. de datos para un modelo de diagnóstico de la dispersión de contaminantes atmosféricos en tiempo real.

\* Correspondence to: Departimento de Projectes d'Enginyeria, Universitat Polite`cnica de Catalunya (UPC), ETSEIB, Av. \* Correspondencia a: Departimento de Projectes d'Enginyeria, Universitat Polite `cnica de Catalunya (UPC), ETSEIB, AV. Diagonal, Diagonal,

647 planta 10, 08028 Barcelona, Spain. 647 Planta 10, 08028 Barcelona, España.

CCC 0899–8418/99/020197–13$17.50 CCC 0899-8418/99/020197-13 $ 17,50

Copyright © 1999 Royal Meteorological Society Copyright © 1999 Royal Meteorological Society

|  |
| --- |
| **Page 2** **Page 2**  |

M. MARTIN M. MARTIN

ET AL. ET AL.

198 198

(ii) To reduce the volume of data, because the information is summarized in one (or several) mathemat- (ii) Para reducir el volumen de datos, ya que la información se resume en una (o varias) matemá -

ical formulae (Coronas and Baldasano, 1984; Phillips, 1984). fórmulas de iCal (Coronas y Baldasano, 1984; Phillips, 1984).

(iii) To check wind measurements obtained at the meteorological stations, in order to detect when (iii) Para comprobar las mediciones de viento obtenidos en las estaciones meteorológicas, con el fin de detectar cuando

observed data abnormally disagree from the expected behavior, hence making a recalibration of los datos observados de forma anormal de acuerdo el comportamiento esperado, por lo tanto, hacer una recalibración de

sensors necessary. sensores necesarios.

The proposed model does not directly depend on physical or geographical variables. El modelo propuesto no dependen directamente de las variables físicas o geográficas. Due to the Debido a la

complexity of factors and mechanisms that influence and steer the wind, which is highly variable both in complejidad de los factores y mecanismos que influyen y dirigir el viento, que es muy variable, tanto en

space and time, the study has focused on getting a statistical model that describes the time variation of el espacio y el tiempo, el estudio se ha centrado en conseguir un modelo estadístico que describe la evolución temporal de la

wind values in accordance with some cyclic patterns. los valores de viento, de conformidad con algunos patrones cíclicos. This statistical model uses as input only the available Este modelo estadístico utiliza como entrada sólo los disponibles

wind data and assumes that future behavior should be the same as the one measured in the past. datos de viento y se supone que el comportamiento futuro debe ser el mismo que el medido en el pasado. For this Por esta

reason, the proposed model, apart from the suitability of the fitting obtained, is only valid for the site la razón, el modelo propuesto, además de la idoneidad de la instalación obtenidos, es válida sólo para el sitio de

(meteorological station) to which the wind data series belong. (estación meteorológica) a la que la serie de datos de viento pertenecen.

As an example of application, the methodology is applied to a 7 year wind data series of the surface Como ejemplo de aplicación, la metodología se aplica a una serie de datos de viento 7 años de la superficie

meteorological station of Almazora (Castellón, Spain). estación meteorológica de Almazora (Castellón, España).

2. 2. BACKGROUND ANTECEDENTES

Some other works (Ishida, 1990; Brett and Tuller, 1991; Frisch *et al* ., 1991; Gavalda` *et al* ., 1992; Algunas otras obras (Ishida, 1990; Brett y Tuller, 1991; Frisch *et al.,* 1991; Gavalda *`et al.,* 1992;

Schumann, 1992) tried to characterize the cyclic variations of wind speed and direction time series (not Schumann, 1992) trató de caracterizar las variaciones cíclicas de la velocidad del viento y la dirección de series de tiempo (no

only to ground level data) by spectral analysis. sólo a los datos a nivel de tierra) mediante el análisis espectral. Wickle *et al* . Wickle *et al.* (1995) used the information given by the (1995) utilizó la información proporcionada por la

analysis to model the deterministic component of the series. el modelo de análisis para el componente determinista de la serie. Most of the authors filter the data to La mayoría de los autores del filtro de los datos a

emphasize a particular range of frequencies. hincapié en un rango particular de frecuencias. In this study, the authors work instead with hourly based En este estudio, los autores del trabajo en lugar de por hora basado en

series in search of all sorts of available cycles of the underlying process, only limited by the discretization la serie en la búsqueda de todo tipo de ciclos del proceso subyacente, sólo limitada por la discretización

of data. de los datos.

Regarding the stochastic component of the series, Wickle *et al* . En cuanto a la componente estocástica de la serie, Wickle *et al.* (1995) modeled this part by means of (1995) el modelo de esta parte por medio de

an autoregressive AR(1) process. un AR autorregresiva (1) proceso. Some other authors (Brown *et al* ., 1984; Breckling, 1989; Daniel and Algunos otros autores (Brown *et al.,* 1984; Breckling, 1989, Daniel y

Chen, 1991; Fisher and Lee, 1994) take from the beginning the data as a realization of a stationary Chen, 1991; Fisher y Lee, 1994) toman desde el principio los datos como la realización de un parado

random process (AR, ARMA or ARIMA) or transform data to remove non-stationarity before modeling. proceso aleatorio (AR, ARMA o ARIMA) o transformar los datos para eliminar las estacionariedad antes de modelado.

3. 3. METHODOLOGY METODOLOGÍA

The first decision taken at the beginning of this work was whether to deal either with a wind module and La primera decisión adoptada al comienzo de este trabajo es si a hacer frente a un módulo de viento y de

direction, assumed to be two different and independent time series, or with the components of the la dirección, supone que dos series de tiempo diferentes e independientes, o con los componentes de la

horizontal wind vector. del vector viento horizontal. One of the advantages of the former is that this is the usual way to record wind Una de las ventajas de la primera es que esta es la forma habitual para grabar el viento

data by the traditional sensors (anemometer and vane). datos de los sensores tradicionales (anemómetro y la veleta). Furthermore, this way is more intuitive and it is Además, de esta manera es más intuitivo y es

easier to interpret speed and direction separately than with horizontal components. facilitar la interpretación de la velocidad y la dirección por separado que con los componentes horizontales. On the contrary, Por el contrario,

circular variables statistics (Mardia, 1972) are more complex than linear magnitudes statistics. circular, las variables estadísticas (Mardia, 1972) son más complejas que las estadísticas de las magnitudes lineales. However, Sin embargo,

because of its advantages, the first option was chosen. debido a sus ventajas, se eligió la primera opción.

Following the traditional approach, the model built for both separated series describes the variation of Siguiendo el enfoque tradicional, el modelo construido para ambas series separadas describe la variación de la

the observed variable as composed of a deterministic component (fully predictable) and a stochastic la variable observada como compuesta de un componente determinista (totalmente predecible) y un estocástico

component (partially predictable). componente (parcialmente previsible). Trend and cyclic variations are included in the first component. Tendencia y variaciones cíclicas están incluidos en el primer componente.

Remaining irregular fluctuations are included in the second one. Fluctuaciones irregulares restantes se incluyen en el segundo. In this work, focus will just be on the En este trabajo, se centran sólo estará en el

deterministic component. componente determinista. Regarding the stochastic component, only stationarity is checked. En cuanto a la componente estocástica, se comprueba sólo estacionariedad.

Figure 1 shows the scheme of the process followed in this work to analyze and model the wind data La figura 1 muestra el esquema del proceso seguido en este trabajo para analizar y modelar los datos de viento

series. serie. Previous steps include calculating some basic statistical parameters for both wind speed and Pasos previos incluyen el cálculo de algunos parámetros estadísticos básicos, tanto para la velocidad del viento y la

direction and obtaining the distribution function from the full series of observations. la dirección y la obtención de la función de distribución de la serie de observaciones. The distribution La distribución

function applied to wind speed data is widely used in wind energy assessment studies because it is not la función se aplica a los datos de velocidad del viento se utiliza ampliamente en los estudios de evaluación de la energía eólica, ya que no es

necessary to know when the different speeds occur, but the frequency of occurrence and whether they are necesarias para saber cuándo se producen las diferentes velocidades, pero la frecuencia de ocurrencia y si son

Copyright © 1999 Royal Meteorological Society Copyright © 1999 Royal Meteorological Society

*Int* . *J* . *Climatol* . **19** : 197–209 (1999) *Int. J. Climatol.* **19:** 197-209 (1999)

|  |
| --- |
| **Page 3** **Page 3**  |

TIME SERIES OF SURFACE WIND SPEED AND DIRECTION SERIES DE TIEMPO DE SUPERFICIE DE VELOCIDAD DEL VIENTO Y DIRECCIÓN

199 199

high enough. suficientemente alto. This in fact, (i) represents a static model that cannot describe the time evolution of wind and Esto, de hecho, (i) representa un modelo estático que no se puede describir la evolución temporal de viento y la

(ii) assumes that the observations are independent (although they are actually correlated), which implies (ii) asume que las observaciones son independientes (aunque en realidad están correlacionadas), lo que implica

that variances and confidence intervals of estimators calculated are erroneous. que las variaciones y los intervalos de confianza de los estimadores calculados son erróneas. To surmount these Para superar estos

difficulties, a dynamic model based on the statistical theory of time series analysis is needed. dificultades, un modelo dinámico basado en la teoría estadística de análisis de series de tiempo que se necesita.

Secondly, calculation of autocorrelation coefficients and different data plots allow us to identify En segundo lugar, el cálculo de los coeficientes de correlación y de datos diferentes parcelas nos permiten identificar

patterns, cyclic or not, observed in the time series. patrones, cíclico o no, observada en la serie de tiempo. Application of Fourier analysis (Jenkins and Watts, Aplicación del análisis de Fourier (Jenkins y Watts,

1968) allows the identification of the cyclic patterns (ie the frequencies corresponding to the main 1968) permite la identificación de los patrones cíclicos (es decir, las frecuencias correspondientes a los principales

Figure 1. Figura 1. Scheme of the process followed in this work to analyse and model wind data series Esquema del proceso seguido en este trabajo para analizar y viento modelo de datos de series

Copyright © 1999 Royal Meteorological Society Copyright © 1999 Royal Meteorological Society

*Int* . *J* . *Climatol* . **19** : 197–209 (1999) *Int. J. Climatol.* **19:** 197-209 (1999)

|  |
| --- |
| **Page 4** **Page 4**  |

M. MARTIN M. MARTIN

ET AL. ET AL.

200 200

Figure 2. Figura 2. Location of the meteorological station in Almazora (Castellón, Spain) Ubicación de la estación meteorológica en Almazora (Castellón, España)

harmonics) in the individual annual series and in the full series. armónicos) en la serie anual individual y en la serie. Relevant frequencies to be considered in Frecuencias pertinentes que deben considerarse en

the modeling should be the same for the whole set of observations and for the annual subsets. la modelación debe ser el mismo para todo el conjunto de observaciones y para los subconjuntos anuales.

Then, the authors try to model the deterministic component of the series, studying the speed and the A continuación, los autores tratan de modelar el componente determinista de la serie, el estudio de la velocidad y el

direction separately; first the trend, if any, and after removing it, the cyclic variations. dirección por separado, primero la tendencia, en su caso, y después de sacarlo, las variaciones cíclicas. One unique Una única

expression for the cyclic variations (valid for all the years, as no cycle longer than 1 year is expected) is de expresión de las variaciones cíclicas (válido para todos los años, ya que ningún ciclo de más de 1 año se espera) es

extracted from the previously obtained information, whose coefficients are fitted to the series of extraído de los datos obtenidos con anterioridad, cuyos coeficientes se ajustan a la serie de los

observations, except for 1 year of data, which is reserved to validate the model. observaciones, a excepción de 1 año de datos, que se reservan para validar el modelo. The model obtained El modelo obtenido

(trend+cyclic variations) estimates the most probable value of wind for any time at the site where the (tendencia + variaciones cíclicas) estima que el valor más probable de viento en cualquier momento en el sitio donde el

data series were measured. series de datos fueron medidos. Finally, if the series calculated by the model is subtracted from the original Por último, si la serie calculada por el modelo se resta de la original,

data series, a series of residuals is obtained, the stationarity of which is analyzed. series de datos, una serie de residuos se obtiene, la estacionalidad de los cuales se analiza.

4. 4. EXAMPLE OF APPLICATION: ALMAZORA EJEMPLO DE APLICACIÓN: Almazora

Data used in this study consists of 7 years of hourly wind observations (61368 records) provided by the Los datos utilizados en este estudio se compone de 7 años de observaciones de viento por hora (61.368 registros) proporcionada por el

Instituto Nacional de Meteorologıá (INM) measured at Almazora (Castellón, Spain). Instituto Nacional de Meteorología (INM), medido en Almazora (Castellón, España). Wind speed was La velocidad del viento fue

measured as an hourly average in ms mide como una media hora en la EM

−1 -1

with a resolution of tenths, and dominant wind direction during con una resolución de décimas de segundo, y la dirección del viento dominante durante la

every hour expressed as the central angle (°) of the sector (among 16 possible sectors). cada hora, expresado como el ángulo central (°) del sector (entre los 16 sectores es posible). Measurement Medición

period is from January 1, 1983 to December 31, 1989. periodo es de enero 1ro, 1983-diciembre 31, 1989. Sensors are at the height of 10 m asl. Los sensores están a la altura de 10 metros de altitud.

Almazora town is located at 5 km from the Mediterranean shoreline (see Figure 2). Almazora ciudad se encuentra a 5 km de la costa mediterránea (véase la figura 2). It is in the middle Es en el medio

of a great sedimentary plain (Castellón Plain) and close to the Mijares River. de una gran llanura sedimentaria (Castellón normal) y cerca del río Mijares. Its co-ordinates are 0°3%W Sus coordenadas son 0 ° 3% W

longitude, 39°56%N latitude and 32 m altitude. de longitud, latitud N 39 ° 56% y 32 m de altitud. The nearest mountains are 10 km away from the town: a Las montañas más cercanas están a 10 km de la ciudad: una

coastal mountain range oriented NE–SW and heights up to 1000 m asl, and another range located inland, cordillera de la costa orientada NE-SW y alturas de hasta 1000 metros de altitud, y otra serie situado en el interior,

whose major orientation is NW–SE reaching 2000 m altitude. cuya orientación principal es NW-SE llegar a 2000 m de altitud. The Mijares River follows a NW–SE path El río Mijares sigue una trayectoria NW-SE

down to the Castellón Plain. hasta la llanura de Castellón.

Performance of the proposed model highly depends on the quality of the wind data series used in its El rendimiento del modelo propuesto depende en gran medida la calidad de la serie de datos de viento utilizados en su

development. desarrollo. Among the factors that influence the quality of data, the following can be mentioned: Entre los factores que influyen en la calidad de los datos, los siguientes se pueden mencionar:

average period of measurements (frequency), percentage of useful available data over the potential data período promedio de las mediciones (frecuencia), el porcentaje de utilidad de los datos disponibles sobre el potencial de los datos

that could have been measured, and the quality of sensors. que podría haber sido medido, y la calidad de los sensores. Furthermore, data show good agreement with Además, los datos muestran un buen acuerdo con

wind climatology expected for that site as stated in the literature (Font Tullot, 1983; Bosque and Vila`, climatología eólico previsto para ese sitio como se indica en la literatura (Fuente Tullot, 1983; Bosque y Vila »,

1989, 1992; Carreras, 1992). 1989, 1992, Carreras, 1992). Although the length of the series is shorter than desirable, the percentage of Aunque la longitud de la serie es más corta de lo deseable, el porcentaje de

useful data is 100% of the total available data. datos útiles es de 100% del total de datos disponibles.

Copyright © 1999 Royal Meteorological Society Copyright © 1999 Royal Meteorological Society

*Int* . *J* . *Climatol* . **19** : 197–209 (1999) *Int. J. Climatol.* **19:** 197-209 (1999)

|  |
| --- |
| **Page 5** **Page 5**  |

TIME SERIES OF SURFACE WIND SPEED AND DIRECTION SERIES DE TIEMPO DE SUPERFICIE DE VELOCIDAD DEL VIENTO Y DIRECCIÓN

201 201

4.1. 4.1.

*Data characterization* *La caracterización de datos*

Main winds blow from the second and fourth quadrants alternately throughout the year. Principal vientos de los cuadrantes segundo y cuarto, alternativamente, durante todo el año. Prevailing Prevalecientes

wind directions are NW and WNW, followed by ESE, E, SSE and SE, due to the channeling induced by direcciones del viento son NW y ONO, seguido por ESE, E, SSE y SE, debido a la canalización inducida por la

the Mijares valley and orography. el valle del Mijares y orografía. These six directions comprise 64.4% of the observations. Estas seis direcciones comprenden el 64,4% de las observaciones. Wind speed La velocidad del viento

values B1 ms los valores ms B1

−1 -1

are below the anemometer threshold, and are considered as calms. están por debajo del umbral del anemómetro, y son considerados como calma. They represent Representan

11.8% of the whole of available data. 11,8% de la totalidad de los datos disponibles.

Daily wind variation is very clear, especially from March through to September. Variaciones del viento diaria es muy claro, sobre todo desde marzo hasta septiembre. It can be seen, for Como puede verse, por

instance, in Figure 3(a), how the hourly mean speed during August is at a minimum at 21:00 h solar time ejemplo, en la Figura 3 (a), cómo la velocidad media por hora durante el mes de agosto es, como mínimo, a las 21:00 hora solar h

(ST), increases to reach the maximum at 14:00 h ST, and then decreases. (ST), los aumentos para alcanzar el máximo a las 14:00 h ST, y luego disminuye. Simultaneously, the dominant Al mismo tiempo, el dominante,

Figure 3. Figura 3. Hourly mean wind speed (a) and most probable direction (b) during the month of August. Por hora de velocidad media del viento (a) y más probable de la dirección (b) durante el mes de agosto. In (a), calm is considered as En (a), la calma es considerado como

a 0.5 ms de 0,5 ms

−1 -1

wind speed la velocidad del viento

Copyright © 1999 Royal Meteorological Society Copyright © 1999 Royal Meteorological Society

*Int* . *J* . *Climatol* . **19** : 197–209 (1999) *Int. J. Climatol.* **19:** 197-209 (1999)

|  |
| --- |
| **Page 6** **Page 6**  |

M. MARTIN M. MARTIN

ET AL. ET AL.

202 202

Figure 4. Figura 4. Representation of the hourly wind vector throughout 3 consecutive days from Almazora data series. Representación de los vectores de viento en toda hora durante 3 días consecutivos de la serie de datos de Almazora. Consecutive vectors Vectores consecutiva

are plotted one after the other. se trazan una tras otra. The series starts at the upper left corner (X) following the direction marked by the arrows. La serie se inicia en la esquina superior izquierda (X) siguiendo la dirección marcada por las flechas. The El

change of day is indicated by a line perpendicular to vectors. cambio de día se indica por una línea perpendicular a los vectores. Calms are represented by a circle. Calma están representados por un círculo. Vector length is proportional to wind Longitud del vector es proporcional al viento

speed velocidad

direction is ESE (112.5°) in the second quadrant, from 9:00 h ST until 18:00 h ST. dirección es ESE (112,5 °) en el segundo cuadrante, desde las 9:00 h hasta las 18:00 ST ST h. Then it changes to be De ahí pasa a ser

NNW (315°) in the fourth quadrant, from 22:00 h ST until 8:00 h ST (next day) (see Figure 3(b) and NNW (315 °) en el cuarto cuadrante, desde las 22:00 h hasta las 8:00 ST ST h (día siguiente) (véase la Figura 3 (b) y en

Figure 4). Figura 4). The same mean pattern is observed during most of the year, although the maximum speed and El patrón misma media que se observa durante la mayor parte del año, aunque la velocidad máxima y la

the time vary when the second quadrant winds are dominating. el tiempo varían cuando los vientos son dominantes segundo cuadrante. There is strong evidence that wind speed Hay pruebas sólidas de que la velocidad del viento

and direction are strongly correlated, as expected with a land–sea breeze situation. y la dirección están fuertemente correlacionados, como se esperaba con la tierra la situación brisa del mar.

Finally, Figure 5(a) and (b) show the annual and monthly mean speeds for the whole period of record. Por último, la figura 5 (a) y (b) muestran las velocidades medias anuales y mensuales para todo el período de registro.

There is a clear decreasing trend, probably due to the growth of the number of buildings around the Hay una clara tendencia descendente, probablemente debido al crecimiento del número de edificios en todo el

meteorological station through the years. estación meteorológica a través de los años. These buildings belong to an industrial estate and their heights Estos edificios pertenecen a un polígono industrial y sus alturas

are lower than the anemometer height. son inferiores a la altura del anemómetro. The nearest buildings are about 30 m away from the mast. El más cercano edificios son unos 30 metros del mástil.

Nowadays, there are very few free building plots, and the surroundings of the meteorological station can Hoy en día, hay muy pocos terrenos de construcción libre, y los alrededores de la estación meteorológica puede

be considered as an isotrope. ser considerado como un isotrope.

The presence of calms leads to the appearance of gaps in the speed and direction data series, which La presencia de calma conduce a la aparición de lagunas en los datos de velocidad y dirección de la serie, que

makes the calculation of the statistical properties of the series and the modeling difficult. hace que el cálculo de las propiedades estadísticas de la serie y el modelado difícil. To solve it, the Para resolverlo, la

authors assumed that a calm had an associated wind speed of 0.5 ms autores asumieron que la calma había una velocidad de viento asociado de 0,5 ms

−1 -1

. . Taking into account this Teniendo en cuenta este

hypothesis, mean wind speed from the whole data series is 2.7 ms de hipótesis, la velocidad media del viento de la serie de datos completa es de 2,7 ms

−1 -1

and the standard deviation (SD) y la desviación estándar (SD)

is 1.8 ms es de 1,8 ms

−1 -1

. . The histogram of the speed series appears in Figure 6, with data grouped in intervals of 1 El histograma de la serie de velocidad aparece en la Figura 6, con datos agrupados en intervalos de 1

ms ms

−1 -1

. . It can be seen that the distribution of frequencies is unimodal and asymmetric, which is in Se puede observar que la distribución de frecuencias es unimodal y asimétrica, que es en

agreement with the Weibull distribution: de acuerdo con la distribución de Weibull:

*f* (6)= *f* (6) =

*k* *k*

*A* *Un*

6 6

*A* *Un*

*k* −1 *K* -1

exp(−(6/ *A* ) (exp - (6 / *A)*

*k* *k*

), ),

(1) (1)

with *A* =3.3 ms con *A* = 3,3 ms

−1 -1

and *k* =1.5, found by least-square fitting of the cumulative distribution function. y *k* = 1,5, que se encuentra por lo menos ajustada cuadrado de la función de distribución acumulada.

The problem of calms in the case of wind direction is solved by linear interpolation between valid El problema de la calma en el caso de dirección de viento se resuelve mediante interpolación lineal entre válido

values. valores. However, the direction value that replaces the calm in the series is not the one calculated as before, Sin embargo, el valor de dirección que sustituye a la calma en la serie no es la calculada como antes,

but the central direction corresponding to the sector to which the calculated direction belongs. pero la dirección central correspondiente al sector al que pertenece la dirección calculada. In this En este

way, coherence with the rest of the series is kept. , así la coherencia con el resto de la serie se mantiene. In this case, the frequency distribution is bimodal, where En este caso, la distribución de frecuencias es bimodal, en donde

the most frequent sectors are ESE (112.5°) and NW (315°) (Figure 7). los sectores más frecuentes son la ESE (112,5 °) y NW (315 °) (Figura 7). Since the gap between both modes Puesto que la diferencia entre ambos modos de transporte

is 202.5°, the authors have considered this bimodal distribution as two unimodal distributions separated es 202,5 °, los autores han considerado esta distribución bimodal como dos distribuciones unimodales separados

Copyright © 1999 Royal Meteorological Society Copyright © 1999 Royal Meteorological Society

*Int* . *J* . *Climatol* . **19** : 197–209 (1999) *Int. J. Climatol.* **19:** 197-209 (1999)

|  |
| --- |
| **Page 7** **Page 7**  |

TIME SERIES OF SURFACE WIND SPEED AND DIRECTION SERIES DE TIEMPO DE SUPERFICIE DE VELOCIDAD DEL VIENTO Y DIRECCIÓN

203 203

by 180° (Mardia, 1972). de 180 ° (Mardia, 1972). Taking into account that wind direction is a circular variable and that the Teniendo en cuenta que la dirección del viento es una variable circular y que la

frequency distribution is bimodal, the mean direction calculated for the first modal component is 121.9°, distribución de frecuencias es bimodal, la dirección media calculada para el componente modal primera es 121,9 °,

while for the second one it is 301.9°. mientras que para el segundo es 301.9 °. For both, the SD is 42.1°. Para ambos, la SD es 42,1 °. A theoretical bimodal Von Mises' Un teórico bimodal Von Mises

distribution has been fitted to the direction data series, making v de distribución se ha instalado en la serie de datos de dirección, toma de v

q q

=121.9° and calculating u and s by = 121,9 ° y el cálculo de U y por s

means of minimizing graphically the squared differences between the theoretical distribution and the los medios de reducir al mínimo gráficamente las diferencias al cuadrado entre la distribución teórica y la

frequency one, ie frecuencia de uno, es decir,

*g* (q)= *g* (q) =

1 1

2y *I* 2a *I*

0 0

(s) (s)

[u exp(s cos(q−v [u exp (s cos (q-v

q q

))+(1−u) exp(−s cos(q−v )) + (1-u) exp (-s cos (q-v

q q

))], ))],

(2) (2)

with s=3 and u=0.36; *I* con s = 3 y U = 0,36; *I*

0 0

(s) is the zero-order modified Bessel function. (s) es la de orden cero vez la función de Bessel.

Comparing observed frequencies with those obtained by Equations (1) and (2), by using the Pearson La comparación de las frecuencias observadas con los obtenidos por las ecuaciones (1) y (2), mediante el uso de Pearson

2 2

test, the hypotheses that these equations describe the observed wind speed and direction, respectively, are la prueba, la hipótesis de que estas ecuaciones describen la velocidad y dirección del viento observado, respectivamente, son

fulfilled. cumplido.

Figure 5. Figura 5. Annual (a) and monthly (b) mean wind speed from January 1983 through to December 1989 Anual (a) y mensuales (b) la velocidad media del viento a partir de enero de 1983 hasta a diciembre de 1989

Copyright © 1999 Royal Meteorological Society Copyright © 1999 Royal Meteorological Society

*Int* . *J* . *Climatol* . **19** : 197–209 (1999) *Int. J. Climatol.* **19:** 197-209 (1999)

|  |
| --- |
| **Page 8** **Page 8**  |

M. MARTIN M. MARTIN

ET AL. ET AL.

204 204

Figure 6. Figura 6. Histogram of wind speed and Weibull distribution that fits the data Histograma de la velocidad del viento y la distribución de Weibull que se ajuste a los datos de

Autocorrelation coefficients plots (correlograms) of speed and direction series are shown in Figure 8. Parcelas de autocorrelación coeficientes (correlogramas) de la velocidad y dirección de la serie se muestran en la Figura 8.

The calculation of the line spectrum and the autocorrelation function for the direction series implies that El cálculo del espectro de líneas y la función de autocorrelación de la serie de la dirección implica que

the meteorological wind angle q as a complex number, in which the *x* -component of the unit vector with el ángulo del viento q meteorológicos como un número complejo, en el que la componente *x* del vector de la unidad con

angle q is the real part and the *y* -component, the imaginary part. q ángulo es la parte real y el componente *y,* la parte imaginaria. The transformation used is the La transformación utilizada es la

following: siguientes:

Figure 7. Figura 7. Histogram of wind direction and Von Mises distribution that fits the data El histograma de la dirección del viento y la distribución de Von Mises, que se ajuste a los datos de

Copyright © 1999 Royal Meteorological Society Copyright © 1999 Royal Meteorological Society

*Int* . *J* . *Climatol* . **19** : 197–209 (1999) *Int. J. Climatol.* **19:** 197-209 (1999)

|  |
| --- |
| **Page 9** **Page 9**  |

TIME SERIES OF SURFACE WIND SPEED AND DIRECTION SERIES DE TIEMPO DE SUPERFICIE DE VELOCIDAD DEL VIENTO Y DIRECCIÓN

205 205

Figure 8. Figura 8. Autocorrelation coefficients for the wind speed (a) and wind direction (b) series Coeficientes de autocorrelación para la velocidad del viento (a) y la dirección del viento serie (b)

Re(q) q Re (q) q

*x* *x*

=−sin q, =- Pecado q,

Im(q) q Im (q) q

*y* *y*

= −cos q. =-Cos q.

(3) (3)

Then, the autocorrelation function and the line spectrum are computed using the discrete Fourier Entonces, la función de autocorrelación y el espectro de líneas se calculan utilizando la discreta de Fourier

transform, the former supported on the autocorrelation theorem (Press *et al* ., 1989). de transformar, la primera compatible con el teorema de autocorrelación (Press *et al.,* 1989).

First autocorrelation coefficients are large, which indicates the existence of an important short-term En primer lugar los coeficientes de autocorrelación son grandes, lo que indica la existencia de un término importante a corto

correlation. correlación. This correlation is usually due to short-span processes of a stochastic nature. Esta correlación es generalmente debido a la corta duración de los procesos de carácter estocástico. After the 12th Después de la 12 ª

coefficient, correlograms for both speed and direction have a sinusoidal path and a 24-h period. coeficiente de correlogramas tanto para la velocidad y la dirección tienen un camino sinusoidal y un período de 24 horas. This Esto

Copyright © 1999 Royal Meteorological Society Copyright © 1999 Royal Meteorological Society

*Int* . *J* . *Climatol* . **19** : 197–209 (1999) *Int. J. Climatol.* **19:** 197-209 (1999)

|  |
| --- |
| **Page 10** **Página 10**  |

M. MARTIN M. MARTIN

ET AL. ET AL.

206 206

Figure 9. Figura 9. Line spectrum of the wind speed series (1983) Espectro de líneas de la serie de la velocidad del viento (1983)

cyclic behaviour is also observed for high time lag values, which proves that the oscillation is well-estab- comportamiento cíclico se observa también para los valores de hora de retraso, lo que demuestra que la oscilación está bien estable -

lished and deterministic. cido y determinista. In the case of the wind speed, a cycle with a 12-h period is also observed. En el caso de la velocidad del viento, un ciclo con un período de 12 h se observa también.

Harmonic analysis applied to wind speed and direction series shows that the main frequencies El análisis armónico aplicado a la velocidad del viento y la dirección de la serie muestra que las principales frecuencias

correspond to the 1-year, 24-h and 12-h periods (Figures 9 and 10). corresponden a los de 1 año, 24-h, y períodos de 12 h (Figuras 9 y 10). The same cycles have also been Los mismos ciclos que también se han

observed by other authors in surface wind studies (Brett and Tuller, 1991; Gavalda` *et al* ., 1992). observado por otros autores en los estudios de viento en la superficie (Brett y Tuller, 1991; Gavalda *`et* *al.,* 1992). The El

1-year and 24-h periods are the natural earth cycles. 1-año y períodos de 24 h son los ciclos naturales de la tierra. The 12-h period for wind speed series is well-defined El período de 12 h para la serie de la velocidad del viento está bien definido

and corresponds to the daytime and night-time maxima due to the full development of the land–sea y corresponde a los máximos de tiempo de día y de noche debido al pleno desarrollo de la tierra-mar

Figure 10. Figura 10. Line spectrum of the wind direction series (1983) Espectro de líneas de la serie de la dirección del viento (1983)

Copyright © 1999 Royal Meteorological Society Copyright © 1999 Royal Meteorological Society

*Int* . *J* . *Climatol* . **19** : 197–209 (1999) *Int. J. Climatol.* **19:** 197-209 (1999)

|  |
| --- |
| **Page 11** **Página 11**  |

TIME SERIES OF SURFACE WIND SPEED AND DIRECTION SERIES DE TIEMPO DE SUPERFICIE DE VELOCIDAD DEL VIENTO Y DIRECCIÓN

207 207

Table I. Verification and validation (bold) for the trend term of the wind speed model La Tabla I. Verificación y validación (en negrita) para la tendencia a largo plazo del modelo de la velocidad del viento

*t* (year) *t* (años)

1983 1984 1985 1986 1987 1988 **1989** 1983 1984 1985 1986 1987 1988 **1989**

Mean speed observed (ms Velocidad media observada (ms

−1 -1

) )

3.3 3,3

3.3 3,3

2.7 2,7

2.8 2,8

2.6 2,6

2.2 2,2

**2.3** **2,3**

Mean speed calculated (ms La velocidad media calculada (ms

−1 -1

) )

3.6 3,6

3.4 3,4

3.1 3,1

2.9 2,9

2.7 2,7

2.5 2,5

**2.3** **2,3**

Table II. Cuadro II. Model coefficients *c* Coeficientes del modelo *C*

*j* *j*

for the cyclical term of the wind speed series (Equation para el período cíclico de la serie de la velocidad del viento (la ecuación

(6)) (6))

Period Periodo

*j* *j*

Frequency Frecuencia

*c* *c*

*j* *j*

a un

(rad h (h rad

−1 -1

) )

(ms (ms

−1 -1

) )

1 year 1 año

1 1

0.0007 0,0007

0.086−0.061i 0,086-0.061i

24 h 24 h

2 2

0.2618 0,2618

−0.389+0.090i -0,389 0,090 i

12 h 12 h

3 3

0.5236 0,5236

0.087−0.232i 0,087-0.232i

a un

i= −1. i = -1.

breezes. brisas. In the case of wind direction, this 12-h period does not have this physical meaning and actually En el caso de la dirección del viento, este período de 12 h no tiene este significado físico y, de hecho

the peak in the line spectrum is much lower. el pico en el espectro de línea es mucho menor.

4.2. 4.2.

*Proposed model* *Modelo propuesto*

To calibrate the model, just the first 6 years of the data series are used (1983–1988). Para calibrar el modelo, sólo los primeros 6 años de la serie de datos se utilizan (1983-1988). The last year El año pasado

(1989) is reserved for validation purposes. (1989) se reserva para fines de validación.

In the case of wind speed, 6 En el caso de la velocidad del viento, el 6 de

*t* *t*

, the proposed model is the following: , El modelo propuesto es el siguiente:

6 6

*t* *t*

= *m* = *M*

6, *t* 6, *t*

+ *S* + *S*

6, *t* 6, *t*

+ *z* + *Z*

6, *t* 6, *t*

, ,

(4) (4)

where *m* donde *m*

6, *t* 6, *t*

is the trend term, *S* es la tendencia a largo plazo, *S*

6, *t* 6, *t*

is the seasonal or cyclical term, and *z* es el término estacionales o cíclicos, y, *z*

6, *t* 6, *t*

is the stochastisc component. es el componente stochastisc.

The trend has been calculated by fitting the mean annual speed values from 1983 to 1988 to a straight La tendencia ha sido calculado mediante el ajuste de los valores de la velocidad media anual de 1983 a 1988 a una recta

line. línea. The expression obtained is: La expresión obtenida es:

*m* *m*

6, *t* 6, *t*

=21−0.21( *t* −1900), = 21-0.21 *(t* -1900),

(5) (5)

where *t* is the year. donde *t* es el año. Regression coefficient is rather low ( *r* Coeficiente de regresión es bastante bajo *(r*

2 2

=0.88), but the model is able to predict the = 0,88), pero el modelo es capaz de predecir la

mean speed for 1989 (Table I). la velocidad media para 1989 (cuadro I). In order to obtain valid predictions for more than 1–2 years beyond the Con el fin de obtener predicciones válidas para más de 1-2 años más allá de la

period of record, it is necessary to recalculate the model coefficients using the new available data. período de registro, es necesario volver a calcular los coeficientes del modelo usando los nuevos datos disponibles.

The cyclical term, *S* La expresión cíclica, *S*

6, *t* 6, *t*

is obtained through harmonic analysis as follows: se obtiene mediante el análisis armónico de la siguiente manera:

*S* *S*

6, *t* 6, *t*

=% =%

*j* *j*

[ *c* *[C*

*j* *j*

exp(i… exp (i ...

*j* *j*

*t* )+ *c* *t)* + *c*

− *j* - *J*

exp(−i… (exp-i ...

*j* *j*

*t* )], *t)],*

(6) (6)

where … donde ...

*j* *j*

with *j* =1, 2, 3, are the three main frequencies, *t* is time in h, *c* con *j* = 1, 2, 3, son las tres principales frecuencias, *t* es el tiempo en h, *c*

*j* *j*

, *c* , *C*

− *j* - *J*

are indeterminate son indeterminadas

coefficients, exp(i… coeficientes, exp (i ...

*j* *j*

*t* )=cos(… *t)* = cos (...

*j* *j*

*t* )+i sin(… *t)* + i sen (...

*j* *j*

*t* ) and i is the imaginary unit ( −1). *t)* y i es la unidad imaginaria (-1).

Fitting Equation (6), to the wind speed series, excluding trend, by a non-linear least-square technique, Acondicionamiento de la ecuación (6), a la serie de la velocidad del viento, con exclusión de la tendencia, por una técnica no lineal por mínimos cuadrados,

the resulting coefficients *c* los coeficientes que resultan *c*

*j* *j*

are those appearing in Table II. son los que aparecen en la Tabla II. Coefficients *c* Coeficientes *c*

− *j* - *J*

are not included in this table, no están incluidos en esta tabla,

since they are complex conjugates of *c* ya que son complejos conjugados de *c*

*j* *j*

. . If this fitted model is evaluated by the percentage of values of the Si este modelo ajustado es evaluada por el porcentaje de los valores de la

simulated wind speed series that differ by 1 ms simulada serie velocidad del viento que difieren en 1 ms

−1 -1

or less with regard to the actual series, one obtains the o menos con respecto a la serie actual, se obtiene la

Table III. Cuadro III. Verification and validation (bold) for the cyclical term of the wind speed model Verificación y validación (en negrita) para el término del modelo cíclico de la velocidad del viento

1987 1987

1986 1986

1985 1985

1984 1984

**1989** **1989**

1983 1983

Year Año

1988 1988

62.4 62,4

63.6 63,6

66.2 66,2

77.1 77,1

**72.5** **72,5**

Percentage of values with D651 ms Porcentaje de valores con ms D651

−1 -1

54.1 54,1

53.2 53,2

Copyright © 1999 Royal Meteorological Society Copyright © 1999 Royal Meteorological Society

*Int* . *J* . *Climatol* . **19** : 197–209 (1999) *Int. J. Climatol.* **19:** 197-209 (1999)

|  |
| --- |
| **Page 12** **Página 12**  |

M. MARTIN M. MARTIN

ET AL. ET AL.

208 208

Table IV. Cuadro IV. Model coefficients *c* Coeficientes del modelo *C*

*j* *j*

for the cyclical term of the wind direction series para el período cíclico de la serie de la dirección del viento

(Equation (8)) (Ecuación (8))

Period Periodo

*j* *j*

Frequency Frecuencia

*c* *c*

*j* *j*

a un

*c* *c*

− *j* - *J*

a un

(rad h (h rad

−1 -1

) )

*c* *c*

0 0

0 0

0 0

0.135−0.121i 0,135-0.121i

— --

1 year 1 año

1 1

0.0007 0,0007

0.207−0.036i 0,207-0.036i

0.057−0.115i 0,057-0.115i

24 h 24 h

2 2

0.2618 0,2618

0.058−0.351i 0,058-0.351i

0.338+0.043i 0.338 i 0.043

a un

i= −1. i = -1.

values shown in Table III. valores que se muestran en la Tabla III. Excluding the first 2 years, the rest of the years have percentages over 60%, Excluyendo los 2 primeros años, el resto del año tienen porcentajes más del 60%,

which are acceptable if one considers that the proposed model does not take into account the stochastic que son aceptables si se considera que el modelo propuesto no tiene en cuenta el estocástico

component of the series. componente de la serie. It is remarkable that the simulation improves with time. Es notable que la simulación mejora con el tiempo. The reason is that the La razón es que la

wind speed data dispersion is decreasing with time, in a similar way to what occurs with the annual mean datos sobre dispersión de la velocidad del viento disminuye con el tiempo, de una manera similar a lo que ocurre con la media anual de

speed (see Figure 5(a)). la velocidad (véase la figura 5 (a)).

In the case of wind direction, q En el caso de la dirección del viento, q

*t* *t*

, no trend was observed in the series analyzed, but a cyclical term exists , Ninguna tendencia se observó en la serie analizada, pero existe un término cíclica

similar to the one observed for the wind speed. similar a la observada para la velocidad del viento. Furthermore, the remaining fluctuations do not depend Además, las fluctuaciones restantes no dependen de

on the daily variation point, ie random fluctuations are additive. en el punto de variación diaria, es decir, las fluctuaciones aleatorias son aditivos. So, the model proposed is (remember Así, el modelo propuesto es (recuerde

that q is expressed as a complex number): que q se expresa como un número complejo):

q q

*t* *t*

= *S* = *S*

q, *t* q, *t*

+ *z* + *Z*

q, *t* q, *t*

, ,

(7) (7)

where the cyclical term, *S* donde el término cíclico, *S*

q, *t* q, *t*

, is expressed as follows: , Se expresa como sigue:

*S* *S*

q, *t* q, *t*

= *c* = *C*

0 0

+% +%

*j* *j*

[ *c* *[C*

*j* *j*

exp(i… exp (i ...

*j* *j*

*t* )+ *c* *t)* + *c*

− *j* - *J*

exp(−i… (exp-i ...

*j* *j*

*t* )], *t)],*

(8) (8)

where … donde ...

*j* *j*

with *j* =1, 2, are the two main frequencies. con *j* = 1, 2, son los dos principales frecuencias.

The model coefficients for the deterministic seasonal term of the direction series, obtained by using a Los coeficientes de modelo para el término de temporada de la serie determinista dirección, que se obtiene mediante un

similar technique to that used for the speed series, appear in Table IV. técnica similar a la utilizada para la serie de velocidad, aparecen en la Tabla IV. As an evaluation of the ability of Como una evaluación de la capacidad de

the proposed model to predict the actual wind direction series, Table V shows the percentages of the el modelo propuesto para predecir la actual serie de la dirección del viento, la tabla V muestra los porcentajes de la

difference values between the simulated and observed series, less than or equal to one and two direction los valores de diferencia entre la serie simulado y observado, inferior o igual a uno y dos de dirección

sectors. sectores. In the case of Dq545°, all the values, except for 1984, are around 70%. En el caso de Dq545 °, todos los valores, a excepción de 1984, son alrededor de 70%. This is a good result if Este es un buen resultado si

the fact that the model only considers the deterministic component of the series is taken into account. el hecho de que el modelo sólo considera el componente determinista de la serie se toma en cuenta.

Finally, the study of the correlograms for the series of residuals shows that the trend and cyclical terms Por último, el estudio de la correlogramas para la serie de los residuos muestra que la tendencia cíclica y términos

have been successfully removed. se han eliminado con éxito. Furthermore, computed correlograms from subsets of the series of Por otra parte, correlogramas calculado a partir de subconjuntos de la serie de

residuals have the same overall behavior as those for the entire series. los residuos tienen el mismo comportamiento en general como los de toda la serie. This suggests that the autocorrela- Esto sugiere que la autocorrela -

tions of the underlying process are time-independent. ciones de los procesos subyacentes son independientes del tiempo. Therefore, the remaining stochastic component can Por lo tanto, el componente estocástica restantes pueden

be reasonably considered as stationary (at least in a weak sense) and ergodic. razonablemente, ser consideradas como estacionaria (al menos en un sentido débil) y ergódica. Provided that stationarity Siempre que estacionariedad

and ergodicity conditions are met, the autocorrelation function may be used to make inferences about the ergodicidad y las condiciones se cumplen, la función de autocorrelación se puede utilizar para hacer inferencias acerca de la

underlying process of which the residual series is a sample (Chatfield, 1989; Brett and Tuller, 1991; Pen˜a, proceso subyacente de que la serie residual es una muestra (Chatfield, 1989; Brett y Tuller, 1991; Pen ~ a,

1994). 1994).

Table V. Verification and validation (bold) for the cyclical term of the wind direction model Tabla V. Verificación y validación (en negrita) para el período cíclico de la dirección del viento modelo de

**1989** **1989**

1983 1984 1985 1986 1987 1983 1984 1985 1986 1987

Year Año

1988 1988

**52.7** **52,7**

Percentage of values with Dq522.5° Porcentaje de valores con Dq522.5 °

59.9 59,9

56.1 56,1

55.8 55,8

51.1 51,1

37.7 37,7

55.1 55,1

72.3 72,3

68.4 68,4

72.0 72,0

68.3 68,3

60.6 60,6

73.4 73,4

Percentage of values with Dq545° Porcentaje de valores con Dq545 °

**66.2** **66,2**

Copyright © 1999 Royal Meteorological Society Copyright © 1999 Royal Meteorological Society

*Int* . *J* . *Climatol* . **19** : 197–209 (1999) *Int. J. Climatol.* **19:** 197-209 (1999)

|  |
| --- |
| **Page 13** **Página 13**  |

TIME SERIES OF SURFACE WIND SPEED AND DIRECTION SERIES DE TIEMPO DE SUPERFICIE DE VELOCIDAD DEL VIENTO Y DIRECCIÓN

209 209

5. 5. CONCLUSIONS CONCLUSIONES

In principle, it is not possible to assert that wind is produced by only either deterministic or probabilistic En principio, no es posible afirmar que el viento es producida por sólo sea determinista o probabilista

phenomena. fenómenos. In accordance with Alvarez (1986), the deterministic hypothesis supports the existence of De acuerdo con Álvarez (1986), la hipótesis determinista apoya la existencia de

certain systematic and regular cycles whose behaviour it is intended to establish, but not the cause that determinados ciclos de manera sistemática y regular, cuyo comportamiento se pretende establecer, pero no la causa de que

originates them. los origina. That is why the validity of the model proposed (that only includes the deterministic Por ello, la validez del modelo propuesto (que sólo incluye la determinista

component) is restricted to the point site of the meteorological station where the wind measurements were componente) se limita a la página punto de la estación meteorológica en las mediciones de viento se

collected. recogidos. The existence of well-defined oscillations related to natural cycles has been established. La existencia de oscilaciones bien definidos relativos a los ciclos naturales se ha establecido. This Esto

confirms the deterministic hypothesis. confirma la hipótesis determinista.

The proposed model is intended to reproduce the deterministic component of the wind data series. El modelo propuesto está destinado a reproducir el componente determinista de la serie de datos de viento. So, Tan,

the methodology followed would be specially suitable for describing and predicting wind at sites in which la metodología seguida sería especialmente adecuado para describir y predecir el viento en los sitios en los que

some cyclic patterns are expected, such as land–sea breezes, katabatic–anabatic winds, etc. In the case algunos patrones cíclicos se espera, como la tierra, la brisa del mar, los vientos catabáticos anabáticos, etc En el caso de

studied, the deterministic component of the model is enough to produce useful results (within an estudiados, el componente determinista del modelo es suficiente para producir resultados útiles (dentro de un

acceptable error) *ca* . de error aceptable) *ca.* 60–70% of time, for both wind speed and direction. Del 60-70% del tiempo, tanto para la velocidad y dirección del viento.

ACKNOWLEDGEMENTS AGRADECIMIENTOS

The authors would like to thank Dr M. Millán and Rosa Salvador for supplying the data series to Los autores desean agradecer al Dr. M. Millán y Rosa Salvador para el suministro de la serie de datos para

produce this paper. elaboración de este documento.

REFERENCES REFERENCIAS

Alvarez, N. 1986. *Aplicación del análisis armónico a fenómenos meteorológicos y económicos* , Instituto Nacional de Meteorologıá, Álvarez, N. 1986. *Aplicación del Análisis Armónico un Fenómenos meteorológicos y económicos,* el Instituto Nacional de Meteorología,

Madrid. Madrid.

Bosque, J. and Vila`, J. 1989. *Geografıá de Espan˜a* , *Vol* . Bosque, J. y Vila », J. 1989. *Geografía de Espan ~ a, vol.*

1: 1:

*Geografıá Fıs* , Planeta, Barcelona. *Geografía Fis,* Planeta, Barcelona.

Bosque, J. and Vila`, J. 1992. *Geografıá de Espan˜a* , *Vol* . Bosque, J. y Vila », J. 1992. *Geografía de Espan ~ a, vol.*

10: 10:

*Comunidad Valenciana* , *Murcia* , *Glosario* , *Indice General* , Planeta, *Comunidad Valenciana, Murcia, Glosario, Indice General,* Planeta,

Barcelona. Barcelona.

Breckling, J. 1989. *The Analysis of Directional Time Series* BRECKLING, J. 1989. *El Análisis de Series de Tiempo de dirección*

: :

*Applications to Wind Speed and Direction* , Springer, Berlin. *Aplicaciones de la velocidad del viento y dirección,* Springer, Berlin.

Brett, AC and Tuller, SE 1991. Brett, AC y Tuller, SE 1991. 'The autocorrelation of hourly wind speed observations', *J* . *Appl* . *Met* ., **30** (6), 823–833. "La autocorrelación de las observaciones de la velocidad horaria del viento ', *J. Appl. Met.,* **30** (6), 823-833.

Brown, BG, Katz, RW and Murphy, AH 1984. Brown, BG, Katz, RW y Murphy, AH 1984. 'Time series models to simulate and forecast wind speed and wind power', *J* . "Modelos de series temporales para simular y predecir la velocidad del viento y la energía eólica ', *J.*

*Clim* . *Appl* . *Met* ., **23** (8), 1184–1195. *Clim. Appl. Met.,* **23** (8), 1184-1195.

Carreras, C. 1992. *Geografıá General dels Paıs Catalans* . *Vol* . Carreras, C. 1992. *Geografía General dels País catalanes. Vol.*

1: 1:

*el Clima i el relleu* , Enciclopedia Catalana, Barcelona. *Tiempo i el relleu,* Enciclopèdia Catalana, Barcelona.

Chatfield, C. 1989. *The Analysis of Time Series* Chatfield, C. 1989. *El análisis de series temporales*

: :

*An Introduction* , 4th edn., Chapman and Hall, London. *An Introduction,* 4 ª ed., Chapman and Hall, Londres.

Coronas, A. and Baldasano, JM 1984. Coronas, A. y Baldasano, JM 1984. 'Fourier analysis of meteorological data to obtain a typical annual time function', *Solar* "El análisis de Fourier de los datos meteorológicos para obtener una típica función de tiempo anual, *Solar*

*Energy* , **32** (4), 479–488. *Energía,* **32** (4), 479-488.

Daniel, AR and Chen, AA 1991. Daniel, AR y Chen, AA 1991. 'Stochastic simulation and forecasting of hourly average wind speed sequences in Jamaica', *Solar* 'Simulación estocástica y predicción de secuencias por hora la velocidad media del viento en Jamaica', *Solar*

*Energy* , **46** (1), 1–11. *Energía,* **46** (1), 1-11.

Fisher, NI and Lee, AJ 1994. Fisher, NI y Lee, AJ 1994. 'Time series analysis of circular data', *J* . *R* . *Stat* . *Soc* . *B* "Análisis de series temporales de datos de *R* circular», *J.. Stat. Soc. B*

: :

*Methods* , **56** (2), 327–339. *Métodos,* **56** (2), 327-339.

Font Tullot, I. 1983. *Climatologıá de Espan˜ay Portugal* , Instituto Nacional de Meteorologıá, Madrid. Fuente Tullot, I. 1983. *Climatología de Espan ~ ay Portugal,* el Instituto Nacional de Meteorología, Madrid.

Frisch, AS, Stankov, BB, Martner, BE and Kaimal, JC 1991. Frisch, AS, Stankov, BB, Martner, BE y Kaimal, JC 1991. 'Mid-troposphere wind spectra from long term wind profiler 'Mediados de los espectros de viento troposfera de largo plazo perfilador de viento

measurements', *J* . *Appl* . *Met* ., **30** (12), 1646–1651. medidas », *J. Appl. Met.,* **30** (12), 1646-1651.

Gavalda`, J., Massons, J., Camps, J. and Dıá F. 1992. Gavalda `, J., Massons, J., Camps, J. y Día, F. 1992. 'Statistical and spectral analysis of the wind regime in the area of Catalonia', «Estadística y análisis espectral del régimen de viento en la zona de Cataluña,

*Theor* . *Appl* . *Clim* ., **46** (2–3), 143–152. *Theor. Appl. Clim.,* **46** (2-3), 143-152.

Ishida, H. (1990). Ishida, H. (1990). 'Seasonal variations of spectra of wind speed and air temperature in the mesoscale frequency range', "Las variaciones estacionales de los espectros de la velocidad del viento y la temperatura del aire en el rango de frecuencia de mesoescala»,

*Boundary* - *Layer Met* ., **52** (4), 335–348. *Boundary* - *Layer Met.,* **52** (4), 335-348.

Jenkins, GM and Watts, DG 1968. *Spectral Analysis and its Applications* , Holden-Day, San Francisco. Jenkins, GM y Watts, DG 1968. *Análisis espectral y sus aplicaciones,* Holden-Day, San Francisco.

Mardia, KV 1972. *Statistics of Directional Data* , Academic Press, London. Mardia, KV 1972. *Estadísticas de direccional de datos,* Academic Press, London.

Pen˜a, D. 1994. *Estadistica Modelus y Métodos* , 7th edn., Alianza Editorial, Madrid. Pen ~ a, D. 1994. *Estadística y Métodos Modelus y,* 7th ed., Alianza Editorial, Madrid.

Phillips, WF 1984. Phillips, WF 1984. 'Harmonic analysis of climatic data', *Solar Energy* , **32** (3), 319–328. "El análisis armónico de los datos climáticos, *Energía Solar,* **32** (3), 319-328.

Press, WH, Flannery, BP, Teukolsky, SA and Vetterling, WT 1989. Press, WH, Flannery, BP, Teukolsky, SA y Vetterling, WT 1989. 'Numerical Recipes', *The Art of Scientific Computing* . 'Numerical Recipes', *The Art of Scientific Computing.*

*Fortran Version* , Cambridge University Press, Cambridge. *Fortran, versión,* Cambridge University Press, Cambridge.

Schumann, EH 1992. Schumann, EH 1992. 'Interannual wind variability on the south and east coasts of South Africa', *J* . *Geophs* . *Res* . *D* "La variabilidad interanual del viento en las costas sur y este de Sudáfrica, *J. Geophs. Res. D*

: :

*Atmospheres* , *Atmósferas,*

**97** (18), 20397–20403. **97** (18), 20397-20403.

Wickle, CK, Sherman, PJ and Chen, T. 1995. Wickle, CK, Sherman, PJ y Chen, T. 1995. 'Identifying periodic components in atmospheric data using a family of minimum "La identificación de los componentes de periódicos en los datos de la atmósfera con una familia de al menos

variance spectral estimators', *J* . *Clim* ., **8** (10), 2352–2363. varianza de los estimadores espectrales ", *J. Clim.,* **8** (10), 2352-2363.

Copyright © 1999 Royal Meteorological Society Copyright © 1999 Royal Meteorological Society

*Int* . *J* . *Climatol* . **19** : 197–209 (1999) *Int. J. Climatol.* **19:** 197-209 (1999)