**Modelo ambiental para estudio de aerogeneradores en alta mar basado** **en datos**

* Matilde Santos2[ORCID](✉), Segundo Esteban1[ORCID](✉), María Guijarro2[ORCID](✉), and Rafael Lopez1[[0000-0003-4153-6779](https://orcid.org/0000-0003-4153-6779)](✉)

1Department of Computer Architecture and Automatic Control, Faculty of Physics, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, Spain  
[msantos@ucm.es](mailto:msantos@ucm.es), [sesteban@ucm.es](mailto:sesteban@ucm.es),

2 Computer Science Faculty, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, Spain  
[mguijarro@ucm.es](mailto:mguijarro@ucm.es),[rlopez@ucm.es](mailto:rlopez@ucm.es)

**Abstract.** Waves are the main source of disturbances for floating offshore wind turbines (FOWT). These loads have a great influence on the structure and thus, on the fatigue of the system. It is important to study their behaviour since the coupling of the frequency of the waves can produce oscillations of great amplitude in the wind turbines, damaging their structure. In this work, the influence of regular waves on the …

**Keywords:** Simulation, Floating Wind Turbine, Waves, Gyroscopic stabilization.

**1 introducción**

Este trabajo pretende obtener un modelo de aerogenerador basado en datos reales observados. [1]

En primer lugar, se describen los datos que se van a utilizar, se analizan las posibles relaciones entre los mismos y por último se obtienen mediante técnicas de clustering diferentes prototipos. [2]

**2 datos**

**2.1 Procedencia de los datos**

Los datos que se utilizarán proceden de observaciones realizadas por el organismo NOAA [3] y KIKE (pedir a Puertos del Estado y UE?).

Corresponden a medidas efectuadas por boyas situadas en 23 zonas oceánicas cubriendo toda la costa de Estados Unidos de América y KIKE en España.

Los datos recopilados que son reportados cada hora y se describen en [3]. se muestran en la Tabla 1

Tabla Datos

|  |  |
| --- | --- |
| WDIR | Dirección desde dónde viene el viento. - Se mide en grados, durante el mismo periodo que la velocidad del viento, en el sentido de las agujas del reloj usando el Norte como origen. |
| WSPD | La velocidad media del viento, medida en m/s, durante 8 minutos para las boyas y 2 minutos para estaciones en tierra. |
| GST | Velocidad de pico de una ráfaga de viento (m/s) durante la última medida de velocidad del viento. |
| WVHT | Altura significante. La media del tercio de olas más altas observadas, en m, durante 20 minutos. |
| DPD | Período de la ola con máxima energía (s). |
| APD | Período medio de todas las olas durante los 20 minutos de la medida (s). |
| MWD | Dirección desde donde viene la ola con máxima energía, en grados. |

**2.2 Análisis**

Aunque intuitivamente las variables parecen estar relacionadas (las olas se generan por el viento y es lógico pensar que la altura significante del oleaje y la velocidad del viento deben estar relacionadas) se estudian formalmente las posibles relaciones existentes.

En primer lugar, se ha comprobado para cada uno de los sitios si la distribución de los datos es la normal, usando para ello la prueba de *Kolmogorov-Smirnov [4]*, que ha rechazado la hipótesis nula; en otras palabras, las distribuciones no son normales y por tanto, no se debe analizar una posible correlación entre variables con pruebas paramétricas.

A continuación, se ha iniciado un análisis para buscar la distribución estadística que mejor se ajusta para cada una de las variables.

Mediante el análisis de varianza de Fiedman, se descarta que la distribución de las variables sea la misma.

obteniéndose los siguientes resultados:

**2.2.1 Correlación linear**

En primer lugar, se han generado gráficos de dispersión.

En la Figura 2 se representa la altura significante del oleaje frente a la velocidad del viento obtenidas en la boya de Corpus Christi en los años 2005 a 2011, incluidos; un total de KIKE 5517 observaciones.

Para estudiar la correlación linear entre las variables se ha usado el comando corrcoef de Matlab[[1]](#footnote-1)®.

Este comando devuelve dos arrays, un primer array R para valores de ρ, el coeficiente de correlación de Pearson, con valores en el intervalo [-1, 1].

Imagen que contiene mapa

Descripción generada automáticamente

Figura Gráfico de dispersión velocidad del viento vs. altura significante del oleaje correspondientes a observaciones efectuadas en la boya de Corpus Christi entre los años 2005 y 2011, ambos incluidos.

Ecuación 1 Coeficiente de Pearson

Las entradas en la diagonal, ρii, son todas 1, pues se confronta cada variable consigo misma, mientras que, para el resto de las entradas, ρij, proporcionan el coeficiente de Pearson para las variable i y j.

En segundo lugar, un array P con los llamados p-valores. KIKE fórmula

Un p-valor prueba la hipótesis de que no hay correlación. Esto quiere decir que si el p-valor es menor que el nivel de significación (α: 0.05), se rechaza la hipótesis de que no haya correlación, es decir, se acepta la que establece correlación linear.

Las entradas en la diagonal, p-valorii, son todas 1, pues se confronta cada variable consigo misma, mientras que, para el resto de las entradas, p-valorij, se confrontan la variable i con la j.

En la Tabla 3 se presentan los valores del coeficiente de Pearson

Tabla Coeficientes ρ de Pearson

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| WD | WSPD | GST | WVHT | DPD | APD | MWD |
| 1,000000 | 0,246199 | 0,278232 | 0,253785 | 0,095915 | 0,113180 | 0,104787 |
| 0,246199 | 1,000000 | 0,991079 | 0,731341 | 0,140064 | 0,220353 | -0,038773 |
| 0,278232 | 0,991079 | 1,000000 | 0,733937 | 0,145351 | 0,220847 | -0,046636 |
| 0,253785 | 0,731341 | 0,733937 | 1,000000 | 0,540029 | 0,740316 | -0,149331 |
| 0,095915 | 0,140064 | 0,145351 | 0,540029 | 1,000000 | 0,803594 | -0,325809 |
| 0,113180 | 0,220353 | 0,220847 | 0,740316 | 0,803594 | 1,000000 | -0,214626 |
| 0,104787 | -0,038773 | -0,046636 | -0,149331 | -0,325809 | -0,214626 | 1,000000 |

En la Tabla 4 se recogen los p-valores

El rango de cada p-valor esta entre 0 y 1; correspondiendo los valores próximos a 0 a una correlación significante en el correspondiente ρ, y una baja probabilidad de observar la hipótesis nula.

Primeramente, en ambos casos se tiene un p-valor­ inferior a 0.05, por lo que se acepta la hipótesis de que sí existe correlación entre la velocidad del viento y la altura de las olas con un 95% de confianza. Por otro lado, el coeficiente ρ toma un valor de en torno a 0,731341, lo cual quiere decir que aunque hay una correlación resaltable.

Tabla p-valores

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| WD | WSPD | GST | WVHT | DPD | APD | MWD |
| 1,000000 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000652 | 0,000057 | 0,000194 |
| 0,000000 | 1,000000 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000001 | 0,000000 | 0,168995 |
| 0,000000 | 0,000000 | 1,000000 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000000 | 0,097994 |
| 0,000000 | 0,000000 | 0,000000 | 1,000000 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000000 |
| 0,000652 | 0,000001 | 0,000000 | 0,000000 | 1,000000 | 0,000000 | 0,000000 |
| 0,000057 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000000 | 1,000000 | 0,000000 |
| 0,000194 | 0,168995 | 0,097994 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000000 | 1,000000 |

Sin embargo, este no es el caso general. Si tenemos encuenta todas las estaciones estudiadas, las frecuencias de correlación lineal son [5]:

References

[1] National Renewable Energy Laboratory of the U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy., *Metocean Data | NWTC Information Portal.* [Online] Available: https://nwtc.nrel.gov/metocean. Accessed on: Aug. 06 2019.

[2] G. M. Stewart, president A. Robertson, J. Jonkman, and M. A. Lackner, “The creation of a comprehensive metocean data set for offshore wind turbine simulations,” *Wind Energ.*, vol. 19, no. 6, pp. 1151–1159, 2016.

[3] U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, N. W. Service, and N. D. B. Center, *National Data Buoy Center.* [Online] Available: https://www.ndbc.noaa.gov/measdes.shtml. Accessed on: Aug. 09 2019.

[4] G. Marsaglia, W. W. Tsang, and J. Wang, “Evaluating Kolmogorov's Distribution,” *J. Stat. Soft.*, vol. 8, no. 18, 2003.

[5] G. Shevlyakov and H. Oja, *Robust Correlation : Theory and Applications*. New York, UNITED KINGDOM: John Wiley & Sons, Incorporated, 2016.

1. ® MATLAB y Simulink son marcas registradas de The MathWorks, Inc. [↑](#footnote-ref-1)