**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 son reportados cada hora. Se describen en [3] y se muestran en la Tabla 1

Tabla 1 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 durante 8 minutos para las boyas y 2 minutos para estaciones en tierra. |
| GST | Ráfagas de viento (m/s) en picos de 5 u 8 segundos medidos durante períodos anteriores. |
| WVHT | Altura significante. La media del tercio de olas más altas observadas durante 20 minutos. |
| DPD | Dominant wave period (seconds) is the period with the maximum wave energy. See the [Wave Measurements](https://www.ndbc.noaa.gov/wave.shtml) section. |
| APD | Average wave period (seconds) of all waves during the 20-minute period. See the [Wave Measurements](https://www.ndbc.noaa.gov/wave.shtml) section. |
| MWD | The direction from which the waves at the dominant period (DPD) are coming. The units are degrees from true North, increasing clockwise, with North as 0 (zero) degrees and East as 90 degrees. See the [Wave Measurements](https://www.ndbc.noaa.gov/wave.shtml) section. |

**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 normal usando la prueba de *Kolmogorov-Smirnov* (función kstest de Matlab[[1]](#footnote-1)®).

Los resultados para NE BAHAMAS se presentan en la Tabla 2 y la Figura 1. Puede concluirse que, para todos los sitios, todas las variables presentan una distribución normal, lo que permite usar pruebas paramétricas para estudiar la relación entre variables. Para ser más precisos se ha empleado la correlación de Pearson.

Tabla Prueba de *Kolmogorov* para NE BAHAMAS

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Estadisticos** | **WDIR** | **WSPD** | **GST** | **WVHT** | **DPD** | **APD** | **MWD** |
| **KOLMOGOROV** | **1,0000** | **1,0000** | **1,0000** | **1,0000** | **1,0000** | **1,0000** | **1,0000** |
| **P-VALOR** | **0,0000** | **0,0001** | **0,0000** | **0,0000** | **0,0000** | **0,0000** | **0,0000** |

**Imagen que contiene mesa, interior, mapa, texto

Descripción generada automáticamente**

Figura CDF NE BAHAMAS

**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 5517 observaciones.

Para estudiar la correlación linear entre las variables se ha usado el comando corrcoef de Matlab[[2]](#footnote-2)®.

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 2 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 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 3 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 4 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 [4]:

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, 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. 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)
2. ® MATLAB y Simulink son marcas registradas de The MathWorks, Inc. [↑](#footnote-ref-2)