

ANEJO B:

Manual de Usuario de WindMaker©

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS	III
ÍNDICE DE FIGURAS.....	V
1 ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DEL PROGRAMA	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Objetivos	1
2 BASE TEÓRICA DEL PROGRAMA	3
2.1 Modelo de generación de historias de viento	3
2.1.1 Espectro de Densidad Cruzada	4
2.1.2 Descomposición de Cholesky	6
2.2 Grado de ajuste de la señal generada	7
2.2.1 Medida de la turbulencia de la señal	7
2.2.2 Medida de la distribución estadística de la señal	7
2.2.3 Ajuste del espectro de un punto y de la correlación entre dos puntos	8
3 INSTALACIÓN DEL PROGRAMA.....	11
4 USO DEL PROGRAMA.....	13
4.1 Inicio del programa	13
4.2 Módulos del programa	14
4.3 Módulo 1: Definición del campo de viento.....	15
4.3.1 Zona A: Parámetros según IAP-11	15
4.3.2 Zona B: Datos derivados.....	19
4.3.3 Guardar y cargar datos del campo de viento turbulento	20
4.4 Módulo 2: Definición del espectro de turbulencia	20
4.4.1 Zona A: Control de la definición del espectro	21
4.4.2 Zona B: Representación gráfica del espectro	22
4.5 Módulo 3: Cálculo	24

4.5.1 Zona A: Control de la señal	24
4.5.2 Zona B: Parámetros de ajuste.....	26
4.5.3 Zona C: Representación gráfica del ajuste de la señal	26
4.6 Módulo 4: Visualización de los resultados	28
4.6.1 Zona A: Control de la visualización.....	28
4.6.2 Zona B: Exportación de resultados	29
4.6.3 Zona C: Visualización de la historia de velocidades.....	30
4.6.4 Zona D: Visualización espacial de la velocidad.....	30
4.6.5 Guardar y cargar datos del proyecto	32
4.7 Ayuda	32
REFERENCIAS	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Comparación del espectro de la señal y el espectro de referencia (izquierda) y de la correlación cruzada de la señal y de referencia (derecha). Fuente: Elaboración propia.	9
Figura 4.1. Ventana de inicio de WindMaker©. Fuente: Elaboración propia.....	13
Figura 4.2. Mensaje de aviso de resolución de pantalla de WindMaker©. Fuente: Elaboración propia.....	14
Figura 4.3. Módulos que componen el programa WindMaker©. Fuente: Elaboración propia. ..	14
Figura 4.4. Zonas del Módulo 1. Fuente: Elaboración propia.....	15
Figura 4.5. Introducción de la zona de viento. Fuente: Elaboración propia.....	15
Figura 4.6. Visualización del mapa de isotacas de viento en España según la IAP-11. Fuente: Elaboración propia.	16
Figura 4.7. Introducción de factores para la definición de la velocidad del viento. Fuente: Elaboración propia.	16
Figura 4.8. Introducción del tipo de entorno y visualización de variables asociadas. Fuente: Elaboración propia.	17
Figura 4.9. Visualización de la descripción de los tipos de entorno. Fuente: Elaboración propia.	17
Figura 4.10. Tipos de introducción de las coordenadas del dominio de cálculo. Fuente: Elaboración propia.	17
Figura 4.11. Introducción de coordenadas del dominio desde archivo. Fuente: Elaboración propia.....	18
Figura 4.12. Ejemplo de archivo de coordenadas. Fuente: Elaboración propia.	18
Figura 4.13. Tabla de introducción manual de coordenadas. Fuente: Elaboración propia.....	19
Figura 4.14. Mensaje de aviso de celdas vacías en la introducción manual de coordenadas. Fuente: Elaboración propia.	19
Figura 4.15. Zona B del Módulo 1 tras la introducción de coordenadas. Fuente: Elaboración propia.....	20

Figura 4.16. Zona B del Módulo 1 con todos los parámetros del campo de viento. Fuente: Elaboración propia.	20
Figura 4.17. Zonas del Módulo 2. Fuente: Elaboración propia.....	21
Figura 4.18. Definición del espectro (izquierda) y función de coherencia (derecha). Fuente: Elaboración propia.	21
Figura 4.19. Proceso de cálculo del espectro de referencia. Fuente: Elaboración propia.	22
Figura 4.20. Zona B del Módulo 2. Fuente: Elaboración propia.....	22
Figura 4.21. Representación del espectro de turbulencia de referencia individual. Fuente: Elaboración propia.	23
Figura 4.22. Representación de la densidad espectral cruzada de referencia en 2D. Fuente: Elaboración propia.	23
Figura 4.23. Representación de la densidad espectral cruzada de referencia en forma matricial. Fuente: Elaboración propia.	23
Figura 4.24. Zonas del Módulo 3. Fuente: Elaboración propia.....	24
Figura 4.25. Parámetros de control del cálculo de la Zona A del Módulo 3. Fuente: Elaboración propia.....	25
Figura 4.26. Diferentes fases del cálculo de la señal de viento. Fuente: Elaboración propia.	25
Figura 4.27. Zona B del Módulo 3. Fuente: Elaboración propia.....	26
Figura 4.28. Zona C del Módulo 3. Fuente: Elaboración propia.....	27
Figura 4.29. Visualización del ajuste del espectro individual de turbulencia. Fuente: Elaboración propia.....	27
Figura 4.30. Visualización del ajuste de la densidad espectral cruzada. Fuente: Elaboración propia.....	27
Figura 4.31. Zonas del Módulo 4. Fuente: Elaboración propia.....	28
Figura 4.32. Zona A del Módulo 4. Fuente: Elaboración propia.	29
Figura 4.33. Zona B del Módulo 4. Fuente: Elaboración propia.....	29
Figura 4.34. Zona C del Módulo 4. Fuente: Elaboración propia.....	30
Figura 4.35. Zona D del Módulo 4 para una visualización 1D. Fuente: Elaboración propia.	30
Figura 4.36. Visualización 1D del perfil de velocidades según el eje z. Fuente: Elaboración propia.....	31
Figura 4.37. Zona D del Módulo 4 para una visualización 2D. Fuente: Elaboración propia.	31

Figura 4.38. Representación en el plano YZ de la velocidad longitudinal. Fuente: Elaboración propia.....	31
Figura 4.39. Acceso al menú de ayuda. Fuente: Elaboración propia.	32
Figura 4.40. Visualización del Manual de Usuario de WindMaker© dentro del programa. Fuente: Elaboración propia.	33

1 ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DEL PROGRAMA

1.1 ANTECEDENTES

El presente manual del programa WindMaker©, un programa para la generación de historias de velocidad de viento, forma parte del trabajo *Simulación Estocástica de Cargas para Análisis Dinámico de Estructuras en Ing. Civil*, el cual se enmarca dentro de la normativa referente al Trabajo Fin de Máster de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla (ETSI) para la obtención de los créditos de la asignatura Trabajo Fin de Máster y así obtener el título de Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad de Sevilla (Plan 2016/2017).

El departamento adjudicador del Trabajo Fin de Máster ha sido el Departamento de Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras de la ETSI, siendo los tutores D. Javier Fernando Jiménez Alonso, profesor asociado del departamento de Estructuras de Edificación e Ingeniería del Terreno de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación, y D. Andrés Sáez Pérez, catedrático de universidad del departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería.

1.2 OBJETIVOS

WindMaker© es un programa de cálculo de historias artificiales de velocidad de viento creado en MatLab. Con él se pretende disponer de una herramienta rápida y sencilla que permita la generación de historias de velocidad de viento turbulento basadas en un espectro de referencia de la turbulencia del viento.

El uso de historias de velocidad de viento artificiales se hace necesario cuando se abordan cálculos dinámicos estructurales y no se disponen de mediciones reales en la zona, pero sí de normativas o guías que definen los parámetros medios del viento en la zona de estudio y de espectros de referencia sobre la turbulencia del mismo. En estos casos, es fundamental su uso cuando la estructura que se quiere analizar posee un comportamiento predominantemente no lineal, no siendo posible su análisis mediante procedimientos estáticos o modales simplificados.

Las historias de velocidad de viento artificiales generadas por WindMaker© están orientadas a su uso en los casos descritos anteriormente.

2 BASE TEÓRICA DEL PROGRAMA

En el presente apartado se aporta la base teórica, de forma resumida, que ha sido implementada en WindMaker© para la generación de señales de viento artificiales.

2.1 MODELO DE GENERACIÓN DE HISTORIAS DE VIENTO

Se va a utilizar una metodología para generar historias de viento turbulento basada en espectros de referencia. A pesar de que el tiempo computacional es más elevado en técnicas de este tipo que en técnicas que usan filtros digitales (por ejemplo, ARMA), éstas últimas requieren un complejo proceso para establecer el orden del método en cada caso, lo que puede dificultar notablemente los cálculos.

El método considerado parte de las siguientes hipótesis sobre el campo de viento, el cual es considerado como:

- **Unidireccional:** equivale a considerar que la dirección principal del flujo es constante, tanto en el tiempo como en el espacio.
- **Estacionario:** supone que la distribución de probabilidad del viento en función de la frecuencia no varía en el período considerado en la simulación, es decir, el espectro de turbulencia usado como referencia es constante en el tiempo.
- **Homogéneo:** da lugar a que las propiedades estadísticas de la señal son iguales en toda la región considerada, es decir, el espectro de turbulencia no varía según la localización espacial.
- **Gaussiano:** supone la consideración de que la distribución que sigue el fenómeno es de tipo normal.

Estas hipótesis son asunciones muy importantes en un fenómeno como el viento; no obstante, sin considerar procesos como huracanes o tornados, donde estas hipótesis serían inasumibles, con las consideraciones expuestas se consigue simular series de viento turbulento que se ajustan a la realidad. Este buen ajuste se consigue para registros de tiempo que no sean demasiado elevados, y en casos en los que la topografía local o la existencia de obstáculos no den lugar a un incremento de la turbulencia (y la consecuente pérdida de la distribución normal asumida); en el último caso, por ejemplo, sería necesaria la simulación mediante métodos de mecánica de fluidos, o ensayos en túneles de viento.

El modelo de generación empleado en el presente TFM tiene la siguiente expresión (Shinozouka, 1972) para un determinado punto p del dominio, y para la componente longitudinal del viento, u_p :

$$u_p(t) = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^N |G_{pi}(f_j)| \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta f} \cdot \cos(\omega_j \cdot t + \phi_{ij}) \quad (2.1)$$

Dónde:

- p es el punto en el que se obtiene la velocidad.
- t es el instante de tiempo considerado, en segundos.
- N es el número máximo de frecuencias en las que se discretiza el rango de frecuencias.
- i es un índice que recorre el número de puntos del dominio.
- j es un índice que recorre el número de frecuencias del rango establecido.
- f_j es la frecuencia considerada, en Hz.
- ω_j es la frecuencia angular, en rad/s, asociada a la frecuencia f_j .
- Δf es el incremento de frecuencia en el que se discretiza el rango, en Hz, normalmente un valor constante al ser la discretización de forma que haya equidistancia entre las frecuencias consideradas.
- ϕ_{ij} es un ángulo de fase aleatorio que sigue una distribución uniforme entre 0 y 2π ; equivale a establecer la fase de la componente de frecuencia introducida en el sumatorio.
- $G_{pi}(f_j)$ es el valor de la matriz triangular inferior, obtenida a partir de la matriz de correlación cruzada de los puntos del dominio, asociada a los puntos p e i y la frecuencia f_j . Su significado se aborda más ampliamente en el apartado 2.1.2.

Para las componentes lateral, v_p , y vertical, w_p , del mismo punto p , la expresión utilizada es idéntica a la ecuación (2.1), pero cambiando el valor del parámetro $G_{pi}(f_j)$ según la componente requerida.

En los siguientes apartados se hace hincapié en algunos de los aspectos y parámetros fundamentales que intervienen en la ecuación (2.1).

2.1.1 ESPECTRO DE DENSIDAD CRUZADA

Como espectros de turbulencia de referencia se han utilizado los espectros de Von Karman para la componente longitudinal del viento, por un lado, y para las componentes lateral y vertical, por otro lado; ambas expresiones son las siguientes:

$$\tilde{S}_{V.K.} = \frac{f \cdot S_u(f)}{\sigma_u^2} = \frac{4 \cdot \tilde{f}_u}{\left(1 + 70,8 \cdot \tilde{f}_u^2\right)^{5/6}} \quad (2.2)$$

$$\tilde{S} = \frac{f \cdot S_i(f)}{\sigma_i^2} = \frac{4 \cdot \tilde{f}_i \cdot \left(1 + 755,2 \cdot \tilde{f}_i^2\right)}{\left(1 + 283,2 \cdot \tilde{f}_i^2\right)^{11/6}} \quad (2.3)$$

Dónde:

- i es la componente de la turbulencia considerada (u, v, w).
- σ_i es la desviación típica de la componente i de la turbulencia del viento.
- $\tilde{f}_i$ es un parámetro adimensional que, para cada dirección i , viene determinado por:

$$\tilde{f}_i = \frac{f \cdot {}^xL_i}{U} \quad (2.4)$$

Siendo f la frecuencia, xL_i la escala de longitud en la dirección i , y U la velocidad media del viento en el punto considerado.

El espectro de Von Karman está definido para un único punto individual dentro del dominio. Sin embargo, el viento es un fenómeno en el cual existe una determinada correlación entre los diferentes puntos del dominio sobre el que actúa el campo de velocidades del viento. Para tener en cuenta este hecho, se recurre a la definición de un **espectro de densidad cruzada**, el cual tiene la siguiente expresión:

$$S_{pq}(f) = \sqrt{S_p(f) \cdot S_q(f)} \cdot coh_{pq}(f) \quad (2.5)$$

Dónde:

- p, q , son dos puntos cualesquiera del dominio de cálculo.
- f es la frecuencia considerada dentro del rango de frecuencias establecido.
- S_p, S_q , es el espectro de turbulencia asociado a los puntos p y q , respectivamente.
- coh_{pq} es la función de coherencia espacial entre los puntos p y q . Para su definición se ha usado la expresión impuesta por Davenport (Riera and Davenport, n.d.), la cual tiene la siguiente expresión:

$$coh_{pq}(f) = \exp \left[\frac{-2 \cdot f \cdot \sqrt{C_x^2 \cdot (x_p - x_q)^2 + C_y^2 \cdot (y_p - y_q)^2 + C_z^2 \cdot (z_p - z_q)^2}}{\bar{U}(z_p) + \bar{U}(z_q)} \right] \quad (2.6)$$

Siendo:

- C_x, C_y, C_z , coeficientes adimensionales de decaimiento establecidos experimentalmente. Algunos autores, como (Asoc. Española de Normalización y Certificación, 1998) o (Castro et al., 2015), establecen un valor de estos coeficientes de 11,5.
- U es la velocidad media del viento en el punto considerado.
- x, y, z , son las coordenadas espaciales de los puntos considerados.

De esta forma, conocido el espectro individual de cada punto del dominio para una componente de la velocidad del viento, y obtenida la función de coherencia para el par de puntos p y q , se puede obtener el espectro de densidad cruzada S_{pq} entre dichos puntos. Como se ha mencionado, este proceso se realiza para cada componente de la velocidad del viento, por lo que se obtendrían, de forma independiente, tres espectros de densidad cruzada: longitudinal, lateral y vertical, según el análisis que se pretenda realizar.

Obtenido S_{pq} para una determinada componente de la velocidad del viento, la matriz de densidad espectral cruzada se obtiene dividiendo el dominio de cálculo en un total de P puntos; de esta forma, se obtiene una matriz $P \times P$ para cada frecuencia dentro del rango establecido y para cada componente de la velocidad, siendo la expresión generalizada resultante la siguiente:

$$\mathbf{S}(f_j) = \begin{bmatrix} S_{11}(f_j) & S_{12}(f_j) & \cdots & S_{1P}(f_j) \\ S_{21}(f_j) & S_{22}(f_j) & \cdots & S_{2P}(f_j) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{P1}(f_j) & S_{P2}(f_j) & \cdots & S_{PP}(f_j) \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

2.1.2 DESCOMPOSICIÓN DE CHOLSKY

La matriz de densidad espectral cruzada mostrada anteriormente en la expresión (2.7) cumple la siguiente propiedad:

$$S_{pq}(f) = S_{qp}^*(f) \quad (2.8)$$

Por lo tanto, la matriz de densidad espectral cruzada es una matriz Hermitiana, es decir, es una matriz cuadrada de elementos, en general, complejos, que tiene la característica de ser igual a su propia traspuesta conjugada. Además, la matriz cumple la condición de ser definida positiva, por lo que se puede realizar una descomposición de Cholesky sobre la misma, de forma que:

$$\mathbf{S}(f_j) = \mathbf{G}(f_j) \cdot \mathbf{G}^{*T}(f_j) \quad (2.9)$$

Es decir, la matriz de densidad espectral cruzada puede ser escrita como el producto de una matriz triangular inferior, $\mathbf{G}(f_j)$, y su conjugada traspuesta, $\mathbf{G}^{*T}(f_j)$. La matriz $\mathbf{G}(f_j)$, con dimensiones $P \times P$ (siendo P el número de puntos en los que se discretiza el dominio de cálculo), tendría la siguiente forma:

$$\mathbf{G}(f_j) = \begin{bmatrix} G_{11}(f_j) & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ G_{21}(f_j) & G_{22}(f_j) & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & & \vdots \\ G_{p1}(f_j) & G_{p2}(f_j) & \cdots & G_{pp}(f_j) & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \ddots & \vdots \\ G_{P1}(f_j) & G_{P2}(f_j) & \cdots & G_{Pp}(f_j) & \cdots & G_{PP}(f_j) \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

La matriz $\mathbf{G}(f_j)$ tomará valores diferentes según la componente de la turbulencia considerada, por lo que se obtendrán tres matrices $\mathbf{G}(f_j)$: longitudinal, lateral y vertical. De esta forma, los valores de la matriz $\mathbf{G}(f_j)$ que se muestran en la ecuación (2.10) serán los usados en la ecuación (2.1) para obtener la historia de velocidades de la componente turbulenta del viento para la dirección considerada.

2.2 GRADO DE AJUSTE DE LA SEÑAL GENERADA

Una vez obtenida la señal de velocidad del viento es interesante calcular una serie de parámetros para valorar el grado de ajuste de la señal con respecto a los parámetros de referencia usados en su definición. En el presente apartado se presentan dichos parámetros.

2.2.1 MEDIDA DE LA TURBULENCIA DE LA SEÑAL

La mejor forma de determinar el grado de turbulencia de una señal es el cálculo de la intensidad de turbulencia asociada a la misma. Una vez determinada la componente de velocidad de la turbulencia del viento deseada (longitudinal u , lateral v , vertical w), el primer paso es la obtención de la desviación típica σ de la señal; obtenida ésta, basta con dividir por la velocidad media del punto en cuestión para la obtención de la intensidad de turbulencia.

Así, de acuerdo a la siguiente expresión, se puede obtener la intensidad de turbulencia de la señal de la velocidad del viento en cada uno de los puntos del dominio de cálculo y para cada componente de la velocidad i :

$$I_i(z) = \frac{\sigma_i(z)}{\bar{U}(z)} \quad (2.11)$$

Comparando el valor obtenido a partir de la señal con el valor de referencia calculado para la generación de la señal, se puede determinar el grado de ajuste de la turbulencia de la velocidad de viento sintética.

2.2.2 MEDIDA DE LA DISTRIBUCIÓN ESTADÍSTICA DE LA SEÑAL

En la definición del modelo de generación de señales de viento artificiales una de las hipótesis consideradas consiste en que la distribución de probabilidad que sigue el fenómeno del viento es de tipo normal. Por ello, es aconsejable comprobar que esta hipótesis se cumple para verificar la validez de la señal.

Una de las formas más sencillas de realizar esta comprobación es evaluando el índice o coeficiente de apuntalamiento, también denominado **índice de curtosis k** , que sigue la siguiente expresión:

$$k = \frac{E(x - \mu)^4}{\sigma^4} - 3 \quad (2.12)$$

Dónde μ es la media de x , σ es la desviación típica de x , y $E(t)$ representa la esperanza de t .

El índice de curtosis puede tener los siguientes valores:

- $k < 0$, lo que da lugar a una distribución platicúrtica, la cual presenta una menor altura que la distribución normal en el centro y menores colas en los extremos.
- $k = 0$, lo que arroja una distribución mesocúrtica, la cual presenta una forma acampanada que coincide con la distribución normal.
- $k > 0$, lo que proporciona una distribución leptocúrtica, la cual presenta un abultamiento en el centro, teniendo colas más grandes que la distribución normal.

Otra forma de evaluar el ajuste a una distribución normal es la evaluación de una **medida de simetría**. Una distribución normal es perfectamente simétrica, por lo que si se evalúa la asimetría s de un conjunto de valores, el valor de dicha distribución normal sería cero. La asimetría se puede calcular como:

$$s = \frac{E(x - \mu)^3}{\sigma^3} \quad (2.13)$$

Dónde μ es la media de x , σ es la desviación típica de x , y $E(t)$ representa la esperanza de t .

Se pueden dar las siguientes casuísticas:

- $s < 0$, lo que indica que los datos tienden hacia la izquierda de lo que definiría la distribución normal.
- $s = 0$, lo que indica una distribución normal.
- $s > 0$, lo que indica que los datos tienden hacia la derecha de lo que definiría la distribución normal.

De acuerdo a estas definiciones, cuanto más cercanos a cero sean los valores de los coeficientes de curtosis k y de asimetría s de la señal de viento generada, más cercana estará la misma a una distribución normal (hipótesis de partida).

2.2.3 AJUSTE DEL ESPECTRO DE UN PUNTO Y DE LA CORRELACIÓN ENTRE DOS PUNTOS

Obtenida la señal temporal que define la variación de la velocidad del viento a lo largo del período considerado, una buena forma de obtener el ajuste de la señal consiste en el cálculo del espectro asociado a la misma, y compararlo con el espectro de referencia utilizado como base.

Para ello se ha utilizado el método de Welch, el cual consiste en aplicar una ventana de datos a los diversos segmentos en los que se subdivide la serie original, permitiendo que dichos segmentos puedan solaparse. El objetivo perseguido al utilizar las ventanas de datos es la reducción del sesgo de las estimaciones, aunque ello conlleve un ligero descenso de la resolución frecuencial. El permitir el solapamiento de los segmentos tiene como fin aumentar el número de segmentos a promediar, para así conseguir una mayor reducción de la varianza de las estimaciones espectrales. Las aplicaciones de estas mejoras, conjuntamente con la eficiencia computacional del algoritmo FFT, han permitido que el método de Welch se haya convertido en el procedimiento de estimación espectral más frecuentemente usado en la actualidad. Para más información sobre el método, se remite al lector a (Rodríguez, 1995).

De esta forma, utilizando el método de Welch, es posible obtener el espectro de turbulencia individual de cada punto, y para cada componente del viento, a partir de la señal generada. Comparando el espectro de la señal con el espectro de referencia se puede observar el grado de ajuste de la generación. Como ejemplo, se remite a la **Figura 2.1**, donde se puede apreciar que el espectro asociado a la señal oscila en torno al espectro de referencia.

Además, una vez obtenido el espectro individual asociado a la señal de viento en cada punto, es posible definir la densidad espectral cruzada entre cada uno de los puntos del dominio de cálculo repitiendo el proceso expuesto en el apartado 2.1.1, definiendo la función de coherencia para las frecuencias obtenidas del método de Welch. Obtenidos dichos valores, la comparación con la densidad espectral cruzada de referencia es inmediata; un ejemplo de comparación es el mostrado en la **Figura 2.1**, comprobándose tendencias similares entre ambos casos.

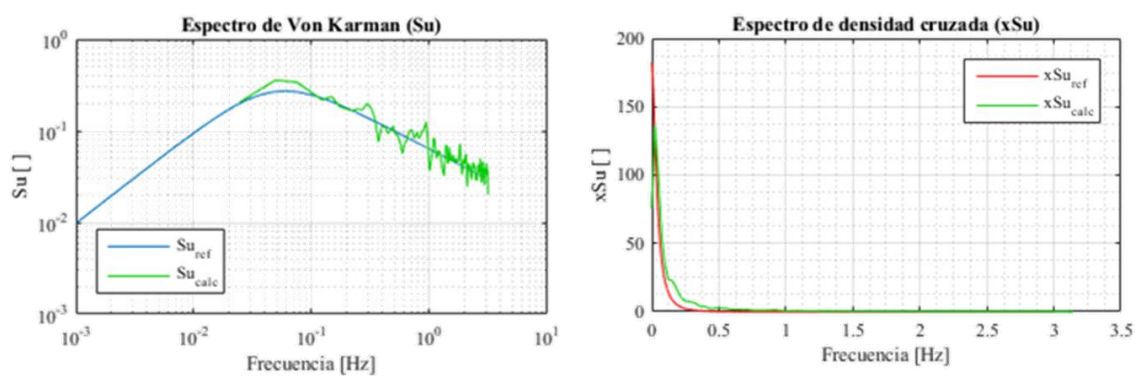


Figura 2.1. Comparación del espectro de la señal y el espectro de referencia (izquierda) y de la correlación cruzada de la señal y de referencia (derecha). Fuente: Elaboración propia.

3 INSTALACIÓN DEL PROGRAMA

Para instalar el programa WindMaker© y proceder a su uso basta con seguir las siguientes indicaciones según el caso:

- En ordenadores con MatLab instalado, es suficiente con ejecutar el archivo “WindMaker.exe” para utilizar el programa. Si se quiere instalar el programa en el ordenador en lugar de mantenerlo como ejecutable no instalado, se debe ejecutar uno de los siguientes archivos:
 - “setup_web.exe”, que descarga la rutina “MCR” desde el servidor web correspondiente.
 - “setup_cd.exe”, que utiliza la rutina “MCR” incluida en la compilación del programa.
- En ordenadores sin MatLab instalado, es necesario instalar el programa para su uso a partir de uno de los archivos de instalación descritos anteriormente (“setup_web.exe” o “setup_cd.exe”).

NOTA 1: El programa ha sido desarrollado en una resolución de 1366x768, por lo que se recomienda utilizar dicha resolución de pantalla o una superior durante su uso para asegurar la visualización de todos sus componentes.

NOTA 2: Se recomienda que los archivos con extensión .txt exportados por el usuario durante la ejecución del programa sean visualizados con un visor de texto tipo NotePad o similar.

4 USO DEL PROGRAMA

WindMaker© dispone de una interfaz gráfica sencilla e intuitiva que permite la introducción de datos por el usuario en un entorno guiado y la exportación de los resultados más significativos del proceso de generación de historias de velocidad de viento turbulento. A continuación se describen las principales características de cada uno de los complementos que posee el programa.

4.1 INICIO DEL PROGRAMA

Una vez instalado el programa, la ventana de inicio del mismo es la que se presenta en la **Figura 4.1**. Para acceder a los componentes del programa se debe pulsar el botón “COMENZAR”.

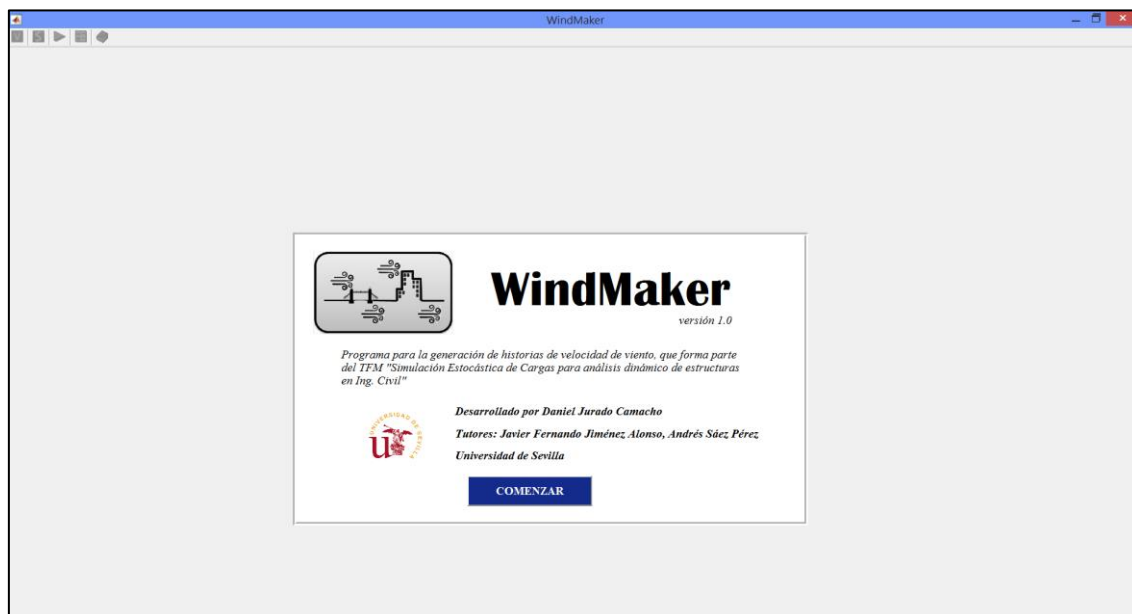


Figura 4.1. Ventana de inicio de WindMaker©. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, aparecerá un mensaje de aviso con la recomendación de usar una resolución de pantalla de 1366x768 para visualizar de manera óptima el entorno de trabajo y sus componentes (ver **Figura 4.2**). A continuación, pulsar “OK” para cerrar el aviso.



Figura 4.2. Mensaje de aviso de resolución de pantalla de WindMaker©. Fuente: Elaboración propia.

4.2 MÓDULOS DEL PROGRAMA

El programa WindMaker© se maneja mediante una barra de herramientas situada en la parte superior izquierda del entorno de trabajo y compuesta por cinco botones. La barra de herramientas se muestra en la **Figura 4.3**, dónde se pueden apreciar los distintos módulos del programa:

- **Módulo 1. Definición del campo de viento:** menú para la definición de las características del viento en la región donde se emplaza el estudio a realizar, así como los puntos del dominio en los que se calculará la velocidad del viento.
- **Módulo 2. Definición del espectro de turbulencia:** menú en el que se establecen los controles para generar los espectros de turbulencia de la velocidad del viento.
- **Módulo 3. Cálculo:** menú en el que se procede al cálculo de la componente turbulenta de la velocidad del viento y a la comprobación del grado de ajuste de la señal obtenida respecto a los parámetros de referencia.
- **Módulo 4. Visualización de resultados:** menú para la visualización de los resultados obtenidos y la exportación de los valores requeridos para la realización de análisis dinámicos bajo la acción del viento en estructuras.
- **Ayuda:** botón que permite consultar el Manual de Usuario de WindMaker©.

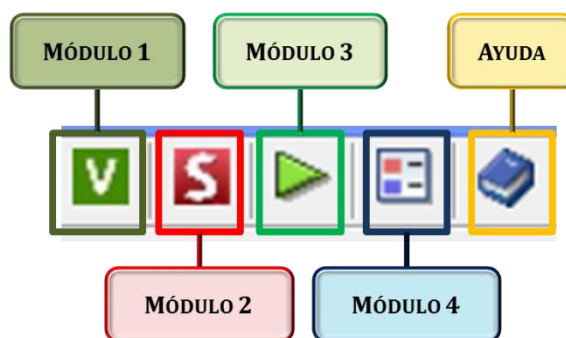


Figura 4.3. Módulos que componen el programa WindMaker©. Fuente: Elaboración propia.

4.3 MÓDULO 1: DEFINICIÓN DEL CAMPO DE VIENTO

El módulo para la definición del campo de viento dispone de dos zonas fundamentales (ver **Figura 4.4**), las cuales son:

- **Zona A:** Parámetros según IAP-11.
- **Zona B:** Datos derivados.

	x (m)	y (m)	z (m)	vm (m/s)	lv (%)	lv (%)	lv (%)	xlw (m)	xlw (m)	xlw (m)
1	0	5	10	32.90	12.33	10.85	6.78	80.56	25.36	3.50
2	0	10	8.5000	32.24	12.58	11.07	6.92	76.10	23.45	2.97
3	0	15	9	32.47	12.49	10.99	6.87	77.64	24.11	3.15
4	0	20	8.9000	32.43	12.51	11.01	6.88	77.34	23.98	3.11
5	0	25	8	32.00	12.68	11.16	6.97	74.50	22.78	2.80
6	0	30	7	31.45	12.89	11.35	7.09	71.10	21.37	2.45

Figura 4.4. Zonas del Módulo 1. Fuente: Elaboración propia.

4.3.1 ZONA A: PARÁMETROS SEGÚN IAP-11

Dentro de esta zona se procede a la definición de las características del campo de viento de acuerdo a la *Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera* (Fomento, 2011), en adelante mencionada como IAP-11. Con objeto de diferenciar los datos introducidos según su naturaleza, se exponen en los siguientes apartados las pautas a seguir en cada caso.

4.3.1.1. Zona de viento

En primer lugar se procede a la introducción de la zona de viento, de acuerdo a la IAP-11, según se muestra en la **Figura 4.5**.

Figura 4.5. Introducción de la zona de viento. Fuente: Elaboración propia.

Pulsando el botón “ZONAS DE VIENTO”, se puede ver un mapa de las zonas de viento en España, tal y como se muestra en la **Figura 4.6**.

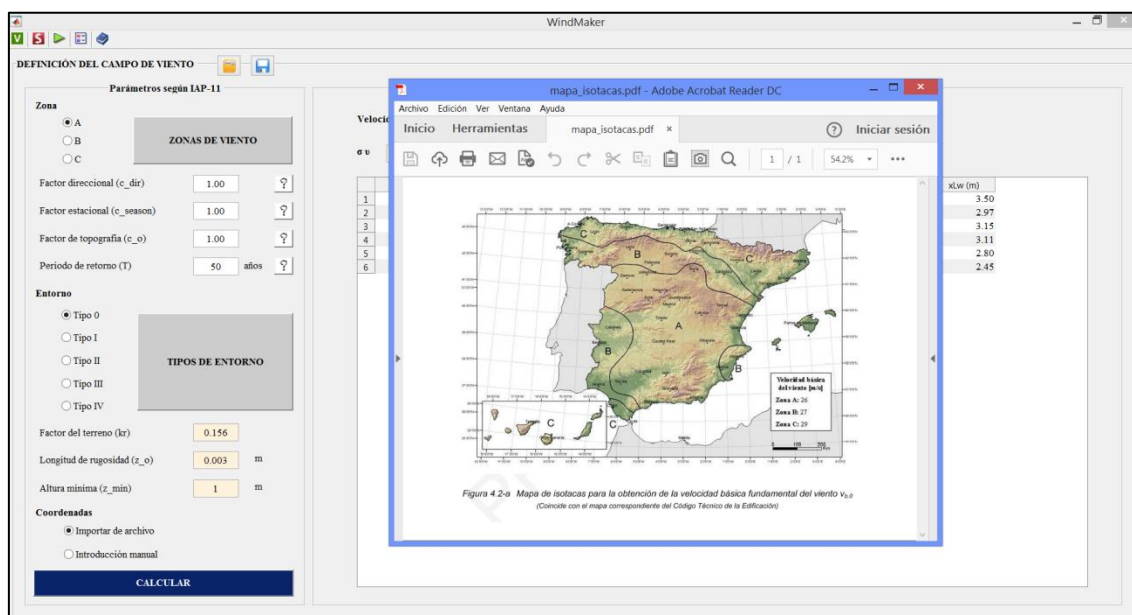


Figura 4.6. Visualización del mapa de isotacas de viento en España según la IAP-11. Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.2. Factores

El siguiente paso es la introducción de factores para la definición de la velocidad media del viento (ver **Figura 4.7**); dichos factores, cuya descripción se puede consultar a través del correspondiente botón de ayuda (?) en el programa, son los siguientes:

- Factor direccional del viento.
- Factor estacional del viento.
- Factor de topografía de la zona.
- Período de retorno, en años.

Factor direccional (c_dir)	1.00	?
Factor estacional (c_season)	1.00	?
Factor de topografía (c_o)	1.00	?
Periodo de retorno (T)	50 años	?

Figura 4.7. Introducción de factores para la definición de la velocidad del viento. Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.3. Entorno

Posteriormente se procede a la introducción del tipo de entorno, según se muestra en la **Figura 4.8**. Eliendo uno de los cinco tipos de entorno definidos, se pueden visualizar las siguientes variables asociadas:

- Factor del terreno (k_r).
- Longitud de rugosidad (z_0).
- Altura mínima ($z_{\min}$).

Entorno

☒ Tipo 0
 ☐ Tipo I
 ☐ Tipo II
 ☐ Tipo III
 ☐ Tipo IV

TIPOS DE ENTORNO

Factor del terreno (k_r)

0.156

Longitud de rugosidad (z_o)

0.003

m

Altura mínima (z_{min})

1

m

Figura 4.8. Introducción del tipo de entorno y visualización de variables asociadas. Fuente: Elaboración propia.

Pulsando el botón “TIPOS DE ENTORNO” se abre un archivo donde se pueden consultar las características de cada tipo de entorno (ver **Figura 4.9**).

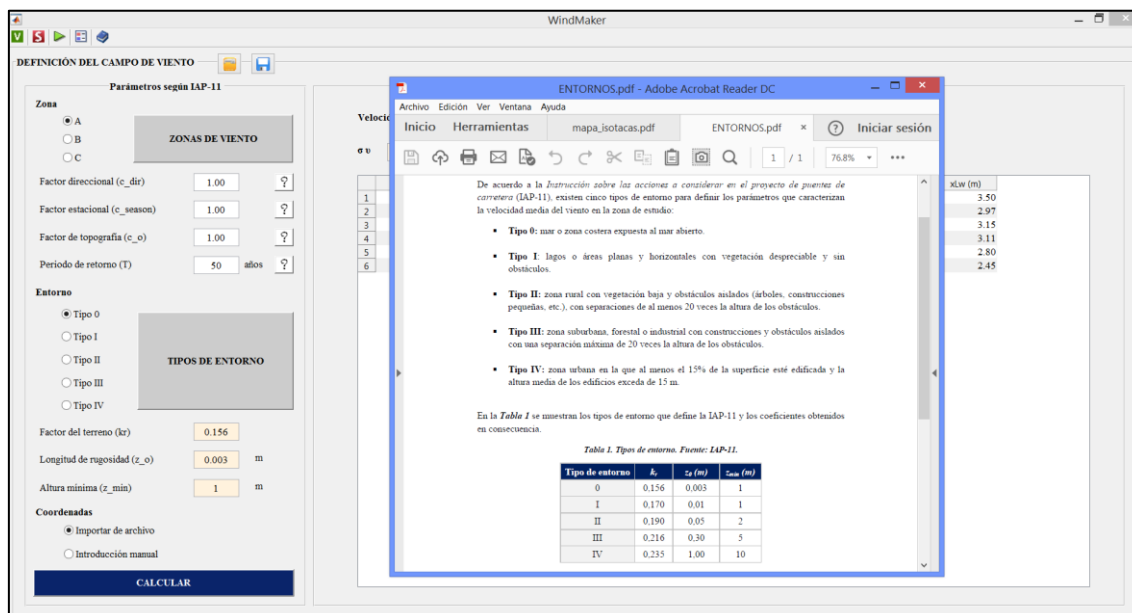


Figura 4.9. Visualización de la descripción de los tipos de entorno. Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.4. Coordenadas

Definidos los parámetros anteriores solo falta la definición de las coordenadas del dominio donde se calculará la velocidad del viento. Se han implementado dos formas de introducir dichas coordenadas, según se muestra en la **Figura 4.10**.

Coordenadas

☐ Importar de archivo
 ☐ Introducción manual

Figura 4.10. Tipos de introducción de las coordenadas del dominio de cálculo. Fuente: Elaboración propia.

La primera opción consiste en la **importación de las coordenadas desde un fichero externo de tipo texto** con extensión “.txt” (ver **Figura 4.11**). El fichero de texto debe tener las siguientes características:

- Tantas filas como puntos en el dominio se quieran introducir.
- Coordenadas de cada punto separadas por tabulaciones en el siguiente orden: coordenada x, coordenada y, coordenada z. De esta forma se forman tres columnas diferenciadas. Como ejemplo, se puede observar lo mostrado en la **Figura 4.12**.

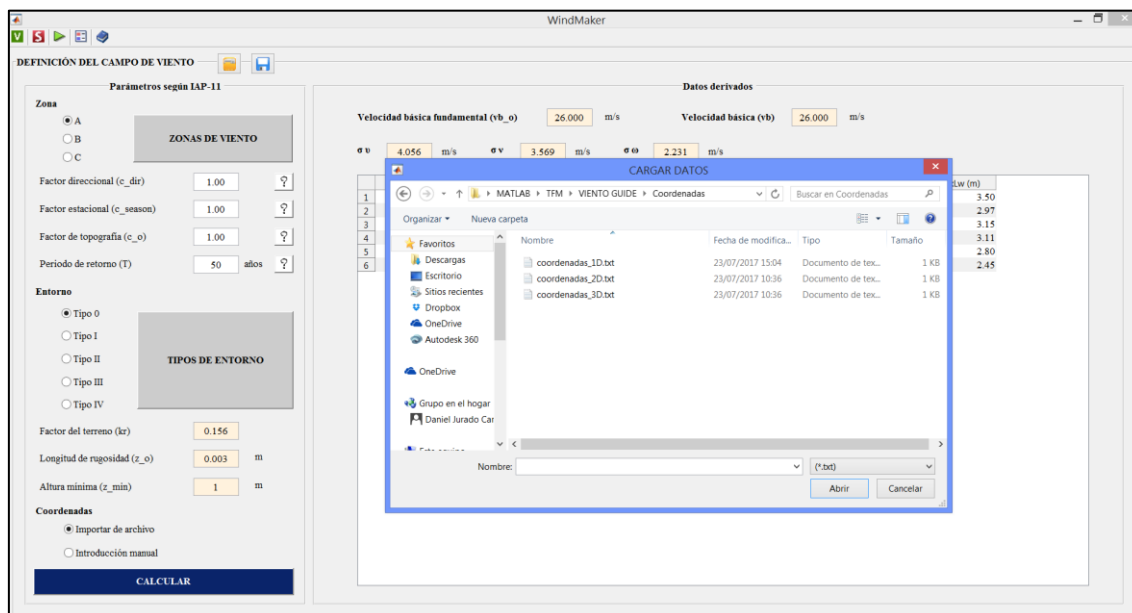


Figura 4.11. Introducción de coordenadas del dominio desde archivo. Fuente: Elaboración propia.

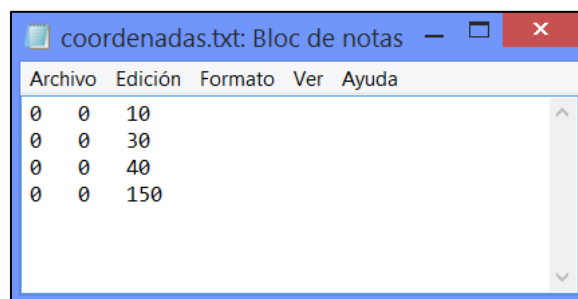
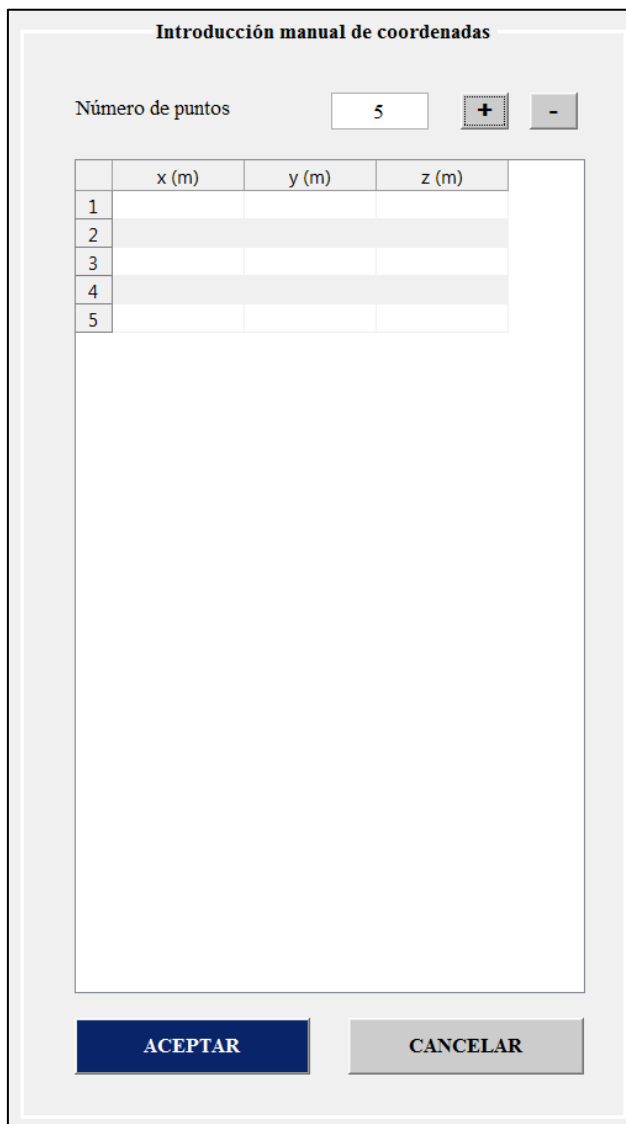


Figura 4.12. Ejemplo de archivo de coordenadas. Fuente: Elaboración propia.

La segunda opción consiste en la **introducción manual de las coordenadas del dominio**. Pulsando el botón correspondiente, se abre la tabla mostrada en la **Figura 4.13**. Se trata de una tabla dinámica en la que se pueden introducir el número de puntos del dominio, ya sea manualmente o a partir de los botones **+** y **-**; si se le da al botón “ACEPTAR” sin haber rellenado todas las celdas de coordenadas de los puntos seleccionados, el programa dará un mensaje de aviso (ver **Figura 4.14**).



Introducción manual de coordenadas

Número de puntos

	x (m)	y (m)	z (m)
1			
2			
3			
4			
5			

ACEPTAR CANCELAR

Figura 4.13. Tabla de introducción manual de coordenadas. Fuente: Elaboración propia.

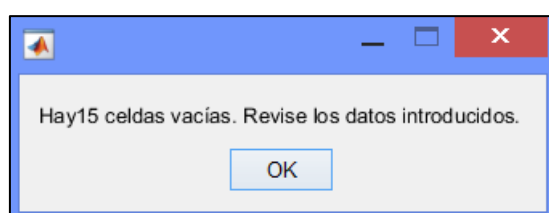


Figura 4.14. Mensaje de aviso de celdas vacías en la introducción manual de coordenadas. Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 ZONA B: DATOS DERIVADOS

Tras la introducción de las coordenadas del dominio, la Zona B del Módulo 1 tendrá la forma mostrada en la **Figura 4.15**. Como se puede apreciar, únicamente se muestran las coordenadas de los puntos introducidos.

Datos derivados

Velocidad básica fundamental (vb_o) m/s Velocidad básica (vb) m/s

σ_v m/s σ_v m/s σ_ω m/s

	x (m)	y (m)	z (m)	vm (m/s)	lu (%)	lv (%)	lz (%)	xLu (m)	xLv (m)	xLw (m)
1	0	0	10							
2	0	0	30							
3	0	0	40							
4	0	0	150							

Figura 4.15. Zona B del Módulo 1 tras la introducción de coordenadas. Fuente: Elaboración propia.

Para que aparezcan el resto de parámetros es necesario pulsar, una vez definidos todos los parámetros, el botón “CALCULAR” presente en la Zona A. Una vez hecho esto, la Zona B tomará la forma que se muestra en la **Figura 4.16**, con todos los parámetros del campo de viento definidos.

Datos derivados

Velocidad básica fundamental (vb_o) m/s Velocidad básica (vb) m/s

σ_v m/s σ_v m/s σ_ω m/s

	x (m)	y (m)	z (m)	vm (m/s)	lu (%)	lv (%)	lz (%)	xLu (m)	xLv (m)	xLw (m)
1	0	0	10	32.90	12.33	10.85	6.78	80.56	25.36	3.50
2	0	0	30	37.36	10.86	9.55	5.97	118.33	42.97	10.50
3	0	0	40	38.52	10.53	9.27	5.79	130.86	49.33	14.00
4	0	0	150	43.89	9.24	8.13	5.08	207.84	93.03	52.50

Figura 4.16. Zona B del Módulo 1 con todos los parámetros del campo de viento. Fuente: Elaboración propia.

4.3.3 GUARDAR Y CARGAR DATOS DEL CAMPO DE VIENTO TURBULENTO

Una vez definido el campo de viento turbulento siguiendo las instrucciones mostradas en los apartados anteriores, es posible **guardar** los datos para su uso en sesiones posteriores. Para ello se usaría el siguiente botón, situado al lado derecho del título del menú:



Guardar los datos que definen el campo en formato .mat.

En una sesión posterior de WindMaker© es posible recuperar los datos guardados a partir del siguiente botón de **cargar**:



Cargar los datos que definen el campo en formato .mat.

4.4 MÓDULO 2: DEFINICIÓN DEL ESPECTRO DE TURBULENCIA

En el Módulo 2 se procede a la definición del espectro de turbulencia en el que se basará la señal de viento generada. Las zonas de este módulo son las siguientes (ver **Figura 4.17**):

- **Zona A:** Control de la definición del espectro.
- **Zona B:** Representación gráfica del espectro.

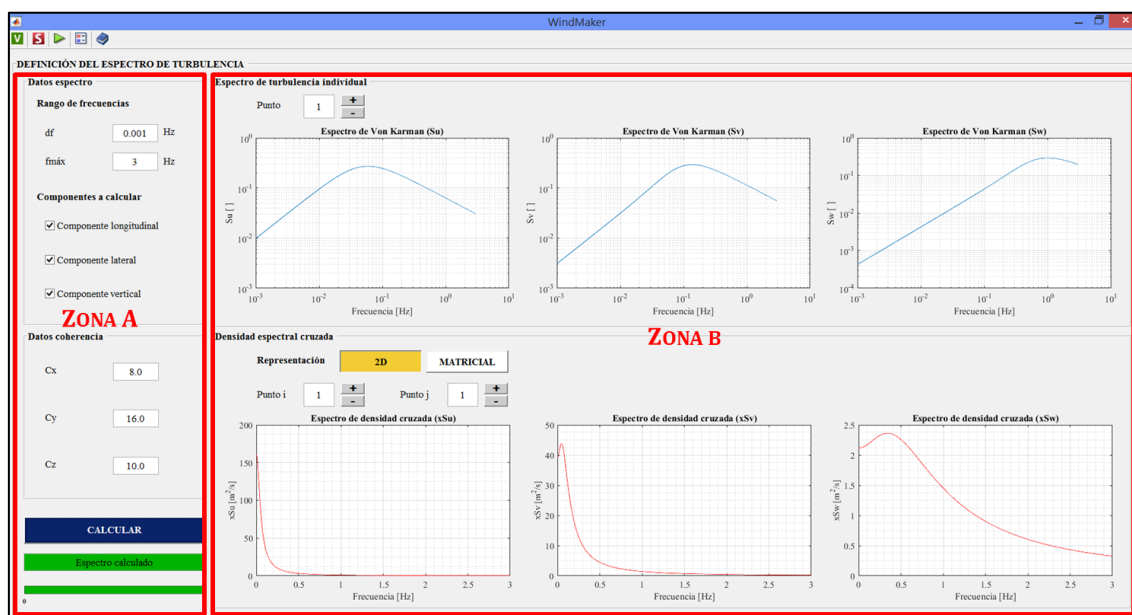


Figura 4.17. Zonas del Módulo 2. Fuente: Elaboración propia.

4.4.1 ZONA A: CONTROL DE LA DEFINICIÓN DEL ESPECTRO

La Zona A posee varios tipos de parámetros a introducir. En primer lugar se tienen los mostrados en la **Figura 4.18** (izquierda), cuya descripción es:

- Discretización del rango de frecuencias del espectro (df).
- Frecuencia máxima para la que será definido el espectro de turbulencia (f_{máx}). En la práctica, esta frecuencia no suele tomar valores muy altos, ya que el espectro de turbulencia cae bruscamente a partir de valores de 1 Hz, por lo que los valores asociados a frecuencias elevadas tendrá poca importancia en la definición de la señal.
- Componentes de la turbulencia que serán calculadas. Mediante el botón correspondiente se puede seleccionar una única componente, dos componentes, o las tres componentes para realizar el cálculo de la señal de viento. La selección realizada en este punto será consecuente en el resto de módulos.

En segundo lugar aparecen los parámetros mostrados en la **Figura 4.18** (derecha). Se trata de coeficientes de caída utilizados en la definición de la función de coherencia entre los distintos puntos del dominio.

Datos espectro

Rango de frecuencias

df Hz

f_{máx} Hz

Componentes a calcular

☒ Componente longitudinal

☒ Componente lateral

☒ Componente vertical

Datos coherencia

Cx

Cy

Cz

Figura 4.18. Definición del espectro (izquierda) y función de coherencia (derecha). Fuente: Elaboración propia.

4.4.2 ZONA B: REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL ESPECTRO

Una vez definidos los parámetros descritos de la Zona A se puede pulsar el botón “CALCULAR”. Tras ello, se habilitará la ventana de progreso con el mensaje “Calculando espectro”, habiendo finalizado éste cuando aparezca el mensaje “Espectro calculado” (ver *Figura 4.19*).

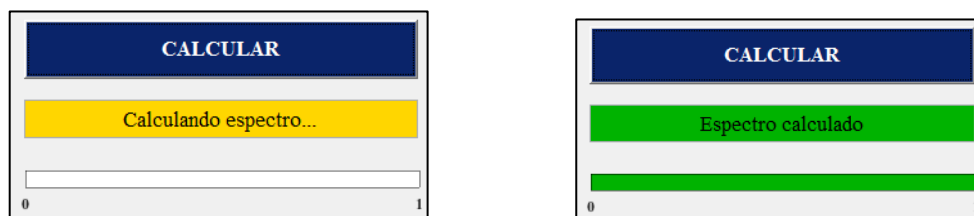


Figura 4.19. Proceso de cálculo del espectro de referencia. Fuente: Elaboración propia.

Tras ello, el espectro de turbulencia habrá sido calculado (en las componentes seleccionadas), y quedará habilitada la Zona B para la visualización de los resultados obtenidos al respecto (ver *Figura 4.20*).

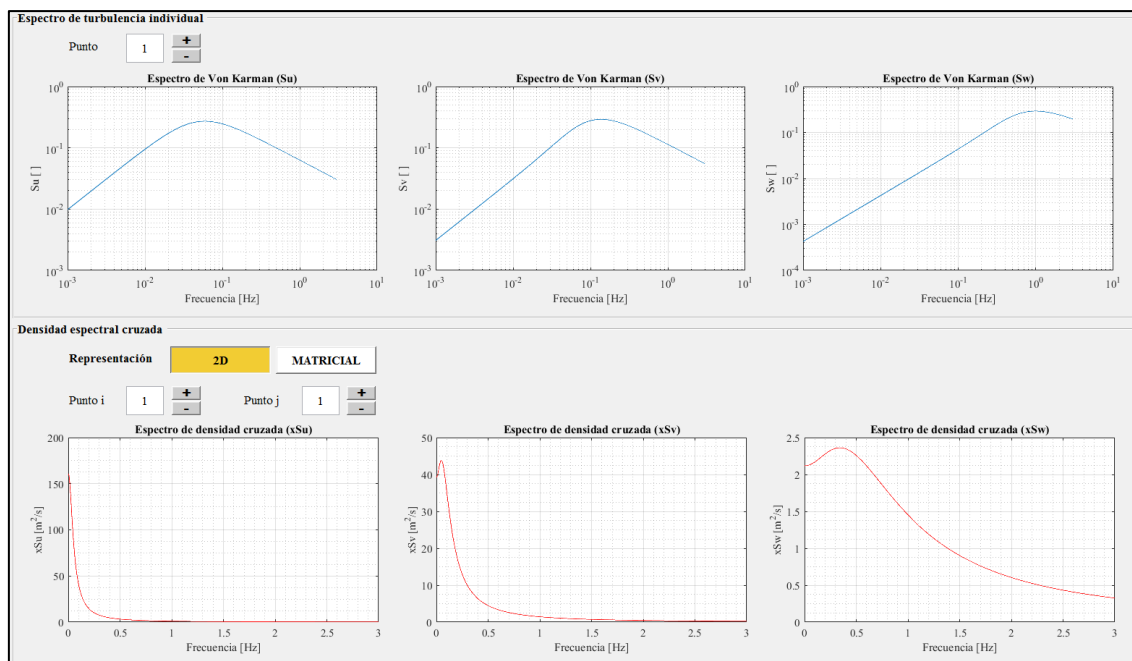


Figura 4.20. Zona B del Módulo 2. Fuente: Elaboración propia.

A continuación se especifican los tipos de resultados que se pueden visualizar en esta zona.

4.4.2.1. Espectro de turbulencia individual

La primera parte de esta zona permite observar los espectros de turbulencia individuales de cada punto del dominio, según las componentes de la turbulencia elegidas en el cálculo (ver *Figura 4.21*). Mediante la pestaña correspondiente se puede seleccionar el punto del dominio cuyo espectro se quiere visualizar, o también a partir de los botones $+$ y $-$.

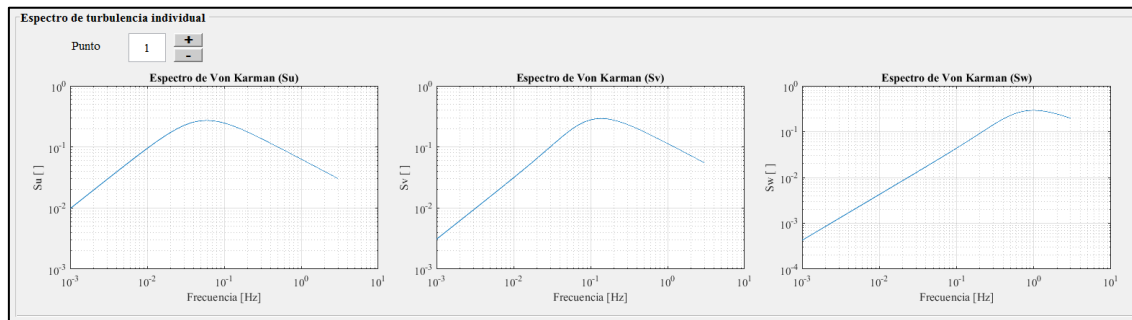


Figura 4.21. Representación del espectro de turbulencia de referencia individual. Fuente: Elaboración propia.

4.4.2.2. Densidad espectral cruzada

La segunda parte permite visualizar la densidad espectral cruzada de los puntos del dominio. Se pueden elegir dos tipos de representación gráfica:

- **Representación 2D:** se corresponde con la representación de la densidad espectral cruzada entre dos puntos del dominio en función del rango de frecuencias. Cuando este tipo de representación está habilitada (botón “2D”), se deben elegir los dos puntos del dominio cuya densidad espectral cruzada se quiere visualizar (ver **Figura 4.22**).
- **Representación matricial:** se corresponde con la representación de la densidad espectral cruzada entre los pares de puntos del dominio para una determinada frecuencia. Cuando este tipo de representación está habilitada (botón “MATRICIAL”), se puede elegir la frecuencia del dominio para la que se quieren visualizar los datos (ver **Figura 4.23**).

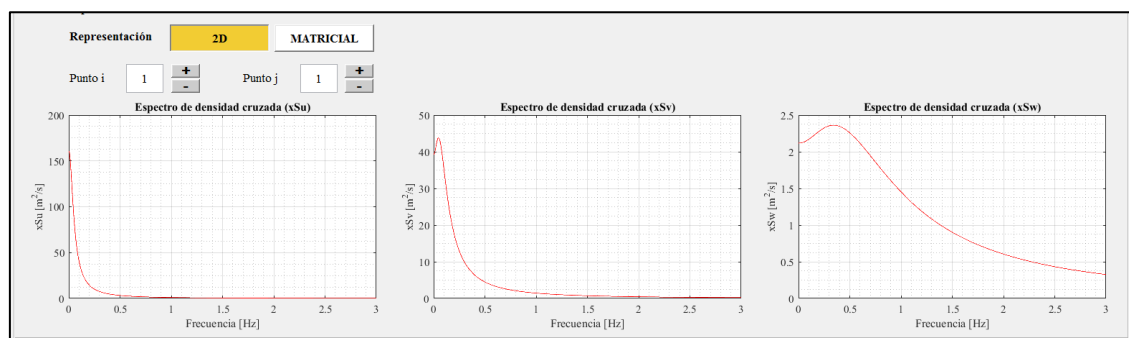


Figura 4.22. Representación de la densidad espectral cruzada de referencia en 2D. Fuente: Elaboración propia.

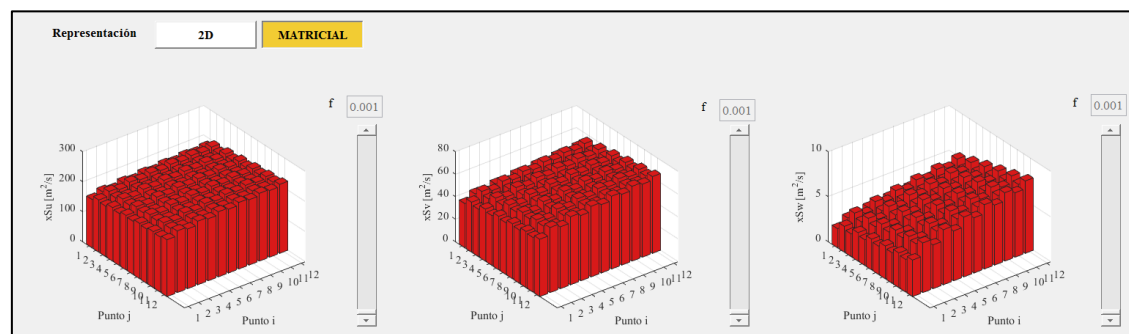


Figura 4.23. Representación de la densidad espectral cruzada de referencia en forma matricial. Fuente: Elaboración propia.

4.5 MÓDULO 3: CÁLCULO

En el Módulo 3 se procede al cálculo de la señal de velocidad de viento en función de las características del campo de viento definido en el Módulo 1 y del espectro de turbulencia definido en el Módulo 2. Se calcularán únicamente las componentes de la turbulencia marcadas en el Módulo 2.

Las zonas en las que se divide el Módulo 3 son las siguientes (ver **Figura 4.24**):

- **Zona A:** Control de la señal.
- **Zona B:** Parámetros de ajuste.
- **Zona C:** Representación gráfica del ajuste de la señal.

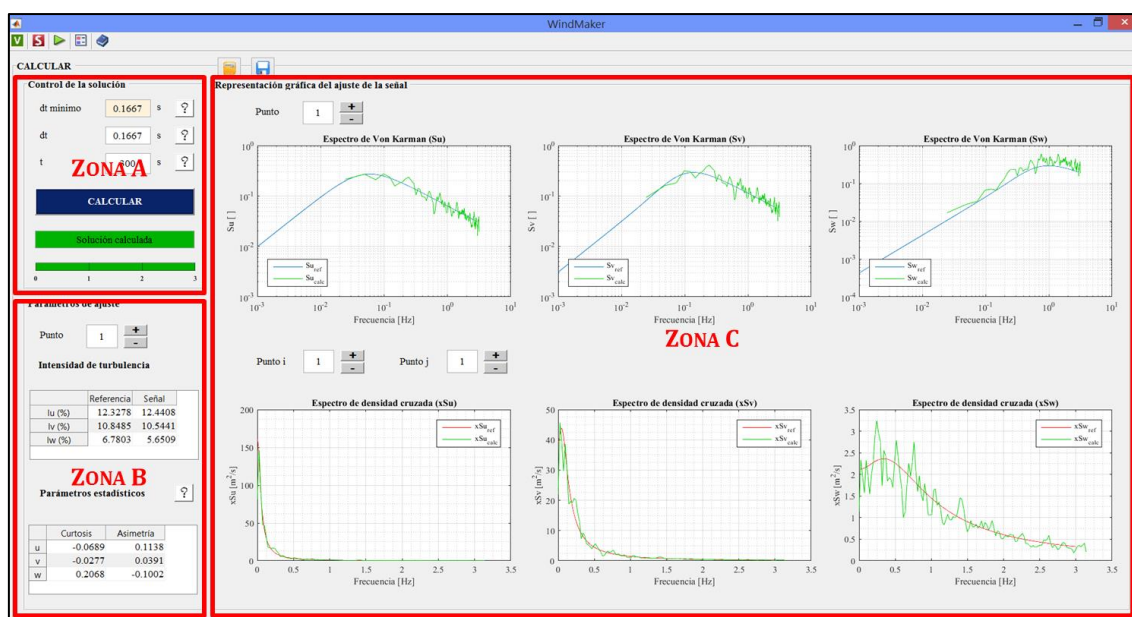


Figura 4.24. Zonas del Módulo 3. Fuente: Elaboración propia.

4.5.1 ZONA A: CONTROL DE LA SEÑAL

Esta primera zona tiene que ver con la discretización en el tiempo de la señal generada. Los parámetros que se muestran son los expuestos en la **Figura 4.25**, los cuales tienen el siguiente significado:

- **Incremento de tiempo mínimo (dt mín):** se corresponde con el intervalo de tiempo mínimo, en segundos, que debe ser introducido para asegurar una correcta representación del rango de frecuencias con el que se ha definido el espectro de turbulencia.
- **Incremento de tiempo elegido (dt):** es el incremento de tiempo, en segundos, que el usuario elige para la discretización. Se recomienda que sea consecuente con el intervalo de tiempo mínimo definido en el apartado anterior.
- **Tiempo de simulación (t):** es el tiempo total, en segundos, que tendrá la señal de viento simulada.

Para cada uno de los parámetros existe el correspondiente botón de ayuda (?) que aporta una descripción del mismo dentro del programa.

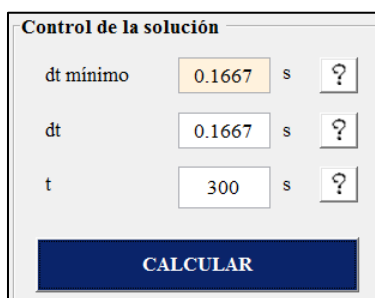


Figura 4.25. Parámetros de control del cálculo de la Zona A del Módulo 3. Fuente: Elaboración propia.

Una vez introducidos los parámetros mencionados anteriormente, se habilitará el botón “CALCULAR”. Al pulsarlo, comenzará el cálculo de la señal, habilitándose la casilla que indica el progreso del cálculo, el cual se divide en tres pasos:

- **Paso 1:** Calculando historia de velocidades...
- **Paso 2:** Calculando parámetros de la señal...
- **Paso 3:** Calculando espectro de la señal...

Una vez el cálculo ha finalizado, aparecerá un mensaje de “Solución calculada” en la casilla de progreso. Una ilustración del proceso descrito se puede ver en la **Figura 4.26**.

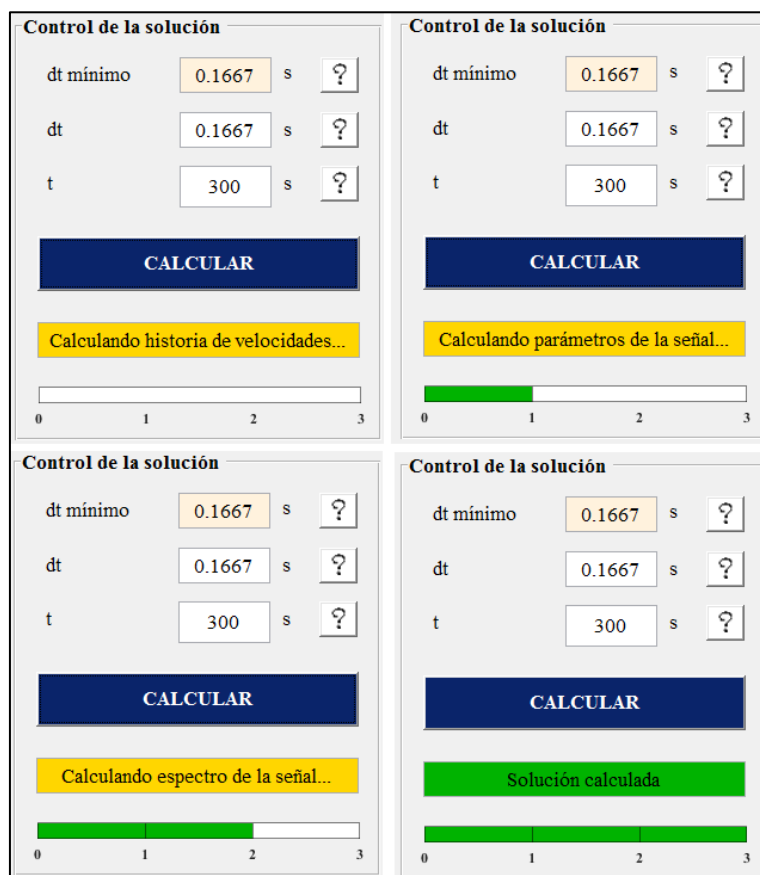


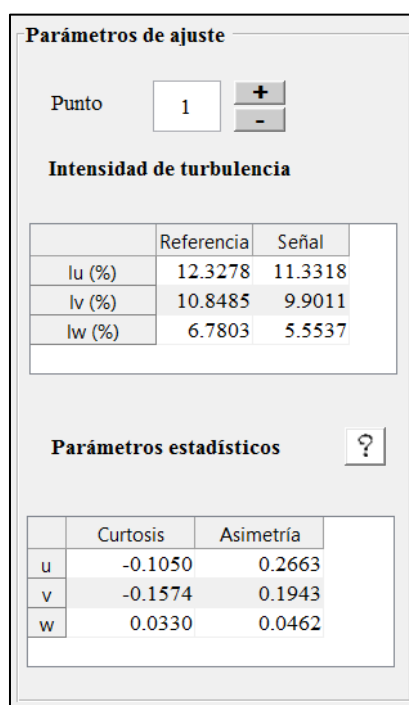
Figura 4.26. Diferentes fases del cálculo de la señal de viento. Fuente: Elaboración propia.

4.5.2 ZONA B: PARÁMETROS DE AJUSTE

Una vez realizado el cálculo de la señal, se pueden visualizar algunos parámetros que caracterizan el ajuste de la misma respecto a los parámetros de referencia. Los parámetros que se pueden evaluar son los mostrados en la **Figura 4.27**, siendo su descripción la siguiente:

- **Intensidad de turbulencia:** se muestra una tabla con los valores de la intensidad de turbulencia para cada una de las componentes de la turbulencia elegidas en el cálculo, pudiéndose comparar los valores de referencia (I_{ref}) con los valores obtenidos de la señal ($I_{señ}$).
- **Parámetros estadísticos:** se muestra una tabla en la que aparece el coeficiente de curtosis y el coeficiente de asimetría de la señal para cada una de las componentes calculadas. El botón de ayuda  aporta una descripción de dichos parámetros dentro del programa.

A partir de los botones y se puede seleccionar el punto para el que se quieren ver los valores.



Parámetros de ajuste

Punto

Intensidad de turbulencia

	Referencia	Señal
lu (%)	12.3278	11.3318
lv (%)	10.8485	9.9011
lw (%)	6.7803	5.5537

Parámetros estadísticos 

	Curtosis	Asimetría
u	-0.1050	0.2663
v	-0.1574	0.1943
w	0.0330	0.0462

Figura 4.27. Zona B del Módulo 3. Fuente: Elaboración propia.

4.5.3 ZONA C: REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL AJUSTE DE LA SEÑAL

Los componentes que se presentan en la Zona C del Módulo 3 son los mostrados en la **Figura 4.28**. En dicha zona existen dos partes diferenciadas:

- Parte superior, donde se muestra el ajuste del espectro individual de turbulencia de los puntos del dominio.
- Parte inferior, donde se muestra el ajuste de la densidad espectral cruzada entre los puntos del dominio.

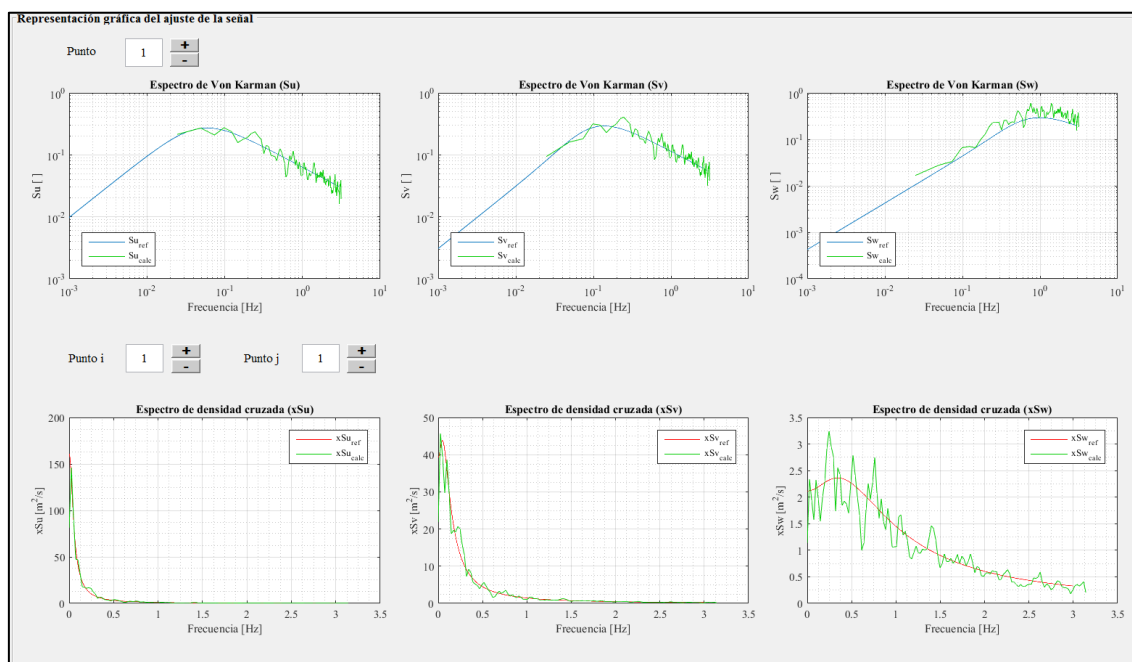


Figura 4.28. Zona C del Módulo 3. Fuente: Elaboración propia.

Por un lado, se representa gráficamente el ajuste del espectro de turbulencia de la señal generada con respecto al espectro de referencia (ver **Figura 4.29**). Se puede elegir el punto del dominio para el cual se quiere visualizar el ajuste, pudiéndolo introducir manualmente o a partir de los botones **+** y **-**.

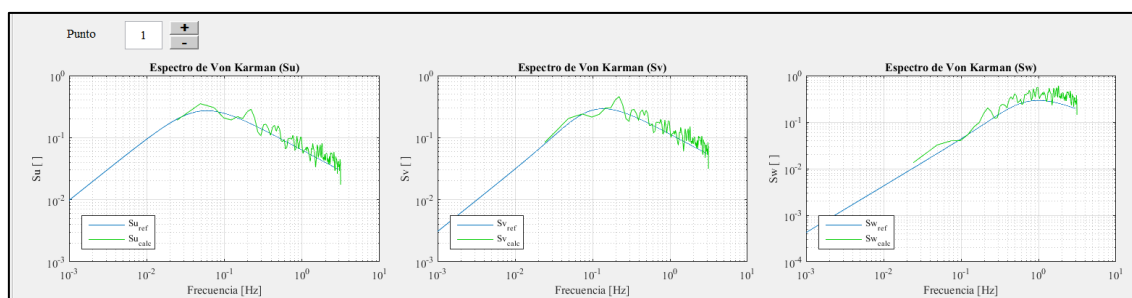


Figura 4.29. Visualización del ajuste del espectro individual de turbulencia. Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, también se puede visualizar el grado de ajuste de la correlación entre los espectros de cada punto, es decir, el grado de ajuste de la densidad espectral cruzada (ver **Figura 4.30**). En este caso se deben elegir los dos puntos cuya correlación se quiere observar, pudiéndolos introducir manualmente o a partir de los botones **+** y **-**.

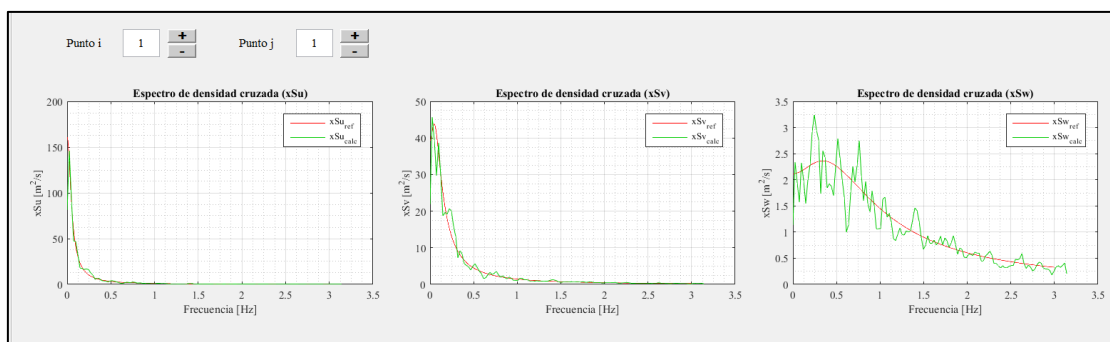


Figura 4.30. Visualización del ajuste de la densidad espectral cruzada. Fuente: Elaboración propia.

4.6 MÓDULO 4: VISUALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS

El Módulo 4 se contempla como una zona donde visualizar los resultados obtenidos de la simulación de la señal y exportar los resultados necesarios según el caso de análisis. Las zonas que se incluyen en este módulo son las siguientes (ver **Figura 4.31**):

- **Zona A:** Control de la visualización.
- **Zona B:** Exportación de resultados.
- **Zona C:** Visualización de la historia de velocidades.
- **Zona D:** Visualización espacial de la velocidad.

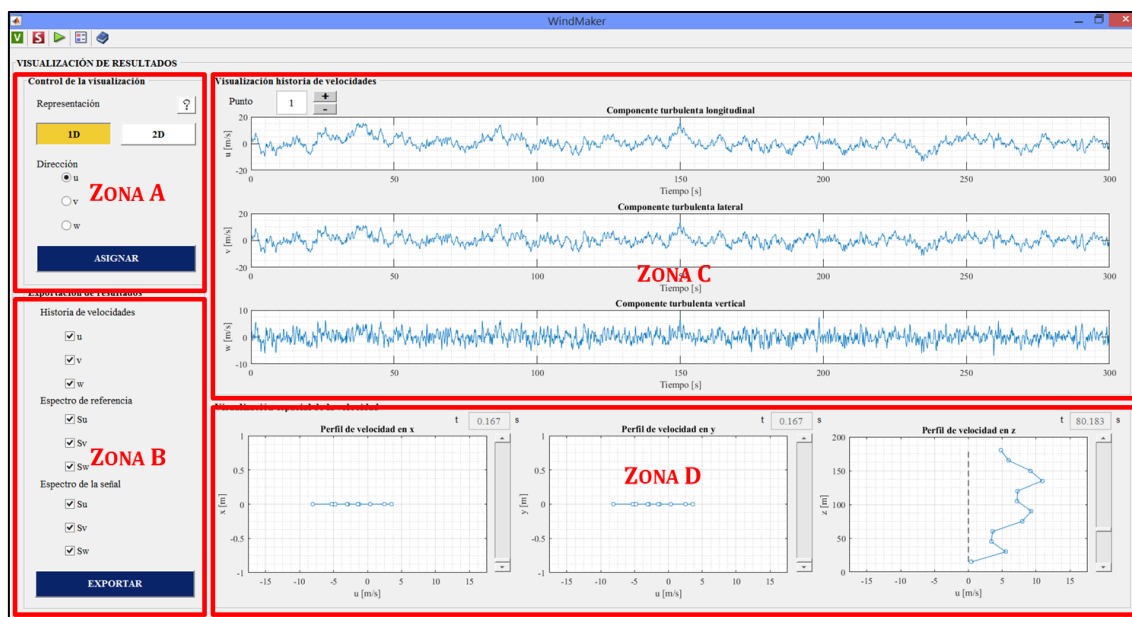


Figura 4.31. Zonas del Módulo 4. Fuente: Elaboración propia.

4.6.1 ZONA A: CONTROL DE LA VISUALIZACIÓN

Esta zona engloba los botones para el control de la representación espacial de los resultados obtenidos; es decir, el control de la Zona A afectará a lo que se representa en la Zona D. Las variables de esta parte se muestran en la **Figura 4.32**, siendo su significado el siguiente:

- **Representación 1D:** está indicada para aquellos casos en los que el dominio de cálculo es unidimensional, es decir, los puntos del dominio coinciden en dos dimensiones y varían en la tercera. Si se elige esta opción, se debe elegir la componente de la velocidad que se quiere dibujar: longitudinal u , lateral v , vertical w . La representación resultante se corresponde con tres gráficas en las que el eje vertical marca la coordenada y el eje horizontal la componente de velocidad.
- **Representación 2D:** está indicada en aquellos casos en los que el dominio de cálculo sea bidimensional o incluso tridimensional, es decir, los puntos del dominio tienen coordenadas distintas en dos o tres dimensiones. Si se elige esta opción, se debe elegir la componente de la velocidad que se quiere dibujar: longitudinal u , lateral v , vertical w . La representación resultante se corresponde con mapas de contornos que marcan la componente elegida de la velocidad en los diferentes planos espaciales: plano XY, plano XZ y plano YZ.



Figura 4.32. Zona A del Módulo 4. Fuente: Elaboración propia.

Una vez elegido el tipo de representación, al pulsar el botón “ASIGNAR” se podrán visualizar los resultados gráficos en la Zona D, cuyo contenido se expone posteriormente.

4.6.2 ZONA B: EXPORTACIÓN DE RESULTADOS

Esta zona permite la exportación de resultados para su uso en análisis dinámicos de estructuras o simplemente para ilustrar los resultados obtenidos. El programa permite la exportación de los resultados según la aplicación que el usuario quiera desarrollar posteriormente. Los componentes de este menú, que se describen a continuación, se muestran en la **Figura 4.33**.

- **Exportación de las series de velocidad de viento obtenidas:** si se marca esta opción, se habilita la posibilidad de exportar cada una de las componentes que el usuario requiera.
- **Exportación de los espectros de referencia y los espectros obtenidos de la señal:** igual que en el caso anterior, se pueden elegir las componentes a exportar.

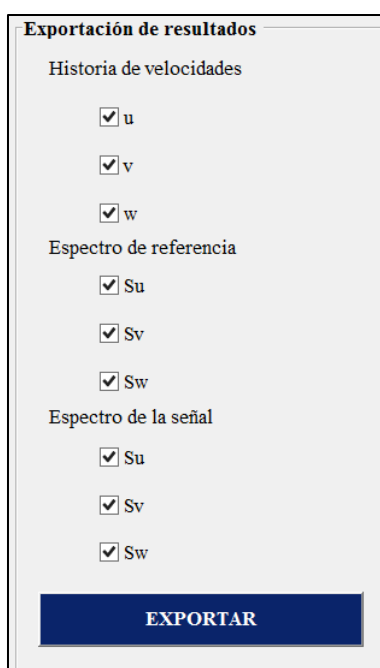


Figura 4.33. Zona B del Módulo 4. Fuente: Elaboración propia.

Una vez elegidos los datos que se quieren exportar, con el botón “EXPORTAR” se elige la dirección en la que estos se guardarán.

4.6.3 ZONA C: VISUALIZACIÓN DE LA HISTORIA DE VELOCIDADES

En la Zona C se muestran las historias de velocidad obtenidas para un determinado punto del dominio de cálculo (ver **Figura 4.34**), pudiendo elegir el punto concreto para el que se realiza la representación mediante su introducción de forma manual o a partir de los botones **+** y **-**.

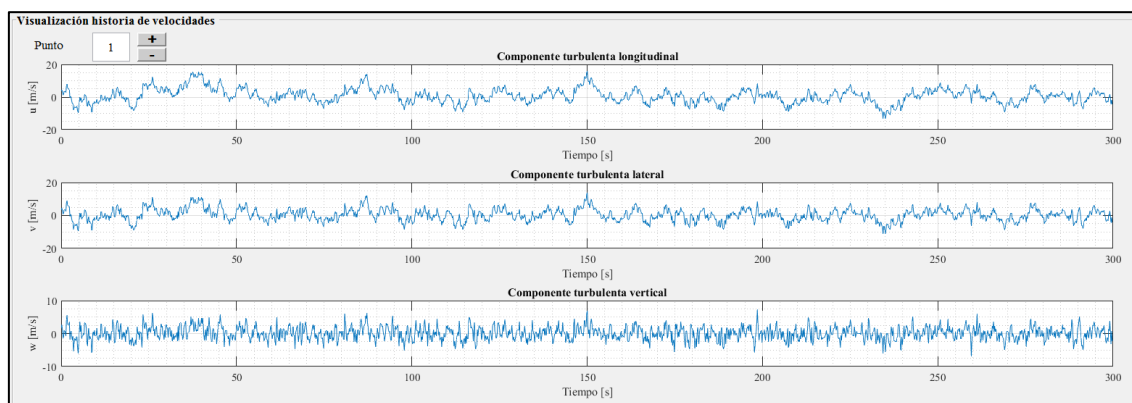


Figura 4.34. Zona C del Módulo 4. Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados tendrán siempre la misma forma de visualización independientemente del tipo de representación elegida en la Zona A del módulo.

4.6.4 ZONA D: VISUALIZACIÓN ESPACIAL DE LA VELOCIDAD

La Zona D cambia su aspecto en función de las opciones marcadas en la Zona A del módulo. Así, para una **representación 1D** las gráficas resultantes son las mostradas en la **Figura 4.35**. En ellas se muestra, por separado, la distribución de velocidades para una componente de la turbulencia (u , v , w , según lo marcado en la Zona A) en las tres coordenadas espaciales del dominio; cambiando la selección de la componente en la Zona A y pulsando el botón “ASIGNAR” se puede cambiar la visualización a otra componente.

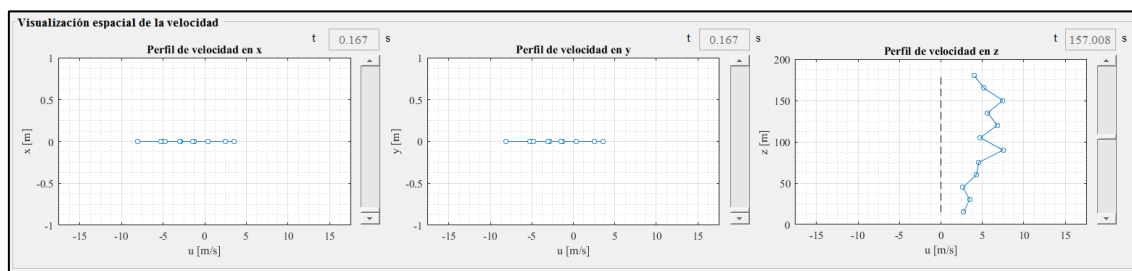


Figura 4.35. Zona D del Módulo 4 para una visualización 1D. Fuente: Elaboración propia.

Un ejemplo en el que puede resultar útil el empleo de la visualización 1D es en una torre, donde todos los puntos en planta coinciden, pero la coordenada z varía en cada punto. De esta forma, introduciendo las coordenadas del dominio en orden ascendente, se pueden obtener perfiles de velocidad para cada instante de tiempo calculado como el que se muestra en la **Figura 4.36**.

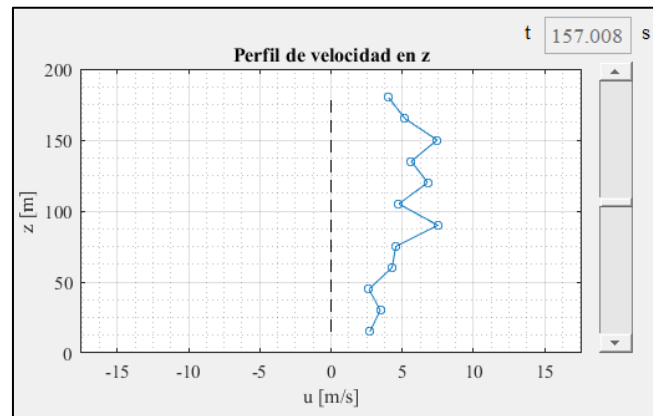


Figura 4.36. Visualización 1D del perfil de velocidades según el eje z. Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la **representación 2D** las gráficas resultantes son las mostradas en la **Figura 4.37**. En ellas se muestra, por separado, la distribución de velocidades para una componente de la turbulencia (u , v , w , según lo marcado en la Zona A) en los tres planos que definen el espacio; cambiando la selección de la componente en la Zona A y pulsando el botón “ASIGNAR” se puede cambiar la visualización a otra componente. Cuando no sea posible realizar la interpolación de los puntos para realizar la gráfica en el plano correspondiente, en el espacio asignado a dicho plano aparecerá el mensaje “La representación 2D en el plano no se puede realizar ya que los puntos del dominio son colineales”; este hecho ocurrirá cuando las coordenadas en un eje de todos los puntos sean coincidentes, o los puntos se encuentren sobre la misma línea en el plano de representación.

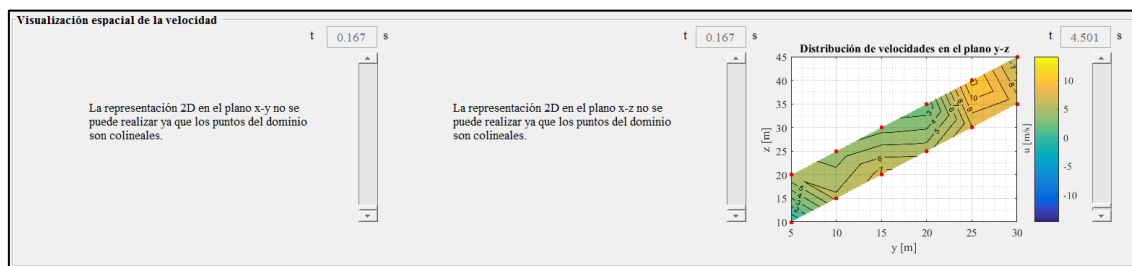


Figura 4.37. Zona D del Módulo 4 para una visualización 2D. Fuente: Elaboración propia.

Un ejemplo con más detalle de este tipo de representaciones se muestra en la **Figura 4.38**.

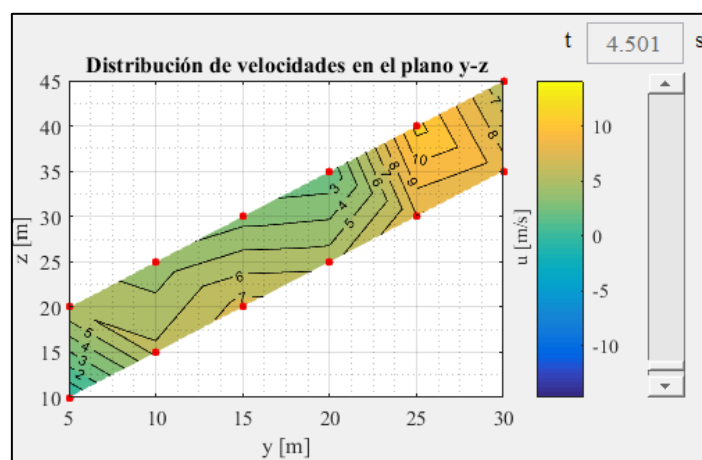


Figura 4.38. Representación en el plano YZ de la velocidad longitudinal. Fuente: Elaboración propia.

4.6.5 GUARDAR Y CARGAR DATOS DEL PROYECTO

Una vez finalizado el cálculo de las series de velocidad de viento turbulento siguiendo las instrucciones mostradas en los apartados anteriores, es posible **guardar** los datos para su uso en sesiones posteriores. Para ello se usaría el siguiente botón, situado al lado derecho del título del módulo:



Guardar los datos del proyecto en formato .mat.

En una sesión posterior de WindMaker© es posible recuperar los datos guardados a partir del siguiente botón de **cargar**:



Cargar los datos del proyecto en formato .mat.

Con estos botones se pueden guardar y cargar todos los datos implicados en la definición de la señal, por lo que no es necesaria su inclusión módulo a módulo.

4.7 AYUDA

Accediendo al menú de “Ayuda” (ver **Figura 4.39**) el usuario puede consultar el Manual de Usuario del programa WindMaker©, tal y como se muestra en la **Figura 4.40**.



Figura 4.39. Acceso al menú de ayuda. Fuente: Elaboración propia.

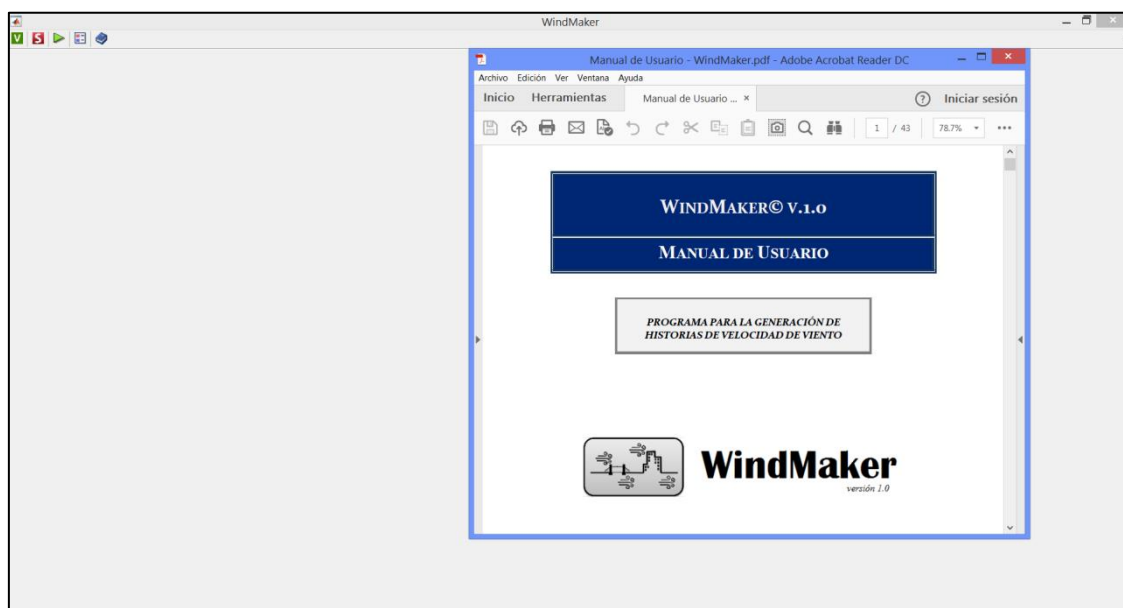


Figura 4.40. Visualización del Manual de Usuario de WindMaker© dentro del programa. Fuente: Elaboración propia.

REFERENCIAS

Asoc. Española de Normalización y Certificación, A. (1998) *Eurocódigo 1 - Bases de Proyecto y Acciones en Estructuras / Parte 2-4: Acciones en Estructuras. Acciones del Viento*.

Castro, H.G., De Bortoli, M.E., Paz, R.R. and Marighetii, J.O. (2015) 'Una metodología de cálculo para la determinación de la respuesta dinámica longitudinal de estructuras altas bajo la acción del viento', *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, vol. 31, no. 4, Febrero, pp. 235-245.

Fomento, M.d. (2011) *Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera (IAP-11)*.

Riera, J.D. and Davenport, A.G. (n.d) 'Wind Effects on Buildings and Structures', pp. 177-179.

Rodríguez, G. (1995) *Métodos de Análisis Espectral del Oleaje: Estudio Comparativo*, Las Palmas de Gran Canaria: Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Departamento de Física.

Shinozouka, M. (1972) 'Digital Simulation of Random Processes and its Applications', *Journal of Sound and Vibration*, vol. 25, no. 1, pp. 111-128.