

19



OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 804 576**

21 Número de solicitud: 201930730

51 Int. Cl.:

H01B 9/00 (2006.01)

G01R 31/00 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

06.08.2019

43 Fecha de publicación de la solicitud:

08.02.2021

71 Solicitantes:

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA (30.0%)

Avda. de los Castros s/n

39005 Santander (Cantabria) ES y

VIESGO DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA S.L. (70.0%)

72 Inventor/es:

MARTÍNEZ TORRE, Raquel;

MAÑANA CANTELI, Mario;

ARROYO GUTIÉRREZ, Alberto;

PIGAZO LÓPEZ, Alberto;

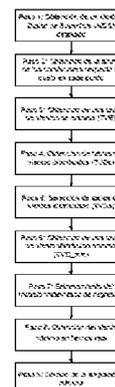
BUSTAMANTE SÁNCHEZ, Sergio y

MINGUEZ MATORRAS, Rafael

54 Título: **Método para la gestión dinámica de líneas eléctricas aéreas mediante el cálculo distribuido del viento**

57 Resumen:

Método para la gestión dinámica de líneas eléctricas aéreas mediante el cálculo de la ampacidad mínima basada en el cálculo del viento distribuido a lo largo de la línea, que comprende las etapas de: obtener un modelo digital de superficie; obtener la altura de los conductores en diferentes puntos con respecto al suelo; obtener una tabla de vientos de entrada en la que se combinan velocidades y direcciones del mismo; obtener una tabla de viento distribuido en cada uno de n puntos de simulación de la línea; seleccionar las tablas de vientos distribuidos correspondientes a los puntos de simulación donde se encuentran ubicadas estaciones meteorológicas; obtener una tabla de vientos distribuidos mínimos; entrenar un modelo matemático de regresión convencional; introducir en el modelo matemático entrenado los valores reales de medición de las estaciones meteorológicas para la obtención del viento mínimo en tiempo real; calcular la ampacidad para cada estación meteorológica y seleccionar la ampacidad mínima.



Fin

ES 2 804 576 A1

DESCRIPCIÓN

**MÉTODO PARA LA GESTIÓN DINÁMICA DE LÍNEAS
ELÉCTRICAS AÉREAS MEDIANTE EL CÁLCULO DISTRIBUIDO
DEL VIENTO**

5

CAMPO DE LA INVENCION

10 La presente invención pertenece al campo de los métodos y sistemas para la operación dinámica de las líneas eléctricas aéreas, y más concretamente al campo de la ingeniería eléctrica y a la producción y distribución de la energía eléctrica, y particularmente a la caracterización de la intensidad máxima admisible en líneas eléctricas aéreas, también denominada ampacidad, calculando el viento que aporte el valor de ampacidad más restrictiva con el fin de maximizar el rendimiento de los actuales sistemas de transporte y distribución eléctricos minimizando posibles riesgos.

15

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

20 Existen determinadas circunstancias que hacen necesario el aumento de la corriente eléctrica que circule por una línea eléctrica; algunos de estos motivos pueden ser el aumento de la demanda por parte de un emplazamiento, la instalación de una nueva central de generación eléctrica, etc.

25

Hasta hace unos años el problema se solventaba con la construcción de nuevos tendidos eléctricos. Sin embargo, en la actualidad dicha solución conlleva una serie de problemas legales y medioambientales que dificultan en gran manera su implementación. Una solución alternativa es la optimización de las ya existentes. Es por esto que la búsqueda de métodos que optimizaran el uso de las redes de transporte se hacía indispensable.

Con motivo de todo esto se empezó a trabajar sobre un nuevo concepto, denominado ampacidad. Dicho concepto no es más que la máxima intensidad de corriente que puede circular de manera continua por un conductor eléctrico sin que éste sufra daños, estudiando en detalle la temperatura que alcanza dicho conductor.

5

Un ejemplo práctico desarrollado en el sistema eléctrico español se describe en F. Soto y otros, “Increasing the Capacity of Overhead Lines in the 400 Kv Spanish Transmission Network: Real Time Thermal Ratings”, Cigré Session, 22-211, Paris-France, 1998. De esta forma la ampacidad comparada con la corriente que circule en cada momento por el conductor nos dirá cuan de cargada se encuentra la línea, que es dual a comparar la temperatura máxima que soporte el conductor con la temperatura instantánea del conductor.

10

15

El cálculo de la ampacidad se realiza mediante la monitorización de las condiciones meteorológicas del entorno donde se encuentra emplazada la línea aérea. Existen diferentes métodos para la estimación de las variables meteorológicas, como son: métodos deterministas [Prediction of overhead transmission line ampacity by stochastic and deterministic models. Hall, J.F.; Deb, A.K. Transactions on Power Delivery, IEEE, 1988], métodos probabilísticos [A method for determining probability based allowable current ratings for BPA's transmission lines. Reding, J.L. Transactions on Power Delivery, IEEE, 1994] y la monitorización en tiempo real [Modelling precipitation cooling of overhead conductors. Pytlak, P.; Musilek, P. Electric Power Systems Research, 2011], [Development and improvement of an intelligent cable monitoring system for underground distribution networks using distributed temperature sensing. Cho, J.; Kim, J.; Hak-Ju, L.; Ju-Yong, K.; Il-Keun, S.; Joon-Ho, C. Energies, 2014] y [Simulation and measurement of the steady-state temperature in multi-core cables. Holyk, C.; Liess, H.D.; Grondel, S.; Kanbach, H.; Loos, F. Electric Power Systems Research, 2014].

20

25

30

Los métodos deterministas y probabilísticos obtienen valores meteorológicos con una precisión baja. En el caso de monitorización en tiempo real hace necesaria la

colocación de una serie de estaciones meteorológicas que nos permitan monitorizar datos como el viento (velocidad y dirección), la radiación solar, la humedad, la temperatura ambiente, etc. Dichas mediciones permiten la estimación de la ampacidad del conductor en tiempo real mediante la aplicación de un cálculo normalizado. Siendo las principales normas a seguir la “Technical Brochure 601, Guide for thermal rating calculation of overhead lines, Cigré, December 2014” y la “IEEE Standard for calculating the current-temperature of bare overhead conductors, IEEE Std 738-2012 (Revision of IEEE STD 738-1993)”.

Dichas normas establecen dos métodos para el cálculo de la ampacidad del conductor. El primero de ellos consiste en un estudio estático de las condiciones ambientales y en consecuencia de la ampacidad del mismo. De este modo, conociendo las variables ambientales cada cierto tiempo y utilizando el balance térmico estático de las normativas se puede calcular la ampacidad en régimen permanente del conductor. Se intuye que este método no sea lo suficientemente preciso puesto que las variables ambientales son cambiantes en el tiempo. Por este motivo las normativas proponen una alternativa, realizar un balance térmico dinámico que tenga en cuenta la inercia térmica del conductor. Éste último método calcula la ampacidad en el conductor en cada periodo de muestreo.

Estos métodos introducen una determinada incertidumbre debido a factores como: el error en la medición de las variables meteorológicas (viento, radiación, etc.) [“Guide for the Selection of Weather Parameters for Bare Overhead Conductor Ratings”, CIGRE 82-12 Brochure (Ref. No. 299), 2006], [Dräger HJ, Hussels D, Puffer R. “Development and Implementation of a Monitoring System to Increase the Capacity of Overhead Lines”. 42nd CIGRE Session, Paris, August 2008”] y [G.M. Beers, S.R. Gilligan, H.W. LIS, J.M. Schamberger: “Transmission Conductor Ratings”, IEE Transactions Power Apparatus and Systems, Vol. Pas-82, PP. 767-75, 1963], el error de los propios algoritmos de cálculo y el error debido al uso de medidas puntuales en lugar de distribuidas a lo largo de la línea. Este error es debido a los cambios orográficos y posibles obstáculos artificiales que dificulten o favorezcan la

refrigeración del conductor en determinados puntos no monitorizados.

En relación con los errores debidos al uso de medidas puntuales, existen diferentes opciones de monitorización de las líneas eléctricas:

- 5 1. Medida puntual mediante una estación meteorológica colocada en el punto crítico. Este punto crítico se define a través de estudios micro-climáticos que definen el punto menos refrigerado de la línea. Este método tiene dos inconvenientes importantes: el punto crítico cambia dependiendo de las condiciones meteorológicas y la alimentación y comunicaciones con los
10 sensores es compleja en sitios remotos de la red.
2. Medida puntual mediante una o dos estaciones meteorológicas colocadas en los extremos de la línea (subestaciones de la línea). Este método tiene la ventaja de evitar problemas de alimentación o de comunicaciones de los sensores meteorológicos y el inconveniente de asumir que las condiciones en la/s
15 subestación/es son siempre más restrictivas que a lo largo de la línea, situación que es una suposición. Este método debe utilizar coeficientes de seguridad para evitar riesgos.
3. Medida distribuida mediante el uso de múltiples sistemas de monitorización. Este método utiliza o bien múltiples estaciones meteorológicas instaladas a lo
20 largo de la línea o un sistema de medida distribuida de la temperatura (DTS) debido a que las líneas eléctricas además de con la ampacidad también pueden gestionarse dinámicamente con la temperatura del conductor. A través de esta medida distribuida se reduce mucho la incertidumbre en la operación de la línea pero la inversión y los costes operativos y de mantenimiento son muy elevados.

25 Respecto a antecedentes relacionados con el cálculo de la ampacidad, la patente americana US 8386198 B2 describe una metodología para el cálculo de la ampacidad utilizando una monitorización en tiempo real de las variables meteorológicas. Dicha metodología consiste en recibir los datos de la línea y las condiciones meteorológicas,
30 calcular la ampacidad dinámica, compararla con la ampacidad estática y trasladar estos datos a campo. Dicha metodología no contempla ni la localización óptima de las

estaciones meteorológicas ni los coeficientes de seguridad necesarios debido a la monitorización de la línea en puntos no críticos. Por otro lado, en la patente el método de cálculo de la ampacidad no contempla el error cometido por los algoritmos implementados. En la literatura técnica están ampliamente definidos los procedimientos de obtención de la ampacidad y los errores en los que incurre ["Guide for the Selection of Weather Parameters for Bare Overhead Conductor Ratings", CIGRE 82-12 Brochure (Ref. No. 299), 2006].

RESUMEN DE LA INVENCION

La presente invención trata de resolver los inconvenientes mencionados anteriormente mediante un método para la gestión dinámica de líneas eléctricas aéreas mediante el cálculo de la ampacidad mínima basada en el cálculo del viento distribuido a lo largo de la línea. El método comprende las etapas de:

- Obtener un modelo digital de superficie (MDS) detallado que representa la superficie de la tierra incluyendo todos los objetos que esta contiene (orografía del terreno, obstáculos artificiales, vegetación, etc.), y con una precisión inferior a 2 cm para representar todos los objetos significantes, y editar el MDS obtenido manualmente debido a la presencia de elementos lineales como cruces con otras líneas, cables telefónicos, etc. para evitar que el sistema los modele como barreras sólidas;

- Obtener la altura de los conductores en diferentes puntos con respecto al suelo, tal que la distancia entre estos puntos debe proporcionar una resolución adecuada que permita alcanzar un equilibrio entre el tiempo de simulación y la calidad del mallado del modelo obtenido; y en donde en base a la resolución y la longitud de la línea se definirá n , siendo el número de puntos de simulación del viento distribuido;

- Obtener una tabla de vientos de entrada (TVE) en la que se combinan velocidades y direcciones del mismo, entendiendo como viento de entrada el viento resultado de los modelos atmosféricos de predicción meteorológica a escala global, regional o

mesoescala, es decir, escalas mayores que la necesaria para evaluar la propagación del viento a lo largo de la línea, tal que dicha tabla se obtiene a partir de los históricos de datos de viento de la zona, presentando un valor mínimo de viento v_i y otro máximo v_j , tal que para cada valor de viento que se obtiene sumando un incremento de viento Δv al viento mínimo v_i hasta llegar al viento máximo v_j , le corresponden todas las posibles direcciones de viento que se obtienen sumando un incremento de un ángulo $\Delta\phi$ al ángulo mínimo ϕ_k hasta llegar al ángulo máximo ϕ_l , tal que la tabla presenta un número de filas igual al número de valores de viento multiplicado por el número de direcciones de viento;

5

10

-Utilizando modelos de viento a microescala alimentados con el modelo digital de superficie (MDS), la altura de los conductores y la tabla de vientos de entrada (TVE), obtener una tabla de viento distribuido (TVD) en cada uno de n puntos de simulación de la línea, tal que cada combinación de valores de viento de entrada de la tabla de vientos de entrada (TVE) -dirección y velocidad- se proyecta en cada uno de los n puntos de simulación, consiguiendo reducir la escala de cálculo del viento desde mesoescala (medidas de viento en la zona) a microescala (cálculo de la propagación del viento a lo largo de la línea) y obteniendo un mallado georreferenciado de velocidades de salida (v_s) y direcciones de salida (ϕ_s) de viento a lo largo de la línea (tablas de vientos distribuidos TVDs), tal que cada tabla de viento distribuido (TVD) presenta un número de filas igual al de la tabla de vientos de entrada (TVE);

15

20

- Seleccionar las tablas de vientos distribuidos (TVDs) correspondientes a los puntos de simulación donde se encuentran ubicadas estaciones meteorológicas, tal que se seleccionan tantas tablas de vientos distribuidos (TVDs) como estaciones meteorológicas existen a lo largo de la línea, y tal que debe existir al menos una estación meteorológica ubicada en uno de los puntos de simulación de la línea;

25

- Obtener una tabla de vientos distribuidos mínimos (TVD_min), tal que el valor de cada fila de la tabla, proyectado a partir de una combinación de valores de viento de entrada, se corresponde con el viento mínimo y su dirección asociada de entre todos los puntos de simulación para dicho valor de viento de entrada, y tal que la tabla de vientos distribuidos

30

mínimos (TVD_min) presenta un número de filas igual al de una tabla de vientos distribuidos (TVD);

5 - Introducir en un modelo matemático de regresión convencional: las tablas de vientos distribuidos (TVDs) correspondientes a los puntos de simulación donde se encuentran ubicadas estaciones meteorológicas, y la tabla de vientos distribuidos mínimos (TVD_min) como vector objetivo, tal que, una vez entrenado, sea capaz de calcular el viento mínimo a lo largo de la línea para cualquier valor de velocidad de viento y dirección de entrada en los puntos de medida del sistema, tal que el viento mínimo
10 corresponde al punto de refrigeración mínima de la línea, el punto más caliente, es decir el punto que limita la ampacidad de la línea, usando como entradas las medidas en tiempo real de las estaciones meteorológicas;

15 - Introducir en el modelo matemático entrenado los valores reales de medición de las estaciones meteorológicas para la obtención del viento mínimo en tiempo real;

20 - A partir del viento mínimo obtenido del modelo matemático, y de las condiciones meteorológicas medidas por cada estación meteorológica, calcular la ampacidad para cada estación meteorológica;

25 - en el caso de que exista más de una estación meteorológica, seleccionar la ampacidad mínima de entre todas las ampacidades calculadas y gestionar dinámicamente la línea a través del uso de dicha ampacidad mínima basada en el estudio de la propagación del viento.

30 En una posible realización, para la obtención del modelo digital de superficie (MDS) se utiliza la tecnología Laser Imaging Detection and Ranging (LiDAR) que consiste en un dispositivo que permite determinar la distancia entre un sensor emisor láser y un objeto, utilizando para ello la señal reflejada.

En una posible realización, el método presenta los siguientes valores: $\Delta v = 0.03$ m/s, $v_i = 0$

m/s , $v_j = 20 \text{ m/s}$, $\Delta\varphi = 0.2^\circ$, $\varphi_k=0^\circ$, $\varphi_l=359^\circ$.

En una posible realización, el modelo matemático de regresión utilizado es el Random Forest.

5

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica del mismo, y para complementar esta descripción, se acompaña como parte integrante de la misma, un juego de dibujos, cuyo carácter es ilustrativo y no limitativo. En estos dibujos:

10

La figura 1 muestra un diagrama de flujo del método de la invención.

15

La figura 2 muestra un esquema del método de la invención para la obtención de tablas de vientos distribuidos (TVDs).

La figura 3 muestra un esquema del entrenamiento del modelo matemático de regresión.

20

La figura 4 muestra un esquema del método de la invención para la obtención del viento mínimo en tiempo real.

La figura 5 muestra un esquema del método de la invención para el cálculo de la ampacidad mínima.

25

La figura 6 representa el detalle de un sistema LiDAR de alta precisión.

La figura 7 muestra un esquema de la obtención de la altura de los conductores respecto al suelo en cada punto, de acuerdo con una posible realización de la presente invención.

30

La figura 8 muestra un esquema de la obtención de una tabla de vientos de entrada (TVE),

de acuerdo con una posible realización de la presente invención.

La figura 9 muestra un esquema de la línea, las TVDs y la TVD_min obtenida, de acuerdo con una posible realización de la presente invención.

5

La figura 10 muestra un esquema del entrenamiento del modelo matemático, con las TVDs seleccionadas como dato de entrada y la tabla de vientos distribuidos mínimos (TVD_min) como vector objetivo, de acuerdo con una posible realización de la presente invención.

10

La figura 11 muestra un esquema del modelo matemático alimentado con las medidas de viento de las dos estaciones meteorológicas, obteniendo el viento mínimo calculado, de acuerdo con una posible realización de la presente invención.

15

La figura 12 muestra un esquema para el cálculo de la ampacidad, de acuerdo con una posible realización de la presente invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCIÓN

20

En este texto, el término “comprende” y sus variantes no deben entenderse en un sentido excluyente, es decir, estos términos no pretenden excluir otras características técnicas, aditivos, componentes o pasos.

25

Además, los términos “aproximadamente”, “sustancialmente”, “alrededor de”, “unos”, etc. deben entenderse como indicando valores próximos a los que dichos términos acompañen, ya que por errores de cálculo o de medida, resulte imposible conseguir esos valores con total exactitud.

30

Las características del método de la invención, así como las ventajas derivadas de las mismas, podrán comprenderse mejor con la siguiente descripción, hecha con referencia

a los dibujos antes enumerados.

Las siguientes realizaciones preferidas se proporcionan a modo de ilustración, y no se pretende que sean limitativos de la presente invención. Además, la presente invención cubre todas las posibles combinaciones de realizaciones particulares y preferidas aquí indicadas. Para los expertos en la materia, otros objetos, ventajas y características de la invención se desprenderán en parte de la descripción y en parte de la práctica de la invención.

10 A continuación, se describe el método para la gestión dinámica de líneas eléctricas aéreas mediante el cálculo distribuido del viento. Ante los problemas presentados en el estado de la técnica, se propone una metodología de cálculo de la ampacidad mínima a lo largo de la línea eléctrica basada en el estudio de la propagación del viento.

15 Este método encaja dentro de la opción de monitorización mediante medida distribuida (opción 3 del estado de la técnica) puesto que lo que se hace es un cálculo distribuido del viento sin los inconvenientes descritos en el estado de la técnica. Téngase en cuenta que en la metodología propuesta se realiza un cálculo y no una medición de variables reales.

20 Como ya se ha explicado en el estado de la técnica, el cálculo de la ampacidad se basa en la medición de diferentes variables meteorológicas: viento, radiación, y temperatura ambiente. Existen múltiples estudios de sensibilidad de cada una de las variables meteorológicas para el cálculo de la ampacidad [Abbott, S.; Abdelkader, S.; Bryans, L.; Flynn, D. “Experimental validation and comparison of IEEE and CIGRE dynamic line models”. In Proceedings of the 45th International Universities Power Engineering Conference (UPEC), Cardiff, UK, 31 August–3 September 2010; pp. 1–5.], [Alberto Arroyo, Pablo Castro, Raquel Martínez, Mario Manana, Alfredo Madrazo, Ramón Lecuna and Antonio Gonzalez, “Comparison between IEEE and CIGRE Thermal Behaviour Standards and Measured Temperature on a 132-kV Overhead Power Line”, Energies, 8 – 12, pp. 13660 – 13671. MDPI, December, 2015.] En estos estudios se concluye que la variable que sustancialmente tiene mayor peso en el cálculo de la

25

30

ampacidad es el viento y además es la variable con mayor variabilidad. Por esta razón, se propone una metodología para el cálculo de la ampacidad mínima basada en el cálculo distribuido del viento a lo largo de la línea. Los valores de radiación solar y temperatura ambiente serán los medidos por las estaciones meteorológicas (opción 1 o 2 del estado de la técnica).

La metodología de la invención propone el cálculo de la ampacidad mínima para la gestión dinámica de líneas eléctricas aéreas siguiendo los pasos descritos a continuación (figura 1):

Paso 1: Obtención de un Modelo Digital de Superficie (MDS) detallado

Entendiendo como MDS aquel modelo que representa la superficie de la tierra incluyendo todos los objetos que esta contiene (orografía del terreno, obstáculos artificiales, vegetación, etc.).

Para la obtención de este MDS se utiliza la tecnología adecuada para obtener una precisión que permita representar objetos que afecten a la refrigeración de la línea. La precisión deberá de ser menor que 2 cm para representar todos los objetos significantes. Como tecnología de referencia se utiliza el Laser Imaging Detection and Ranging (LiDAR) de alta precisión. Dicha tecnología consiste en un dispositivo que permite determinar la distancia entre un sensor emisor láser y un objeto utilizando para ello la señal reflejada.

Adicionalmente, se debe editar el MDS obtenido manualmente debido a la presencia de elementos lineales como cruces con otras líneas, cables telefónicos, etc. para evitar que el sistema los modele como barreras sólidas.

Paso 2: Obtención de la altura de los conductores respecto al suelo en cada punto

Con el fin de obtener un buen cálculo del viento distribuido a lo largo del conductor es

necesario conocer la altura del mismo en diferentes puntos con respecto al suelo. La distancia entre estos puntos del conductor en la que debe ser medida la altura determinará la resolución del método. Esta resolución debe alcanzar un equilibrio entre el tiempo de simulación y la calidad del mallado del modelo obtenido. La distancia entre puntos del conductor debe establecerse basándose en los cambios de refrigeración a lo largo de la línea. En base a la resolución y la longitud de la línea se definirá n , siendo el número de puntos de simulación del viento distribuido.

Paso 3: Obtención de una tabla de vientos de entrada (TVE)

Se establece una tabla de vientos de entrada (TVE) en la que se combinan velocidades y direcciones del mismo. Entendiendo como viento de entrada el viento resultado de los modelos atmosféricos de predicción meteorológica a escala global, regional o mesoescala, es decir, escalas mayores que la necesaria para evaluar la propagación del viento a lo largo de la línea.

Basándose en los históricos de datos de viento de la zona, la tabla presenta un valor mínimo de viento v_i y otro máximo v_j , tal que para cada valor de viento que se obtiene sumando un incremento de viento Δv al viento mínimo v_i hasta llegar al viento máximo v_j , le corresponden todas las posibles direcciones de viento que se obtienen sumando un incremento de un ángulo $\Delta\varphi$ al ángulo mínimo φ_k hasta llegar al ángulo máximo φ_l , tal que la tabla presenta un número de filas igual al número de valores de viento multiplicado por el número de direcciones de viento.

Para definir el Δv y el $\Delta\varphi$ es importante realizar un estudio de la sensibilidad de los sensores de medida de viento existentes en la línea:

$$\Delta v = \text{resolución sensor velocidad}$$

$$\Delta\varphi = \text{resolución sensor dirección}$$

Sirva como referencia incrementos de viento de $\Delta v = 0.03$ m/s de $v_i = 0$ m/s a $v_j = 20$ m/s

en el caso de la velocidad e incrementos del ángulo $\Delta\varphi = 0.2^\circ$ de $\varphi_k=0^\circ$ a $\varphi_i=359^\circ$ en el caso de la dirección.

Paso 4: Obtención de tablas de vientos distribuidos (TVDs)

5

A continuación, y como se muestra en la figura 2, se utilizan modelos de viento a microescala alimentados con el modelo digital de superficie (MDS), la altura de los conductores y la tabla de vientos de entrada (TVE) y se obtiene una tabla de viento distribuido (TVD) en cada uno de n puntos de simulación de la línea, tal que cada combinación de valores de viento de entrada de la tabla de vientos de entrada (TVE) - dirección y velocidad- se proyecta en cada uno de los n puntos de simulación, consiguiendo reducir la escala de cálculo del viento desde mesoescala (medidas de viento en la zona) a microescala (cálculo de la propagación del viento a lo largo de la línea) y obteniendo un mallado georreferenciado de velocidades de salida (vs) y direcciones de salida (φ_s) de viento a lo largo de la línea (tablas de vientos distribuidos TVDs), tal que cada tabla de viento distribuido (TVD) presenta un número de filas igual al de la tabla de vientos de entrada (TVE).

10

15

20

25

30

Sirva de software de referencia “WindNinja”. Dicho software ha sido desarrollado por el Rocky Mountain Research Station (USA) con la participación del Departamento de Agricultura y los Servicios Forestales de Estados Unidos. Este software es ampliamente utilizado para calcular los efectos del terreno en la propagación del viento a baja altitud durante la simulación de fuegos. [Forthofer, JM, Butler, BW, Wagenbrenner, NS, (2014) “A comparison of three approaches for simulating fine-scale surface winds in support of wildland fire management. Part I. Model formulation and comparison against measurements.” Int. J. Wildland Fire, 23:969-931. doi:10.1071/WF12089.], [Forthofer, JM, Butler, BW, McHugh, CW, Finney, MA, Bradshaw, LS, Stratton, RD, Shannon, KS, Wagenbrenner, NS, (2014) “A comparison of three approaches for simulating fine-scale surface winds in support of wildland fire management. Part II. An exploratory study of the effect of simulated winds on fire growth simulations.” Int. J. Wildland Fire. 23:982-994. doi:10.1071/WF12090.], [Wagenbrenner, NS, Forthofer, JM, Lamb, BK, Shannon,

KS, Butler, BW, (2016) “Downscaling surface wind predictions from numerical weather prediction models in complex terrain with WindNinja.” Atmos. Chem. Phys. 16:5229-5241, doi:10.5194/acp-16-5229-2016.]. Este software se basa en el modelo CALMET, que se trata de un modelo meteorológico de diagnóstico que estima el viento en tres dimensiones y los gradientes de temperatura basándose en las medidas meteorológicas de la zona, la orografía y los datos de uso del terreno. Además, este modelo calcula variables meteorológicas en dos dimensiones en microescala. La capacidad de este modelo de estimar las variables meteorológicas, sobre todo el viento, en microescala hace que se ajuste perfectamente a los requisitos de este estudio.

5

10

A continuación se muestra la tabla de vientos de entrada (TVE) y las tablas de vientos distribuidos (TVDs) para cada uno de los n puntos de simulación.

TVD_{p=1}			TVD_{p=n}				
<i>Velocidad</i>	<i>Dirección</i>		<i>Velocidad</i>	<i>Dirección</i>		<i>Velocidad</i>	<i>Dirección</i>
v_i	φ_k		vs_{v_i, φ_k}	$\varphi_{S_{v_i, \varphi_k}}$		vs_{v_i, φ_k}	$\varphi_{S_{v_i, \varphi_k}}$
v_i	$\varphi_k + 1 \cdot \Delta\varphi$		$vs_{v_i, \varphi_k + 1 \cdot \Delta\varphi}$	$\varphi_{S_{v_i, \varphi_k + 1 \cdot \Delta\varphi}}$		$vs_{v_i, \varphi_k + 1 \cdot \Delta\varphi}$	$\varphi_{S_{v_i, \varphi_k + 1 \cdot \Delta\varphi}}$
v_i	$\varphi_k + 2 \cdot \Delta\varphi$		$vs_{v_i, \varphi_k + 2 \cdot \Delta\varphi}$	$\varphi_{S_{v_i, \varphi_k + 2 \cdot \Delta\varphi}}$		$vs_{v_i, \varphi_k + 2 \cdot \Delta\varphi}$	$\varphi_{S_{v_i, \varphi_k + 2 \cdot \Delta\varphi}}$
\vdots	\vdots		\vdots	\vdots		\vdots	\vdots
v_i	φ_l		vs_{v_i, φ_l}	$\varphi_{S_{v_i, \varphi_l}}$		vs_{v_i, φ_l}	$\varphi_{S_{v_i, \varphi_l}}$
$v_i + 1 \cdot \Delta v$	φ_k		$vs_{v_i + 1 \cdot \Delta v, \varphi_k}$	$\varphi_{S_{v_i + 1 \cdot \Delta v, \varphi_k}}$		$vs_{v_i + 1 \cdot \Delta v, \varphi_k}$	$\varphi_{S_{v_i + 1 \cdot \Delta v, \varphi_k}}$
\vdots	\vdots		\vdots	\vdots		\vdots	\vdots
$v_i + 1 \cdot \Delta v$	φ_l		$vs_{v_i + 1 \cdot \Delta v, \varphi_l}$	$\varphi_{S_{v_i + 1 \cdot \Delta v, \varphi_l}}$...	$vs_{v_i + 1 \cdot \Delta v, \varphi_l}$	$\varphi_{S_{v_i + 1 \cdot \Delta v, \varphi_l}}$
$v_i + 2 \cdot \Delta v$	φ_k		$vs_{v_i + 2 \cdot \Delta v, \varphi_k}$	$\varphi_{S_{v_i + 2 \cdot \Delta v, \varphi_k}}$		$vs_{v_i + 2 \cdot \Delta v, \varphi_k}$	$\varphi_{S_{v_i + 2 \cdot \Delta v, \varphi_k}}$
\vdots	\vdots		\vdots	\vdots		\vdots	\vdots
$v_i + 2 \cdot \Delta v$	φ_l		$vs_{v_i + 2 \cdot \Delta v, \varphi_l}$	$\varphi_{S_{v_i + 2 \cdot \Delta v, \varphi_l}}$		$vs_{v_i + 2 \cdot \Delta v, \varphi_l}$	$\varphi_{S_{v_i + 2 \cdot \Delta v, \varphi_l}}$
\vdots	\vdots		\vdots	\vdots		\vdots	\vdots
v_j	φ_k		vs_{v_j, φ_k}	$\varphi_{S_{v_j, \varphi_k}}$		vs_{v_j, φ_k}	$\varphi_{S_{v_j, \varphi_k}}$
\vdots	\vdots		\vdots	\vdots		\vdots	\vdots
v_j	φ_l		vs_{v_j, φ_l}	$\varphi_{S_{v_j, \varphi_l}}$		vs_{v_j, φ_l}	$\varphi_{S_{v_j, \varphi_l}}$

Tabla 1. Tabla de vientos de entrada (TVE) y tablas de vientos distribuidos (TVDs).

15

Ejemplos de modelos de viento a microescala para la distribución del viento a lo largo de la línea, existen en la literatura técnica varios estudios que analizan diferentes

modelos de viento en pequeña escala que tienen en cuenta los obstáculos tanto naturales como artificiales [Scire JS, Robe FR (1997) "Fine-scale application of the CALMET meteorological model to a complex terrain site". In 'Air & Waste Management Association's 90th Annual Meeting & Exhibition'. pp. 1-16. (Toronto, Ontario, Canada)], [Scire JS, Robe FR, Fernau ME, Yamartino RJ (2000) 'A user's guide for the CALMET meteorological model.' Earth Tech, Inc., Concord, MA.].

Paso 5: Selección de tablas de vientos distribuidos (TVDs)

10 A continuación, se seleccionan las tablas de vientos distribuidos (TVDs) correspondientes a los puntos de simulación en los cuales se encuentran ubicadas estaciones meteorológicas. Es decir, se seleccionan tantas tablas de vientos distribuidos (TVDs) como estaciones meteorológicas existen a lo largo de la línea. Un experto en la materia entenderá que debe existir al menos una estación meteorológica, y que éstas
15 deben estar ubicadas en los puntos de simulación de la línea.

Paso 6: Obtención de una tabla de vientos distribuidos mínimos (TVD_min)

La tabla de vientos distribuidos mínimos (TVD_min) se obtiene seleccionando el viento
20 mínimo y su dirección asociada de entre los vientos distribuidos de todos los puntos de simulación asociado a cada uno de los vientos de entrada. Es decir, el valor de cada fila de la tabla, proyectado a partir de una combinación de valores de viento de entrada, se corresponde con el viento mínimo y su dirección asociada de entre todos los puntos de simulación para dicho valor de viento de entrada. La tabla de vientos distribuidos
25 mínimos (TVD_min), ver tabla 2, presenta un número de filas igual al de una tabla de vientos distribuidos (TVD).

<i>Velocidad</i>	<i>Dirección</i>
$v_{\min}(v_i, \varphi_k) = \min_{\forall n \in [1, p]} (vS_{v_i, \varphi_k}^n)$	$\varphi_{v_{\min}(v_i, \varphi_k)}$
$v_{\min}(v_i, \varphi_k + 1. \Delta \varphi) = \min_{\forall n \in [1, p]} (vS_{v_i, \varphi_k + 1. \Delta \varphi}^n)$	$\varphi_{v_{\min}(v_i, \varphi_k + 1. \Delta \varphi)}$
$v_{\min}(v_i, \varphi_k + 1. \Delta \varphi) = \min_{\forall n \in [1, p]} (vS_{v_i, \varphi_k + 2. \Delta \varphi}^n)$	$\varphi_{v_{\min}(v_i, \varphi_k + 2. \Delta \varphi)}$
\vdots	\vdots
$v_{\min}(v_i, \varphi_l) = \min_{\forall n \in [1, p]} (vS_{v_i, \varphi_l}^n)$	$\varphi_{v_{\min}(v_i, \varphi_l)}$
$v_{\min}(v_i + 1. \Delta v, \varphi_k) = \min_{\forall n \in [1, p]} (vS_{v_i + 1. \Delta v, \varphi_k}^n)$	$\varphi_{v_{\min}(v_i + 1. \Delta v, \varphi_k)}$
\vdots	\vdots
$v_{\min}(v_i + 1. \Delta v, \varphi_l) = \min_{\forall n \in [1, p]} (vS_{v_i + 1. \Delta v, \varphi_l}^n)$	$\varphi_{v_{\min}(v_i + 1. \Delta v, \varphi_l)}$
$v_{\min}(v_i + 2. \Delta v, \varphi_k) = \min_{\forall n \in [1, p]} (vS_{v_i + 2. \Delta v, \varphi_k}^n)$	$\varphi_{v_{\min}(v_i + 2. \Delta v, \varphi_k)}$
\vdots	\vdots
$v_{\min}(v_i + 2. \Delta v, \varphi_l) = \min_{\forall n \in [1, p]} (vS_{v_i + 2. \Delta v, \varphi_l}^n)$	$\varphi_{v_{\min}(v_i + 2. \Delta v, \varphi_l)}$
\vdots	\vdots
$v_{\min}(v_j, \varphi_k) = \min_{\forall n \in [1, p]} (vS_{v_j, \varphi_k}^n)$	$\varphi_{v_{\min}(v_j, \varphi_k)}$
\vdots	\vdots
$v_{\min}(v_j, \varphi_l) = \min_{\forall n \in [1, p]} (vS_{v_j, \varphi_l}^n)$	$\varphi_{v_{\min}(v_j, \varphi_l)}$

Tabla 2. Tabla de vientos distribuidos mínimos (TVD_min).

Paso 7: Entrenamiento del modelo matemático de regresión

Introducir en un modelo matemático de regresión convencional: las tablas de vientos distribuidos (TVDs) correspondientes a los puntos de simulación donde se encuentran ubicadas estaciones meteorológicas, y la tabla de vientos distribuidos mínimos (TVD_min) como vector objetivo, tal que, una vez entrenado, sea capaz de calcular el viento mínimo a lo largo de la línea para cualquier valor de velocidad de viento y dirección de entrada en los puntos de medida del sistema. El viento mínimo corresponde al punto de refrigeración mínima de la línea, el punto más caliente, es decir el punto que limita la ampacidad de la línea, usando como entradas las medidas en tiempo real de las estaciones meteorológicas. La figura 3 muestra un esquema del entrenamiento del modelo matemático de regresión. Un experto en la materia entenderá que un modelo matemático de regresión es aquel que basándose en *machine learning* permite predecir el comportamiento de un sistema basándose en su comportamiento pasado.

Ejemplos de modelos matemáticos de regresión existentes en el estado de la técnica son: *Partial Least Squares Regression (PLS)*, *Generalized Linear Model with Stepwise Feature Selection (GLM)*, *Linear Multi-regression (LM)*, *Elastic Net regression (ENET)*, *LASSO regression*, *Support Vector Machines Recursive Feature Elimination (SVM-RFE)*, *Support vector machine using radial functions (SVM radial)*, *Neural Networks regression (NN)*, *Random Forest-Recursive Feature Elimination (RF-RFE)* y *Random Forest (RF)*.

En la literatura técnica existen diferentes referencias relacionadas con la estimación de la ampacidad o del viento a través de modelos matemáticos basados en la regresión [J. Fu, S. Abdelkader, D. J. Morrow and B. Fox, "Partial least squares modelling for dynamic overhead line ratings," 2011 IEEE Trondheim PowerTech, Trondheim, 2011, pp. 1-6.], [B. Chen, K. Lin, X. Huang and W. Liang, "The Application for the Partial Least-Squares Regression (PLS) and Fuzzy Neural Networks Model (FNN) in the Wind Field Assessment," 2011 Fourth International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization, Yunnan, 2011, pp. 1334-1338.], [C. M. van der Walt and N. Botha, "A comparison of regression algorithms for wind speed forecasting at Alexander Bay," 2016 Pattern Recognition Association of South Africa and Robotics and Mechatronics International Conference (PRASA-RobMech), Stellenbosch, 2016, pp. 1-5.], [C. M. Alaíz, Á. Barbero and J. R. Dorronsoro, "Sparse methods for wind energy prediction," The 2012 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), Brisbane, QLD, 2012, pp. 1-7.], [W. Shen, N. Jiang and N. Li, "An EMD-RF Based Short-term Wind Power Forecasting Method," 2018 IEEE 7th Data Driven Control and Learning Systems Conference (DDCLS), Enshi, 2018, pp. 283-288.], [G. Molinar, N. Popovic and W. Stork, "From Data Points to Ampacity Forecasting: Gated Recurrent Unit Networks," 2018 IEEE Fourth International Conference on Big Data Computing Service and Applications (BigDataService), Bamberg, 2018, pp. 200-207.], etc. Este tipo de modelos permiten a través de un entrenamiento previo con datos históricos predecir variables.

La selección del modelo matemático más apropiado será altamente dependiente de las

características orográficas del terreno, obstáculos artificiales, vegetación, etc. y de las condiciones meteorológicas. El modelo seleccionado, una vez entrenado, permitirá predecir el viento mínimo a lo largo de la línea a través de los valores de viento de los puntos de medida. Este viento mínimo corresponde al punto de refrigeración mínima de la línea, el punto más caliente, es decir el punto con menor ampacidad y que limita la ampacidad de la línea.

Paso 8: Obtención del viento mínimo en tiempo real

A continuación, como se muestra en la figura 4, se introduce en el modelo matemático entrenado en el paso anterior, los valores reales de medición de las estaciones meteorológicas para la obtención del viento mínimo en tiempo real.

Paso 9: Calculo de la ampacidad mínima

Como se muestra en la figura 5, a partir del viento mínimo obtenido del modelo matemático, y de las condiciones meteorológicas medidas por cada estación meteorológica, se calcula la ampacidad para cada estación meteorológica. El cálculo de la ampacidad se realiza mediante los procedimientos disponibles en el estado de la técnica [“Technical Brochure 601, Guide for thermal rating calculation of overhead lines, Cigre, December 2014” y la “IEEE Standard for calculating the current-temperature of bare overhead conductors, IEEE Std 738-2012 (Revision of IEEE STD 738-1993)”.]. Las entradas a este algoritmo serán la temperatura ambiente y la radiación de cada una de las estaciones meteorológicas instaladas en la línea, junto con el viento mínimo obtenido en el paso anterior.

En el caso de que exista más de una estación meteorológica, se selecciona la ampacidad mínima de entre todas las ampacidades calculadas y se gestiona dinámicamente la línea de forma más segura a través del uso de dicha ampacidad mínima basada en el estudio de la propagación del viento.

Ejemplo

A continuación, se muestra un ejemplo concreto de realización de la invención y los resultados obtenidos. La gestión dinámica se realiza sobre una línea de 30 km situada en el norte de España con dos estaciones meteorológicas situadas en los extremos de la misma (a 0 m y a 30000 m del comienzo de la línea). A continuación, se siguen los pasos descritos en la descripción de la invención:

Paso 1: Obtención de un Modelo Digital de Superficie (MDS) detallado.

Se obtiene un MDS de alta precisión a través del cruce de datos de dos sistemas LiDAR, uno realizado por una empresa privada mediante el vuelo de un helicóptero con el dispositivo a lo largo de la línea y el otro realizado por el proyecto “PNOA LiDAR” del Instituto Geográfico Nacional. En la figura 6 se representa el detalle de un sistema LiDAR de alta precisión.

Paso 2: Obtención de la altura de los conductores respecto al suelo en cada punto

En este paso, y como muestra la figura 7, se define una resolución de un punto cada 10 metros, por lo tanto, se obtiene la altura de los conductores cada 10 metros.

Paso 3: Obtención de una tabla de vientos de entrada (TVE)

Tras un estudio de los históricos de vientos en las estaciones meteorológicas de la línea se establece una tabla de vientos de entrada (TVE) con velocidad de viento de 0 a 20 m/s con incrementos de 0.03 m/s y direcciones de 0 ° a 359 ° con incrementos de 0.2°, representada en la figura 8.

Paso 4: Obtención de tablas de vientos distribuidos (TVDs)

A través del software “WindNinja” se obtiene la propagación del viento. Este software

se alimenta con el MDS del Paso 1, la altura de los conductores del Paso 2 y el TVE del paso 3. De esta manera se calcula el viento a lo largo de la línea para cada combinación de valores de viento de entrada (dirección y velocidad). De este modo, se obtiene un mallado georreferenciado de direcciones y velocidades de viento a lo largo de la línea, es decir las tablas de vientos distribuidos (TVDs).

Paso 5: Selección de tablas de vientos distribuidos (TVDs)

A continuación, se seleccionan las tablas de vientos distribuidos (TVDs) correspondientes a los puntos de simulación en los cuales se encuentran ubicadas estaciones meteorológicas, es decir, las TVDs a 0 m y a 30000 m del comienzo de la línea.

Paso 6: Obtención de una tabla de vientos distribuidos mínimos (TVD_min)

Para cada viento de entrada se extrae el valor mínimo de viento de las TVDs (TVD_min). La figura 9 muestra un esquema de la línea, las TVDs y la TVD_min obtenida.

Paso 7: Entrenamiento del modelo matemático de regresión

Se realiza el entrenamiento del modelo matemático Random Forest teniendo en cuenta que el objetivo es obtener el viento mínimo a lo largo de la línea a través de los vientos medidos en las estaciones meteorológicas. Para ello se entrena el modelo matemático con todos los valores de velocidad y dirección de viento de las tablas TVDs correspondientes a los puntos donde se localizan las estaciones meteorológicas (0 m y 30000 m) y con TVD_min como vector objetivo. La figura 10 muestra un esquema del entrenamiento del modelo matemático, con las TVDs seleccionadas como dato de entrada y la tabla de vientos distribuidos mínimos (TVD_min) como vector objetivo.

El modelo de Random Forest es un modelo predictivo basado en los árboles de decisión (algoritmos de aprendizaje supervisado). Este modelo en concreto permite aumentar la

precisión y la estabilidad debido a constar de un grupo de modelos predictivos, es decir se generan múltiples árboles con una clasificación cada uno, formando un bosque de modelos.

5 Paso 8: Obtención del viento mínimo en tiempo real

10 A continuación se introduce en el modelo matemático Random Forest entrenado en el paso anterior, los valores reales de medición de las estaciones meteorológicas para la obtención del viento mínimo en tiempo real. La figura 11 muestra un esquema del modelo matemático alimentado con las medidas de viento de las dos estaciones meteorológicas, obteniendo el viento mínimo calculado.

Paso 9: Calculo de la ampacidad mínima

15 En este paso se utiliza el viento mínimo obtenido con el modelo matemático de regresión como entrada, junto con la temperatura ambiente y la radiación solar de cada estación meteorológica. Al tener dos estaciones meteorológicas se obtiene la ampacidad para ambas estaciones y se selecciona como ampacidad de la línea el valor mínimo. En este ejemplo la línea se gestiona con una ampacidad dinámica de 453 A mientras que si la
20 línea se gestionase con los valores de viento medidos en las estaciones se obtiene una ampacidad de 578 A. Sobreestimar la ampacidad en 125 A puede producir daños en la línea. La figura 12 muestra un esquema para el cálculo de la ampacidad, de acuerdo a la descripción.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Método para la gestión dinámica de líneas eléctricas aéreas mediante el cálculo de la ampacidad mínima basada en el cálculo del viento distribuido a lo largo de la línea, que comprende las etapas de:
- 10 - Obtener un modelo digital de superficie (MDS) detallado que representa la superficie de la tierra incluyendo todos los objetos que esta contiene (orografía del terreno, obstáculos artificiales, vegetación, etc.), y con una precisión inferior a 2 cm para representar todos los objetos significantes, y editar el MDS obtenido manualmente debido a la presencia de elementos lineales como cruces con otras líneas, cables telefónicos, etc. para evitar que el sistema los modele como barreras sólidas;
 - 15 - Obtener la altura de los conductores en diferentes puntos con respecto al suelo, tal que la distancia entre estos puntos debe proporcionar una resolución adecuada que permita alcanzar un equilibrio entre el tiempo de simulación y la calidad del mallado del modelo obtenido; y en donde en base a la resolución y la longitud de la línea se definirá n , siendo el número de puntos de simulación del viento distribuido;
 - 20 - Obtener una tabla de vientos de entrada (TVE) en la que se combinan velocidades y direcciones del mismo, entendiendo como viento de entrada el viento resultado de los modelos atmosféricos de predicción meteorológica a escala global, regional o mesoescala, es decir, escalas mayores que la necesaria para evaluar la propagación del viento a lo largo de la línea, tal que dicha tabla se obtiene a partir de los históricos de datos de viento de la zona, presentando un valor mínimo de viento v_i y otro máximo v_j , tal que para cada valor de viento que se obtiene sumando un incremento de viento Δv al viento mínimo v_i hasta llegar al viento máximo v_j , le corresponden todas las posibles direcciones de viento que se obtienen sumando un incremento de un ángulo $\Delta\phi$ al ángulo mínimo ϕ_k hasta llegar al ángulo máximo ϕ_l , tal que la tabla presenta un número de filas igual al número de valores de viento multiplicado por el número de direcciones de viento;
 - 25
 - 30

5 -Utilizando modelos de viento a microescala alimentados con el modelo digital de superficie (MDS), la altura de los conductores y la tabla de vientos de entrada (TVE), obtener una tabla de viento distribuido (TVD) en cada uno de n puntos de simulación de la línea, tal que cada combinación de valores de viento de entrada de la tabla de vientos de entrada (TVE) -dirección y velocidad- se proyecta en cada uno de los n puntos de simulación, consiguiendo reducir la escala de cálculo del viento desde mesoescala (medidas de viento en la zona) a microescala (cálculo de la propagación del viento a lo largo de la línea) y obteniendo un mallado georreferenciado de velocidades de salida (v_s) y direcciones de salida (ϕ_s) de viento a lo largo de la línea (tablas de vientos distribuidos TVDs), tal que cada tabla de viento distribuido (TVD) presenta un número de filas igual al de la tabla de vientos de entrada (TVE);

15 - Seleccionar las tablas de vientos distribuidos (TVDs) correspondientes a los puntos de simulación donde se encuentran ubicadas estaciones meteorológicas, tal que se seleccionan tantas tablas de vientos distribuidos (TVDs) como estaciones meteorológicas existen a lo largo de la línea, y tal que debe existir al menos una estación meteorológica ubicada en uno de los puntos de simulación de la línea;

20 - Obtener una tabla de vientos distribuidos mínimos (TVD_min), tal que el valor de cada fila de la tabla, proyectado a partir de una combinación de valores de viento de entrada, se corresponde con el viento mínimo y su dirección asociada de entre todos los puntos de simulación para dicho valor de viento de entrada, y tal que la tabla de vientos distribuidos mínimos (TVD_min) presenta un número de filas igual al de una tabla de vientos distribuidos (TVD);

25 - Introducir en un modelo matemático de regresión convencional: las tablas de vientos distribuidos (TVDs) correspondientes a los puntos de simulación donde se encuentran ubicadas estaciones meteorológicas, y la tabla de vientos distribuidos mínimos (TVD_min) como vector objetivo, tal que, una vez entrenado, sea capaz de calcular el viento mínimo a lo largo de la línea para cualquier valor de velocidad de viento y dirección de entrada en los puntos de medida del sistema, tal que el viento mínimo

30

corresponde al punto de refrigeración mínima de la línea, el punto más caliente, es decir el punto que limita la ampacidad de la línea, usando como entradas las medidas en tiempo real de las estaciones meteorológicas;

5 - Introducir en el modelo matemático entrenado los valores reales de medición de las estaciones meteorológicas para la obtención del viento mínimo en tiempo real;

10 - A partir del viento mínimo obtenido del modelo matemático, y de las condiciones meteorológicas medidas por cada estación meteorológica, calcular la ampacidad para cada estación meteorológica;

15 - en el caso de que exista más de una estación meteorológica, seleccionar la ampacidad mínima de entre todas las ampacidades calculadas y gestionar dinámicamente la línea a través del uso de dicha ampacidad mínima basada en el estudio de la propagación del viento.

20 2. El método de la reivindicación anterior, donde para la obtención del modelo digital de superficie (MDS) se utiliza la tecnología Laser Imaging Detection and Ranging (LiDAR) que consiste en un dispositivo que permite determinar la distancia entre un sensor emisor láser y un objeto, utilizando para ello la señal reflejada.

3. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que presenta los siguientes valores: $\Delta v = 0.03$ m/s, $v_i = 0$ m/s, $v_j = 20$ m/s, $\Delta\varphi = 0.2^\circ$, $\varphi_k = 0^\circ$, $\varphi_l = 359^\circ$.

25 4. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el modelo matemático de regresión utilizado es el Random Forest.

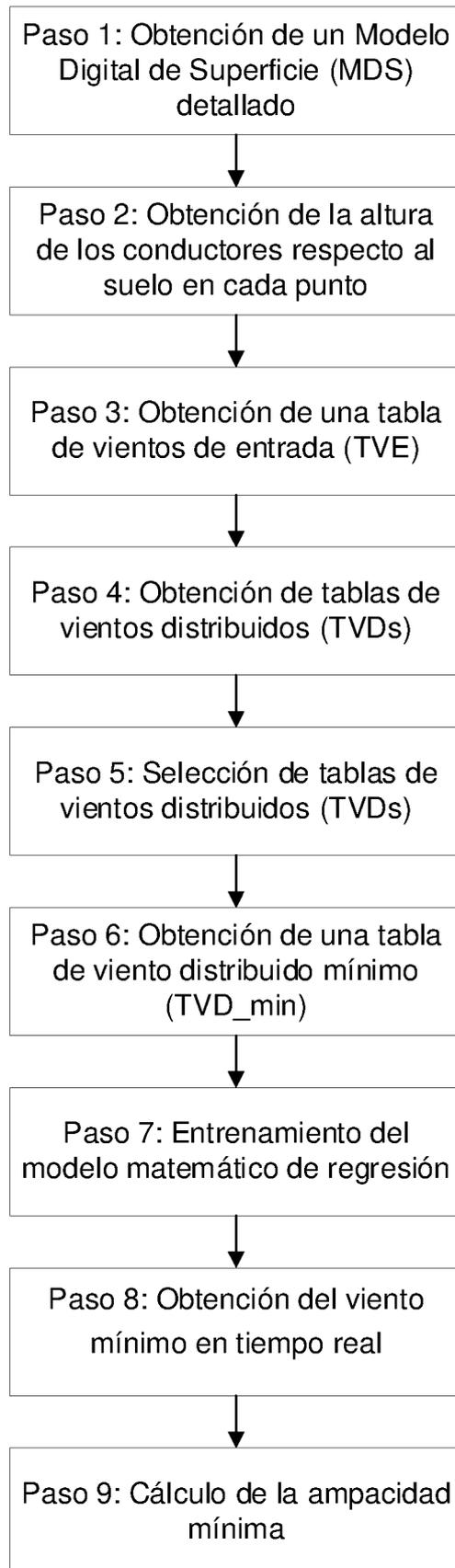


Figura 1

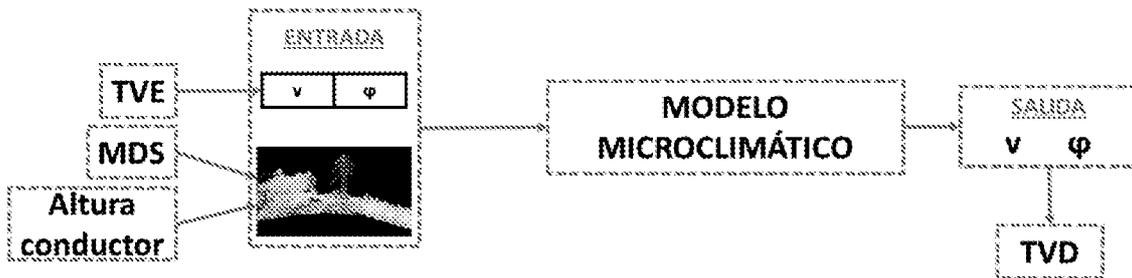


Figura 2

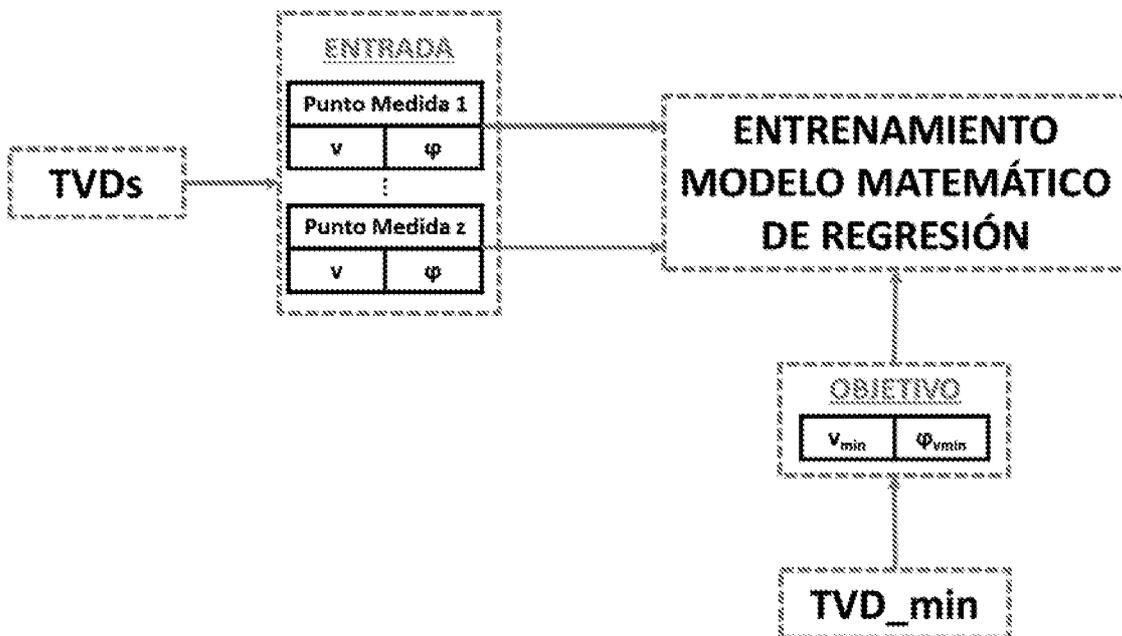


Figura 3



Figura 4

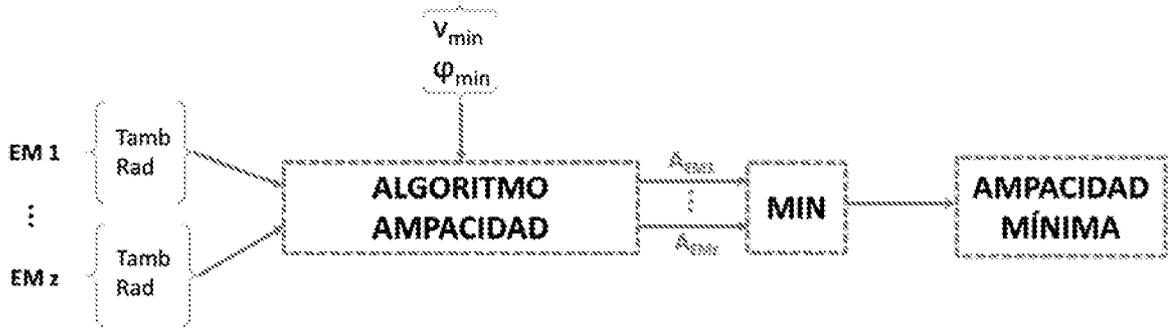


Figura 5

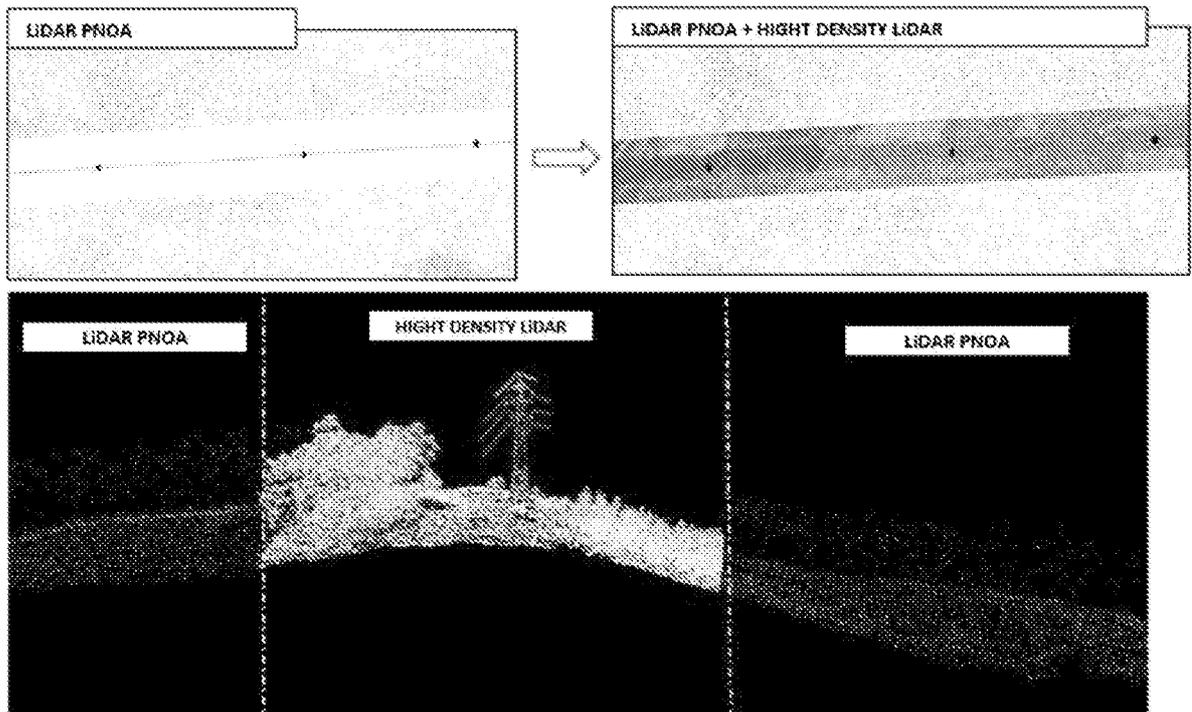


Figura 6

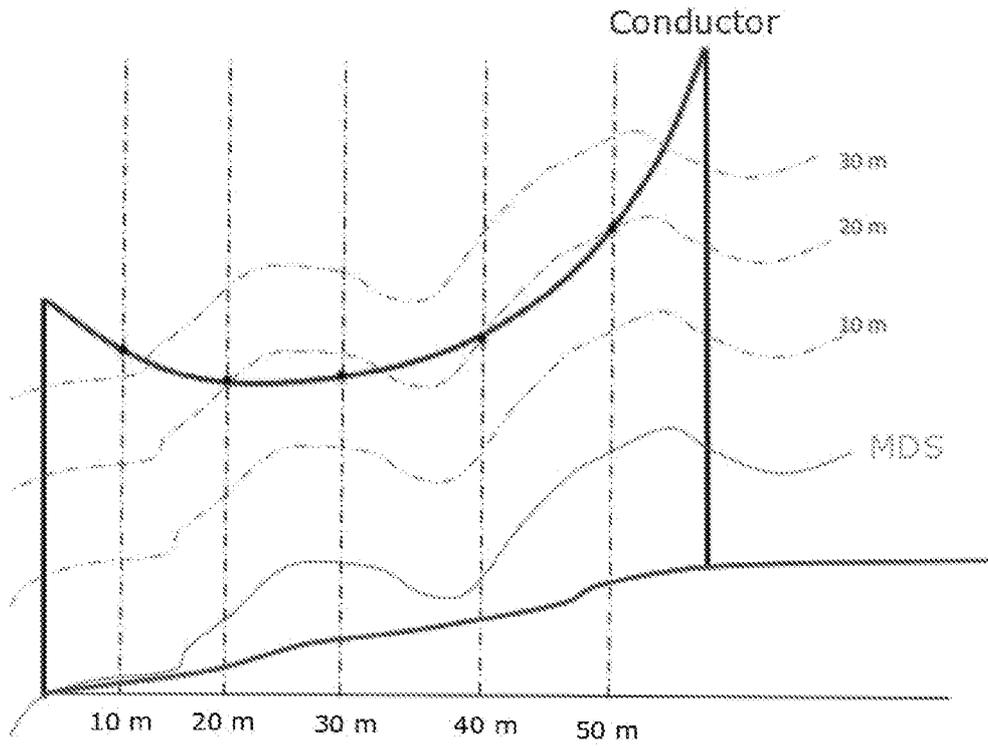


Figura 7

Velocidad viento (m/s)	Dirección viento (°)
1	0
⋮	⋮
1	359
⋮	⋮
20	0
⋮	⋮
20	359

TVE

Figura 8

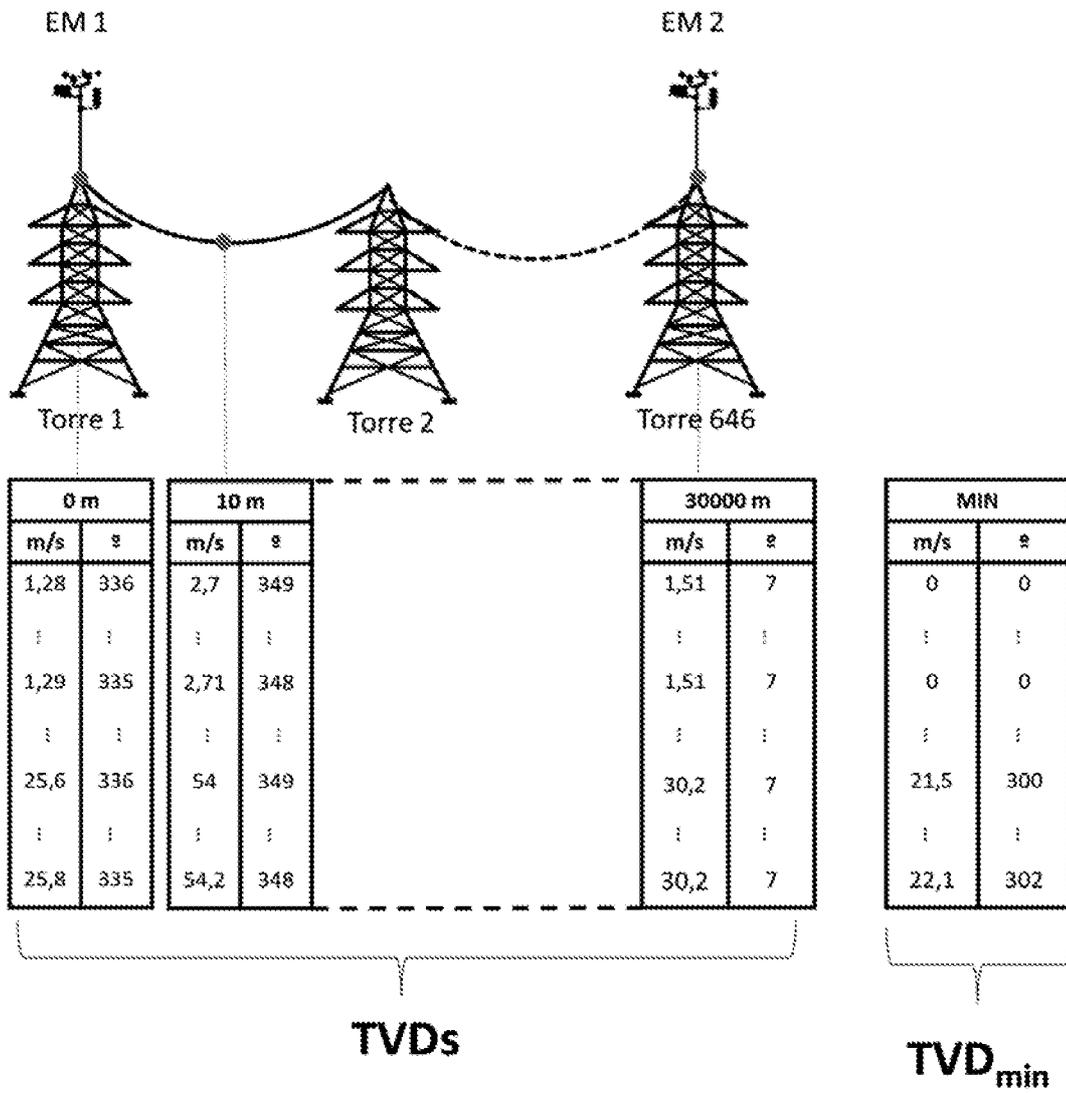


Figura 9

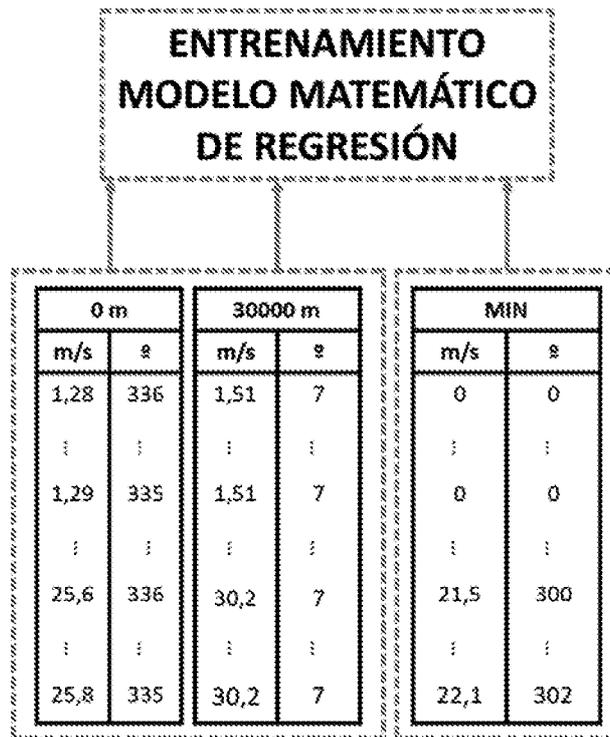


Figura 10



Figura 11

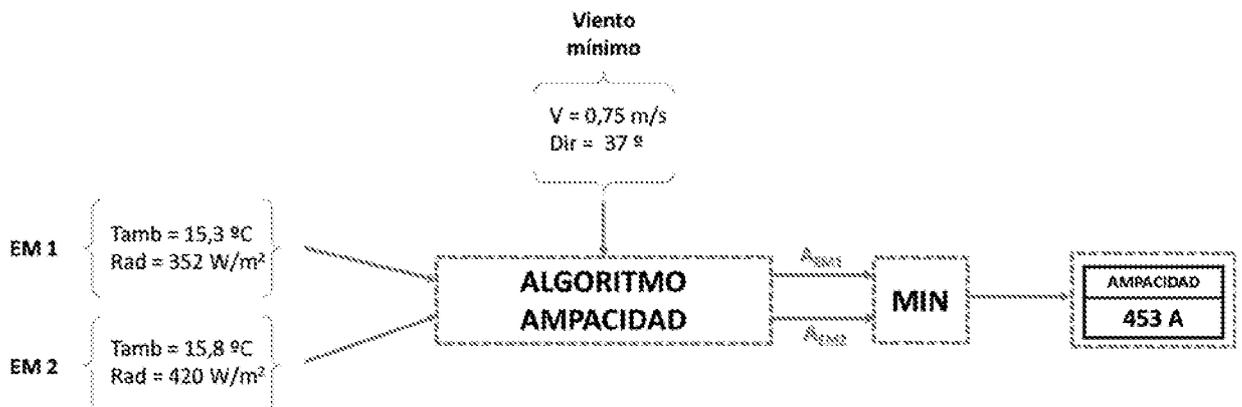


Figura 12



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②¹ N.º solicitud: 201930730

②² Fecha de presentación de la solicitud: 06.08.2019

③² Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤ Int. Cl.: **H01B9/00** (2006.01)
G01R31/00 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤ ⁶ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	XU QING-SONG; HAN FANG; WANG MENG-LONG . High Voltage Engineering , 31/10/2008, Vol. 34, Páginas 2200 - 2204 , ISSN 1003-6520 . Method of equivalent wind coefficient for overhead conductor ampacity	1-4
A	US 2014163884 A1 (UNIV LIEGE) 12/06/2014, Todo el documento	1-4
A	SEPPA T O; CROMER E; WHITLATCH W F. Summer thermal capabilities of transmission lines in Northern California based on a comprehensive study of wind conditions . IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY,, 01/07/1993, Vol. 8, Páginas 1551 - 1561, ISSN 0885-8977, <DOI: 10.1109/61.252681>	1-4

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
07.04.2020

Examinador
L. J. García Aparicio

Página
1/2

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

H01B, G01R

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, INSPEC, XPESP, XPIEE, XPI3E