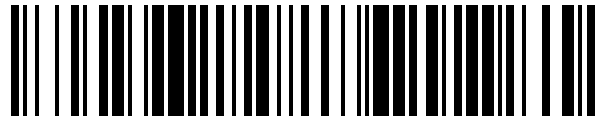


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **1 303 416**

21 Número de solicitud: 202290033

51 Int. Cl.:

G06F 18/00	(2013.01)	F03D 17/00	(2006.01)	H04N 7/18	(2006.01)
G06F 18/40	(2013.01)	H04N 23/00	(2013.01)		
H04N 13/20	(2008.01)	F03D 80/00	(2006.01)		
A01M 29/00	(2011.01)	F03D 7/00	(2006.01)		

12

SOLICITUD DE MODELO DE UTILIDAD

U

22 Fecha de presentación:

29.06.2020

43 Fecha de publicación de la solicitud:

29.09.2023

71 Solicitantes:

**3D OBSERVER PROJECT, S.L. (100.0%)
C/ Guillem de Castro, 83 Izq. pta. 30
46008 VALENCIA (Valencia) ES**

72 Inventor/es:

**DOLZ GARCÍA, Ramón;
ANTON AGIRRE, Roberto y
CAMPOS TENA, Vicente**

74 Agente/Representante:

TEMIÑO CENICEROS, Ignacio

54 Título: **SISTEMA PARA DETECTAR AVIFAUNA EN PARQUES EÓLICOS**

ES 1 303 416 U

DESCRIPCIÓN

SISTEMA PARA DETECTAR AVIFAUNA EN PARQUES EÓLICOS

Campo del invento

- 5 La invención consiste en un sistema de detección de aves en vuelo y su posicionamiento y seguimiento tridimensional en tiempo real, que, mediante la integración del análisis de las imágenes captadas y de los datos recogidos en el momento, como son un análisis de las variables meteorológicas y de la velocidad de rotación y posición de las aspas de los aerogeneradores respecto a la dirección del ave, define una estrategia de acción basada
- 10 en la creación de una predicción probabilística de la trayectoria que va a seguir el ave detectada en un tiempo futuro. Esta predicción es generada por un sistema o equipo de inteligencia artificial mediante la unión entre todas las variables tomadas por el sistema en tiempo real y aquellas que han sido tomadas previamente y almacenadas en un registro de detecciones y que, además, fueron clasificadas mediante un análisis estadístico.
- 15 El sistema, en función del análisis del movimiento que efectúan las aves posicionadas tridimensionalmente en tiempo real, actúa con la anticipación suficiente para tomar decisiones que van desde la parada de aerogeneradores hasta la activación de cualquier método de disuasión.

20 Estado de la técnica

- Es conocido el problema de que hay una gran cantidad de especies salvajes en riesgo de extinción. En este sentido, desde la redacción en 1979 de la primera Directiva de Aves, la Unión Europea ha mostrado su preocupación por la conservación de las aves dentro del territorio de la Unión. Su propósito es proteger todas las aves silvestres europeas y los
- 25 hábitats de una serie de especies, en particular a través de la designación de zonas de especial protección (ZEPA).

- Por otra parte, el impulso de las energías renovables está en la agenda de la Unión Europea. La UE fomenta activamente la evolución de Europa hacia una sociedad con bajas emisiones de carbono y actualiza su normativa para facilitar las inversiones públicas y
- 30 privadas que requiere la transición hacia las energías limpias. Este proceso no solo debe ser positivo para el planeta, sino que también debe resultar beneficioso para la economía y los consumidores.

Los estudios existentes hasta la fecha demuestran que el grupo faunístico más afectado por la implantación de parques eólicos es el de las aves, y dentro de él serían las grandes planeadoras las especies más afectadas. Hasta la fecha y según los datos expuestos por Birdlife, la mortalidad global oscilaría de entre 6 y los 18 millones de aves y murciélagos
5 año.

A fecha de hoy, las soluciones tecnológicas que se han desarrollado en los últimos años no cubren las necesidades de la problemática a la que nos enfrentamos, bien por no cumplir con los objetivos marcados para la conservación de las especies en las Directivas Comunitarias para la conservación de las aves y para la preservación de los hábitats, o
10 bien porque su ineficacia a la hora de realizar las paradas de los aerogeneradores pone en riesgo la viabilidad de los proyectos eólicos.

Como se ha indicado previamente, en la actualidad existe una gran proliferación de instalaciones de parques eólicos cuya fuente de energía es el viento. La mortalidad de aves en los parques eólicos pone en riesgo la supervivencia de numerosas aves, por lo que se
15 considera imprescindible desarrollar un sistema de protección para el conjunto de la avifauna y para las especies Amenazadas en particular.

La presente invención pretende reducir considerablemente la mortalidad de estas especies en los parques eólicos mediante un sistema, basado en la Visión Artificial Estereoscópica y la Inteligencia Artificial, y una serie de medidas activadas por dicho sistema.

20 En este sentido, el sistema objeto de esta patente pretende abordar la problemática desde un plano diametralmente diferente a los sistemas utilizados actualmente, ya que, normalmente, basa toda su funcionalidad bajo la premisa de la detección precisa de las aves de mediano-gran tamaño que se encuentran en el campo de trabajo, especies que suelen coincidir con especies amenazadas.

25 La ingente cantidad de datos que se obtienen mediante el registro de millones de detecciones de aves, junto con el registro de las variables meteorológicas y de estado de los aerogeneradores en cada momento de esta monitorización, permite aproximarse, en base al método científico, a una realidad muy compleja, con el fin de acotar esa compleja realidad y establecer protocolos fácilmente ejecutables.

30 En este sentido, se conocen sistemas similares como el sistema denominado como IdentiFlight que puede consultarse y verse en <https://www.identiflight.com>, o en el artículo de literatura, no objeto de patente, "*Automated monitoring for birds in flight: Proof of concept with eagles at a wind power facility*".

IdentiFlight basa su funcionamiento en tecnología de visión artificial, y comprende dos conjuntos de cámaras. El primer conjunto es el inferior y consiste en una distribución circular de cámaras que cubren 360° en dos dimensiones y en sentido horizontal alrededor del emplazamiento del sistema (la cobertura vertical depende de las ópticas utilizadas). Estas cámaras se encargan de realizar la detección de posibles aves en el entorno próximo, pero es importante indicar que no captan estereoscópicamente el entorno, es decir, no obtienen una imagen 3D, sino que obtienen una imagen bidimensional (2D) de 360°. Este primer subsistema 2D de IdentiFlight proporciona información sobre la orientación de las aves detectadas (direcciones de azimut y elevación), no pudiendo proporcionar información sobre la distancia a la que se encuentra el ave ni su tamaño, ya que debido a la distribución de las cámaras se obtiene un único punto de vista para cada punto en el espacio y por tanto no pueden proporcionar información 3D. El otro conjunto de cámaras de IdentiFlight se encuentra en la parte superior y está formado por dos cámaras montadas sobre un sistema PAN / TILT, sistema que es capaz de orientar estas cámaras realizando movimientos horizontales y verticales. Estas dos cámaras conjuntamente pueden obtener una imagen 3D a partir de la cual se puede determinar la posición y el tamaño del objeto captado, pero no cubren 360° sino que están limitadas a los grados que cubre cada una de las cámaras. Cuando se genera una detección en el sistema inferior bidimensional (2D) y con cobertura de 360°, se envía la dirección en la que se localiza al ave detectada (ya que no conoce la posición X,Y,Z de la misma) al sistema PAN/TILT 3D superior, el cual apunta al objeto y, ahora sí, determina su posición en las tres dimensiones, iniciando un seguimiento de esta mediante movimientos del PAN/TILT. Así y a partir de ese momento puede determinar la posición del ave en el espacio tridimensional (X,Y,Z y por tanto distancia, tamaño y trayectoria). Pero el sistema 3D de IdentiFlight tan solo puede apuntar a uno de los objetos, elegido entre los que este detectando el sistema inferior 2D que cubre 360°, y lo sigue en el espacio mediante los movimientos del sistema PAN / TILT. Así solo puede seguir un objetivo, y si el sistema de 360° de IdentiFlight detecta varias aves en vuelo debe elegir a cuál de ellas dirige su seguimiento. Además, la precisión con la que un sistema estereoscópico puede ubicar un objeto en el espacio está directamente determinada por la separación entre las cámaras y la resolución del sistema óptico. Como se puede observar en dichos documentos, el par estereoscópico del sistema IdentiFlight está formado por dos cámaras separadas horizontalmente unos 50 cm, mientras que los pares estereoscópicos de la presente invención tienen unas especificaciones diferentes ya que están dispuestos verticalmente y mucho más separados (varios metros).

De esta forma si comparamos el sistema IdentiFlight con el sistema objeto de la presente patente tenemos que en el supuesto de que se montarán las mismas cámaras con las mismas

ópticas, es decir se compararan sistemas con la misma resolución, la precisión en la ubicación tridimensional de las aves detectadas es muy superior en el sistema objeto de la presente patente que en el sistema IdentiFlight, donde es simplemente imposible obtener una precisión similar.

- 5 Teniendo en cuenta estos aspectos, este sistema IdentiFlight no es capaz de seguir simultáneamente en 3D múltiples objetivos ya que el posicionamiento y calculo 3D lo realiza a partir de un sistema PAN-TILT estereoscópico que tiene que “apuntar” al objetivo, de tal modo que solo puede seguir un objetivo cada vez. Esto supone una limitación importante en zonas en las que pueda haber múltiples aves volando en los alrededores del aerogenerador.
- 10 Además, la precisión en las medidas tridimensionales se ve limitada debido a la reducida separación entre las cámaras que componen el par estereoscópico.

Finalmente, este sistema tiene un tiempo de respuesta más elevado y no operativo para el fin que se busca en la presente invención, dado que la detección inicial se realiza en 2D, determinando únicamente la dirección en la que se aproximaría el ave, por tanto, el tiempo de

15 respuesta total del sistema no es funcional en 3D hasta que el PAN/TILT estereoscópico se haya posicionado apuntando al ave y se pueda realizar el seguimiento, lo cual puede haber sido cuando esta ave ya ha impactado contra el aerogenerador. Esto, unido a que, si hubiera varias aves en trayectorias de riesgo potencial, el sistema sería incapaz de seguir las teniendo que elegir únicamente una de ellas.

- 20 También es conocido el sistema denominado como DTBird que puede verse y consultarse en: <https://dtbird.com/index.php/es/>. Al igual que el sistema previo (IdentiFlight), este sistema también se basa en tecnología de visión artificial. Este sistema está montado sobre el propio mástil de un aerogenerador quedando dispuestas las cámaras a modo de cinturón mirando desde la parte inferior del poste hacia la parte superior donde se encuentra el rotor y
- 25 las aspas. El Sistema DTBird no es un sistema estereoscópico, es un sistema bidimensional (2D) y esto implica que, aunque si puede detectar los objetos en vuelo, no puede ubicarlos en el espacio tridimensional. Por esta limitación no es capaz de determinar distancias reales, ni tamaños, ni posiciones o trayectorias 3D. Por tanto, la generación de las alarmas se realiza bajo una suposición (sin certezas) de que la trayectoria del ave implica un riesgo, a partir de
- 30 la proyección de su imagen 2D a unas supuestas posiciones “reales”, y dado que no puede determinar ni la distancia ni el tamaño del objeto detectado confunde objetos cercanos de tamaño pequeño con objetos lejanos de tamaño mayor, generando numerosos falsos positivos, tal como se cita en el artículo: “*Norwegian Institute for Nature Research (NINA). 2012. Evaluation of the DTBird video-system at the Smola wind-power plant. Detection capabilities for capturing near-turbine avian behaviour*”. En ese artículo también se comenta
- 35

(pag.2), que la distancia a la que se encuentra un ave detectada mediante el sistema DTBird, tan solo se puede analizar a posteriori (no en tiempo real) analizando una persona las secuencias de video 2D, con lo que lo único que se obtiene es una estimación de esta distancia que solo es posible si se conoce previamente el tamaño del ave detectada. Esto solo
5 se puede hacer si se calibra el sistema para una sola especie de ave y para un único tamaño dentro del rango de tamaños de esta especie. Así pues, este sistema DTBird presenta serias limitaciones respecto de la solución propuesta en esta patente, que podemos indicar como que DTBird no puede calcular la ni la posición, ni el tamaño, ni las trayectorias reales del ave, por tratarse de un sistema 2D. Debido a este principio de funcionamiento, un objeto de menor
10 tamaño, volando a menor velocidad y estando a menor distancia de la cámara se comportaría exactamente igual que un objeto de mayor tamaño, volando a mayor velocidad y a mayor distancia de la cámara, siendo imposible diferenciar entre ambas situaciones y, por lo tanto, pudiendo generarse falsos positivos.

15 **Explicación del invento**

De todo lo expuesto en los párrafos anteriores se desprende la necesidad de asegurar la supervivencia de las aves en general, y de las especies amenazadas en particular, desde una nueva perspectiva que se basa en un concepto simple, la precisión en la determinación de la posición y del tamaño de las aves en el espacio por un sistema de visión artificial
20 estereoscópico, complementada con una base de datos en la que se han registrado todas las variables de las aves detectadas anteriormente, junto con las variables del entorno que existían en el momento de cada detección, variables meteorológicas y de estado de los aerogeneradores. Esto permite la identificación de las especies o grupos a los que pertenecen dichas aves y para predecir el comportamiento de las mismas según las variables del entorno
25 que existían en el momento de la detección (trayectorias de mayor probabilidad).

El sistema, en función del análisis del movimiento que efectúan las aves posicionadas tridimensionalmente en tiempo real, actúa con la anticipación suficiente para tomar decisiones que van desde la parada de aerogeneradores hasta la activación de cualquier sistema de disuasión.

30 Cuando el sistema de visión artificial estereoscópico detecta un ave en el espacio, un equipo electrónico de inteligencia artificial, entrenado con la base de datos mencionada, toma, en tiempo real, la decisión de parar los aerogeneradores, o de activar otros sistemas de disuasión, a partir de las variables que se registran en el momento de la detección: la posición y la trayectoria del ave en el espacio, su tamaño, las variables meteorológicas y las variables
35 de estado de los aerogeneradores.

Las variables que se capturan en tiempo real, complementadas con los modelos generados a partir de las trayectorias reales y de los resultados obtenidos a partir del análisis de todas las aves detectadas anteriormente, permite que el sistema sea eficiente en la toma de decisiones. La presente invención resuelve las problemáticas técnicas anteriores relativas a poder calcular la posición, tamaño y trayectorias reales de las aves; no genera problemas de cobertura del área de estudio; y el tiempo de respuesta se ve reducido.

Se ha de tener en cuenta que, a lo largo de la descripción y las reivindicaciones, el término “comprende” y sus variantes no pretenden excluir otras características técnicas o elementos adicionales.

10

Breve descripción de las figuras

Las Figuras 1 y 2 muestran unas vistas laterales de un sistema para detectar avifauna en parques eólicos.

La Figura 3 muestra una vista en perspectiva del sistema.

15 La Figura 4 muestra un ejemplo de realización donde se representa la posición y orientación del mástil del sistema respecto de un aerogenerador.

La Figura 5 muestra un ejemplo de realización donde se muestra el montaje de cuatro cámaras en un sistema y los ángulos que cubren.

20 La Figura 6 muestra una vista lateral donde se muestra un par estereoscópico montado en sentido vertical.

La Figura 7 muestra una representación de los ejes X-Y-Z del sistema con respecto a un aerogenerador.

La Figura 8 muestra la representación de un ejemplo de la cubrición y detección de un espacio por parte del sistema objeto de la presente invención.

25 La Figura 9 muestra en detalle un equipo estereoscópico formado por dos cámaras alineadas en sentido vertical y la representación de la adquisición de imágenes, mostrándose para ello dos dibujos: F9A y F9B.

30 La Figura 10 muestra una realización del sistema donde, además de comprender las cámaras 3D, comprende al menos una cámara 2D de alta resolución montada sobre un sistema Pan-Tilt de alta precisión mecánica.

La Figura 11 muestra una representación donde se ve que cualquier punto que un ave ocupe en el espacio tridimensional controlado por las cámaras 3D, se puede unir mediante una recta al centro de giro del mecanismo de la cámara de alta resolución.

5 Las Figuras 12 y 13 muestran unos esquemas donde se explica el funcionamiento del sistema.

La Figura 14 muestra de forma esquemática la conexión de datos del sistema con el SCADA del parque eólico.

La Figura 15 muestra una realización donde el sistema mejora la activación de alarmas respecto de los sistemas conocidos al ser activados por directividad.

10

Descripción detallada de un modo de realización del invento

Con el objeto de realización una descripción detallada de un posible modo de realización del invento, al final del documento se adjuntan unos gráficos y figuras que ayudan a entender el funcionamiento de la invención, estando estas imágenes explicadas a lo largo de esta memoria descriptiva.

15

La presente invención consiste en un sistema para la observación y determinación, en tiempo real, de la posición tridimensional y de la trayectoria de vuelo de las aves que ocupan el espacio de un parque eólico, mediante técnicas de visión artificial estereoscópicas complementadas con imágenes bidimensionales (2D) de alta resolución, variables meteorológicas, datos de estado de los distintos aerogeneradores que componen dicho Parque y de un análisis mediante técnicas de inteligencia artificial de un Registro Histórico de Detecciones.

20

El sistema permite predecir posibles colisiones de las aves con los aerogeneradores y actuar antes de que se produzcan, disminuyendo la probabilidad de que las aves impacten contra las aspas de los aerogeneradores.

25

Para ello la presente invención propone un sistema basado en la visión artificial, que consta de un equipo estereoscópico con conjunto de cámaras 3D y de un equipo de alta resolución, dotado con cámaras de alta resolución y con un sistema Pan Tilt de alta precisión. El conjunto de cámaras 3D está montado sobre una columna de varios metros de altura. Sobre esta columna también se monta equipo de alta resolución. Varias columnas, dotadas de cámaras estereoscópicas y de equipos de alta resolución, distribuidas estratégicamente, pueden cubrir la totalidad del espacio que ocupa el Parque Eólico en el que se quiere evitar la mortandad de aves.

30

El conjunto de columnas, gracias a la elevada resolución de las cámaras y a la gran separación existente entre los sensores que forman cada par estereoscópico, obtiene con elevada precisión, la posición tridimensional que ocupan las aves en el espacio aéreo del Parque Eólico.

- 5 Dado que el sistema estereoscópico debe cubrir el mayor espacio posible, con el fin de detectar las aves con suficiente antelación como para evitar su impacto con los aerogeneradores, las aves que se encuentran a mucha distancia de las cámaras 3D ocupan un área muy pequeña en el sensor de estas.

- 10 Por ello, y en el caso de que las aves estén a mucha distancia, se mejora la identificación de a que especie o grupo pertenece el ave con la ayuda de imágenes de primeros planos captadas por un equipo de alta resolución con una cámara 2D con un sistema de control de movimientos de los ejes horizontales (PAN) y verticales (TILT).

- 15 Así, existe un equipo de alta resolución, dotado de una cámara 2D que captura imágenes de alta resolución con un mecanismo de alta precisión, primeros planos de las aves, a una distancia mucho mayor de lo que pueden hacerlo las cámaras 3D. Esto se logra porque la cámara 2D, además de poseer un sensor de alta resolución, tiene una óptica zoom de focal larga, es decir de un teleobjetivo que, guiado por el sistema estereoscópico, obtiene primeros planos de las aves en vuelo.

- 20 Aunque este equipo de alta resolución tan solo es capaz de seguir un ave, o un grupo de aves, a la vez, esto no menoscaba la capacidad del sistema de evitar la mortandad de las aves ya que estas imágenes, junto con las secuencias de vuelo de las aves detectadas y los diversos parámetros, tienen como principal fin mejorar la identificación de la especie o del grupo a la que las aves detectadas pertenecen, pero no se utiliza para determinar la posición y trayectoria de las aves

- 25 De este modo el invento se fundamenta en la captura de imágenes mediante el empleo de al menos un equipo estereoscópico con uso de cámaras 3D y de al menos un equipo de alta resolución dotado de cámaras 2D de alta resolución, y de un equipo de procesado y análisis de imagen que, a partir de las imágenes de las cámaras 3D y mediante algoritmos de visión artificial, detecta las aves en vuelo y determina su posición espacial en momentos
30 determinados, obteniendo un conjunto de coordenadas (X, Y, Z, t) para cada una de las aves detectadas. Todo el sistema está referenciado y calibrado topográficamente respecto al espacio a vigilar.

Como es conocido, para obtener una imagen estereoscópica hace falta la instalación de al menos dos cámaras. A partir de las imágenes tomadas en ambas cámaras, en el mismo

instante de tiempo, se obtienen las coordenadas tridimensionales (X,Y,Z) de las aves detectadas, determinándose las posiciones de estas. Dada el área que ocupa el ave en la imagen capturada por las cámaras y conociendo la distancia a la que se encuentra del sistema, también es posible determinar el tamaño de esta.

- 5 Si se añade la coordenada tiempo, obtenemos (X, Y, Z, t) y entonces es posible analizar una secuencia temporal de estas coordenadas y obtener los parámetros de velocidad y aceleración (en los tres ejes del espacio), la dirección del vuelo, la evolución en el tiempo de la distancia de las aves detectadas hasta el aerogenerador y trayectorias que, posiblemente, van a seguir.
- 10 La posición tridimensional se obtiene, para cada ave detectada, en tiempo real y varias veces por segundo, posibilitando la determinación de su trayectoria de vuelo y permitiendo actuar en consecuencia en el caso que se observe que algún ave vuela en rumbo de colisión con algún aerogenerador.

El sistema también recibe los datos correspondientes a las variables meteorológicas (velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad relativa) de un módulo electrónico detector de variables meteorológicas, así como de un módulo electrónico detector de las variables de estado de los aerogeneradores (orientación del rotor (del eje de giro) respecto a los ejes de coordenadas geográficos y la velocidad de rotación).

El sistema objeto de esta patente no solo recibe los datos para procesarlos en tiempo real, sino que tiene la capacidad de almacenar todos los datos que se recogen en cada una de las detecciones que efectúa.

Con este fin existe un módulo electrónico de registro de detecciones en el cual se almacenan las coordenadas de cada ave detectada, su tamaño, las imágenes correspondientes a cada detección (tanto de los equipos estereoscópicos como de los equipos de alta resolución), así como las diversas variables meteorológicas y de estado los aerogeneradores del Parque eólico, formando una base de datos en el módulo electrónico de registro de detecciones, que es un registro histórico de detecciones.

Así, además de las imágenes 3D y 2D, se registra para cada ave detectada: el tiempo en el que se efectúa la detección, las coordenadas tridimensionales que ocupa el ave, su tamaño, sus variables de velocidad y aceleración en los tres ejes del espacio, las variables meteorológicas (velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad relativa, presión atmosférica y lluvia) y las variables orientación del rotor respecto a los ejes de coordenadas geográficos y la velocidad de giro de las aspas de cada aerogenerador. Hay que tener en cuenta que, normalmente, cuando un ave es detectada, el sistema la sigue durante todo el

tiempo que permanece en el campo de visión, y en cada segundo se efectúan varias medidas. Así mismo es posible que se detecten varias aves simultáneamente, pues bien, el Sistema de Registro guarda todo el seguimiento con todas las detecciones y con todas las imágenes y variables mencionadas anteriormente.

5 Así, las imágenes 3D y 2D, las coordenadas (X, Y, Z, t), los datos meteorológicos del momento (velocidad y dirección del viento, temperatura, etc.) y los datos de estado de los aerogeneradores (orientación del rotor y velocidad de giro), formarán una base de datos que, con el tiempo y procesados mediante análisis estadístico y técnicas de inteligencia artificial, permiten modelar y efectuar una descripción detallada de las aves más usuales
10 en el parque eólico, así como su comportamiento según la especie, la época del año, las variables meteorológicas o las orientaciones y velocidades de los aerogeneradores. El análisis de los datos almacenados sirve para determinar la especie, o el grupo a la que el ave pertenece, así como para modelizar su comportamiento (tipo de vuelo, trayectorias, posibles maniobras para evitar colisiones, etc.), pero vinculado su comportamiento al resto de variables
15 que se registraron en el momento de la detección (tamaño, posición en el espacio, velocidad, aceleración, parámetros meteorológicos, hora del día, parámetros de los aerogeneradores etc.).

La singularidad de este sistema reside en que, tras un tiempo posterior a su instalación en un parque eólico, se logra un conocimiento exhaustivo del comportamiento de las aves que
20 pueblan el lugar donde se instala. Comportamiento que evidentemente está vinculado al resto de variables del entorno (parámetros meteorológicos y posición y movimientos de los aerogeneradores). El análisis de los datos almacenados en el sistema de registro permite determinar las rutas más probables que un tipo de ave efectuará teniendo en cuenta las variables meteorológicas y de los aerogeneradores existentes en ese momento.

25 Además, hay que tener en cuenta que un aerogenerador tarda un tiempo desde que se le da la orden de parada hasta que las aspas se detienen (unos 25 segundos dependiendo del modelo), esto implica que la orden de parada se debe dar con una antelación de al menos 25 segundos. Si consideramos que la velocidad promedio de las aves normalmente oscila entre los 55 Km/h y los 80 Km/h, este tiempo supone que el ave se encuentra entre
30 los 380 m y los 550 m de distancia del aerogenerador cuando faltan 25 segundos (Tiempo de Antelación) para el hipotético impacto con el mismo (en adelante a esta distancia le llamaremos Distancia de Antelación).

Dada la necesidad de activar las alarmas con el Tiempo de Antelación adecuado, se da la circunstancia de que las aves se encuentran a una distancia suficiente como para que
35 todavía puedan efectuar maniobras que eviten el impacto con el aerogenerador.

Efectivamente, se ha comprobado que algunas aves bordean o atraviesan los parques eólicos a escasa distancia (menos de 100m) del área de influencia de las aspas de los aerogeneradores o que vuelan en aparente rumbo de colisión hacia los aerogeneradores hasta que finalmente y a escasa distancia de estos, generan maniobras evasivas que evitan su colisión con los mismos.

Por todo ello, el tener en cuenta tan solo la distancia al aerogenerador o la trayectoria previsible de colisión, a la Distancia de Antelación, puede generar innecesariamente numerosas alarmas que invaliden totalmente la viabilidad de un parque eólico.

Pero, gracias a que el sistema objeto de esta patente almacena un histórico de las detecciones de aves con sus trayectorias y su comportamiento real (no debemos olvidar que incluye las trayectorias reales completas de todas las aves detectadas), estas órdenes de parada no se determinan tan solo por la proximidad a un aerogenerador o por la trayectoria en aparente rumbo de colisión, sino que el sistema tiene en cuenta en cada momento la estadística que proporciona el módulo del registro histórico de detecciones de ese parque eólico y el modelo de comportamiento generado, estadística que a cada día que pasa se hace más precisa. Así, el sistema objeto de esta patente tiene en cuenta la ruta más probable que un ave sigue bajo unas condiciones determinadas, ruta que ha sido determinada con la ayuda del análisis estadístico del registro histórico de detecciones.

Así para tomar la decisión de emitir una señal de alarma no solo se tiene en cuenta la posición del ave y su dirección de vuelo en el momento que se encuentra a la Distancia de Antelación, sino también su posible comportamiento, la trayectoria previsible que el ave seguirá comparando las numerosas variables tomadas en tiempo real (la especie o grupo de aves que se trate, su posición en el espacio, su tamaño, las variables meteorológicas, la posición y las revoluciones de las aspas de los aerogeneradores etc), con el análisis estadístico de los datos almacenados en el registro histórico de detecciones.

Todos estos datos alimentan a un equipo electrónico de inteligencia artificial con el fin de que en cada momento se actúe de la mejor manera posible, teniendo en cuenta todas las variables anteriormente mencionadas.

Por ello, además de los sistemas de visión artificial estereoscópicos, de los equipos de alta resolución y del módulo electrónico de registro de detecciones, existe un equipo electrónico de inteligencia artificial. Este equipo de inteligencia artificial ha sido alimentado previamente con los datos del análisis estadístico del registro histórico de detecciones, datos que se actualizan periódicamente tal como se van acumulando más datos con el tiempo en el módulo de registro.

Como hemos dicho, al equipo de inteligencia artificial le llegan todos los datos que se están generando en el momento, es decir las coordenadas tridimensionales, el tamaño estimado y las imágenes que genera el sistema estereoscópico, las imágenes bidimensionales de alta resolución, provenientes del equipo de alta resolución, y el resto de las variables del entorno
5 (variables meteorológicas y de posición y estado de los aerogeneradores).

El equipo de inteligencia artificial toma la decisión de activar o no, una señal de alarma a partir de los datos que le llegan en tiempo real, pero cotejándolos con el análisis estadístico del registro histórico de detecciones que le proporciona las rutas de vuelo más probables que pueden seguir las aves según las condiciones existentes en ese momento.

10 Esta señal de alarma se puede traducir en la parada de los aerogeneradores o en la activación de otros sistemas o métodos disuasorios.

A modo de ejemplo, el funcionamiento, que no pretende ser objeto de protección, del sistema con el que se consigue la detección de avifauna en el entorno de un parque eólico y la toma de las medidas, es tal que comprende:

- 15 • la toma de unas imágenes estereoscópicas con al menos un equipo estereoscópico con cámaras 3D dispuestas en las proximidades de los aerogeneradores, cubriendo un área suficiente como para poder detectar con antelación a las aves que lleven trayectorias de posible impacto. Las cámaras 3D se encuentran agrupadas en
20 columnas. Cada columna puede tener varias cámaras estereoscópicas y varias columnas distribuidas estratégicamente, pueden cubrir la totalidad del espacio que ocupa el parque eólico.
- la toma de unas imágenes bidimensionales con al menos un equipo de alta resolución que comprende una cámara 2D con un sistema de control de movimientos de los ejes horizontales (Pan) y verticales (Tilt), es decir la toma de primeros planos de las aves
25 que ayudan a la determinación de la especie de ave que se detecta.
- la obtención de las variables meteorológicas, velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad relativa, precipitación, desde un módulo electrónico detector de variables meteorológicas ubicado en el centro de control del parque eólico (SCADA)
- 30 • la obtención de las variables de estado de los aerogeneradores del parque eólico, es decir la orientación del eje de rotación de las aspas respecto al norte geográfico y la velocidad de estas en revoluciones por minuto, desde un módulo electrónico detector de las variables de estado de los aerogeneradores ubicado en el centro de control del parque eólico (SCADA)

- el registro de todas las variables mencionadas anteriormente en un módulo electrónico de registro de detecciones, generándose una base de datos también denominado con registro histórico de detecciones
- 5 • el análisis estadístico de esta base de datos mediante el empleo de herramientas informáticas y la generación de modelos de predicción con el fin de determinar las trayectorias más probables que seguirá un ave según la especie a la que pertenece y según el conjunto de variables almacenadas en este registro.
- 10 • el procesamiento de estos datos en un equipo electrónico de inteligencia artificial que es capaz de tomar la decisión de activar o no, una señal de alarma a partir de los datos que le llegan en tiempo real, pero cotejándolos con el análisis estadístico del módulo de registro de detecciones que le proporciona las rutas de vuelo más probables que seguirá un ave según las condiciones existentes en ese momento.
- 15 • en caso de estimación de riesgo de colisión, y para evitar la mortandad de las aves, el sistema comprende varias posibilidades de actuación que pueden actuar individualmente o de forma complementaria, y que puede consistir en:
 - Parada del aerogenerador (o disminución de velocidad de rotación), de tal forma que se minimiza el riesgo de impacto, minimizando la pérdida de eficiencia en la generación de energía y también los posibles efectos negativos sobre los elementos mecánicos del aerogenerador.
 - 20 - La activación de sistemas disuasorios en las propias aspas del aerogenerador, por ejemplo, luces o cualquier mecanismo que cambie la apariencia morfológica de estas; la activación de otros sistemas de disuasión mediante sonidos, luz, agua etc. pero dirigidos a un punto concreto del espacio, es decir a las coordenadas donde el sistema estereoscópico determina que se encuentra el ave; o por ejemplo, el uso automático de aeronaves no tripuladas (UAV - *Unmanned Aerial Vehicle*) de tal forma que cuando se detecta el posible impacto del ave con el aerogenerador, un sistema hace despegar los UAVs y los guía automáticamente hacia el ave, ajustando su posición en 25 tiempo real según varían las coordenadas del ave, con el fin de alejarla del aerogenerador con el que se preveía su colisión.
 - 30

Entrando en una descripción detallada de un modo de realización de la invención, se empieza por la toma de imágenes estereoscópicas.

Aunque para obtener una imagen estereoscópica, de la que se pueden extraer medidas tridimensionales, se pueden usar más de dos cámaras, o cámaras especiales con sensores tipo plenóptico, en adelante se considera que una cámara estereoscópica consta de dos cámaras convencionales bidimensionales o cámaras 2D, unidas solidariamente y separadas
5 entre si una distancia tal que, a los fines de esta patente, permita determinar la posición tridimensional de las aves con la precisión adecuada. Esta precisión viene determinada por la separación existente entre las cámaras 2D, por la resolución del sensor y por las ópticas utilizadas, pero para simplificar la explicación no haremos referencia, si no es imprescindible, a estas especificaciones técnicas.

10 Un conjunto de dos cámaras 2D constituye un par estereoscópico y forma una cámara 3D (en adelante cámara 3D). La presente invención comprende al menos un equipo estereoscópico que consta de varias cámaras 3D que conjuntamente cubren el espacio aéreo que se vigila.

El campo de visión y la precisión tridimensional del equipo es suficiente como para poder detectar y posicionar a las aves a distancias que permitan, con antelación, activar cualquier
15 sistema que impida el impacto de estas con los aerogeneradores.

Cada equipo, formado por un conjunto de cámaras 3D, se instala en las proximidades del aerogenerador sobre un Soporte: una columna.

Este Soporte y los componentes que integra se describen a continuación, y pueden verse en las Figuras 1 – 3.

20 El equipo estereoscópico está comprendido en al menos un mástil soporte (1), que es el componente en el que se sitúan todo el resto de los elementos del equipo estereoscópico.

El mástil soporte (1) consiste en una columna cuyas dimensiones son variables dependiendo del proyecto y que, de manera general, puede estar comprendida entre los 10 y 15 m de altura y los 35 – 100 cm de diámetro, y que en una realización preferentemente tiene 12 m de altura
25 y 40 cm de diámetro. Esta columna se ubica en las proximidades de los aerogeneradores sobre los que se quieren evitar los impactos de las aves.

En el soporte podemos considerar dos tramos, tal como se observa en las Figuras 1 a 3 y de acuerdo con la realización preferente:

- un primer tramo (T.A) que va de la cota cero hasta la altura 4 m. Aquí se encuentra la
30 unión con la cimentación. Este tramo está exento con el fin de evitar actos vandálicos. Tan solo existe un registro que permite el paso de los cables de suministro eléctrico y de comunicaciones, y el acceso a los mismos.
- un segundo tramo (en adelante T.B) va desde los 4 metros de altura hasta los 12 metros.

Aquí se encuentra una escalera (11), con su línea de vida, que permite que los operadores puedan subir hasta los 12 m de altura. En este tramo se monta este equipo de cámaras 3D, pero también el equipo de alta resolución, el cuadro eléctrico, ordenadores y antenas de comunicación. Aquí y para facilitar la instalación y el mantenimiento del sistema, se encuentran una o varias plataformas (3) que permiten el trabajo de los operadores.

El mástil soporte está concebido como un sistema modular en el que se montan, en el T.B, diferentes dispositivos según las necesidades

El mástil soporte (1) se instala a una cierta distancia del aerogenerador (A), como se ve en la Figura 4. Esta distancia depende de la resolución de las cámaras, de las ópticas que se instalen y de las necesidades respecto la distancia a la que se tienen que detectar las aves, así como el rango de tamaños de estas. Tan solo a efectos descriptivos se considera que esta distancia es de 250 metros.

La posición que ocupa el mástil soporte (1) respecto al aerogenerador (A), si la orografía lo permite, está optimizada para evitar al máximo los deslumbramientos por el Sol, es decir de tal modo que el aerogenerador quede al Norte del Soporte.

A modo de ejemplo, si trazamos una circunferencia, cuyo radio sea la distancia al aerogenerador de 250 m y cuyo centro se sitúe en el fuste del aerogenerador a vigilar, la columna se ubica sobre dicha circunferencia en un punto tal que el radio de dicha circunferencia coincide con el eje de coordenadas geográficas Norte-Sur. Si nos situamos sobre dicho radio, el fuste del aerogenerador se encuentra en el Norte y el mástil soporte está en el Sur, tal como se puede observar en la Figura 4. Evidentemente, en una realización práctica del sistema, este radio de 250m puede ser diferente según las variables antes descritas.

De esta manera la columna se encuentra al sur del aerogenerador a vigilar y alineada con el norte geográfico. Por ello las cámaras queda protegidas al máximo respecto a posibles deslumbramientos del sol, ya que este discurre casi siempre por la parte lateral o posterior de las mismas. Esto hace que su eficiencia sea máxima durante el mayor tiempo posible e independientemente de la estación del año.

Como hemos dicho y con la configuración que utilizamos a título descriptivo en este documento, es decir, montando cámaras de 20 Megapíxeles y ópticas con una focal de 12mm (como ejemplo la cámara Basler acA5472-17um de 20.0 Megapíxeles), consideraremos que la distancia desde el Soporte hasta el fuste del aerogenerador es de 250 metros. Esta cámara posee un sensor de una pulgada (13.1 X 8.8 mm) que con una óptica de 12mm de focal, capta 57.37° en sentido Horizontal y 40.08° en sentido Vertical. El sensor tiene una resolución

de 5472 pixeles en sentido horizontal y 3648 pixeles en sentido vertical (datos que detallamos en el apartado Cámaras 3D).

En cuanto a las cámaras 3D (2), estas se encuentran ubicadas sobre el mástil soporte (1) en el T.B Figuras 1 a 3. Cada cámara 3D, es un par estereoscópico que está compuesto por dos
5 cámaras montadas sobre el T.B de la columna en sentido vertical, es decir una cámara está en la parte superior (2S) de este tramo y la otra en la parte inferior del mismo pero separada una distancia determinada de la superior (2I). De este modo el par estereoscópico está montado en sentido vertical. Esto se puede observar en la Figura 6.

Así, en el T.B del soporte, se encuentran las cámaras 3D (2), donde cada cámara 3D la forman
10 2 cámaras 2D alineadas entre sí y separadas en vertical a una distancia, que, a título descriptivo, es de 8 metros. Así, las cámaras 2D que forman el par estereoscópico estarían situadas a 4 m y 12 m de altura respectivamente. Cada una de las cámaras 2D que componen un par estereoscópico están dotadas de carcasas que las protegen de los factores meteorológicos.

En el caso de que se quiera cubrir un ángulo, en sentido horizontal, mayor que el que cubre
15 una cámara 3D, se montan varias cámaras 3D en el mástil soporte. El número de cámaras 3D que se instalan depende del ángulo que cubre cada cámara y del solape que se desee entre cada una de ellas.

Las cámaras se pueden montar en modo convencional (en el ejemplo, el ángulo mayor, los
20 57.37°, en sentido horizontal) o giradas 90° con el fin de obtener el máximo campo vertical posible. En esta descripción, y a modo de ejemplo, consideramos que se montan en modo convencional. Como hemos dicho, para lograr captar un ángulo, en sentido horizontal, mayor que el que cubre cada cámara 3D, se montarán varias cámaras 3D (2) sobre el mástil soporte (1).

A modo de ejemplo, en una realización particular de la invención, se montan 4 cámaras 3D,
25 con una focal de 12mm y con un solape entre ellas de un 5%. O sea, que en total las 4 cámaras 3D cubren $57.37^{\circ} \times 4 - 57.37^{\circ} \times 0.05 \times 3 = 220.89^{\circ}$ en sentido horizontal y 40.08° en sentido vertical. Esto se puede observar en la Figura 5.

Como cada cámara 3D está formada por dos cámaras 2D (la cámara superior y la inferior),
30 tanto las cámaras 2D que se encuentran en la parte superior como las que se encuentran en la inferior se ubican, cubriendo el perímetro de la columna, pero alineadas entre sí en sentido vertical y, de tal modo, que los ángulos de sus ópticas permitan cubrir el ángulo total deseado.

Así, en nuestro ejemplo, y a título descriptivo, tal como se puede ver en las Figuras 1 a 3, tendríamos cuatro cámaras 3D formadas por cuatro pares de cámaras 2D. Por tanto,

tendríamos cuatro cámaras 2D en la cota 12 metros y, alineadas verticalmente con ellas, cuatro cámaras 2D en la cota 4 metros.

Como acabamos de describir en este ejemplo cada columna cubre un espacio aéreo determinado que tiene que ver con la cobertura angular (en este ejemplo 220.89° en sentido horizontal y 40.08° en sentido vertical) y con la distancia a la que es capaz de detectar a las aves. La distancia a la que se detectan las aves viene determinada por la resolución del sensor de las cámaras, por la focal de las ópticas que se monten y por el área mínima (en píxeles) que debe ocupar un ave para ser detectada. Así, en nuestro ejemplo, y a título descriptivo, tal como se puede ver en la Figura 8, esta distancia es de 750m.

10 Todo ello hace que el área que cubre cada columna sea limitada, y por ello para cubrir un parque eólico completo se puede precisar la instalación de varias columnas de modo que conjuntamente sean capaces de cubrir el área deseada. Varias columnas, distribuidas estratégicamente, pueden cubrir la totalidad del espacio que ocupa el Parque Eólico en el que se quiere evitar la mortandad de aves.

15 En la Figura 8 podemos ver un ejemplo, a título explicativo, en el que en la parte inferior de la figura podemos ver que cada columna (C) cubre un área horizontal que abarca $220,89^\circ$ a una distancia máxima de 750 metros. En el interior de esta área, al Norte y a una distancia de 375 metros de la columna, se encuentra el aerogenerador a vigilar (A1). Junto a él, situado al Este y a una distancia de 800 metros, se encuentra otro aerogenerador (A2), que esta columna no
20 puede cubrir ya que esta fuera de su alcance.

En la parte superior de la Figura 8 podemos ver tres aerogeneradores (A1, A2 y A3) separados entre sí 800 metros, que están protegidos por el área de observación de tres columnas (C1, C2 y C3), situadas al Sur, y que conjuntamente cubren un área suficiente como para vigilar con suficiente Tiempo de Antelación a estos.

25 En el T.B también existe una plataforma (3) Figuras 1 a 3, que contiene todos los sistemas electrónicos y que también permite el trabajo de los operadores del sistema, es la plataforma de sistemas electrónicos. En esta plataforma se encuentra un cuadro eléctrico (4) que contiene el ordenador de procesado y análisis 3D y los sistemas de telecomunicaciones. Por tanto, también se encuentran los sistemas necesarios tanto para el control y monitorización
30 remota del sistema, así como para que se comuniquen entre si los diferentes subsistemas que lo componen.

En la realización particular previamente adelantada, se ha considerado que la cámara inferior del par estereoscópico (2I) se encuentra a 4 metros de altura con el fin de que no sea fácilmente accesible, y la cámara superior (2S) se encuentra en la punta de la columna, es

decir a 12 metros de altura. Así, y a título descriptivo, cada cámara 3D está formada por dos cámaras situadas verticalmente y separadas a una distancia de 8 metros.

5 Como hemos dicho esta distancia, la resolución de las cámaras y sus ópticas determinan, la precisión en la determinación de las coordenadas (X, Y, Z) de las aves detectadas. Esta disposición vertical permite una gran separación entre las dos cámaras que componen el par estereoscópico y, por tanto, para las mismas cámaras y ópticas esta separación permite alcanzar una alta precisión en las medidas tridimensionales.

10 En el T.B también se encuentra un equipo de alta resolución dotado de una cámara de alta resolución 2D (5) con un sistema de control de movimientos de los ejes horizontales (Pan) y verticales (Tilt), y con controles de zoom y foco, con el fin de obtener imágenes de alta resolución, primeros planos, de las aves en vuelo.

15 En cuanto al cálculo de las coordenadas en el espacio tridimensional, la visión estereoscópica se fundamenta en que la profundidad de cualquier punto del espacio se calcula en base a la diferencia de posición de su proyección en los sensores de un par de cámaras que captan dicho punto desde ángulos diferentes.

20 Así, a partir de las imágenes captadas por las dos cámaras que componen una cámara 3D, se puede calcular la distancia a la que se encuentra un objeto determinado, siempre y cuando el objeto este en el campo de visión de las dos cámaras (Figura 6). Para que las medidas que se obtienen sean correctas es imprescindible que ambas cámaras estén sincronizadas, es decir que capturen las imágenes al mismo tiempo y con la misma velocidad de obturación.

25 A partir de las dos imágenes que componen el par estereoscópico se pueden calcular las coordenadas en el espacio tridimensional de un objeto (X,Y,Z) y conociendo el área que ocupa el objeto en el sensor de la imagen se puede deducir su tamaño. Además, si a cada par de imágenes estereoscópicas añadimos la coordenada tiempo (X, Y, Z, t), fácilmente podremos obtener variables de movimiento como la velocidad o la aceleración.

Para abordar el problema del cálculo estereoscópico se ha de establecer, primeramente, la correspondencia de puntos individuales del par de imágenes y, luego, mediante la diferencia de posición de éstos, calcular la profundidad a la que se encuentran cada uno de los puntos.

30 Los errores en los datos extraídos de las imágenes se originan porque las imágenes que se forman en la cámara sufren distorsiones ópticas, llamadas aberraciones, debidas a imperfecciones constructivas o desalineamiento de las lentes o del sensor. Es decir, como paso previo se debe establecer para cada cámara una calibración de los parámetros

intrínsecos de la misma los cuales modelan la geometría interna de la cámara y las características ópticas del sensor.

Por ello, es imprescindible contar con una calibración de las cámaras usadas para obtener una reconstrucción 3D lo más precisa posible. La calibración precisa de las cámaras
5 permite obtener distancias en el mundo real a partir de las imágenes tomadas del mismo.

También se requiere la calibración de los parámetros extrínsecos que miden la posición y la orientación de cada cámara respecto al sistema de coordenadas establecido para el mundo real. Gracias a esta calibración las medidas que se obtienen están referenciadas respecto al sistema de coordenadas del mundo real en lugar del sistema de coordenadas
10 de la cámara.

Una vez conocida la idea general del sistema de visión estereoscópico pasamos a indicar cómo es posible llevar a cabo las medidas en esta realización. La configuración más simple, y por ello considerada como ideal, para llevar a cabo la captura de imágenes en un sistema estéreo consiste en disponer las cámaras en un mismo plano y perfectamente alineadas,
15 o sea, con sus ejes ópticos paralelos. Esta configuración permite que los cálculos se simplifiquen notablemente.

Normalmente los sistemas estereoscópicos están montados en sentido horizontal, es decir las dos cámaras se encuentran en el mismo plano horizontal separadas una distancia determinada. Pero en el sistema objeto de esta patente cada par estereoscópico está
20 montado en sentido vertical, es decir las dos cámaras se encuentran en el mismo plano vertical separadas por una distancia (que a título ilustrativo es de 8 metros).

A continuación, y aunque el procedimiento de cálculo estereoscópico es bien conocido, exponemos la peculiaridad que supone que las cámaras del par estereoscópico estén montadas en sentido vertical.

Suponiendo que, a título ilustrativo, los dos ejes ópticos de las cámaras estén horizontales, un objeto que sea captado por las dos cámaras que componen el par estereoscópico se capta en cada uno de los sensores de las cámaras en dos posiciones, que difieren porque se encuentran en coordenadas del sensor separadas en sentido vertical. Dado que los ejes ópticos son paralelos, esta separación varía según la distancia a la que se encuentre el objeto
25 respecto al par estereoscópico, es decir, cuanto más próximo esté el objeto más separados están sus proyecciones.
30

Consideremos la posición de los ejes de coordenadas absoluto en mundo real como muestra la Figura 7 donde el eje vertical corresponde al eje Y estando formado el plano

horizontal por los ejes X y Z. El eje X junto con el eje Y forman un plano vertical que incluye a los sensores de las cámaras.

La Figura 9, en su dibujo F9A, muestra un equipo estereoscópico formado por dos cámaras alineadas en sentido vertical, cuyos ejes ópticos son horizontales y paralelos entre sí y están separados por una distancia b , denominada línea base. Las cámaras se muestran esquematizadas mediante una lente (O) de una distancia focal (F) que representa la óptica y un plano (S) que representa al sensor.

La línea base es perpendicular a los ejes ópticos y coincidente con el eje Y del sistema de coordenadas del mundo real. Consideramos que el punto de referencia del sistema de coordenadas reales, el punto $(0_x, 0_y, 0_z)$ se sitúa en el punto de intersección del eje Y con el plano horizontal (plano formado por los ejes X y Z).

Dado que el par estereoscópico lo forman dos cámaras situadas en vertical, supóngase que la cámara 1 está a una altura H_1 sobre el plano horizontal y que la cámara 2 está a una altura H_2 sobre el mismo plano.

Para diferenciar a las coordenadas del mundo real respecto a las coordenadas del sensor llamaremos a estas últimas coordenadas X_s del sensor y coordenadas Y_s del sensor: X_{s1} e Y_{s1} para la cámara 1, X_{s2} e Y_{s2} para la cámara 2. Consideramos que la cámara 1 es la superior y la cámara 2 es la inferior.

Si consideramos a la imagen captada por cada cámara como una matriz de píxeles asimilable a un plano con sus ejes de coordenadas, dibujo F9B de la Figura 9, tendremos que el eje X del sensor (X_s) corresponde al eje sentido Horizontal, y el eje Y del sensor (Y_s) corresponde al eje en sentido Vertical. Así, las coordenadas del punto proyectado en cada imagen son (X_{s1}, Y_{s1}) para la cámara 1 y (X_{s2}, Y_{s2}) para la cámara 2, estando el origen de estos sistemas en el centro de cada cámara.

Así el pixel que corresponde al eje óptico de la cámara se encuentra en el centro de la imagen y por tanto se encuentra en el punto (Píxeles Horizontales del Sensor / 2, Píxeles Verticales del Sensor / 2). Si hacemos coincidir el origen de los ejes X_s e Y_s con este punto, tendremos que el eje óptico corresponde al pixel cuyas coordenadas (X_s, Y_s) son $(0_{X_s}, 0_{Y_s})$.

Nótese que, debido a la situación relativa de las cámaras, las coordenadas horizontales X_s serán iguales, es decir, $X_{s1} = X_{s2}$, independientemente de la posición que ocupe el punto captado por ambas en el espacio.

Supongamos que las cámaras superior e inferior están fijas y que sus ejes ópticos son paralelos y están completamente horizontales. Dado que los ejes ópticos son paralelos, tan

solo un punto que se encuentre en el infinito será captado, en ambas cámaras, por el mismo punto del sensor (dibujo F9B - Figura 9). Ahora bien, esto ya no es así para cualquier punto que se encuentre a una distancia relativamente próxima a las cámaras (dibujo F9A - Figura 9). En el caso real de un punto que se encuentre a una distancia determinada, el pixel que

5 capta al punto se encuentra en la cámara superior en valores del eje Y_s diferentes de los de la cámara inferior (recordemos que el eje Y_s es el eje vertical). Son diferentes en el eje Y_s porque las dos cámaras 2D que conforman la cámara 3D, están separadas en sentido vertical.

Los valores del eje X_s en el que se capta el punto en ambas cámaras son los mismos ya que las cámaras están perfectamente alineadas y calibradas, separadas tan solo en sentido

10 vertical y no en horizontal. Si estuvieran separadas en sentido horizontal la coordenada que diferiría es la X_s .

Por tanto, si solapamos matemáticamente las dos imágenes de manera que los ejes de coordenadas coincidan, obtendremos una única imagen en la que aparece el mismo punto (captado por cada una de las cámaras) en dos coordenadas Y_s distintas. Estas coordenadas

15 nos permiten determinar la distancia a la que se encuentra el objeto.

Sea (X,Y,Z) las coordenadas de un punto del espacio referidas al sistema de coordenadas absoluto. Las ecuaciones básicas para la obtención de profundidad se basan en las relaciones de semejanzas entre triángulos, así aplicando triángulos semejantes se tiene:

$$\frac{Y_{s1}}{f} = \frac{H_1 - Y}{Z}$$

$$\frac{Y_{s2}}{f} = \frac{H_2 - Y}{Z}$$

$$\frac{X_s}{f} = -\frac{X}{Z}$$

Las ecuaciones anteriores definen la posición del punto en el espacio tridimensional.

La diferencia entre las coordenadas del sensor Y_{s1} e Y_{s2} , es conocida como Disparidad d , y de la Disparidad se deduce la distancia Z :

25

$$Y_{s1} = \frac{f}{Z} (H_1 - Y)$$

$$Y_{s2} = \frac{f}{Z} (H_2 - Y)$$

Dado que la diferencia entre las coordenadas Y_{s1} e Y_{s2} es la disparidad d , y que la diferencia de alturas es H_1-H_2 que es igual a la línea base b , tenemos:

$$d = Y_{s1} - Y_{s2} = \frac{f}{Z} (H_1 - H_2) \Rightarrow Z = \frac{f * b}{d}$$

5 Resolviendo estas ecuaciones, las coordenadas del punto vienen dadas por:

$$X = -b * \frac{X_s}{d}$$

$$Y = -\left(\left(\frac{Y_{s1} * Z}{f}\right) - H_1\right)$$

$$Z = \frac{f * b}{d}$$

10 Observando estas ecuaciones se desprende que la profundidad Z es inversamente proporcional a la disparidad. La distancia a objetos cercanos puede determinarse de forma más precisa que a objetos lejanos o, dicho con otras palabras, la precisión en el rango de medida no es uniforme.

15 La pérdida de precisión con la distancia puede ser aminorada incrementando la distancia b entre las cámaras, ya que la disparidad es directamente proporcional a separación entre estas. También se obtiene un efecto parecido incrementando la distancia focal f de la lente (la disparidad es directamente proporcional a la focal) o la resolución de las cámaras ya que el aumento de esta mejora la precisión de la medida.

20 Dado que el sistema objeto de esta patente debe cubrir un volumen considerable, el montar cámaras con focales largas está descartado, por ello se ha optado por incrementar la separación entre las cámaras que componen cada par estereoscópico. Esto se ha logrado mediante una disposición vertical, por ello, y a título explicativo se considera, como hemos mencionado anteriormente, que las dos cámaras que conforman un par estereoscópico están separadas 8 metros en sentido vertical, la cámara 1 está a una altura H_1 de 12 m
25 sobre el plano horizontal y que la cámara 2 está a una altura H_2 de 4 m sobre el mismo plano.

El proceso general para obtener la coordenada (X,Y,Z) de un punto captado por ambas cámaras es:

- A partir de las coordenadas que ocupan las dos cámaras en el espacio, y de las coordenadas Y_s de los sensores de estas, mediante la resolución del sistema de ecuaciones basadas en los triángulos semejantes, se obtiene la coordenada Z (distancia) y la coordenada Y (altura).

5 - Se obtiene el Azimut (ángulo respecto al norte) a partir de las coordenadas X_s de los sensores.

Todos estos cálculos los efectúa el ordenador de procesado y análisis 3D, que analizando las imágenes de cada uno de los pares de cámaras que componen el sistema estereoscópico es capaz de determinar para cada captura las coordenadas de todas las aves detectadas en ese momento por ambas cámaras 2D de cada cámara 3D.

De esta manera el sistema estereoscópico, una vez detecta un ave en el espacio, obtiene, mientras la siga detectando y a un ritmo de varias veces por segundo, las siguientes imágenes y variables:

- El tiempo del momento de la captura
- 15 • Las imágenes de la cámara superior y de la cámara inferior
- La coordenada que el ave ocupa en ese momento en el espacio tridimensional, es decir la coordenada (X,Y,Z) referenciada a las coordenadas geográficas.
- El área en pixeles que ocupa el ave en ambas imágenes. Dado que se conoce la focal de la óptica, el tamaño y resolución del sensor y la distancia a la que se encuentra el ave de la cámara, esta área nos permite conocer el tamaño del ave en ese momento y con ese punto de vista. Hay que tener en cuenta que el punto de vista con el que vemos al ave y la posición de sus alas varía en cada fotograma, por tanto, el tamaño no se evalúa a partir de una sola imagen, sino que se calcula a partir de los datos estadísticos de todas las imágenes de la secuencia en la que se ha detectada a un ave (por ejemplo, el promedio, el máximo y el mínimo, etc.). Aun así, puede ser que en toda la secuencia durante la que se detecta al ave no se tenga ningún punto de vista que permita ver, por ejemplo, su envergadura alar máxima. Por ello este cálculo del tamaño del ave mediante métodos estadísticos, aunque es muy aproximado, puede no coincidir con el real.

30 A partir de estos datos se pueden calcular muchos más parámetros como los vectores velocidad y aceleración en los tres ejes de coordenadas, la trayectoria real o la prevista considerando dichos vectores en un momento dado.

Por tanto, el sistema objeto de la presente invención también comprende al menos un equipo de alta resolución con una cámara 2D con un sistema de control de movimientos de los ejes horizontales (PAN) y verticales (TILT), denominado como Pan-Tilt.

5 El sistema, además de comprender las cámaras 3D (2), comprende al menos una cámara 2D de alta resolución (5) montada sobre un sistema Pan-Tilt de alta precisión mecánica, Figura 10, con el fin de captar imágenes bidimensionales del ave que ha sido detectada por el sistema estereoscópico, pero con mucha mayor resolución de lo que este puede captar.

10 Estas imágenes son primeros planos del ave detectada y se captan con el fin de que su análisis, por parte del equipo de inteligencia artificial, permita determinar con la máxima precisión la especie o el grupo a la que pertenece.

15 Cuando el equipo de inteligencia artificial lo precisa, envía una orden al ordenador de procesado y análisis 3D del sistema estereoscópico para que este suministre las coordenadas de posición del ave detectada, las coordenadas (X,Y,Z), al equipo de alta resolución, con el fin de que este pueda apuntar su cámara, con precisión, al ave y así capturar imágenes de mayor resolución, primeros planos, que faciliten la identificación de la especie a la que pertenece.

20 Esta cámara 2D de alta resolución (5), está dotada con una óptica de focal larga, pero, además, está montada sobre un dispositivo electromecánico, el Pan Tilt, cuyos movimientos le permiten apuntar correctamente y seguir a las aves en vuelo. Esto es posible debido a que este sistema puede efectuar, con elevada precisión y velocidad suficiente, movimientos horizontales (PAN), movimientos verticales (TILT) y ajustes de la óptica (zoom y foco). En resumen, esta cámara (5) está montada sobre un sistema PANT-TILT de alta precisión mecánica, que le permite seguir a las aves en vuelo y captar imágenes de alta resolución, primeros planos, de las mismas.

25 Como este sistema busca captar primeros planos de las aves, cuando hace un seguimiento tan solo puede seguir un ave, o un grupo de aves, de las detectadas por el sistema de cámaras 3D.

30 La óptica de la cámara es una óptica, normalmente de focal larga, que tiene motorizados el foco y el zoom. Esta motorización esta calibrada de tal modo que se ha generado una tabla en la que, para cada distancia de enfoque le corresponde una posición del motor que actúa sobre el foco. Lo mismo ocurre para el zoom en la que a cada focal de la óptica le corresponde una posición del motor que actúa sobre este.

Esta cámara 2D de alta resolución (5), puede estar montada en cualquier punto del T.B del mástil soporte (1). Para esta descripción consideramos que se encuentra a la altura de la

Plataforma de Sistemas Electrónicos y orientado de tal modo que la columna soporte no le ocluya la visión de cualquier punto captado por las cámaras 3D (2), pudiendo verse esta realización en la Figura 10.

5 En esta plataforma se encuentra, además del ordenador de control de procesado y análisis 3D del equipo estereoscópico; el ordenador que controla el equipo de alta resolución que es el ordenador del equipo de alta resolución.

10 Como hemos mencionado la cámara de alta resolución (5), gracias al sistema Pan-Tilt, es capaz de realizar movimientos de precisión tanto en sentido vertical como horizontal. También es capaz de efectuar estos movimientos a suficiente velocidad como para poder seguir a las aves en vuelo, de tal modo que, siguiendo en tiempo real las coordenadas suministradas por el ordenador de procesado y análisis 3D del equipo estereoscópico, las aves se mantengan centradas dentro del campo visual captado por la cámara de alta resolución.

15 El mecanismo que mueve la cámara de alta resolución es capaz de girar, en ambos ejes con una velocidad angular de al menos 100° /segundo. Cada eje está dotado de un encoder absoluto que determina su posición con la precisión adecuada.

20 Los ejes de movimientos de la cámara tienen un centro de giro común. Ese centro de giro se corresponde con el punto nodal de la cámara. Estos ejes, y su centro de giro, están calibrados respecto al mismo sistema de referencia tridimensional que las cámaras 3D. Como hemos mencionado también están calibrados los parámetros del foco y del zoom de la óptica.

25 Cualquier punto que un ave ocupe en el espacio tridimensional controlado por las cámaras 3D, se puede unir mediante una recta al centro de giro del mecanismo de la cámara de alta resolución, tal como se ve en la Figura 11 Esta recta corresponde a la posición que debe ocupar el eje óptico de la cámara de alta resolución para poder capturar una imagen de modo que el ave se encuentre centrada en la misma.

Una vez que el ordenador de procesado y análisis 3D del equipo estereoscópico localiza y sigue a un ave, envía en tiempo real al equipo de alta resolución, las coordenadas tridimensionales (X,Y,Z) en las que se encuentra el ave.

30 Los movimientos de la cámara de alta resolución están controlados por el ordenador del equipo de alta resolución, que dotado del software adecuado calcula, en tiempo real, y a partir de las coordenadas suministradas por el ordenador de procesado y análisis 3D, la posición que deben ocupar cada uno de los ejes horizontal y vertical con el fin de que el

eje óptico de la cámara 2D de alta resolución coincida con el punto en el que se encuentra el ave.

El ordenador del equipo de alta resolución, según los cálculos sobre los ángulos relativos entre la coordenada en la que está instalado la cámara y la posición en la que se encuentra el ave, envía a cada uno de los “drivers” que controlan los motores horizontal y vertical (Pan-Tilt), las ordenes adecuadas para que cada eje vaya a la posición calculada.

Mediante este proceso, ejecutado reiteradamente, se logra que el eje óptico este orientado, aproximadamente y en todo momento, hacia el punto donde se encuentra el ave y esto independientemente de la distancia a la que esta se encuentre.

Además, para obtener una imagen correcta, la cámara debe hacer zoom y foco a la distancia a la que se encuentra el ave. Para ello el ordenador del equipo de alta resolución también calcula la distancia de enfoque a partir de la distancia existente entre las coordenadas en las que está montada la cámara y las coordenadas en las que se encuentra el ave.

Por tanto y tal como hemos mencionado anteriormente, si conocemos la distancia a la que queremos enfocar, como a esa distancia le corresponde una posición del motor que ajusta el zoom y del motor que ajusta el foco de la óptica (según una tabla calibrada previamente), el ordenador del equipo de alta resolución tan solo debe enviar la orden a estos motores para que vayan a las posiciones adecuadas logrando que la óptica enfoque correctamente al ave (foco) y cubra el campo visual adecuado (zoom).

Así, y en tiempo real, se van ajustando los parámetros de los motores del eje vertical (Tilt), horizontal (Pan), zoom y foco, consiguiendo que el ave se encuentre en el centro de la imagen captada por la cámara y, además, perfectamente enfocada, tal como se observa en la Figura 12. En dicha figura se observa un ejemplo del funcionamiento de la toma de imágenes de las cámaras 3D (13A), su procesado en el ordenador de análisis y procesado 3D (13B), teniendo en cuenta los datos del equipo de inteligencia artificial (13C), como se procesa todo en el ordenador del equipo de alta resolución (13D), y como se van ajustando los parámetros de los motores del eje vertical (Tilt), horizontal (Pan), zoom y foco.

Desde que se inicia el seguimiento de un ave, durante un tiempo y a intervalos determinados, se envían a la cámara ordenes de capturar una imagen, obteniéndose una secuencia de imágenes de alta resolución, primeros planos, en la que se registra al ave en vuelo captada en posiciones diversas.

Estas imágenes se envían, en tiempo real, al equipo electrónico de inteligencia artificial, para que un módulo de identificación de especie pueda mejorar su clasificación. Además,

estas imágenes junto con las imágenes 3D estereoscópicas, las coordenadas (X, Y, Z, t), los datos meteorológicos del momento y los datos de estado de los aerogeneradores se guardan en el módulo electrónico de registro de detecciones. Como ya hemos explicado anteriormente esta información podrá ser analizada mediante diversos sistemas o métodos con el fin de que el equipo de inteligencia artificial pueda identificar la especie del ave y su trayectoria previsible.

El sistema objeto de la presente invención también comprende un módulo electrónico de registro de detecciones, con el que se consigue una base de datos histórica o registro histórico de detecciones, lo cual es necesario para la determinación de las causas de accidentalidad y de las situaciones de riesgo para las aves.

De todo lo expuesto anteriormente se deduce la necesidad de conocer las causas por las que se producen los accidentes en parques eólicos. Como puede imaginarse dicha casuística es muy compleja y diversa por lo que requiere del análisis de multitud de datos para estimar si dicha mortalidad se debe a factores inherentes a las aves como puede ser su estado sanitario, tipo de vuelo, si son aves residentes o migratorias de paso, etc, o se debe a factores extrínsecos a las mismas como: factores climáticos que impidan la maniobrabilidad de las aves o aquellos debidos a áreas concretas con un intenso paso de aves.

Esta problemática no ha sido resuelta por ningún sistema conocido, y por ello sigue produciéndose una mortalidad que pone en riesgo la viabilidad de muchas especies de aves a nivel global. El sistema objeto de patente se aproxima a esa realidad a través del muestreo del uso del espacio aéreo de la totalidad de las aves que se ubican en un espacio concreto. El objetivo de este análisis es poder acotar las causas en las que se producen los accidentes de aves, permitiendo acotar las zonas y rangos temporales en los que se producen los accidentes, lo que supone una medida de gestión clave para permitir la coexistencia entre aves y parques eólicos.

Para lograr este fin, este sistema registra todos los datos mencionados anteriormente en un módulo electrónico de registro de detecciones, también denominado registro histórico de detecciones, Figura 13. En esta figura se observa el funcionamiento de cómo llegan los datos (14A) al registro histórico de detecciones, por un lado los datos del centro de control del parque eólico (14B), junto con otras variables (14C) tanto meteorológicas como del estado de los aerogeneradores; datos de los ordenadores de análisis y procesado 3D (14D) junto con otros datos como imágenes, coordenadas (X, Y, Z, t), velocidad, aceleración y tamaño del ave (14E); y datos del equipo de alta resolución (14F) junto con las imágenes 2D de alta resolución (14G); y cómo desde el registro histórico se realiza un análisis estadístico (14H) de esos

datos recibidos y se realizar un cálculo de la ruta más probable (14l) de cada especie según las variables meteorológicas y de estado de los aerogeneradores.

5 Como hemos mencionado todos los datos se almacenan con el fin de comprobar el funcionamiento del sistema, pero sobre todo para ser estudiados mediante análisis estadísticos u otros métodos.

10 A partir de esta base de datos se puede determinar las rutas más probables que siguen las aves dependiendo de la especie, o grupo, al que pertenece el ave, así como de las condiciones del entorno, meteorológicas, de la posición que ocupan en el terreno los aerogeneradores, de su orientación y de su velocidad de giro, o incluso del período estacional o de la franja horaria.

15 Se ha comprobado que las aves adecuan sus vuelos, en la medida de lo posible, a la orografía del lugar, la cual incluye el obstáculo que supone la presencia de los propios aerogeneradores del parque eólico. Pero estos vuelos también están condicionados por las condiciones meteorológicas del momento y por el hecho de que los aerogeneradores estén activos o no. La misma especie de ave, en un mismo lugar, ejecuta vuelos totalmente diferentes según las condiciones meteorológicas del momento y según la orientación del rotor de los aerogeneradores o su velocidad de rotación. Por ello es necesario vincular las variables meteorológicas y las de estado de los aerogeneradores con las rutas de vuelo que cada especie de ave o grupo de aves toman con dichas variables.

20 También se puede comprobar que muchas aves bordean o atraviesan el parque eólico a escasa distancia (menos de 100m) del área de influencia de las aspas de los aerogeneradores o que vuelan en aparente rumbo de colisión hacia los aerogeneradores hasta que finalmente y a escasa distancia de estos, generan maniobras evasivas que evitan su colisión con los mismos.

25 Como se ha mencionado previamente, para que una parada de un aerogenerador sea efectiva y no cause la muerte del ave que se dirige hacia él, se tiene que dar la orden de parada con suficiente tiempo de antelación, es decir a una distancia que no puede ser menor que la Distancia de Antelación, por ello la toma de decisiones a partir tan solo de la trayectoria estimada en el momento en el que el ave se encuentra a dicha distancia, 30 supondría generar numerosas alarmas que en realidad no son correctas.

El registro de los datos de todas las detecciones de aves que el sistema ha realizado, junto con las variables existentes en ese momento, es una herramienta imprescindible ya que permite analizar y comprender las rutas que cada especie de ave traza según las variables

del entorno. Cuanto más tiempo está el sistema implantado, mejor es la base de datos que almacena y por lo tanto más certero es el análisis y las conclusiones que de él se obtienen.

El análisis estadístico mediante herramientas informáticas de esta base de datos permite la optimización del modelo y su posterior interpretación y validación comparándola y
5 contrastándola con la observación humana.

Este análisis tiene varias fases, en primer lugar, se hace una clasificación de todas las detecciones almacenadas según la especie o grupo de ave detectada.

Una vez clasificado el registro por especies, se procede a obtener los parámetros de vuelo característicos de cada especie ya que cada especie posee un patrón que la caracteriza.

10 A continuación, se hace un análisis del comportamiento que tiene cada especie, en el espacio del parque eólico, según las variables meteorológicas y de estado de los aerogeneradores. De esta manera se obtiene la descripción de los vuelos más probables que va a seguir un ave condicionada por las variables meteorológicas y la posición y velocidad de los aerogeneradores existentes en un momento determinado.

15 Así, una vez la base de datos y los modelos generados son consistentes, la decisión de lanzar una señal de alarma, en el momento en que el ave se encuentra a la Distancia de Antelación, la toma el equipo electrónico de inteligencia artificial tras definir, en tiempo real, a que especie o grupo pertenece el ave y comparar la trayectoria y las variables del momento, con la trayectoria más probable que da el modelo estadístico para esta especie
20 y con esas variables.

Así todos los datos que generan los equipos estereoscópicos, los equipos de alta resolución, las estaciones meteorológicas y los módulos de detección del centro de control del Parque Eólico, el SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) se almacenan en este registro. En este módulo se almacenan diferentes imágenes y variables, como por
25 ejemplo:

- Variables generadas por el equipo estereoscópico

Cada vez que se detecta un ave, el sistema procede a seguirla mientras no salga del campo visual o se aleje excediendo la resolución del sistema. Durante el seguimiento el sistema captura imágenes sincronizadas las dos cámaras que forman el par
30 estereoscópico, a una cadencia de varias imágenes por segundo (por ejemplo, a 15 fotogramas por segundo). A esta cadencia se capturan imágenes en la cámara superior e inferior del par estereoscópico que está detectando al ave en su campo visual, y a

partir de estas imágenes se obtienen las coordenadas de posición del ave en el espacio tridimensional.

De este modo para cada una de las capturas de cada ave detectada tenemos: el momento T en el que se efectúa la captura; las imágenes de las cámaras superior y e inferior; la coordenada tridimensional (X,Y,Z) referenciada al tiempo T y a las coordenadas geográficas del lugar; el área, en pixeles, que ocupa el ave en dichas imágenes; y de las anteriores, se deducen el Tamaño del ave (máximo, Mínimo y promedio) y su velocidad y aceleración en los tres ejes del espacio (Vx, Vy, Vz) y (Ax, Ay, Az).

5

10 - Variables generadas por equipo de alta resolución:

El mecanismo orienta el eje óptico de la cámara, ajustando el zoom y el foco a la posición del ave detectada por el equipo estereoscópico, con el fin de capturar imágenes enfocadas y de alta resolución de esta. Recordemos que este sistema tan solo puede seguir a un ave o grupo de aves a la vez, así, y si es posible, para cada ave detectada se registran: las imágenes de los primeros planos del ave captados mientras se hace el seguimiento;

15

- Variables meteorológicas:

Velocidad y dirección del viento; temperatura; humedad relativa; precipitación.

- Variables de estado de los Aerogeneradores.

20

Es importante conocer de cada aerogenerador su posición en el espacio, así como la orientación del rotor y la velocidad de las aspas. Por ello de cada uno de los aerogeneradores del Parque Eólico se registra: un código que indica a que aerogenerador corresponden las variables; la orientación del rotor, es decir la orientación del eje de giro de las aspas del aerogenerador. Mientras están activos esta orientación debe coincidir con la dirección del viento predominante, pero si están parados pueden estar en una orientación distinta; velocidad de giro en revoluciones por minuto de las aspas del aerogenerador.

25

En cuanto al equipo electrónico de inteligencia artificial, está basado en unas herramientas informáticas capaces de realizar un aprendizaje automático mediante algoritmos de Deep Learning. Este sistema "Deep Learning" es entrenado con los datos provenientes del análisis estadístico del registro histórico de detecciones, donde este análisis estadístico previamente ha permitido clasificar el comportamiento de vuelo más probable de las

30

especies de aves según las características meteorológicas y de estado de los aerogeneradores que existían en cada momento. Una vez que se ha identificado en tiempo real la especie o grupo al que pertenece el ave, el resultado del análisis estadístico, con el que se ha entrenado el sistema Deep Learning, permite al equipo electrónico de inteligencia artificial determinar la trayectoria más probable que va a seguir el ave según las condiciones meteorológicas y de funcionamiento de los aerogeneradores existentes en el momento, con el fin de generar una señal de alarma que active cualquier mecanismo que impida el impacto del ave con los aerogeneradores

Con el fin de identificar a la especie, o grupo, a la que pertenece el ave detectada, y evaluar las condiciones meteorológicas y de funcionamiento de los aerogeneradores, el equipo electrónico de inteligencia artificial recibe en tiempo real los siguientes datos:

- los datos suministrados por el ordenador de procesado y análisis 3D del equipo estereoscópico; donde esos datos son: las imágenes 2D y 3D; las coordenadas en el espacio (X, Y, Z, t); las componentes de velocidad y aceleración en cada uno de los ejes del espacio tridimensional (Vx, Vy, Vz) y (Ax, Ay, Az); el vector de dirección de la trayectoria que sigue; y el tamaño del ave.
- las imágenes de alta resolución suministradas por equipo de alta resolución.
- las variables suministradas por los módulos electrónicos de detección del el Centro de Control del Parque Eólico, el SCADA, donde estas variables son: las variables meteorológicas (velocidad del viento y dirección, temperatura, humedad relativa y precipitación); y las variables de estado de los aerogeneradores (orientación del rotor y velocidad de rotación de las aspas).

Así, el equipo electrónico de inteligencia artificial, a partir de los datos anteriores y del sistema Deep Learning entrenado con el análisis estadístico del registro histórico de detecciones, es capaz de identificar la especie o grupo al que pertenece el ave y determinar la trayectoria más probable que va a seguir, con el fin de generar una señal de alarma que active cualquier mecanismo que impida el impacto del ave con los aerogeneradores. Este sistema permite realizar el seguimiento simultáneo de múltiples aves, gestionando de forma independiente la identificación y la trayectoria de cada una de ellas.

Así el módulo electrónico de inteligencia artificial toma la decisión de activar o no, una señal de alarma a partir de los datos que le llegan en tiempo real, pero cotejándolos con el análisis estadístico del registro histórico de detecciones con el que se ha entrenado al equipo electrónico de inteligencia artificial, análisis que le proporciona las rutas de vuelo más probables que va a seguir el ave considerando las variables meteorológicas y de

aerogeneradores existentes en ese momento. Esta señal de alarma se puede traducir en la parada de los aerogeneradores o en la activación de otros sistemas disuasorios.

A partir de aquí, el sistema comprende medios para evitar el impacto de las aves con los aerogeneradores:

5 Orden de Parada del Aerogenerador:

Como hemos explicado, una vez que el sistema detectada un ave, calculadas sus coordenadas, su tamaño y su trayectoria, y determinada la especie más probable a la que pertenece, a todos estos datos se le añaden el resto de las variables que recibe el sistema en tiempo real (variables meteorológicas y de posición de los aerogeneradores (ángulo, palas)). Todos estos datos se comparan con el análisis estadístico del módulo de registro de detecciones que el sistema almacena, para finalmente determinar la trayectoria más probable para esa ave con las condiciones meteorológicas y de estado de los aerogeneradores de ese momento.

Se ha comprobado que las aves adecuan sus vuelos, en la medida de lo posible, a la orografía del lugar, la cual incluye la presencia de los propios aerogeneradores del parque eólico. Así se puede comprobar que muchas aves bordean o atraviesan el parque eólico a escasa distancia (menos de 100m) del área de influencia de las aspas de los aerogeneradores.

También se ha podido comprobar que algunas aves vuelan en aparente rumbo de colisión hacia los aerogeneradores hasta que finalmente y a escasa distancia de estos, generan maniobras evasivas que evitan su colisión con los mismos.

Además, hay que tener en cuenta que el aerogenerador tarda un tiempo (unos 25 segundos dependiendo del modelo) desde que se le da la orden de parada hasta que las aspas se detienen.

Por todo ello el tener en cuenta una sola variable como la distancia al aerogenerador o la trayectoria previsible en un momento determinado puede generar numerosas alarmas que invaliden la viabilidad de un Parque Eólico.

Pero, gracias a que el sistema almacena un histórico de las detecciones de aves con sus trayectoria y su comportamiento, estas órdenes de parada no se determinan tan solo por la proximidad o por la trayectoria que está describiendo en ese momento, sino que el sistema obtiene la trayectoria más probable que seguirá el ave añadiendo la estadística que proporciona el histórico de registros de datos de ese parque eólico, teniendo en cuenta

el comportamiento más probable de las aves según numerosas variables (la especie o grupo de aves que se trate, su tamaño, las variables meteorológicas, etc.).

Si esa trayectoria que finalmente se determina como más probable da una alta posibilidad de colisión, el sistema genera una alarma que se traduce en una orden de parada de uno

5 o varios aerogeneradores.

Esta orden se envía a través de una conexión de datos al SCADA del parque eólico, con el fin de que esa orden se envíe al aerogenerador o aerogeneradores que se quieren parar, como se muestra en la Figura 14.

Esta orden de parada también puede activar mecanismos de disuasión que se encuentren
10 sobre los propios aerogeneradores implicados, como la modificación de la apariencia o la morfología de las aspas (mediante luces u otros medios).

Activación de otros medios de disuasión:

El sistema también puede activar otros medios o sistemas de disuasión, como por ejemplo la emisión de sonidos o de luces, cuya eficacia depende el medio y de la especie sobre la
15 que se aplica. Cuando estos sistemas se activan mediante el uso de sistemas de visión artificial convencionales, es decir sistemas de visión que no son estereoscópicos, debido a que estos sistemas no pueden determinar ni la posición ni la trayectoria de las aves se generan numerosas alarmas que son totalmente innecesarias.

Con el sistema estereoscópico objeto de esta patente, no solo se reduce significativamente
20 la emisión de falsas alarmas, sino que se abre la posibilidad de activar estos medios con directividad (Figura 15), es decir usando sistemas que emiten con un haz estrecho y apuntando a la coordenada en la que se encuentra el ave. Esto aumenta la eficacia de estos sistemas ya que, para la misma energía emitida por el sistema de disuasión, el ave recibe mucha más energía que con los sistemas que no son directivos, lo cual incrementa
25 la efectividad de estos sistemas o medios de disuasión y reduce el impacto negativo en el entorno.

Un ejemplo claro de la posibilidad de dirigir con precisión el elemento disuasor sobre el ave en peligro se da en el caso de usar como medio disuasivo a naves aéreas no tripuladas, los llamados UAVs (*Unmanned Aerial Vehicle*). Este medio disuasivo se basa en ahuyentar
30 a las aves mediante un conjunto de UAVs o drones aéreos, interponiéndolos entre las aves y los aerogeneradores con el fin de que estas modifiquen la trayectoria, como por ejemplo describe la patente WO 2015187172, lo cual no es objeto concreto de la presente invención.

Si se utiliza nuestro sistema como mecanismo de guiado de los UAVs, se lograría una mejora significativa ya que permite que su vuelo se ajuste en tiempo real a las posiciones que ocupan en el espacio tanto el ave o las aves que se pretende ahuyentar, como los propios UAVs.

- 5 Este vuelo adaptativo es posible gracias a que el sistema que controla los UAVs puede comparar continuamente las posiciones de estos con la posición del ave que se pretende ahuyentar, suministrada en tiempo real desde el ordenador de procesamiento y análisis 3D, calculando en tiempo real cual debe ser las siguientes coordenadas espaciales a la que los UAVs se deben dirigir.
- 10 Por ejemplo, si se determina que los UAVs deben permanecer siempre en la misma coordenada relativa respecto a la posición del ave, como su posición en el espacio se actualiza varias veces por segundo gracias al ordenador de procesamiento y análisis 3D, a la misma cadencia se envía a los UAVs la nueva posición que deben ocupar.

Aunque el ave cambie su dirección de vuelo, si los UAVs son suficientemente rápidos y precisos como para seguir los movimientos del ave, permanecerán, independientemente de los movimientos de esta, aproximadamente en la misma coordenada relativa. Este vuelo adaptativo permite, si es necesario, que varios drones actúen coordinadamente frente a un ave, posibilitando una disuasión más efectiva.

15

Teniendo en cuenta todos estos aspectos, el sistema objeto de la presente invención, para su correcto funcionamiento requiere cuatro ordenadores o módulos de procesamiento, en cada equipo:

20

- ordenador de procesamiento y análisis 3D del equipo estereoscópico

El ordenador que realiza el análisis tridimensional es el ordenador de procesamiento y análisis 3D. Se trata de un ordenador que captura continuamente las imágenes procedentes de las cámaras 3D y, mediante técnicas de visión artificial, analiza la presencia de algún objeto en la zona de observación. El sistema incorpora un software de detección de las aves presentes en la zona a analizar, realizando la determinación de sus coordenadas (X, Y, Z, t) y un seguimiento de su trayectoria de vuelo para que, gracias a los datos que suministra al equipo electrónico de inteligencia artificial, se pueda establecer una posible colisión sobre los aerogeneradores presentes en el Parque Eólico.

25

30

Este ordenador permite: posicionar y calibrar cada uno de los pares de cámaras que componen cada cámara 3D, para obtener un sistema de medición tridimensional de alta

resolución; gestionar la conexión de las cámaras del sistema de visión 3D, modificar la configuración de estas, en tiempo real, y en función de las condiciones de iluminación ambientales, realizar la captura de imágenes a la frecuencia especificada; analizar en tiempo real las imágenes provenientes de las cámaras 3D, para detectar y determinar la trayectoria de la avifauna; calcular la posición tridimensional (X, Y, Z, t) en cada momento de cada ave detectada, determinar la trayectoria realizada y prever la dirección de vuelo de la avifauna con el fin de realizar un seguimiento lo más exacto posible; la salida de datos incluye datos relativos a la fecha de la detección, tiempo de detección, coordenadas (X, Y, Z, t), velocidad y aceleración en los tres ejes del espacio (V_x , V_y , V_z) y (A_x , A_y , A_z), área en píxeles que ocupa el ave en la imagen de la que se deduce el y tamaño de esta; grabación de las secuencias en las que se detecte el paso de aves por el campo de análisis, con independencia de que exista el riesgo de colisión, para así poder comprobar a posteriori la calidad y validez de las alarmas generadas por el sistema; grabación y almacenamiento de secuencias en intervalos de tiempo específicos, con el fin de poder comparar con las observaciones realizadas por técnicos en campo.

También se destaca que el software o módulos informáticos del ordenador de procesado y análisis 3D consta de distintos módulos:

- módulo de Calibración, que permite: ajustar el campo de visión de las ópticas; calibrar los parámetros intrínsecos de cada óptica, aberraciones, deformaciones; determinar la orientación y posición de las cámaras, así como fijarlas correctamente en la dirección de observación deseada. Este paso se realiza durante la instalación y podrá ser repetido en caso de que tras una intervención de mantenimiento el sistema se descalibrara; calibrar el cálculo de coordenadas tridimensionales que obtiene el sistema, a través de puntos conocidos en el espacio tridimensional donde se instala el sistema; modificar los parámetros de ajuste (parámetros de calibración estereoscópica) para la determinación de tamaños y distancias, para poder hacer medidas de objetos tridimensionales, comprobando que las dimensiones de las aves en las imágenes son los adecuados; verificar que el sistema mantiene la calibración; corregir de forma digital los ajustes que no se puedan realizar de forma mecánica u óptica.
- módulo de captura que permite: capturar las imágenes proporcionadas por las cámaras 3D; comprobar la conexión con las cámaras, verificando, que se reciben imágenes de ambos conjuntos de cámaras de detección (UP+DOWN) con una resolución, en nuestro ejemplo descriptivo, de 5472x3648 píxeles al menos a 15 fotogramas por segundo de forma síncrona entre ellas; configurar los parámetros de las cámaras para realizar una captura de imagen adecuada a las condiciones de la escena (tiempos de exposición,

ganancia) Así mismo ajusta la resolución de trabajo, que en este caso será de 5472x3648 píxeles ya que, siendo la máxima resolución, permite obtener la mejor precisión en el posicionamiento 3D pudiendo a su vez trabajar con una frecuencia de al menos 15 imágenes por segundo (suficiente para realizar una predicción adecuada de la evolución de las trayectorias, con un tiempo de respuesta reducido).

5

- módulo de detección, que permite a partir de las imágenes de cada par de cámaras que forman cada cámara 3D (cámara Superior e Inferior) se analiza cada una de ellas para detectar la presencia de aves en el espacio a vigilar. Los algoritmos de detección tienen en cuenta las condiciones dinámicas del entorno en el que se haya el sistema (Cambio de iluminación producidos por el sol, movimiento de las nubes, efecto del viento, permitiendo una detección robusta de las aves en vuelo; efectúa la comprobación de que el ave detectada aparece en las dos imágenes, con el fin de que se puedan efectuar los cálculos estereoscópicos.

10

- módulo de cálculo de posicionamiento tridimensional, que permite una vez comprobado que el ave detectada aparece en las dos imágenes del par estereoscópico, obtiene, para cada momento t , la posición X, Y, Z del ave a partir de las coordenadas del sensor en cada una de las imágenes de la cámara Superior e Inferior, es decir las coordenadas (X_{s1}, Y_{s1}) y (X_{s2}, Y_{s2}) mencionadas en apartados anteriores.

15

- módulo de seguimiento, que permite: obtener desde el momento en que se detecta un ave, el tracking de las coordenadas de esta (X, Y, Z, t) en todas las capturas y evaluar a partir de estas posiciones la posible trayectoria que va a seguir. Es decir, a partir de las componentes de velocidad y aceleración en cada uno de los ejes del espacio tridimensional (V_x, V_y, V_z) y (A_x, A_y, A_z) que se determinan en cada captura, podemos inferir donde se debe encontrar el ave en el siguiente fotograma, y de este modo poder hacer un seguimiento más preciso de esta; este sistema permite realizar el seguimiento simultáneo de múltiples aves dentro del campo de visión, gestionando de forma independiente la trayectoria de cada una de ellas.

20

25

- módulo de grabación de imágenes, que permite: almacenar las imágenes captadas por cada una de las cámaras del par estereoscópico que está detectando al ave.

30

- módulo de comunicaciones, que permite que se disponga de una conexión a Internet bien sea por cable, satélite u otros medios como GSM, 5G, etc. Esta conexión se utiliza para realizar la monitorización del comportamiento del sistema en remoto, así como para el ajuste de los parámetros de funcionamiento o para la realización de copias de seguridad. Todos los elementos de este sistema están interconectados a través de una red propia que a su vez está conectada con el sistema SCADA del parque eólico. Así

35

esta red se utiliza para: almacenar todas las imágenes y los datos en el sistema de registro; comunicarse con el equipo electrónico de inteligencia artificial para enviarle las imágenes 3D y los datos que de ellas se obtienen: las coordenadas (X,Y,Z,t) el tamaño de las aves; comunicarse con el equipo electrónico de inteligencia artificial para recibir los datos de las aves de las que se requiere obtener imágenes de alta resolución; enviar las coordenadas de las aves detectadas al ordenador del equipo de alta resolución para que este se oriente adecuadamente y capte imágenes de alta resolución de las aves indicadas por el equipo electrónico de inteligencia artificial.

10 • Ordenador del equipo de alta resolución

Los movimientos del mecanismo de control Pan-Tilt están controlados por un sistema de procesado, el ordenador del equipo de alta resolución, que, dotado de unas herramientas informáticas que calcula a partir de las coordenadas suministradas por el ordenador de procesado y análisis 3d, y en tiempo real, la posición que deben ocupar cada uno de los motores que controlan a los ejes vertical y horizontal, así como los motores de zoom y foco de la óptica de la cámara de alta resolución.

Una vez que el ordenador del equipo estereoscópico detecta y sigue a un ave, si el equipo electrónico de inteligencia artificial decide que es necesario, se envía en tiempo real al mecanismo de la cámara de alta resolución, las coordenadas tridimensionales (X,Y,Z) en las que el ave se encuentra.

El ordenador del equipo de alta resolución envía a cada uno de los servoaccionamientos o controladores o “drivers” que controlan a los motores mencionados las ordenes adecuadas para que vayan a la posición calculada. Así, y en tiempo real, se van ajustando los parámetros de los motores del eje vertical, horizontal, zoom y foco, consiguiendo que el ave se encuentre en el centro de la imagen captada por la cámara y perfectamente enfocada, tal como se observa en la Figura 12.

Pero, además, desde que el equipo de alta resolución inicia el seguimiento de un ave, y a intervalos preprogramados, el ordenador del equipo de alta resolución envía a la cámara ordenes de capturar una imagen, obteniéndose una secuencia de imágenes de alta resolución en la que se registra al ave en vuelo, captada en posiciones diversas.

Así, si el equipo electrónico de inteligencia artificial decide que es necesario, ordena al ordenador de procesado y análisis 3D del equipo estereoscópico que envíe en tiempo real al sistema Pan-Tilt, las coordenadas tridimensionales (X,Y,Z) en las que el ave se encuentra. Únicamente entonces se inicia en el equipo de alta resolución la secuencia de

seguimiento del ave y captura de imágenes de alta resolución. Esta secuencia consiste en lo siguiente:

5 En el momento en el que el equipo de alta resolución que recibe coordenadas desde ordenador de procesado y análisis 3D del equipo estereoscópico, automáticamente se posiciona para apuntar correctamente a esas coordenadas. Para ello se debe mover desde su posición actual a la posición de apuntamiento, posición en la que el sistema apunta en la dirección adecuada para seguir al ave y en la que, además, se ajustan los valores de zoom y foco de la óptica para obtener imágenes correctas.

10 Una vez se alcanza la posición de apuntamiento, se inicia el seguimiento, es decir se va reposicionando en tiempo real a cada una de las coordenadas que le va suministrando el ordenador de procesado y Análisis 3D del equipo estereoscópico.

15 Simultáneamente al inicio del seguimiento, se inicia la captura de imágenes según una programación previa, en la que se ha determinado el número de imágenes a capturar y el intervalo temporal entre cada una de ellas. A título ilustrativo, imaginemos que se ha determinado tomar 20 imágenes con un intervalo temporal de 0,5 segundos, entonces durante 10 segundos se efectuará la captura de dichas 20 imágenes.

20 Una vez terminada la captura de imágenes, es sistema de alta resolución queda disponible para efectuar una nueva secuencia de seguimiento y captura de imágenes de alta resolución. Esto lo comunica el ordenador equipo de alta resolución al ordenador de procesado y análisis 3D del equipo estereoscópico con el fin de que este pueda suministrar las coordenadas de otra ave, momento en el que se iniciará otra secuencia.

Este ordenador tiene varios módulos de procesado:

- módulo de cálculo de ángulos de posicionamiento y de distancia entre el equipo de alta resolución en seguimiento.

25 A partir de la coordenada fija en la que se encuentra instalado el equipo de alta resolución y las coordenadas en la que se encuentra el ave, suministradas por el ordenador de procesado y análisis 3D, calcula los ángulos relativos entre el equipo de alta resolución y el ave, obteniendo los ángulos en los que se deben posicionar los ejes horizontales y verticales para que apunten correctamente al ave en seguimiento.

30 A partir de la coordenada fija en la que se encuentra instalado el equipo de alta resolución y las coordenadas en la que se encuentra el ave, suministradas por el ordenador de procesado y análisis 3D, calcula la distancia a la que se encuentra la misma. Una vez calculada la distancia existente entre el ave y el equipo de alta

resolución, este módulo determina, a partir de una tabla previamente almacenada y que se corresponde con la óptica que tiene montada el sistema, la posición que deben alcanzar los motores de zoom y foco de la óptica para que cubran y enfoquen correctamente al ave

- 5 - Módulo de captura de imágenes: se encarga de capturar las imágenes captadas por la cámara de alta resolución. Este módulo una vez alcanzado el seguimiento y enfoque del ave, a intervalos preprogramados y durante un tiempo determinado, envía a la cámara ordenes de capturar una imagen, obteniéndose una secuencia de imágenes de alta resolución en la que se registra al ave en vuelo, captada en posiciones diversas.
- 10 - Módulo de grabación de imágenes: las imágenes capturadas, además de enviarse al equipo electrónico de inteligencia artificial y al módulo electrónico de registro de detecciones, también se almacenan en el ordenador del equipo de alta resolución.
- Módulo de comunicación: Este módulo se encarga de las comunicaciones con el resto de los elementos del sistema: recibe las coordenadas (X,Y,Z, t) del ave detectada procedentes del ordenador de procesado y análisis 3D; una vez calculadas las posiciones que deben alcanzar los motores horizontal-vertical (Pan-Tilt), Zoom y Foco, envía las órdenes a los servoaccionamientos o controladores de estos motores; cuando finaliza una secuencia de seguimiento y captura de imágenes de alta resolución, las imágenes capturadas de la cámara de alta resolución son suministradas al equipo electrónico de inteligencia artificial y al módulo electrónico de registro de detecciones; cuando finaliza una secuencia de seguimiento y captura de imágenes de alta resolución comunica al ordenador de procesado y análisis 3D que está el sistema disponible para iniciar una nueva secuencia.
- 15
- 20
- 25 • Ordenador del módulo electrónico de registro de detecciones, donde se almacenan los datos históricos y se realizan los cálculos estadísticos previamente comentados.
- Ordenador de inteligencia artificial, en el equipo electrónico de inteligencia artificial está basado en un ordenador que realizar un aprendizaje automático basado en algoritmos de Deep Learning, que basándose en los siguientes datos::
- 30

los datos suministrados por el ordenador de procesado y análisis 3D: las imágenes 2D y 3D; las coordenadas en el espacio (X, Y, Z, t)); las componentes de

velocidad y aceleración en cada uno de los ejes del espacio tridimensional (V_x , V_y , V_z) y (A_x , A_y , A_z); el vector de dirección de la trayectoria que sigue; el tamaño del ave

las imágenes de alta resolución suministradas por el equipo de alta resolución

las variables suministradas por el centro de control del parque Eólico, el SCADA:

5 las variables meteorológicas (velocidad del viento y dirección, temperatura, humedad relativa y precipitación); las variables de estado de los aerogeneradores (orientación del rotor y velocidad de rotación de las aspas)

10 el análisis estadístico que ha permitido clasificar el comportamiento de vuelo más probable de cada especie, o grupo, de aves según las características meteorológicas y de estado de los aerogeneradores que existían en cada momento

es capaz de generar una señal de alarma que active cualquier mecanismo que impida el impacto del ave con los aerogeneradores. Este sistema permite realizar el seguimiento simultáneo de múltiples aves, gestionando de forma independiente la identificación y la trayectoria de cada una de ellas.

15

Al ordenador de inteligencia artificial (OI) le llegan todos los datos mencionados que se están generando en el momento, es decir, datos de los equipos estereoscópicos (EE), de los equipos de alta resolución (EA), y de las bases de datos generadas en el módulo electrónico de registro detecciones (MH) pero, además, posee el sistema informático de “Deep Learning”
20 que ha sido alimentado con los datos provenientes del análisis estadístico del registro histórico de detecciones (Figura 14). Así el ordenador de inteligencia artificial (OI) toma la decisión de activar o no (D), una señal de alarma al aerogenerador (A), a partir de los datos que le llegan en tiempo real pero cotejándolos con el análisis estadístico del registro histórico de detecciones con el que se ha entrenado a dicho equipo electrónico de inteligencia artificial,
25 análisis que le proporciona las rutas de vuelo más probables que va a seguir el ave considerando las variables meteorológicas y de aerogeneradores existentes en ese momento. Esta señal de alarma (S) se puede traducir en la parada de los aerogeneradores o en la activación de otros equipos, sistemas o medios disuasorios.

30 Por ello las herramientas informáticas del ordenador de inteligencia artificial consta de varios módulos:

- módulo de comunicaciones, que permite: recibir los datos y las imágenes que generan el ordenador de procesado y análisis 3D y el ordenador del equipo de alta resolución; la comunicación con los sistemas de control de los aerogeneradores, el SCADA del

parque eólico, para recibir los datos de estado de estos, es decir, para recibir las variables de orientación del rotor y la velocidad de giro de cada uno de los aerogeneradores; la comunicación con los sistemas de control de los aerogeneradores, la comunicación con el SCADA del parque eólico, para recibir los datos de las variables meteorológicas: velocidad del viento y su dirección, temperatura, humedad relativa y precipitación; la comunicación con el SCADA del parque eólico, para comunicarse con los sistemas de control de los aerogeneradores, con el fin de enviar las señales de alarma ante las situaciones de posible colisión y gestionar la respuesta del sistema;; la comunicación con el SCADA del parque eólico, para enviar las ordenes de parada de los aerogeneradores; la comunicación con otros medios disuasorios, (luces, sonidos, UAVs) para indicar las situaciones de posible colisión y gestionar la respuesta de estos sistemas; la comunicación con el módulo de registro con el fin de almacenar todos los datos.

- Módulo de identificación de la especie o grupo al a que pertenece el ave. Este módulo tiene dos submódulos:

o Submódulo de pre-identificación de especie o grupo al que pertenece el ave mediante las imágenes del ave detectada, variables posición y tamaño, es decir a partir de las (coordenadas (X, Y, Z, t)), de las componentes de velocidad y aceleración en cada uno de los ejes del espacio tridimensional (V_x, V_y, V_z) y (A_x, A_y, A_z) y del tamaño suministradas por el ordenador de procesado y análisis 3D. Es muy importante porque permite aproximarse a la clasificación de especie o grupo al que pertenece el ave detectada utilizando tan solo los datos suministrados por el equipo estereoscópico. Es una preclasificación basada en el patrón de vuelo de cada especie (tamaño, número de aleteos por segundo, planeos, vuelo ciclado, etc.), patrón que ha sido previamente determinado por el análisis estadístico del registro histórico de detecciones generado por el módulo electrónico de registro de detecciones. Este paso es imprescindible ya que, en el caso de que existan varias detecciones simultáneas, permite seleccionar y priorizar a qué aves se sigue mediante el equipo de alta resolución.

o Submódulo de Identificación de especie o grupo al que pertenece el ave mediante las imágenes suministradas por los equipos estereoscópicos y de alta resolución. Una vez efectuada una preclasificación del ave según su patrón de vuelo, se hace una clasificación definitiva usando tanto las

imágenes suministradas por los equipos estereoscópicos, como las imágenes de alta resolución suministradas por el equipo de alta resolución.

- Módulo de prioridad entre las aves detectadas. En el caso de que el sistema estereoscópico este detectando varias aves simultáneamente, caso altamente probable, este módulo utilizando los datos suministrados por el submódulo de identificación de especie o grupo al que pertenece el ave mediante las variables posición y tamaño, ordena una lista de prioridad con el fin de que el equipo de alta resolución pueda obtener secuencialmente imágenes de primeros planos de las aves y así afinar la clasificación mediante el Submódulo de Identificación de especie o grupo al que pertenece el ave mediante las imágenes suministradas por los equipos estereoscópicos y de alta resolución.

Recordemos que el equipo de alta resolución solo puede hacer el seguimiento a un ave o grupo de aves, por ello es necesario establecer un orden de prioridad en la secuencia de apuntamiento a cada una de las aves detectadas.

- 15 Si hay varias especies se da prioridad a las especies cuyo estatus sea de la especie Amenazada.

Así en primer lugar, establece una prioridad, a partir de los datos suministrados por el submódulo de identificación de especie o grupo al que pertenece el ave mediante las variables posición y tamaño, para determinar el orden en el cual el equipo de alta resolución debe capturar primeros planos de las aves detectadas; según la lista de prioridad anterior, y de manera secuencial, gestiona a qué ave debe apuntar el equipo de alta resolución para obtener imágenes de primeros planos de esta. Para ello le comunica al ordenador de procesado y análisis 3d que envíe al equipo de alta resolución las coordenadas en la que se encuentra el ave que corresponda de la lista de prioridad.

25 Cuando el equipo de alta resolución recibe coordenadas desde el ordenador de procesado y análisis 3D, inicia la secuencia de seguimiento y captura de imágenes de alta resolución. Una vez finalizada esta secuencia, el equipo de alta resolución queda disponible de nuevo y se da paso a la siguiente ave de la lista de prioridad. Una vez clasificadas las aves con el submódulo de identificación de especie o grupo al que pertenece el ave mediante las imágenes suministradas por los equipos estereoscópico y de alta resolución, determina el estatus de protección de las especies detectadas y actúa en consecuencia.

- Módulo de cálculo de la trayectoria más probable, una vez finalizada la clasificación de la especie o grupo al que pertenece el ave, se predice su comportamiento con la ayuda de las trayectorias registradas bajo condiciones climatológicas similares, es decir, según el análisis estadístico del módulo electrónico de registro histórico de detecciones, asignando la trayectoria más probable que va a seguir en ese momento.

En el caso de que esta trayectoria tenga una alta probabilidad de cruzar el área que barren las aspas de uno o varios aerogeneradores, es decir, sea una posible trayectoria de colisión, se genera una alarma.

- Módulo de generación de alarma: Si la trayectoria más probable definida por el equipo electrónico de inteligencia artificial conlleva riesgo de colisión del ave con algún aerogenerador, se procede a generar una señal de alarma que conlleva la parada de los aerogeneradores que están en el rumbo de dicha trayectoria, o a la activación de cualquier sistemas, equipo o medio de disuasión.

Cada alarma almacenará la trayectoria más probable que se ha definido de cada ave, así como todos los parámetros que sean de interés para su posterior análisis. Este módulo permite determinar que aerogenerador o aerogeneradores van a recibir orden de parada.

La alarma generada contiene el aerogenerador sobre el que se debe actuar; antes de que se alcance la Distancia de Antelación, el sistema genera una alarma para el aerogenerador implicado; en caso de que la trayectoria analizada prevea un posible impacto del ave sobre varios aerogeneradores, antes de que se alcance la Distancia de Antelación, el sistema genera una alarma para cada uno de ellos; en el caso de que el ave detectada sea una especie catalogada como Amenazada, no actúa sobre los aerogeneradores teniendo en cuenta la Distancia de Antelación, sino que genera una orden de parada inmediata para todos los aerogeneradores que están en la ruta de la trayectoria más probable determinada por el equipo electrónico de inteligencia artificial; para cada alarma se almacenará la especie o grupo al que el módulo de Identificación de Especie ha asignado el ave, las posiciones reales (X, Y, Z, t) del ave, la trayectoria más probable, así como el tamaño y posibles parámetros de interés para su posterior análisis (variables meteorológicas, de estado de los aerogeneradores, tiempo de seguimiento, duración de la alarma, tiempo de impacto previsto); y en el caso de que exista la posibilidad de otros medios de disuasión se también se envía la orden para su activación.

Teniendo en cuenta todos los aspectos anteriores, y como se ha comentado inicialmente, el término “comprende” y sus variantes no pretenden excluir otras características técnicas o elementos adicionales; además de que los dibujos están pensados para ayudar a una mejor comprensión de las características del invento, pero están pensados con carácter ilustrativo y no limitativo. En base a esto, se puede indicar que el sistema para detectar avifauna en parques eólicos objeto de la presente invención, donde dicho parque comprende una pluralidad de aerogeneradores (A) distribuidos por el área del parque eólico, y que están gestionados por un centro de control del parque eólico (SCADA), tiene la particularidad frente a cualquier sistema conocido, de comprender:

- 5
- 10 al menos un equipo estereoscópico, equipo que comprende una cámara 3D (2) constituida por al menos dos cámaras 2D que forman un par estereoscópico; donde las cámaras 2D se ubican, en sentido vertical, en un mástil soporte (1); equipo que comprende un ordenador de procesado y análisis 3D de las imágenes captadas por la cámara 3D y un módulo de telecomunicaciones;
- 15 al menos un equipo de alta resolución, equipo que comprende una cámara de alta resolución 2D (5) con un sistema electromecánico de control de movimientos de los ejes horizontales (Pan) y verticales (Tilt), y con controles de zoom y foco; donde la cámara de alta resolución 2D (5) se ubican en el mástil soporte (1); equipo que comprende un ordenador que procesa los datos del equipo estereoscópico, controla los motores de movimiento horizontal y vertical de la cámara de alta resolución, y procesa las imágenes captadas por la cámara de alta resolución, y comprende un módulo de telecomunicaciones
- 20 unos módulos de detección de variables meteorológicas y de variables de estado de los aerogeneradores del parque eólico ubicado en el centro de control del parque eólico;
- un módulo electrónico de registro de detecciones, que recibe los datos de los equipos estereoscópicos, de los equipos de alta resolución y las variables meteorológicas y variables de estado de los aerogeneradores de los módulos de detección del centro de control del parque eólico; y que comprende un ordenador que genera una base de datos histórica de valores y comprende herramientas informáticas de análisis estadístico y generación de modelos de predicción de trayectorias; y
- 25
- 30 un equipo electrónico de inteligencia artificial; que recibe los datos de los equipos y módulos anteriores, y que comprende un ordenador con herramientas informáticas de toma de decisión de activación de la parada de los aerogeneradores o de activación de sistemas disuasorios; y que comprende un módulo de telecomunicaciones en conexión con los equipos anteriores y con el centro de control del parque eólico.

REIVINDICACIONES

1.- Sistema para detectar avifauna en parques eólicos, donde los parques comprenden una pluralidad de aerogeneradores (A) distribuidos por el área del parque eólico, y que están
5 gestionados por un centro de control del parque eólico (SCADA), sistema que se caracteriza por comprender:

al menos un equipo estereoscópico, equipo que comprende una cámara 3D (2) constituida por al menos dos cámaras 2D que forman un par estereoscópico; donde las cámaras 2D se ubican en un mástil soporte (1); equipo que comprende un ordenador de
10 procesado y análisis 3D de las imágenes captadas por la cámara 3D y un módulo de telecomunicaciones;

al menos un equipo de alta resolución, que se ubica en el mástil soporte (1), equipo que comprende una cámara de alta resolución 2D (5) con un sistema electromecánico de control de movimientos de los ejes horizontales (Pan) y verticales (Tilt), y con controles de
15 zoom y foco; equipo que comprende un ordenador que procesa los datos suministrados por el equipo estereoscópico, controla los motores de movimiento horizontal y vertical de la cámara de alta resolución, y gestiona la captura y envío de las imágenes de la cámara de alta resolución, y comprende un módulo de telecomunicaciones;

unos módulos de detección de variables meteorológicas y de variables de estado de
20 los aerogeneradores del parque eólico ubicado en el centro de control del parque eólico;

un módulo electrónico de registro de detecciones, que recibe los datos de los equipos estereoscópicos, de los equipos de alta resolución y de los módulos de detección del centro de control del parque eólico; y que comprende un ordenador que genera una base de datos histórica de valores y comprende herramientas informáticas de análisis estadístico y
25 generación de modelos de predicción de trayectorias; y

un equipo electrónico de inteligencia artificial; que recibe los datos de los equipos y módulos anteriores, y que comprende un ordenador con herramientas informáticas de toma de decisión de activación de la parada de los aerogeneradores o de activación de sistemas disuasorios; y que comprende un módulo de telecomunicaciones en conexión con los equipos
30 anteriores y con el centro de control del parque eólico.

2.- Sistema para detectar avifauna en parques eólicos, según la reivindicación 1, donde los mástiles soportes (1) se encuentran distribuidos por el área donde se ubican los aerogeneradores.

3.- Sistema para detectar avifauna en parques eólicos, según la reivindicación 1, donde los mástiles soportes (1) comprenden un primer tramo (T.A) que va de la cota cero de altura de 4 metros, y un segundo tramo (T.B) a partir de los 4 metros, donde el segundo tramo
5 comprende el equipo de alta resolución, y al menos una plataforma (3) donde se encuentra un cuadro eléctrico (4) que contiene el ordenador de procesado y análisis 3D y el módulo de telecomunicaciones del equipo estereoscópico.

4.- Sistema para detectar avifauna en parques eólicos, según la reivindicación 1, donde el
10 ordenador de procesado y análisis 3D del equipo estereoscópico comprende un módulo de calibración de las cámaras; un módulo de captura de las cámaras; un módulo de detección a partir de las imágenes captadas por las cámaras; un módulo de cálculo de posicionamiento tridimensional para cada momento t, de la posición X,Y,Z de las aves detectadas por las cámaras; un módulo de seguimiento de las aves con componentes de
15 velocidad y aceleración en cada uno de los ejes del espacio tridimensional; un módulo de grabación de imágenes; y el módulo de telecomunicaciones.

5.- Sistema para detectar avifauna en parques eólicos, según la reivindicación 4, donde el módulo de captura trabaja con una frecuencia de al menos 15 imágenes por segundo.

6.- Sistema para detectar avifauna en parques eólicos, según la reivindicación 1, donde el ordenador del equipo de alta resolución comprende un módulo de cálculo de ángulos de posicionamiento de los ejes horizontales y verticales de la cámara de alta resolución; un módulo de captura de imágenes; un módulo de grabación de imágenes; y el módulo de
25 telecomunicaciones.

7.- Sistema para detectar avifauna en parques eólicos, según la reivindicación 1, donde el ordenador del equipo electrónico de inteligencia artificial comprende herramientas informáticas de aprendizaje automático basadas en algoritmos del tipo *Deep Learning*.

8.- Sistema para detectar avifauna en parques eólicos, según la reivindicación 1, donde el ordenador del equipo electrónico de inteligencia artificial comprende un módulo de identificación de la especie de las aves; un módulo de cálculo de prioridad entre las aves

detectadas; un módulo de cálculo de la trayectoria más probable; un módulo de generación de alarma; y un módulo de telecomunicaciones.

- 5 9.- Sistema para detectar avifauna en parques eólicos, según la reivindicación 8, donde el módulo de identificación comprende un submódulo de pre-identificación de especie según variables de posición y tamaño; y un submódulo de identificación de especie según las imágenes suministradas por los equipos estereoscópicos y de alta resolución.

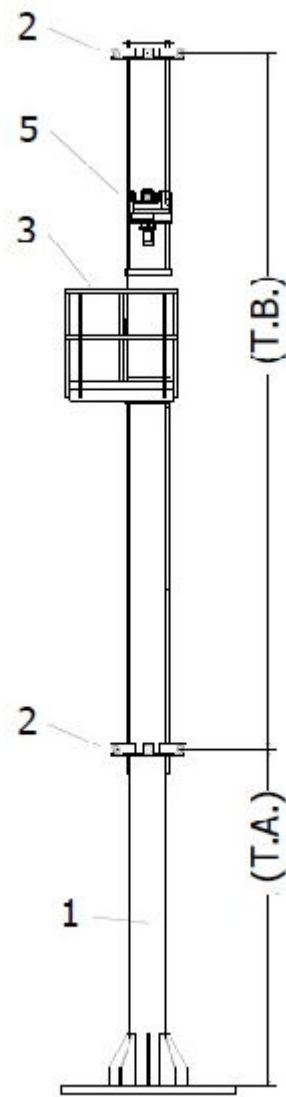


FIG.1

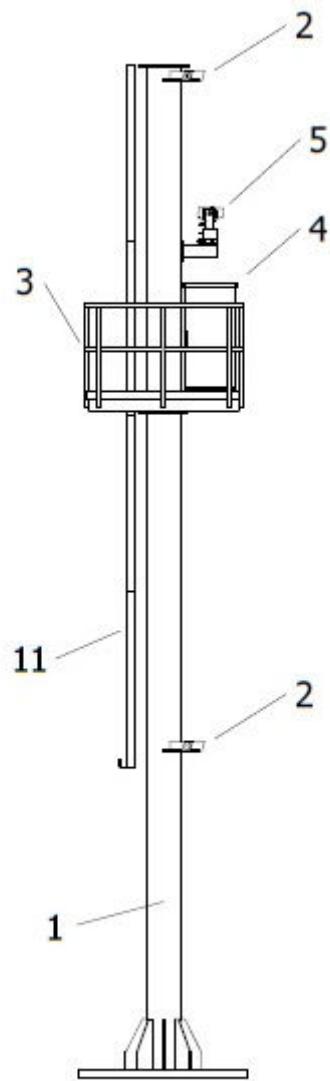


FIG.2

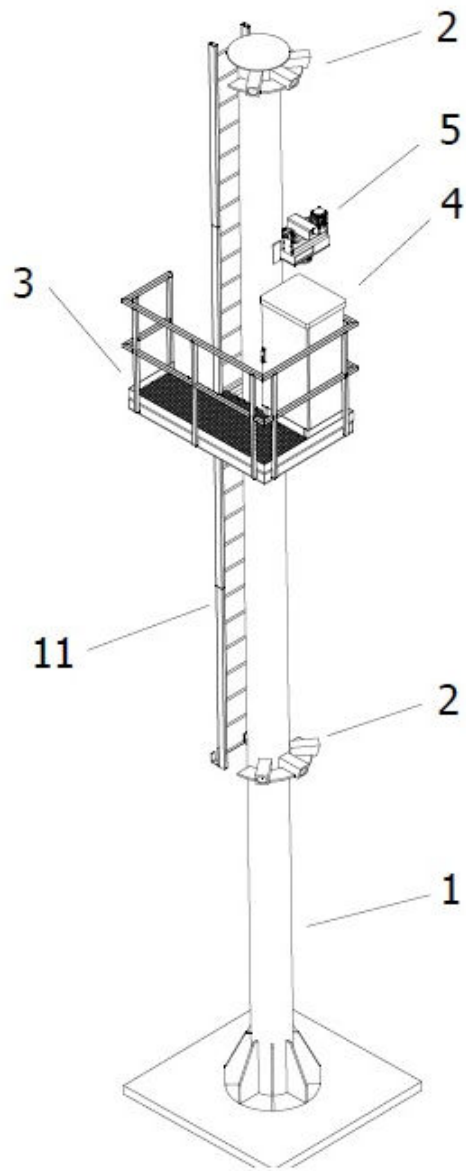


FIG.3

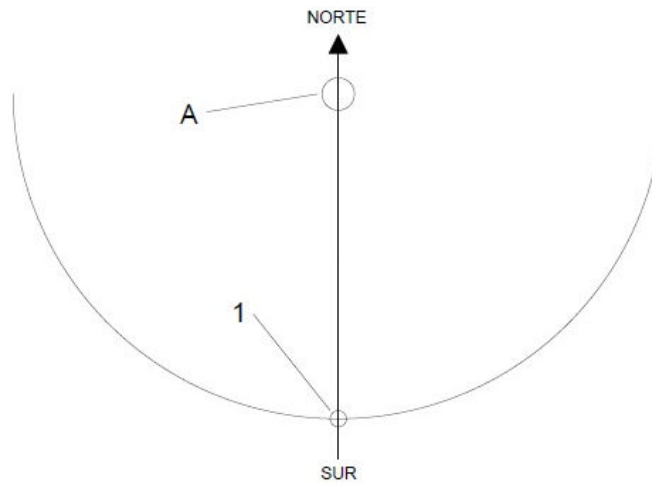


FIG.4

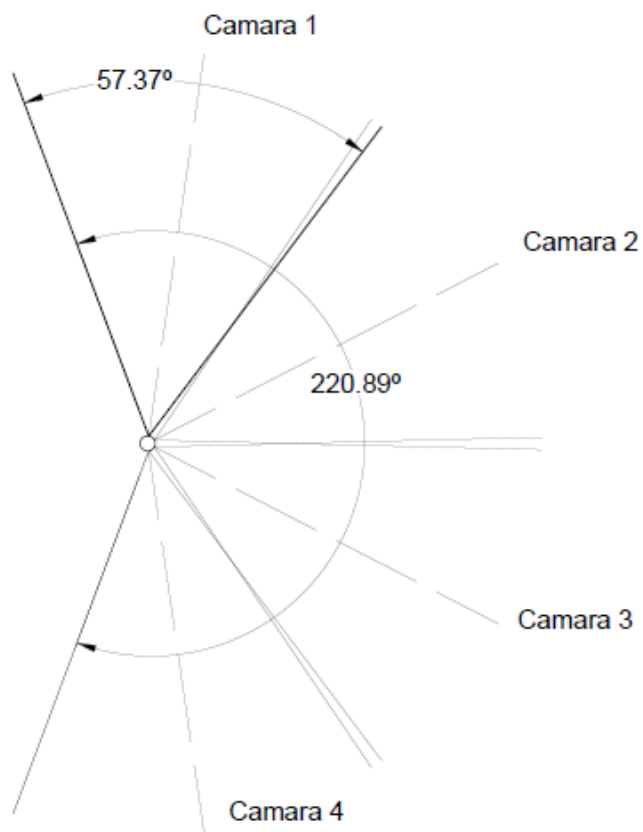


FIG.5

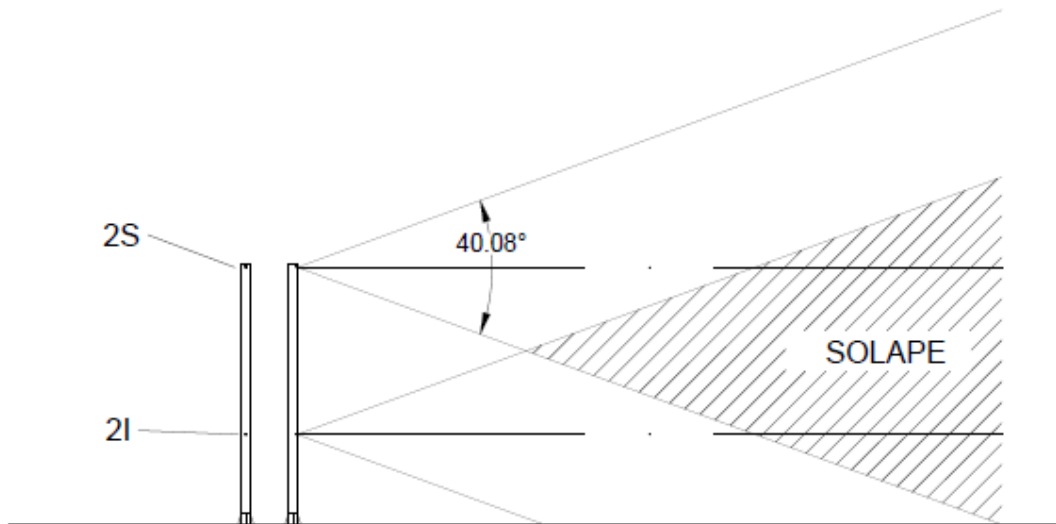


FIG.6

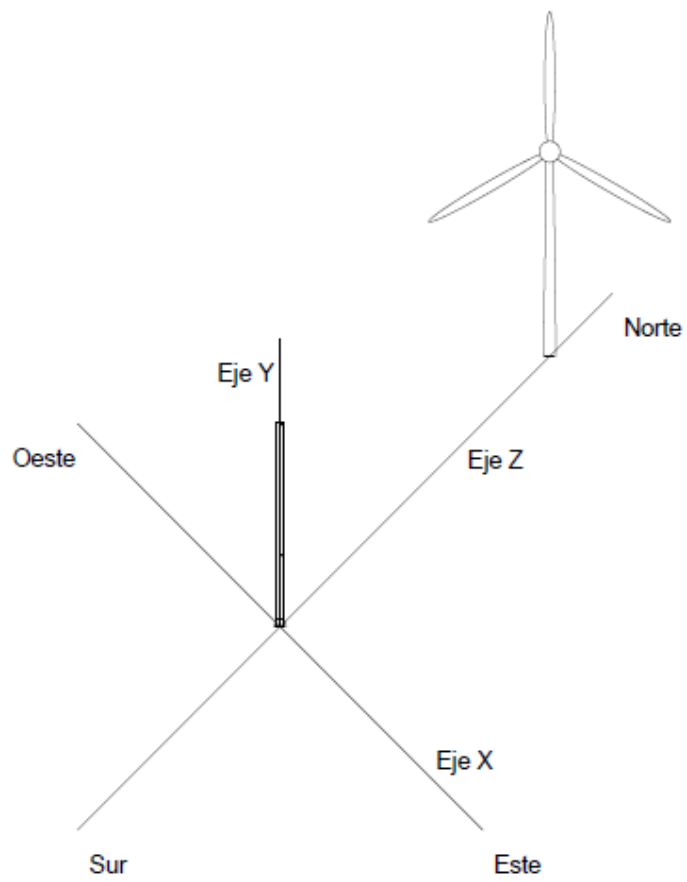


FIG.7

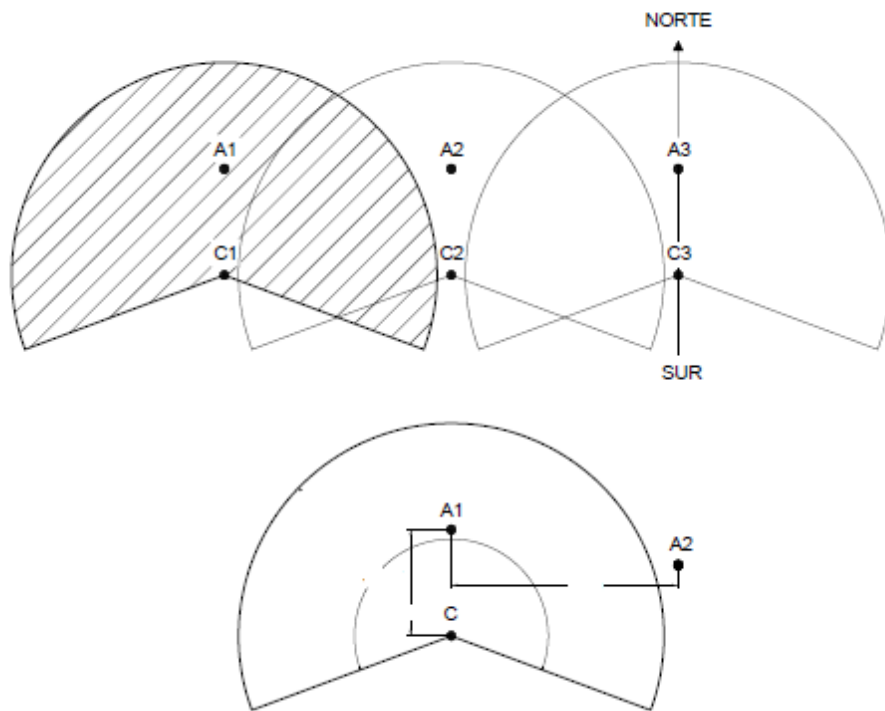


FIG. 8

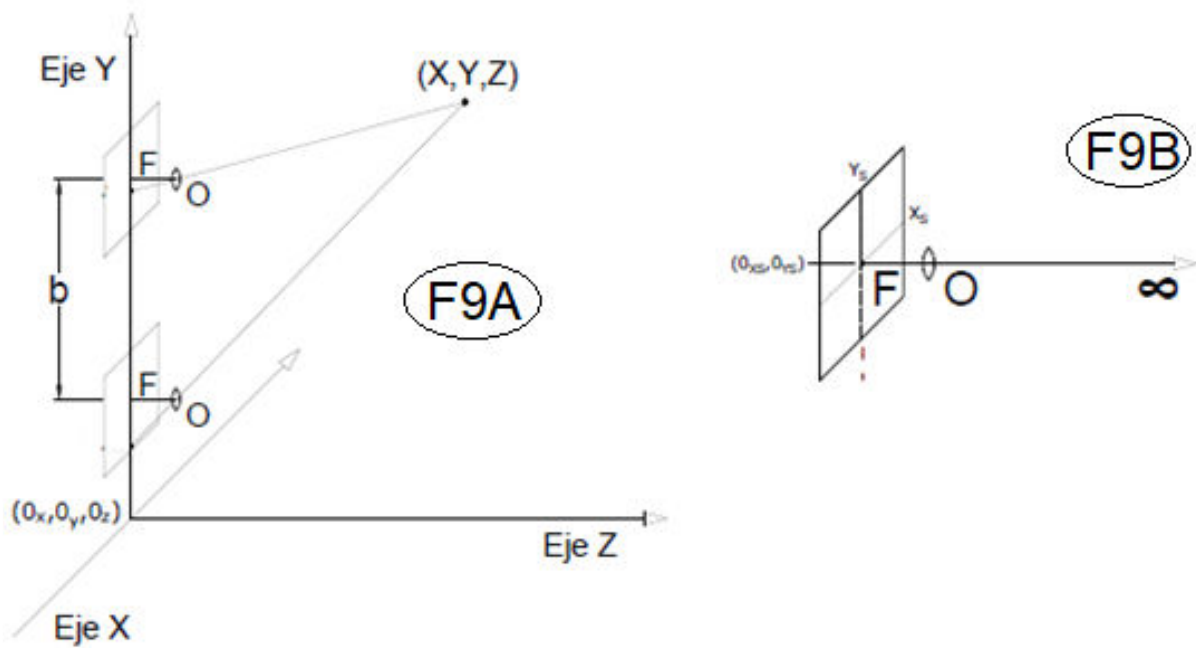


FIG. 9

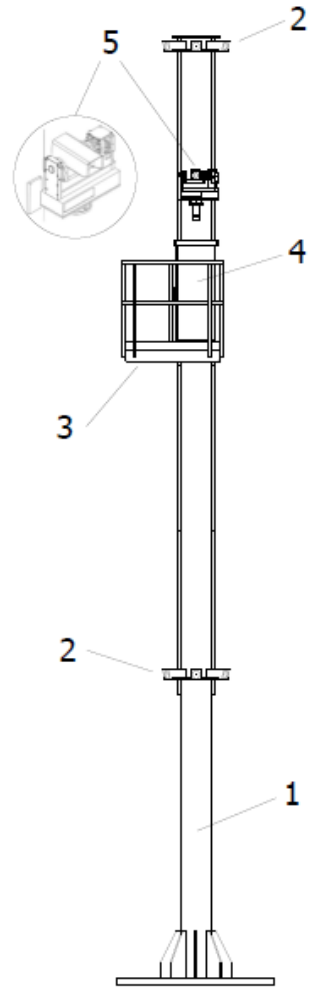


FIG.10

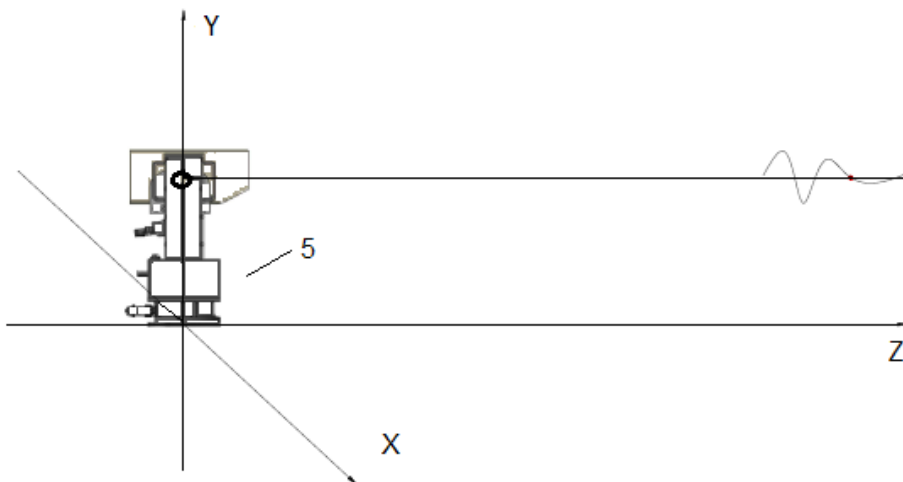


FIG.11

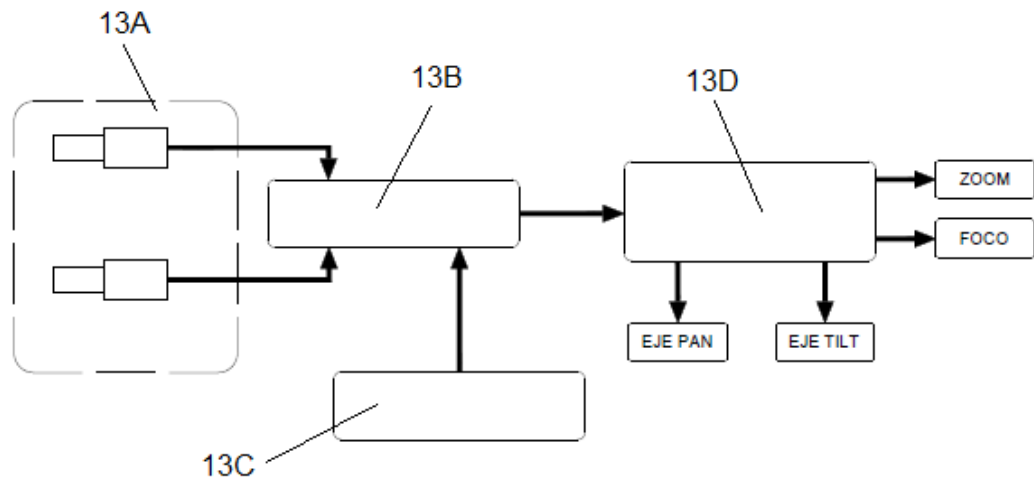


FIG.12

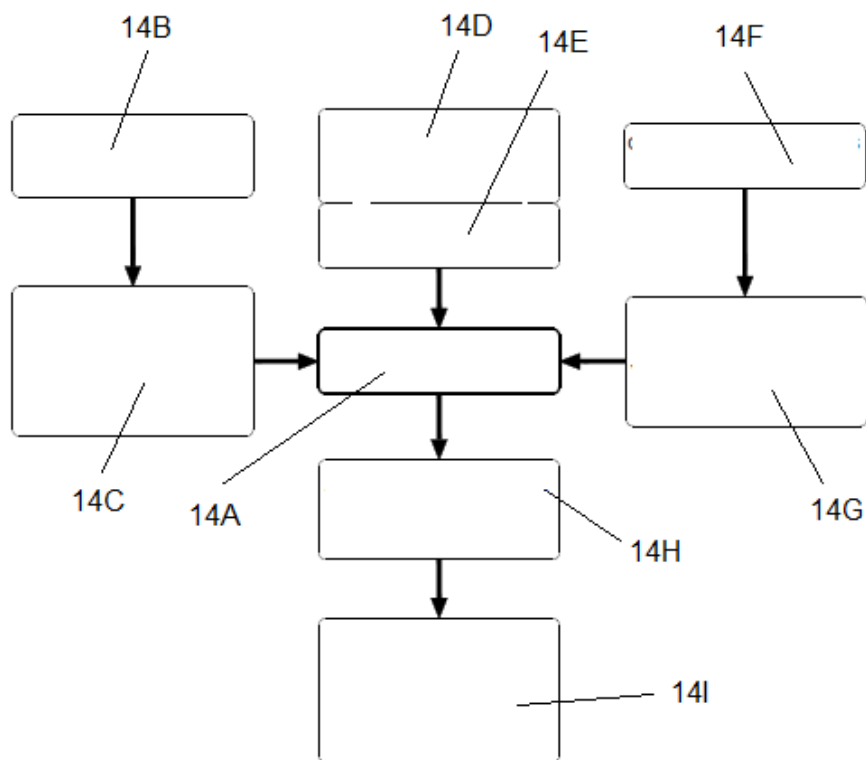


FIG.13

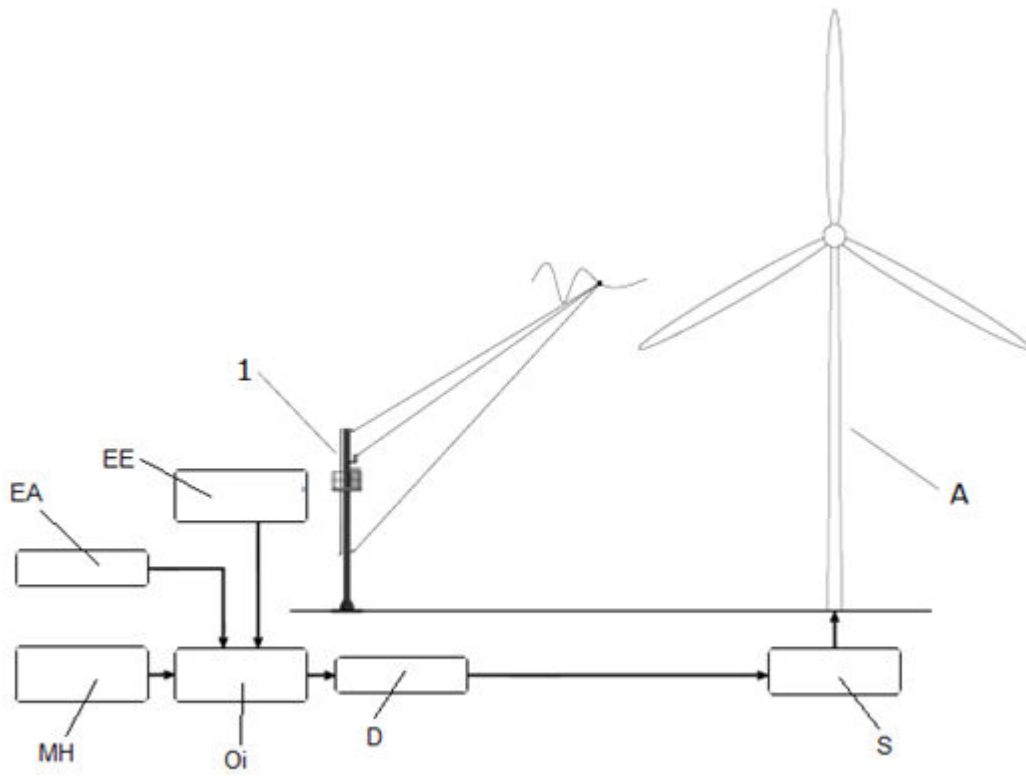


FIG.14

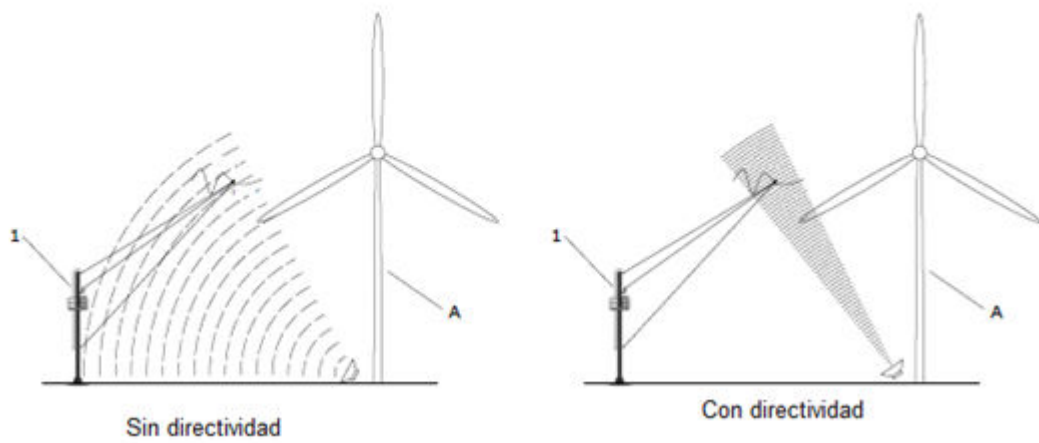


FIG.15