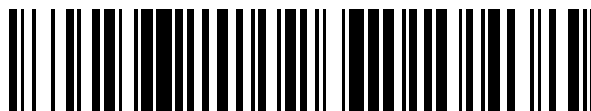


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 950 769**

51 Int. Cl.:

B64D 15/20 (2006.01)

G01D 5/353 (2006.01)

G01K 11/3206 (2011.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.09.2019 PCT/EP2019/074091**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.03.2020 WO20053202**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.09.2019 E 19763012 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.06.2023 EP 3849906**

54 Título: **Sistema y método para detectar la formación de hielo sobre un cuerpo**

30 Prioridad:

10.09.2018 EP 18382649

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

13.10.2023

73 Titular/es:

**INSTITUTO NACIONAL DE TÉCNICA
AEROESPACIAL "ESTEBAN TERRADAS"**
(100.0%)

**Carretera de Ajalvir, km 4
28850 Torrejón de Ardoz (Madrid), ES**

72 Inventor/es:

**FRÓVEL, MALTE;
FERNÁNDEZ-MEDINA MAESO, ANA BELÉN;
MORA, JULIO;
AGÜERO, ALINA;
SOR MENDI, SUTHYVANN;
LÓPEZ HEREDERO, RAQUEL;
GARCÍA-MAGARIÑO GARCÍA, ADELAIDA y
GONZÁLEZ DEL VAL, MIGUEL**

74 Agente/Representante:

MENÉNDEZ GARCÍA, Guillermo

ES 2 950 769 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema y método para detectar la formación de hielo sobre un cuerpo

5 CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere en general a un sistema y un método para monitorizar la formación de hielo basándose en sensores de temperatura.

10 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

La formación y acumulación de hielo no deseado alrededor de determinados sólidos o cuerpos es un problema en muchos sectores. Este es el caso, por ejemplo, del sector aeronáutico donde la formación de hielo en superficies tales como las alas, el fuselaje o los motores de aeronaves provoca una pérdida de las prestaciones aerodinámicas o provoca daños en las estructuras móviles. En estas condiciones, la aeronave pierde sustentación y esto puede hacer que el piloto pierda el control de la aeronave. Para hacer frente a este problema, las aeronaves tienen circuitos de calentamiento internos o sistemas y dispositivos antihielo. Sin embargo, si la detección de la formación de hielo no es rápida y eficaz, las contramedidas citadas pierden eficacia. Dicho problema se acentúa, en los intervalos de altura donde normalmente vuelan las aeronaves y donde es frecuente la presencia de agua superenfriada, es decir, agua líquida por debajo de su temperatura de congelación.

Sin embargo, este campo no es el único que tiene que enfrentarse a este problema. Otras aplicaciones técnicas, tales como las turbinas eólicas y las líneas de transmisión, también padecen los efectos de la formación y acumulación de hielo.

En el caso de las líneas de transmisión, en regiones frías, la formación de hielo sobre los cables de las líneas de transporte eléctrico aumenta considerablemente el peso que tienen que soportar las torres eléctricas. En estas situaciones, es común interrumpir el suministro de energía en dichas líneas de transmisión de energía eléctrica. En el caso de las turbinas eólicas, las fuerzas aerodinámicas se ven alteradas por la presencia de hielo, y el comportamiento dinámico de las palas en rotación también experimenta un cambio sustancial.

Además, en los tres ejemplos citados, los sensores propuestos son inmunes a las interferencias electromagnéticas (EMI) y no afectan a otros sistemas eléctricos a su alrededor, por lo que la presente solución evita cualquier restricción relacionada con EMI en ambas aplicaciones. El estado de la técnica conocida por el solicitante incluye patentes relacionadas con la medición de la formación de hielo mediante diferentes dispositivos, tecnologías, sistemas y métodos, que se describirán a continuación.

La solicitud de patente europea EP1524509 A1 da a conocer un dispositivo y un método para detectar la variación de temperatura a lo largo de una sección de fibra óptica. Dicha fibra óptica puede colocarse a lo largo del perfil frontal de un ala de aeronave para detectar la formación de hielo en un punto particular del ala basándose en una sola medición de temperatura.

En la solicitud de patente US4210021A, se da a conocer un dispositivo y un método para detectar hielo en objetos inmersos en una corriente de aire. Dicha invención se basa en el uso de dos superficies: una superficie donde pueden precipitar gotas de agua superenfriada y una segunda superficie protegida de la humedad y de la precipitación de gotas de agua superenfriada. Mediante sensores de temperatura, del tipo termistor, se mide la diferencia entre la temperatura de cada superficie para determinar si dicha diferencia de temperatura es significativa para determinar la presencia de hielo.

Técnica anterior relevante adicional está representada por los documentos US2766619 A, US2002172446 A1, US2006146909 A1 y US8172180 B2.

Por tanto, es esencial tener un sistema para detectar la formación y acumulación de hielo que sea fiable y rápido, además de usar una tecnología que no interfiera electromagnéticamente con el entorno y que no sufra interferencias por parte del mismo. Por tanto, mediante la presente invención se superan las soluciones ofrecidas por el estado de la técnica al proponer un sistema basado en al menos dos detectores con diferentes inercias térmicas, lo que permite detectar con precisión la formación de hielo sobre un cuerpo, y en particular, la formación de hielo a partir de la congelación del agua superenfriada.

60 BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

El objeto de la presente invención se refiere, sin limitación, a un sistema según la reivindicación 1.

Ventajosamente, dicho segundo volumen de detección es mayor que el primer volumen de detección.

Debido a esta diferencia de volumen, los detectores primero y segundo tienen diferente inercia térmica, de manera

que tienen diferentes respuestas a los gradientes de temperatura. Estas diferentes respuestas a los gradientes de temperatura son importantes para determinar la formación de hielo sobre un cuerpo, tal como se detallará más adelante. Los sensores de temperatura primero y segundo pueden incluir, pero sin limitarse a, sensores ópticos tales como sensores de fibra óptica.

5 El primer sensor de temperatura y el segundo sensor de temperatura son adecuados para detectar los pequeños picos de calor latente que emite el agua superenfriada al congelarse. Este calor latente se detecta por ambos sensores, pero con diferente intensidad, debido a la diferencia entre el primer volumen de detección y el segundo volumen de detección. La diferencia entre las salidas de los sensores primero y segundo proporcionará una indicación de que está formándose hielo en la superficie de la parte que va a analizarse.

10 En una realización preferida de la presente invención, el al menos un primer detector es un primer detector de fibra óptica, en el que:

15 el primer detector de fibra óptica comprende un primer núcleo de fibra óptica;

el primer sensor de temperatura está dispuesto en el primer núcleo de fibra óptica, siendo el primer sensor de temperatura un primer sensor óptico;

20 el primer detector de fibra óptica comprende un primer revestimiento de vidrio que tiene un primer diámetro exterior, estando dispuesto el primer revestimiento de vidrio alrededor del primer núcleo de fibra óptica de tal manera que una primera parte del primer revestimiento de vidrio rodea el primer sensor óptico;

25 la primera carcasa es un primer capilar sellado que tiene un segundo diámetro interior, estando dispuesto el primer capilar sellado al menos alrededor de la primera parte del primer revestimiento de vidrio, en el que el segundo diámetro interior es mayor que el primer diámetro exterior, y el primer volumen de detección corresponde al volumen entre el primer diámetro exterior y el segundo diámetro interior.

Además, el al menos un segundo detector comprende un segundo detector de fibra óptica, en el que:

30 el segundo detector de fibra óptica comprende un segundo núcleo de fibra óptica;

el segundo sensor de temperatura está dispuesto en el segundo núcleo de fibra óptica, siendo el segundo sensor de temperatura un segundo sensor óptico;

35 el segundo detector de fibra óptica comprende un segundo revestimiento de vidrio que tiene un tercer diámetro exterior, estando dispuesto el segundo revestimiento de vidrio alrededor del segundo núcleo de fibra óptica;

40 la segunda carcasa es un segundo capilar sellado, teniendo este segundo capilar sellado un cuarto diámetro interior, estando dispuesto el segundo capilar sellado alrededor del segundo revestimiento de vidrio, siendo el cuarto diámetro interior mayor que el tercer diámetro exterior, y correspondiendo el segundo volumen de detección al volumen entre el tercer diámetro exterior y el cuarto diámetro interior.

45 Más ventajosamente, la diferencia entre el cuarto diámetro interior y el tercer diámetro exterior es mayor que la diferencia entre el segundo diámetro interior y el primer diámetro exterior. El módulo electroóptico está configurado para generar entradas de luz y para recibir mediciones ópticas desde los detectores de fibra óptica primero y segundo y también está configurado para procesar y transmitir las mediciones ópticas.

50 Aún en otra realización de la presente invención, los sensores de fibra óptica primero y/o segundo comprenden una rejilla de Bragg en fibra o una rejilla de fibra de periodo largo.

55 Por tanto, el primer detector de fibra óptica puede detectar variaciones de temperatura más rápido que el segundo detector de fibra óptica. Por tanto, cuando una señal óptica generada por el módulo electroóptico alcanza los sensores ópticos primero y segundo, estos sensores ópticos reflejarán parte de dicha señal óptica en función de la temperatura de dichos sensores ópticos primero y segundo. De este modo, las señales ópticas filtradas que llegan al módulo electroóptico serán diferentes, siempre que la temperatura de dichos sensores ópticos primero y segundo sea diferente. De este modo, mediante el análisis de dichas señales ópticas filtradas, el módulo electroóptico puede calcular la temperatura en la posición en la que están ubicados los sensores ópticos primero y segundo.

60 Aún en otra realización de la presente invención, el primer diámetro exterior y el tercer diámetro exterior están comprendidos entre 0,006 y 0,1265 mm. Además, el segundo diámetro interior está comprendido entre 0,13 y 0,25 mm. Más ventajosamente, el cuarto diámetro interior es de entre 0,5 y 1,0 mm.

65 Aún en otra realización de la presente invención, el primer capilar del al menos un primer detector de fibra óptica comprende un quinto diámetro exterior comprendido entre 0,25 y 0,5 mm y en el que el segundo capilar sellado del al menos un segundo detector de fibra óptica comprende un sexto diámetro exterior comprendido entre 2 y 3 mm.

Aún en otra realización de la presente invención, los sensores ópticos primero y segundo tienen una longitud comprendida entre 2 y 20 mm.

5 Aún en otra realización de la presente invención, el al menos un primer detector de fibra óptica comprende:

un primer recubrimiento protector alrededor de una segunda parte del primer revestimiento de vidrio, de tal manera que la segunda parte del primer revestimiento de vidrio está recubierta por el primer recubrimiento protector y una
10 tercera parte del primer revestimiento de vidrio no está recubierta, estando la primera parte sustancialmente en el medio de la tercera parte y estando el primer capilar sellado alrededor de la tercera parte,

un elemento de conexión entre el primer recubrimiento protector y el primer capilar sellado;

15 y en el que el al menos un segundo detector de fibra óptica comprende un segundo recubrimiento protector alrededor del segundo revestimiento de vidrio.

Aún en otra realización de la presente invención, la tercera parte se extiende a lo largo de una longitud comprendida entre 20 y 50 mm, y el primer capilar sellado se extiende a lo largo de una longitud comprendida entre 30 y 60 mm.

20 Aún en otra realización de la presente invención, el elemento de conexión entre el primer recubrimiento protector y el primer capilar sellado del al menos un primer detector de fibra óptica comprende una sonda o un adhesivo, o una combinación de ambos.

25 Aún en otra realización de la presente invención, el primer capilar sellado comprende un material metálico y el segundo capilar sellado comprende vidrio o un polímero.

Un primer capilar sellado metálico aumenta la velocidad de reacción del primer detector, mientras que un segundo capilar sellado polimérico disminuye la velocidad de reacción del segundo detector, aumentando así la diferencia en el tiempo de reacción entre los sensores comprendidos en ambos detectores.

30 Aún en otra realización de la presente invención, el sistema comprende además una superficie aerodinámica con un borde de ataque destinado a recibir una corriente de aire y un volumen aguas abajo del borde de ataque, en el que el primer detector está ubicado en contacto con el borde de ataque de la superficie aerodinámica y el segundo detector está ubicado en el volumen, aguas abajo del primer detector.

35 Con esta configuración, el sistema puede implementarse en diferentes ejemplos de superficies aerodinámicas, tal como una superficie aerodinámica o una sonda de sensor. En diferentes realizaciones, el primer detector puede estar ubicado en un lado del borde de ataque o en el otro, dependiendo del uso del dispositivo.

40 Aún en otra realización de la presente invención, el primer detector está dispuesto cubriendo al menos una parte del borde de ataque y comprende una pluralidad de sensores, estando ubicados al menos dos sensores en diferentes valores de línea de cuerda de la superficie aerodinámica.

45 En esta realización, la pluralidad de sensores pueden medir la acumulación de hielo en diferentes zonas del borde de ataque, pudiendo así diferenciar los efectos de diferentes tipos de hielo.

Un objeto adicional de la presente invención es un método para detectar la formación de hielo sobre un cuerpo mediante un sistema según cualquiera de las realizaciones descritas en el presente documento. El método preferiblemente comprende las siguientes etapas:

50 generar una señal de entrada en los detectores primero y segundo;

generar una señal de salida por los sensores de temperatura primero y segundo;

55 recibir la señal de salida en el módulo electroóptico;

procesar la señal de salida recibida y calcular una diferencia de temperatura;

60 generar una señal de advertencia si la diferencia de temperatura es mayor que un umbral de temperatura predeterminado.

Aún en otra realización de la presente invención, el método comprende las siguientes etapas:

65 inyectar un haz luminoso en cada uno de los detectores de fibra óptica primero y segundo;

filtrar respectivamente los haces luminosos en al menos los sensores ópticos primero y segundo en función de la

temperatura del sensor óptico respectivo;

recibir los haces luminosos filtrados respectivos en el módulo electroóptico;

5 procesar los haces luminosos recibidos y calcular una diferencia de temperatura;

generar una señal de advertencia si la diferencia de temperatura es mayor que un umbral de temperatura predeterminado.

10 Aún en otra realización de la presente invención, el método para detectar la formación de hielo requiere antes de la etapa de inyectar un haz luminoso, el método comprende además las etapas de:

15 proporcionar un cuerpo donde va a detectarse formación de hielo, comprendiendo el cuerpo una superficie exterior destinada a recibir una corriente de aire y un volumen aguas abajo de esta superficie exterior dispuesto para protegerse de la corriente de aire;

colocar el al menos un primer detector de fibra óptica en contacto con la superficie exterior del cuerpo y colocar el al menos un segundo detector de fibra óptica en el volumen detrás de la superficie exterior.

20 Aún en otra realización de la presente invención,

la etapa de procesar la señal de salida recibida comprende además calcular la derivada de la temperatura con respecto al tiempo, y

25 la etapa de generar una señal de advertencia comprende generar una de un grupo predeterminado de señales de advertencia, dependiendo del resultado de la derivada de la temperatura con respecto al tiempo.

En esta realización, el método puede usar la derivada de la temperatura con respecto al tiempo para diferenciar entre diferentes acumulaciones de hielo, tipos de hielo y grosores de la capa de hielo.

30 Un objeto adicional de la presente invención es el uso del sistema según cualquiera de las realizaciones descritas en el presente documento, para detectar hielo en uno cualquiera de los siguientes cuerpos: una parte de una aeronave o una línea de transmisión de energía eléctrica.

35 DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Las características y ventajas de esta invención resultarán más evidentes a partir de la siguiente descripción detallada, cuando se lea conjuntamente con los dibujos adjuntos, en los que:

40 La figura 1 muestra, según una realización preferida de la invención, una vista esquemática del sistema para detectar la formación de hielo sobre un cuerpo.

La figura 2 muestra, según una realización preferida de la invención, una vista en sección transversal de los detectores de fibra óptica primero y segundo.

45 La figura 3A muestra el aumento del grosor, en función del tiempo, de la capa de hielo formada sobre el cuerpo donde se dispone el sistema de detección de hielo de la invención, según una realización preferida de la invención.

50 La figura 3B muestra la respuesta simultánea de temperatura de los detectores de fibra óptica primero y segundo cuando el cuerpo atraviesa una burbuja de aire caliente y cuando se deposita agua superenfriada sobre dicho cuerpo, según una realización preferida de la invención.

La figura 3C muestra la diferencia de temperatura entre los detectores de fibra óptica primero y segundo en diferentes condiciones, según una realización preferida de la invención.

55 La figura 4 muestra una vista en sección transversal de una realización de la invención donde el sistema está alojado en una estructura tubular que puede integrarse en el fuselaje o en las alas de una aeronave, posicionarse en la corriente de aire, o encima de líneas eléctricas.

60 La figura 5 muestra una vista esquemática de una realización preferida de la invención donde el sistema para detectar la formación de hielo está ubicado en un ala de aeronave.

La figura 6 muestra una vista esquemática de una realización preferida de la invención, donde cada detector comprende una pluralidad de sensores.

65

REFERENCIAS NUMÉRICAS USADAS EN LOS DIBUJOS

5 Con el fin de facilitar una mejor comprensión de las características técnicas de la invención, las referidas figuras 1-5 se acompañan de una serie de referencias numéricas que, con carácter enunciativo y no limitativo, se representan a continuación en el presente documento:

(1)	Ala
(2)	Primer detector
(3)	Primer sensor de temperatura
(4)	Primera carcasa
(5)	Segundo detector
(6)	Segundo sensor de temperatura
(7)	Segunda carcasa
(8)	Primer detector de fibra óptica
(9)	Segundo detector de fibra óptica
(10)	Módulo electroóptico
(11)	Primer núcleo de fibra óptica
(12)	Primer sensor óptico
(13)	Primer revestimiento de vidrio
(14)	Primer recubrimiento protector
(15)	Primer capilar sellado
(16)	Tapa de cierre
(17)	Elemento de conexión
(18)	Segundo núcleo de fibra óptica
(19)	Segundo sensor óptico
(20)	Segundo revestimiento de vidrio
(21)	Segundo recubrimiento protector
(22)	Segundo capilar sellado
(23)	Borde de ataque del cuerpo
(24)	Volumen interior detrás del borde de ataque
(25)	Sonda de sensor

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

10 En la siguiente descripción, con fines de explicación y no de limitación, se exponen detalles con el fin de proporcionar una comprensión completa de la presente invención. Sin embargo, resultará evidente para los expertos en la técnica que la presente invención puede ponerse en práctica en otras realizaciones que se aparten de estos detalles y descripciones sin apartarse del alcance de la invención. Determinadas realizaciones se describirán a continuación con referencia a los dibujos en los que las características ilustrativas se indican mediante números de referencia.

15 Tal como se describió en secciones anteriores y tal como se representa en las figuras, un objeto principal de la invención se refiere a un sistema para detectar la formación y acumulación de hielo sobre un cuerpo 1, preferiblemente adecuado para determinar la congelación casi instantánea de gotas de agua superenfriada al desestabilizarse, por ejemplo, al impactar contra el cuerpo 1. En general, tal como se muestra en la figura 1, dicho sistema de detección de
20 formación y acumulación de hielo comprende:

un primer detector 2 que comprende a su vez un primer sensor de temperatura 3 y una primera carcasa 4 que rodea el primer sensor de temperatura 3;

25 un segundo detector 5 que comprende a su vez un segundo sensor de temperatura 6 y una segunda carcasa 7 que rodea el segundo sensor de temperatura 6;

30 un módulo electroóptico 10 configurado para generar entradas en los detectores primero y segundo 2, 5 y para recibir mediciones desde los detectores primero y segundo 2, 5 y también está configurado para procesar y transmitir las mediciones.

Se forma un primer volumen de detección V1 entre el primer sensor de temperatura 3 y la primera carcasa 4, y se forma un segundo volumen de detección V2, que es mayor que el volumen V1, entre el segundo sensor de temperatura 6 y la segunda carcasa 7.

5 Por tanto, los detectores primero y segundo 2, 5 tienen diferentes inercias térmicas y, por consiguiente, tienen diferentes respuestas a los gradientes de temperatura. Estas diferentes respuestas a los gradientes de temperatura son importantes para determinar la formación de hielo sobre un cuerpo 1, tal como se detallará más adelante. Los sensores de temperatura primero y segundo 3, 6 pueden incluir, pero sin limitarse a, sensores ópticos tales como sensores de fibra óptica.

La figura 2 ilustra una vista más detallada de un sistema de detección de formación y acumulación de hielo según la invención. Este sistema comprende:

15 detectores de fibra óptica primero y segundo 8, 9, estando adaptado cada uno para realizar mediciones ópticas de temperatura

un módulo electroóptico 10 conectado a los detectores de fibra óptica primero y segundo 8, 9.

20 El módulo electroóptico 10 está configurado de tal manera que genera una señal óptica a través de los detectores de fibra óptica primero y segundo 8, 9 y recibe dichas señales ópticas filtradas por los detectores de fibra óptica 8, 9 para analizar y transmitir posteriormente las mediciones realizadas en dichas señales ópticas.

El primer detector de fibra óptica 8 comprende:

25 un primer núcleo de fibra óptica 11 que comprende un primer sensor óptico 12 sensible a la variación de temperatura;

30 un primer revestimiento de vidrio 13 con un primer diámetro exterior D1 que rodea el primer núcleo de fibra óptica 11, en el que dicho primer revestimiento de vidrio 13 protege el primer núcleo de fibra óptica 11 y permite la reflexión de la luz dentro de dicho primer núcleo de fibra óptica 11;

un primer recubrimiento protector 14 que rodea una parte del primer revestimiento de vidrio 13, evitando el daño al primer revestimiento de vidrio 13.

35 A continuación, se definen tres partes del primer revestimiento de vidrio 13 con el fin de continuar con la definición del primer detector de fibra óptica 8. Por tanto, el primer revestimiento de vidrio 13 comprende:

una primera parte L1 ubicada sobre el primer sensor óptico 12;

40 una segunda parte L2 donde el primer recubrimiento protector 14 rodea el primer revestimiento de vidrio 13; y

una tercera parte L3 en la que el primer revestimiento de vidrio 13 no está rodeado por el primer recubrimiento protector 14, de modo que la primera parte L1 está dispuesta sustancialmente en el medio de dicha tercera parte L3.

45 Además, el primer detector 8 comprende un primer capilar sellado 15 que comprende al menos una tapa de cierre 16 y un elemento de conexión 17 entre el primer recubrimiento protector 14 y el primer capilar sellado 15. El primer capilar sellado 15 está dispuesto alrededor del primer revestimiento de vidrio 13 al menos a lo largo de la primera parte L1 del primer revestimiento de vidrio 13. Además, dicho primer capilar sellado 15, tiene un segundo diámetro interior D2 mayor que el primer diámetro exterior D1. En algunas realizaciones, el elemento de conexión 17 puede comprender una sonda, un adhesivo o una combinación de ambos.

50 El segundo detector de fibra óptica 9 comprende a su vez:

55 un segundo núcleo de fibra óptica 18 que comprende un segundo sensor óptico 19 en su interior, siendo este segundo sensor óptico 19 sensible a la variación de temperatura;

60 un segundo revestimiento de vidrio 20 con un tercer diámetro exterior D3 que rodea el segundo núcleo de fibra óptica 18, en el que dicho segundo revestimiento de vidrio 20 protege el segundo núcleo de fibra óptica 18 y permite la reflexión de la luz dentro de dicho segundo núcleo de fibra óptica 18;

un segundo recubrimiento protector 21 que rodea el segundo revestimiento de vidrio 20, evitando el daño a dicho segundo revestimiento de vidrio 20;

65 un segundo capilar sellado 22 que comprende al menos una tapa de cierre 16, en el que dicho segundo capilar sellado 22 está dispuesto alrededor del segundo revestimiento de vidrio 20, en el que dicho segundo capilar 22 tiene un cuarto diámetro interior D4 mayor que el tercer diámetro exterior D3 y en el que la diferencia entre el cuarto diámetro interior

D4 con el tercer diámetro exterior D3 es mayor que la diferencia entre el segundo diámetro interior D2 con el primer diámetro exterior D1.

Por medio de la configuración descrita, la inercia térmica del primer detector de fibra óptica 8 es menor que la inercia térmica del segundo detector de fibra óptica 9. Por tanto, el primer detector de fibra óptica 8 puede detectar variaciones de temperatura más rápido que el segundo detector de fibra óptica 9. Por tanto, cuando una señal óptica generada por el módulo electroóptico 10 alcanza los sensores ópticos primero y segundo 12, 19, estos sensores ópticos 12, 19 reflejarán parte de dicha señal óptica en función de la temperatura de dichos sensores ópticos primero y segundo 12, 19. De este modo, las señales ópticas filtradas que llegan al módulo electroóptico 10 serán diferentes siempre que la temperatura de dichos sensores ópticos primero y segundo 12, 19 sea diferente. De este modo, mediante el análisis de dichas señales ópticas filtradas, el módulo electroóptico 10 puede calcular la temperatura en la posición en la que se ubican los sensores ópticos primero y segundo 12, 19.

Para obtener el funcionamiento óptimo de dicho sistema de detección de formación y acumulación de hielo, donde un primer detector 8 puede detectar las variaciones de temperatura más rápido que el segundo detector 9, es importante la relación entre las dimensiones de los diferentes elementos de cada detector 8, 9. Por tanto, a continuación se describen diversas realizaciones preferidas de la invención relacionadas con las dimensiones de estos diversos elementos del sistema.

Por un lado, el primer y/o el segundo núcleos de fibra óptica 11, 18 comprenden un diámetro externo de entre 6 y 10 micrómetros. En otra realización preferida de la invención, el primer diámetro exterior D1 y el tercer diámetro exterior D3 están comprendidos entre 0,006 y 0,125 mm. Incluso más preferiblemente, el segundo diámetro interior D2 está comprendido entre 0,13 y 0,25 mm. En otra realización preferida, el cuarto diámetro interior D4 está comprendido entre 0,5 y 1,0 mm. Asimismo, el primer capilar 15 comprende un quinto diámetro exterior D5 comprendido entre 0,25 y 0,5 mm y el segundo capilar 22 comprende un sexto diámetro exterior D6 comprendido entre 2 y 3 mm.

Por otro lado, los sensores ópticos primero y segundo 12, 19 tienen una longitud comprendida entre 2 y 20 mm. De este modo, la primera parte L1 del primer revestimiento de vidrio 13 comprende una longitud de entre 2 y 20 mm. Además, la tercera parte L3 del primer revestimiento de vidrio 13 comprende una longitud de entre 20 y 50 mm. Por tanto, el primer capilar sellado 15 se extiende a lo largo de una longitud comprendida entre 30 y 60 mm.

En otra realización preferida de la invención, el primer recubrimiento protector 14 envuelve el primer revestimiento de vidrio 13 a lo largo de la segunda parte L2 y a lo largo de la tercera parte L3.

En otra realización preferida de la invención, dichos sensores ópticos primero y/o segundo 12, 19 son rejillas de Bragg en fibras, también denominadas FBG o rejillas de fibra de periodo largo, también denominadas LPG.

Otro aspecto relevante de la presente invención se refiere a los materiales usados en algunos elementos. Por tanto, el primer y/o el segundo capilar sellado 15, 22 comprenden uno de los siguientes tipos de materiales: metal, vidrio o polímero. Incluso más preferiblemente, dichos capilares sellados primero y segundo 15, 22 están compuestos por un material térmicamente conductor. De este modo, los sensores primero y segundo 12, 19 capturan mejor la temperatura del entorno.

Con el fin de explicar la funcionalidad de una realización de la invención, a continuación se da a conocer otro objeto de la invención, que se refiere a un método para detectar la formación y acumulación de hielo sobre un cuerpo 1. Dicho método incluye el uso del sistema para detectar la formación de hielo en un cuerpo 1, así como realizar las siguientes etapas:

inyectar un haz luminoso en cada uno de los detectores de fibra óptica primero y segundo 8, 9;

filtrar respectivamente los haces luminosos en al menos los sensores ópticos primero y segundo 12, 19 en función de la temperatura del sensor óptico respectivo 12, 19;

recibir los haces luminosos filtrados respectivos en el módulo electroóptico 10;

procesar los haces luminosos recibidos y calcular una diferencia de temperatura y la derivada de la temperatura con respecto al tiempo;

generar una de un grupo predeterminado de señales de advertencia dependiendo del resultado de la diferencia de temperatura y del resultado de la derivada de la temperatura con respecto al tiempo.

Como resultado de este método, es posible detectar variaciones de temperatura en las regiones donde se ubican los sensores ópticos 12, 19 a través de los detectores de fibra óptica 8, 9 basándose en magnitudes ópticas, de modo que no interfieran electromagnéticamente con otros dispositivos que pueden colocarse alrededor de ellos. Esto es especialmente relevante en sectores como la aeronáutica, turbinas eólicas o líneas de distribución de energía.

El cálculo de la derivada de la temperatura con respecto al tiempo permite la estimación del comportamiento de la capa de hielo, y más particularmente:

la duración de la acumulación de hielo;

la cantidad de acumulación de hielo, estimando con lo mencionado anteriormente, el grosor del hielo; y

el momento exacto en que se detiene la acumulación de hielo.

De hecho, esta última característica es muy importante para el piloto, ya que necesita escapar de la nube de hielo cuando comienza una formación de hielo intensa. La información exacta sobre el final de la acumulación de hielo les da la información para que puedan dejar de escapar de la condición de formación de hielo. Una medida del tiempo de acumulación es el tiempo en el que la pareja de sensores muestra un incremento en la temperatura con respecto a la temperatura antes de la acumulación de hielo. Una medida del grosor del hielo es también la disminución de la señal de temperatura que se debilita debido al crecimiento de la capa de hielo.

Tal como se muestra en las figuras 3A, 3B y 3C, al ubicar los detectores de fibra óptica 8, 9 en el cuerpo 1 donde va a detectarse la formación de hielo y debido a las diferentes inercias térmicas de los detectores primero y segundo 8, 9, este método puede detectar la formación de hielo debido a la congelación de gotas de agua superenfriada. En determinadas condiciones físicas y químicas, el agua puede ser líquida a temperaturas sustancialmente por debajo de su temperatura teórica de cambio de fase de agua pura, alrededor de 0° C a presión atmosférica. En estas condiciones, se dice que el agua está superenfriada. En estas condiciones, una alteración de dicha gota, tal como el impacto de dicha gota de agua superenfriada sobre un cuerpo 1, provoca su congelación casi instantánea, del orden de milisegundos, así como un pico exotérmico debido a la liberación de entalpía. De esta forma, el hielo que se forma está en torno a la temperatura de congelación del agua, en torno a los 0° C a presión atmosférica.

En las figuras 3A a 3C se muestra la relación entre las temperaturas detectadas por los detectores de fibra óptica primera y segundo 8, 9, en que la invención se ha expuesto a cinco periodos de formación de hielo sobre un cuerpo 1. Para este fin, el sistema se ha ubicado tal como se describió anteriormente en el cuerpo 1 donde ha de detectarse la formación de hielo. Por tanto, cuando una gota de agua superenfriada a una temperatura sustancialmente inferior a su temperatura de congelación, en una corriente de aire a la misma temperatura que la gota de agua, incide sobre la superficie del cuerpo 1 donde está ubicado el primer detector de fibra óptica 8, dicha gota de agua superenfriada se congela casi instantáneamente cuando alcanza una temperatura sustancialmente cercana a su temperatura de congelación. De este modo, el primer detector de fibra óptica 8 detecta rápidamente dicho aumento de temperatura, tal como se muestra en los segmentos BC, FG, JK, NO o RS en la línea continua de la figura 3B, mientras que el segundo detector de fibra óptica 9 debido a su mayor inercia térmica, debido a su ubicación protegida de la corriente de aire y debido a que la energía liberada por la gota de agua es sustancialmente menor que la energía contenida en la corriente de aire, el segundo detector de fibra óptica 9 detecta un aumento de temperatura menor, tal como se muestra en los segmentos en línea discontinua BC', FG', JK', NO' o RS' de la figura 3B. De este modo, cuando el módulo electroóptico 10 mide una diferencia de temperatura entre los detectores de fibra óptica primero y segundo 8, 9, tal como se muestra en la figura 3C, envía una señal de alarma del inicio de la formación de hielo sobre el cuerpo 1. Posteriormente, durante la acumulación de hielo sobre el cuerpo 1, el primer detector 8 disminuye lentamente la temperatura detectada debido al aumento de la capa de hielo sobre el cuerpo 1, tal como se muestra en los segmentos respectivos CD, GH, KL, OP y ST de la figura 3C. Durante dichas etapas de acumulación de hielo sobre el cuerpo 1, el segundo detector de fibra óptica 9 aumenta lentamente la temperatura que detecta debido al aumento de la capa de hielo sobre el cuerpo 1, tal como se muestra en los segmentos respectivos CD', GH', KL', OP' y ST' de la figura 3B. Una vez que deja de depositarse agua superenfriada y deja de crecer la capa de hielo sobre el cuerpo 1, esta capa de hielo, dependiendo de su grosor, adquiere rápidamente una temperatura sustancialmente inferior a su punto de congelación, debido a que la temperatura del entorno es sustancialmente inferior a la temperatura de congelación del agua. En esta situación, ambos detectores 8, 9 responden sustancialmente de la misma manera, realizando las mismas mediciones de temperatura simultáneas, tal como se muestra en los segmentos EF, IJ, MN y QR de la figura 3B y 3C.

En el caso de que el cuerpo 1, que está a una temperatura inicial sustancialmente inferior al punto de congelación del agua, se exponga a una burbuja de aire caliente temporal, más caliente que dicha temperatura inicial, los detectores de fibra óptica primero y segundo 8, 9 miden casi simultáneamente el mismo aumento de temperatura, tal como se muestra en la figura 3B. Esto se debe a que las burbujas de aire caliente contienen más energía térmica y transfieren esta energía más rápido al cuerpo 1. De esta manera, se evitan falsas alarmas cuando el cuerpo 1 es atravesado por burbujas de aire caliente.

Aunque la detección de formación de hielo a partir de agua superenfriada es el principal objetivo de la presente invención, el sistema está preparado para detectar otros cambios de fase del agua y/u otras sustancias. Para ello, será evidente que un experto en la técnica ajustaría la diferencia de volumen entre los detectores primero y segundo 2, 5, su posición con respecto al cuerpo 1 o incluso emplearía alguna tecnología de sensor de temperatura diferente de la basada en fibra óptica.

Un tercer objeto de la invención se refiere al uso del sistema para detectar la formación y acumulación de hielo sobre un cuerpo 1 en el sector aeronáutico usando el método explicado. En una realización preferida de la invención, el sistema se instala en una parte de una aeronave elegida entre las siguientes: el fuselaje, las alas y/o en cualquier entrada a un motor de la aeronave.

5 La figura 4 muestra una realización preferida del uso del presente sistema en una sonda de sensor circular 25 donde va a detectarse formación de hielo. Esta sonda 25 tiene un borde de ataque 23 destinado a recibir una corriente de aire en una dirección d1 y un volumen interior 24.

10 En esta realización, ambos detectores primero y segundo 8, 9 están ubicados dentro del volumen 24. El primer detector 8 está ubicado en contacto con el borde de ataque 23 de la sonda 25 y el segundo detector 9 está ubicado aguas abajo del primer detector 8.

15 Mediante esta configuración incrustada de los detectores de fibra óptica 8, 9, el sistema de detección puede aplicarse a diferentes cuerpos sin necesidad de modificarlos con el fin de introducir los detectores de fibra óptica 8, 9.

En otras realizaciones, incluso se instalan más sondas a lo largo de la aeronave, si es necesario.

20 La figura 5 muestra una realización similar, pero en este caso, en el ala 1 de una aeronave. Esta ala 1 comprende un borde de ataque 23 donde incide una corriente de aire en una dirección d1. El ala comprende un volumen interior 24.

En esta realización, el primer detector 8 está ubicado en contacto con el borde de ataque 23 del ala 1, pero fuera del volumen interior 24. El segundo detector 9 está ubicado dentro del volumen 24, aguas abajo del primer detector 8.

25 Ambos detectores de fibra óptica 8, 9 están conectados al módulo electroóptico 10, que transfiere las mediciones y alertas a un piloto de la aeronave con el fin de, si es necesario, activar los sistemas antihielo. En esta realización preferida de la invención, cuando el agua superenfriada incide y se congela sobre el primer detector de fibra óptica 8, se detecta una diferencia de temperatura de varios grados entre el primer y el segundo detector de fibra óptica 8, 9 y, por tanto, el sistema generará una señal de alarma. Por otro lado, cuando pasan a través de una burbuja de aire caliente, ambos detectores de fibra óptica 8, 9 detectarán una temperatura sustancialmente similar, evitando posibles falsas alarmas por parte del sistema.

30

En otras realizaciones preferidas de la invención, este sistema de detección de hielo se usa en el fuselaje de una aeronave, en una pala de una turbina eólica o en cables de transporte eléctrico.

35 La figura 6 muestra otra realización preferida de la invención.

En esta realización, el primer detector 8 también está ubicado en contacto con el borde de ataque 23 del ala 1, pero fuera del volumen interior 24. El segundo detector 9 también está ubicado dentro del volumen 24, aguas abajo del primer detector 8.

40

Sin embargo, la diferencia es que en este caso, el primer detector 8 está dispuesto a lo largo del borde de ataque 23, cubriéndolo completamente, y comprende una pluralidad de sensores 12.1, 12.2, 12.3, 12.4, 12.5. Estos sensores también se distribuyen a lo largo del borde de ataque, estando ubicado cada uno en diferentes valores de línea de cuerda de la superficie aerodinámica.

45

Cada uno de los sensores del primer detector tiene un equivalente en el segundo detector 9, donde cada sensor 19.1, 19.2, 19.3, 19.4, 19.5 está asociado a uno de los sensores del primer detector.

50 Con esta disposición, es posible distinguir entre diferentes tipos de hielo que están relacionados con el tamaño de gota del agua superenfriada que provoca la formación de hielo. Cuanto más extensa es la zona de impacto, mayor son las gotas. Las gotas pequeñas de aproximadamente 10 a 20 micrómetros de diámetro se depositan normalmente sólo en la punta del perfil en la zona A, mientras que las gotas intermedias se depositan en las zonas A y B. Finalmente, las gotas grandes de aproximadamente 100 micrómetros y mayores se depositan a lo largo de la cuerda de todo el perfil en las zonas A, B y C. Estas condiciones de formación de hielo con gotas supergrandes de tamaño igual o mayor de 100 micrómetros son muy críticas para la aviación, porque se acumulan también en zonas del ala o superficies de control que están fuera de las zonas que normalmente están protegidas contra el hielo con parachoques mecánicos/neumáticos o elementos de calentamiento. Aunque las aeronaves que están protegidas contra el hielo con estos dispositivos de seguridad pueden volar durante un tiempo determinado en condiciones de formación de hielo normales con gotas pequeñas, es necesario que el piloto escape lo más rápido posible de zonas con aparición de gotas supergrandes.

55

60

Si hay pequeñas gotas superenfriadas implicadas en la acumulación de hielo, los sensores de fibra óptica en la punta (12.4, 12.5 y los sensores internos 19.4 y 19.5 correspondientes) lo detectarán, mientras que los otros sensores a lo largo de la cuerda no detectarán ninguna acumulación de hielo. Si gotas supergrandes forman el hielo, todos los sensores a lo largo de la cuerda (12.1 a 12.5 y 19.1 a 19.5) detectarán la formación de hielo.

65

5 Para las gotas entre estos dos extremos, menos elementos sensores detectan la acumulación de hielo. Analizando cuál de los pares de sensores de los sensores exterior e interior ha recibido un incremento de temperatura, puede identificarse el tamaño de gota que provoca la acumulación de hielo. Como en las otras realizaciones, los sensores del primer detector (12.1 a 12.5) estarán en contacto más directo con la corriente de aire y la acumulación de hielo y reaccionarán mucho más rápido que los sensores del segundo detector (19,1 to 19,5), que están protegidos por la propia ala 1 y un tubo en cuyo interior se encuentran. Estos sensores pueden instalarse en una o en varias posiciones de la estructura de superficie de control o del ala para tener redundancia en la monitorización de eventos de hielo.

10 En otra realización preferida de la invención, el módulo electroóptico 10 comprende un interrogador óptico.

15 Por medio de la presente invención, se permite medir de manera rápida y precisa la formación y acumulación de hielo sobre un cuerpo 1. Otra ventaja de dicho sistema de detección es que se basa en mediciones ópticas, por lo que no interfiere electromagnéticamente con el entorno y no resulta interferido por él.

REIVINDICACIONES

1. Sistema para detectar la formación de hielo sobre un cuerpo (1) que comprende al menos:
 - 5 un primer detector (2, 8) que comprende un primer sensor de temperatura (3, 12);
 - un segundo detector (5, 9) que comprende un segundo sensor de temperatura (6, 19); y
 - 10 un módulo electroóptico (10) configurado para generar señales de medición de entrada en los detectores primero (2, 8) y segundo (5, 9) para recibir señales de medición desde los detectores primero (2, 8) y segundo (5, 9) y para procesar y transmitir mediciones;
 - estando el sistema caracterizado porque:
 - 15 el primer detector (2, 8) comprende una primera carcasa (4, 15) que rodea el primer sensor de temperatura (3, 12) definiendo un primer volumen de detección (V1) formado entre el primer sensor de temperatura (3, 12) y la primera carcasa (4, 15), estando el primer volumen de detección (V1) lleno de un fluido, tal como aire;
 - 20 el segundo detector (5, 9) comprende una segunda carcasa (7, 22) que rodea el segundo sensor de temperatura (6, 19) definiendo un segundo volumen de detección (V2) formado entre el segundo sensor de temperatura (6, 19) y la segunda carcasa (7, 22), estando el segundo volumen de detección (V2) lleno de un fluido, tal como aire; y porque
 - 25 el primer detector (2, 8) y el segundo detector (5, 9) tienen diferentes inercias térmicas.
2. Sistema según la reivindicación 1 en el que las diferentes inercias térmicas se logran porque el segundo volumen de detección (V2) es mayor que el primer volumen de detección (V1).
3. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el al menos un primer detector es un
 - 30 primer detector de fibra óptica (8) en el que:
 - el primer detector de fibra óptica (8) comprende un primer núcleo de fibra óptica (11);
 - 35 el primer sensor de temperatura está dispuesto en el primer núcleo de fibra óptica (11), siendo el primer sensor de temperatura un primer sensor óptico (12);
 - 40 el primer detector de fibra óptica (8) comprende un primer revestimiento de vidrio (13) que tiene un primer diámetro exterior, estando dispuesto el primer revestimiento de vidrio (13) alrededor del primer núcleo de fibra óptica (11) de tal manera que una primera parte del primer revestimiento de vidrio (13) rodea el primer sensor óptico (12);
 - 45 la primera carcasa es un primer capilar sellado (15) que tiene un segundo diámetro interior, estando dispuesto el primer capilar sellado (15) al menos alrededor de la primera parte del primer revestimiento de vidrio (13), en el que el segundo diámetro interior es mayor que el primer diámetro exterior, y el primer volumen de detección (V1) corresponde al volumen entre el primer diámetro exterior y el segundo diámetro interior;
 - en el que el al menos un segundo detector es un segundo detector de fibra óptica (9) en el que:
 - 50 el segundo detector de fibra óptica (9) comprende un segundo núcleo de fibra óptica (18);
 - 55 el segundo sensor de temperatura está dispuesto en el segundo núcleo de fibra óptica (18), siendo el segundo sensor de temperatura un segundo sensor óptico (19);
 - el segundo detector de fibra óptica (9) comprende un segundo revestimiento de vidrio (20) que tiene un tercer diámetro exterior, estando dispuesto el segundo revestimiento de vidrio (20) alrededor del segundo núcleo de fibra óptica (18);
 - 60 la segunda carcasa es un segundo capilar sellado (22), teniendo este segundo capilar sellado (22) un cuarto diámetro interior, estando dispuesto el segundo capilar sellado (22) alrededor del segundo revestimiento de vidrio (20), siendo el cuarto diámetro interior mayor que el tercer diámetro exterior y correspondiendo el segundo volumen de detección (V2) al volumen entre el tercer diámetro exterior y el cuarto diámetro interior,
 - 65 en el que la diferencia entre el cuarto diámetro interior y el tercer diámetro exterior es mayor que la diferencia entre el segundo diámetro interior y el primer diámetro exterior; y en el que el módulo electroóptico (10) está configurado para generar entradas de luz y para recibir mediciones ópticas desde los detectores de fibra óptica primero y segundo (8, 9) y también está configurado para procesar y transmitir las mediciones ópticas.

4. Sistema según la reivindicación 3, en el que el primer detector y el segundo detector comprenden una pluralidad de sensores de fibra óptica (12, 19), comprendiendo cada sensor de fibra óptica una rejilla de Bragg en fibra o una rejilla de fibra de periodo largo.
5. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 3 o 4, en el que el primer diámetro exterior y el tercer diámetro exterior están comprendidos entre 0,006 y 0,1265 mm, en el que el segundo diámetro interior está comprendido entre 0,13 y 0,25 mm y en el que el cuarto diámetro interior está comprendido entre 0,5 y 1,0 mm,
- en el que el primer capilar (15) del al menos un primer detector de fibra óptica (8) comprende un quinto diámetro exterior comprendido entre 0,25 y 0,5 mm y en el que el segundo capilar (22) sellado del al menos un segundo detector de fibra óptica (9) comprende un sexto diámetro exterior comprendido entre 2 y 3 mm, y
- en el que los sensores ópticos primero y segundo (12, 19) tienen una longitud comprendida entre 2 y 20 mm; y
- en el que el primer capilar sellado (15) comprende un material metálico o polimérico y el segundo capilar sellado (22) comprende vidrio, un polímero o un metal.
6. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5 en el que el al menos un primer detector de fibra óptica (8) comprende:
- un primer recubrimiento protector (14) alrededor de una segunda parte del primer revestimiento de vidrio (13), de tal manera que la segunda parte del primer revestimiento de vidrio (13) está recubierta por el primer recubrimiento protector (14) y una tercera parte del primer revestimiento de vidrio (13) no está recubierta, estando la primera parte sustancialmente en el medio de la tercera parte y estando el primer capilar sellado (15) alrededor de la tercera parte,
- un elemento de conexión (17) entre el primer recubrimiento protector (14) y el primer capilar sellado (15);
- y en el que el al menos un segundo detector de fibra óptica (9) comprende un segundo recubrimiento protector (21) alrededor del segundo revestimiento de vidrio (20).
7. Sistema según la reivindicación anterior, en el que la tercera parte se extiende a lo largo de una longitud comprendida entre 20 y 50 mm, y
- el primer capilar sellado (15) se extiende a lo largo de una longitud comprendida entre 30 y 60 mm.
8. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 6 o 7, en el que el elemento de conexión (17) entre el primer recubrimiento protector (14) y el primer capilar sellado (15) del al menos un primer detector de fibra óptica (8) comprende una sonda o un adhesivo, o una combinación de ambos.
9. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende además una superficie aerodinámica (1, 25) con un borde de ataque (23) destinado a recibir una corriente de aire y un volumen (24) aguas abajo del borde de ataque (23), en el que el primer detector (8) está ubicado en contacto con el borde de ataque (23) de la superficie aerodinámica (1, 25) y el segundo detector (9) está ubicado en el volumen (24), aguas abajo del primer detector (8).
10. Sistema según la reivindicación 9, en el que el primer detector está dispuesto cubriendo al menos una parte del borde de ataque y comprende una pluralidad de sensores (12.1, 12.2, 12.3, 12.4, 12.5), estando ubicados al menos dos sensores en diferentes valores de línea de cuerda de la superficie aerodinámica.
11. Método para detectar la formación de hielo sobre un cuerpo (1) mediante un sistema según las reivindicaciones 1 a 10, estando caracterizado el método porque comprende las siguientes etapas:
- generar una señal de entrada en los detectores primero y segundo (2, 5);
- generar una señal de salida por los sensores de temperatura primero y segundo (3, 6);
- recibir la señal de salida en el módulo electroóptico (10);
- procesar la señal de salida recibida y calcular una diferencia de temperatura;
- generar una señal de advertencia si la diferencia de temperatura es mayor que un umbral de temperatura

predeterminado.

12. Método según la reivindicación 11, que comprende las siguientes etapas:

5 inyectar un haz luminoso en cada uno de los detectores primero y segundo (8, 9), en el que los detectores son detectores de fibra óptica;

10 filtrar respectivamente los haces luminosos en al menos los sensores ópticos primero y segundo (12, 19) en función de la temperatura del sensor óptico respectivo (12, 19);

recibir los haces luminosos filtrados respectivos en el módulo electroóptico (10);

procesar los haces luminosos recibidos y calcular una diferencia de temperatura;

15 generar una señal de advertencia si la diferencia de temperatura es mayor que un umbral de temperatura predeterminado.

13. Método según la reivindicación 12, en el que antes de la etapa de inyectar un haz luminoso, el método comprende además las etapas de:

20 proporcionar un cuerpo (1) donde va a detectarse formación de hielo, comprendiendo el cuerpo (1) una superficie exterior (23) destinada a recibir una corriente de aire y un volumen (24) aguas abajo de esta superficie exterior (23) dispuesto para protegerse de la corriente de aire;

25 colocar el al menos un primer detector de fibra óptica (8) en contacto con la superficie exterior (23) del cuerpo (1) y colocar el al menos un segundo detector de fibra óptica (9) en el volumen (24) detrás de la superficie exterior (23).

14. Método según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, en el que

30 la etapa de procesar la señal de salida recibida comprende además calcular la derivada de la temperatura con respecto al tiempo, y

35 la etapa de generar una señal de advertencia comprende generar una de un grupo predeterminado de señales de advertencia, dependiendo del resultado de la derivada de la temperatura con respecto al tiempo.

15. Uso del sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 o de un método según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 14 para detectar hielo en cualquiera de los siguientes cuerpos: una parte de una

40 aeronave o de una turbina eólica o una línea de transmisión de energía eléctrica.

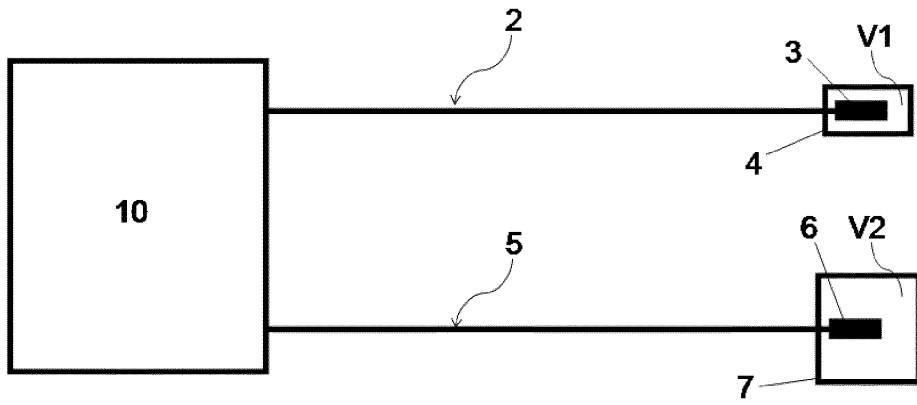


FIG. 1

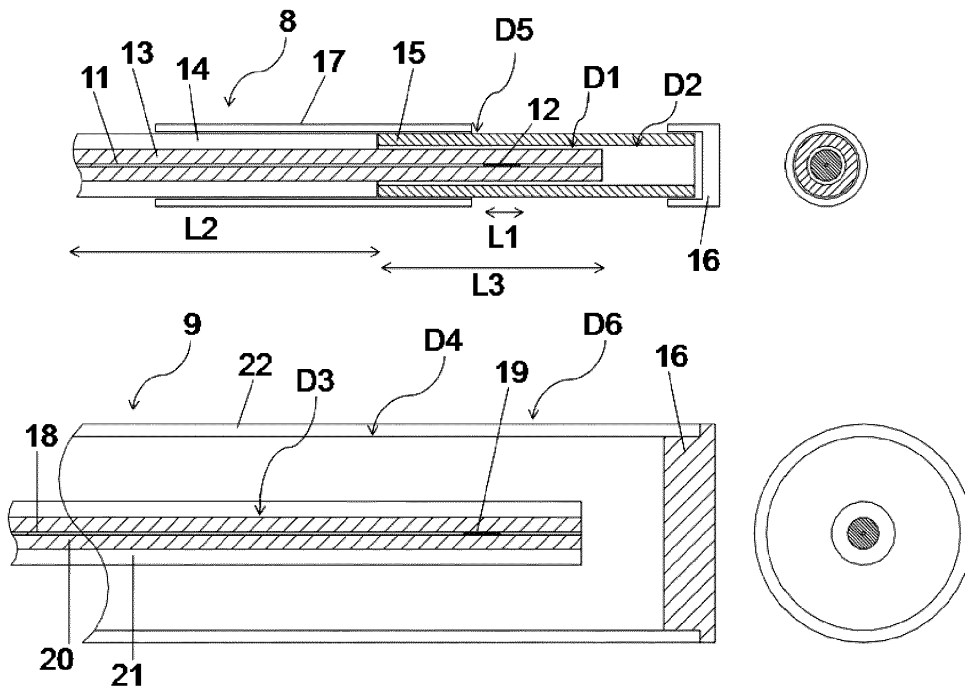


FIG. 2

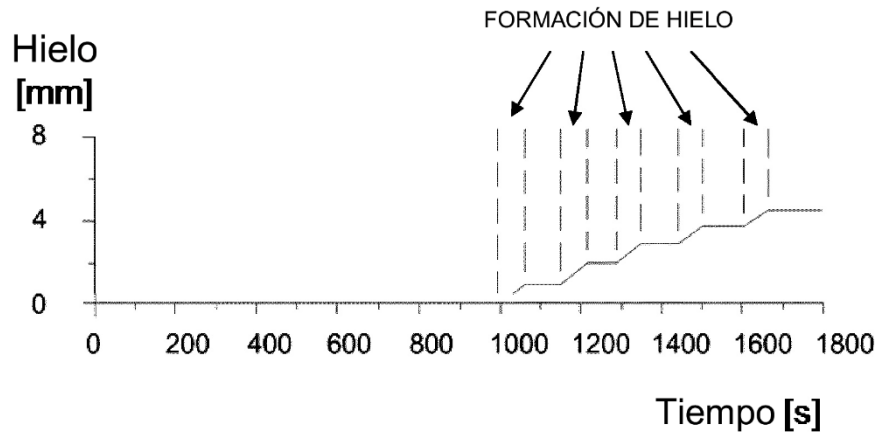


FIG. 3A

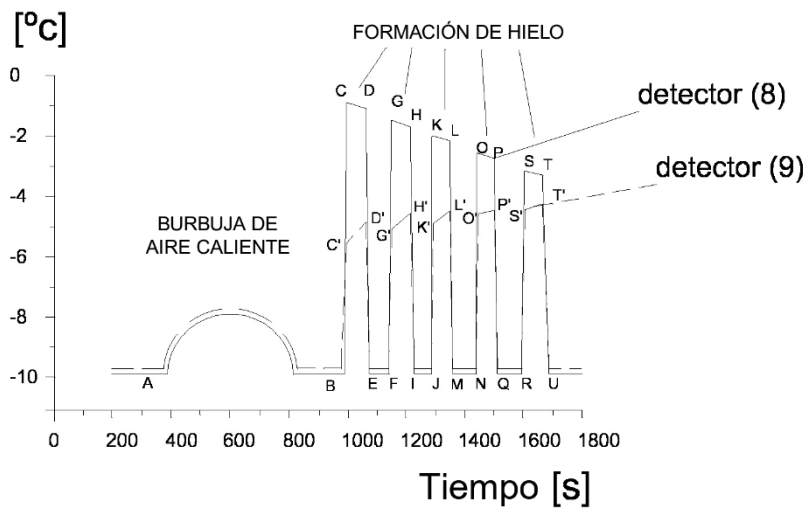


FIG. 3B

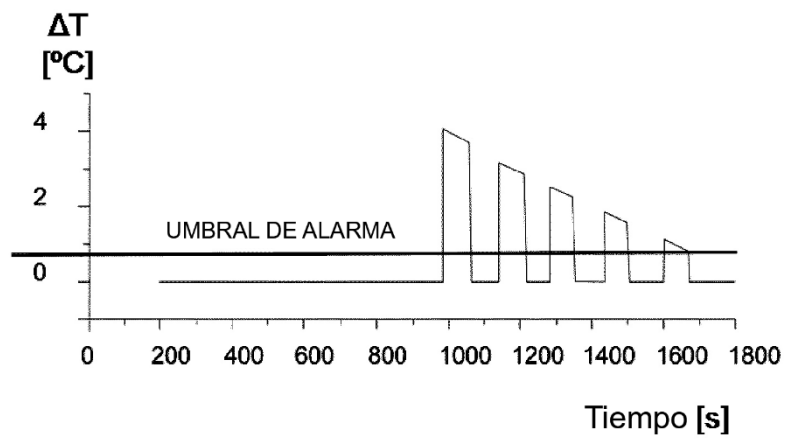


FIG. 3C

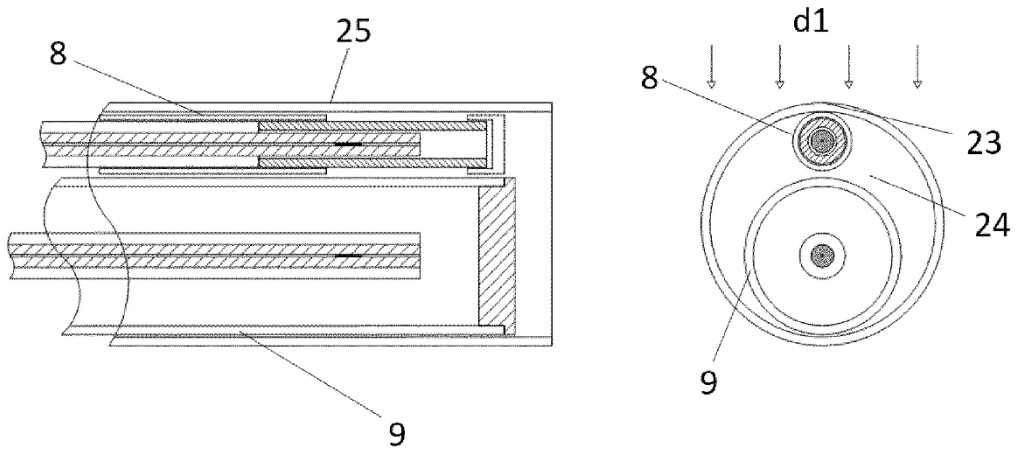


FIG. 4

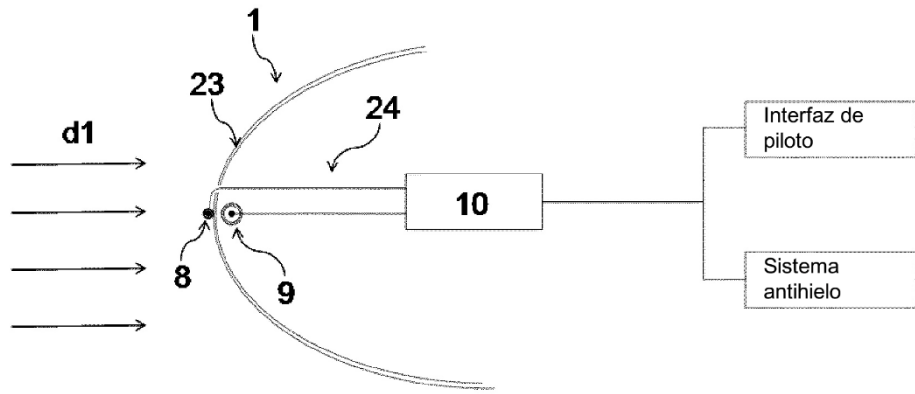


FIG. 5

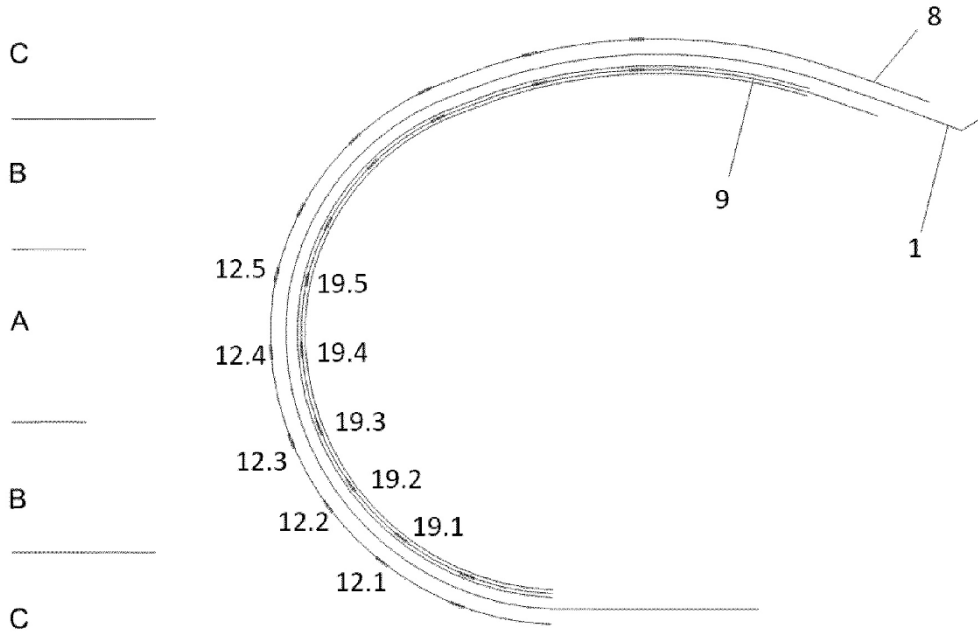


FIG. 6