

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 906 618**

51 Int. Cl.:

G01N 21/55 (2014.01)

G01N 21/47 (2006.01)

G01N 21/359 (2014.01)

G01J 3/10 (2006.01)

H01S 5/00 (2006.01)

G01N 21/39 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.05.2019** **E 19382399 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.11.2021** **EP 3742155**

54 Título: **Procedimiento de detección del estado de condición de la calzada**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
19.04.2022

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID (100.0%)
Parque Científico Universidad Carlos III de,
Madrid Leganés Tecnológico, Avda. Gregorio
Peces Barba, 1
28919 Leganés, Madrid, ES**

72 Inventor/es:

**RUIZ LLATA, MARTA;
ACEDO GALLARDO, PABLO;
BONILLA MANRIQUE, OSCAR, ELÍAS;
POSADA ROMÁN, JULIO, ENRIQUE y
MARTÍN MATEOS, PEDRO**

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 906 618 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

Procedimiento de detección del estado de condición de la calzada

Antecedentes de la invención

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a sensores ópticos basados en técnicas espectroscópicas de reflectancia, y más en particular, a sensores para detectar la presencia de agua, hielo, nieve o similares en la superficie de la calzada y estimar el grado de deslizamiento de la superficie en una región o zona local de la misma.

Descripción de la técnica relacionada

10 Los sistemas para detectar el estado de la superficie de una calzada en regiones específicas se conocen, por ejemplo, en el documento EP 2597454 A1 . En un sistema allí divulgado, se realiza una medición basada en las propiedades del índice de refracción de una región de verificación de la calzada asociada a una condición de estado, es decir, una condición para distinguir entre dos estados de esta región de verificación, como la presencia de una sustancia (por ejemplo, la presencia de agua). El dispositivo está formado por un primer grupo emisor para proporcionar un haz electromagnético altamente monocromático en una primera longitud de onda, y un segundo grupo emisor en una longitud de onda diferente. Ambas longitudes de onda inciden en la región de verificación y parte de la radiación reflejada incide en un fotodetector. La cantidad de luz reflejada en cada longitud de onda depende del estado de la región de verificación. Los medios electrónicos detectan entonces la amplitud de cada longitud de onda en relación con el índice de refracción complejo de la región de la calzada asociado a la presencia de agua, hielo, etc.

20 Sin embargo, un sistema de este tipo que utiliza más de un emisor con diferentes longitudes de onda no puede utilizarse para la medición y/o estimación en tiempo real de las condiciones de la carretera a unos metros o más delante de un vehículo en movimiento, ya que el tiempo de integración requerido por sus medios electrónicos para detectar la amplitud de cada longitud de onda es demasiado largo.

25 Pedro Martin-Mateos et al. en "Espectroscopía de doble peine electro-óptica coherente y precisa de frecuencia en tiempo real", Optics Express, vol. 26, núm. 8, 2018, describe un instrumento de doble peine electroóptico basado en un mecanismo de estabilización de frecuencia y un enfoque de adquisición de interferograma adaptativo diseñado para doble peine electroóptico capaz de operar en tiempo real. Borja Jerez et al en "Arquitectura de peine de frecuencia óptica dual con capacidades desde el visible hasta el infrarrojo medio", Optics Express, vol. 24, núm. 13, 2016, describe una arquitectura de doble peine adaptativa y ágil en frecuencia con capacidades de implementación potenciales desde el infrarrojo medio hasta el ultravioleta cercano. L. Colace et al. en "Un enfoque optoelectrónico de infrarrojo cercano para la detección de las condiciones de la carretera", Óptica y láseres en ingeniería, vol. 51, núm. 5, 2013, describe un enfoque optoelectrónico de infrarrojo cercano para evaluar las condiciones de la carretera basado en la medición de la luz difusa y reflejada bajo iluminación de infrarrojo cercano y la extracción del contraste de polarización después de la reflexión. El artículo de revisión de Scott A. Diddams "El peine de frecuencia óptica en evolución", REVISTA DE LA SOCIEDAD ÓPTICA DE AMÉRICA - B., vol. 27, núm. 11, 2010 describe un sistema espectroscópico que emplea dos peines de frecuencia con sus tasas de repetición ligeramente desafinadas entre sí, en el que uno de los peines actúa como referencia y el otro, actuando como sonda, pasa a través de una muestra en fase gaseosa. Los datos se adquieren del latido heterodino entre los dos peines utilizando un detector y un digitalizador de alta velocidad.

40 **Sumario de la invención**

Para resolver los problemas del estado de la técnica, la presente invención proporciona un sistema y un procedimiento para detectar una condición de estado de la calzada basado en un peine de frecuencia óptica dual de acuerdo con la reivindicación 1. Las realizaciones preferentes están de acuerdo con las reivindicaciones dependientes.

45 Un peine de frecuencia óptica dual (peine dual) es una fuente óptica compuesta por dos peines de frecuencia óptica (OFC). Un OFC es una fuente láser cuyo espectro consiste en una serie de líneas de frecuencia discretas e igualmente espaciadas. También un OFC puede verse en el dominio temporal como una fuente láser pulsada cuya tasa de repetición es constante, siendo la tasa de repetición la inversa de la diferencia de frecuencia entre dos líneas de frecuencia consecutivas. Cuando los haces de los dos OFC (OFC1 y OFC2) del peine dual llegan a un fotodetector se genera una señal S1 cuyo espectro de radiofrecuencia es la heterodinación de los dos OFC.

55 En la presente invención, un haz de un peine dual incide en la región de verificación de una parte del pavimento y parte de la radiación reflejada incide en un fotodetector. La luz reflejada contiene información espectroscópica que es mapeada en el espectro de radiofrecuencia por el fotodetector. Este procedimiento reduce drásticamente los requisitos de respuesta temporal del fotodetector y de los medios electrónicos para obtener la información espectroscópica que se necesitan cuando se utilizan fuentes láser estándar. Como la información espectral puede obtenerse con tiempos de integración bajos, el estado de la carretera puede estimarse con mucha antelación cuando

el vehículo está en movimiento y también se obtiene una mejor resolución espacial cuando el vehículo está en movimiento. Gracias al doble peine óptico, la medición de las características espectroscópicas del pavimento puede realizarse varios metros por delante de un vehículo en movimiento, con una resolución temporal muy inferior a 300µs.

5 **Breve descripción de los dibujos**

Para completar la descripción y proporcionar una mejor comprensión de la invención, se proporciona un conjunto de dibujos. Dichos dibujos ilustran una realización preferida de la invención, que no debe interpretarse como restrictiva del alcance de la invención, sino sólo como un ejemplo de cómo puede llevarse a cabo la invención.

10 La figura 1 muestra un vehículo provisto del sensor de la invención donde (1) es un grupo emisor, (2) es el haz de salida de pulsos ópticos, (3) es la región de verificación del pavimento, (4) es la señal reflejada con información espectroscópica del estado del pavimento de la región de verificación y (5) es el grupo receptor.

La figura 2 muestra los diferentes elementos de los grupos emisor y receptor instalados a bordo del vehículo en movimiento.

15 La figura 3 muestra los espectros ópticos de los dos OFC del peine doble y el espectro de radiofrecuencia (RF) de la detección del peine doble (señal S1).

20 La figura 4 muestra la representación en el dominio del tiempo de los pulsos ópticos de los dos peines junto con la representación en el dominio del tiempo de la señal de RF tras la fotodetección (señal S1). La figura 5 muestra el espectro de absorción del agua y el hielo entre 1400 nm y 2100 nm. Muestra dos regiones de interés del espectro óptico en las que las características de absorción del agua y el hielo son diferentes en torno a dos puntos isosbéticos distintos.

La figura 6 es la implementación de un peine dual basado en un diodo láser (LD) y dos generadores electro-ópticos OFC (OFCG).

Descripción detallada

25 La presente invención proporciona un procedimiento y un sistema para detectar un estado de la calzada. Con referencia a la figura 1, la figura 1 muestra un grupo emisor (1) y un grupo receptor (5). La figura 1 también muestra un haz de salida (2), la región de verificación del pavimento (3), y el haz reflejado (4) con información espectroscópica del estado del pavimento de la región de verificación.

30 La figura 2 muestra los elementos del grupo emisor (1) y del grupo receptor (5) instalados a bordo del vehículo en movimiento. En el grupo emisor, 1.1 es una fuente de doble peine y 1.2 es la óptica del emisor. En el grupo receptor, 5.1 es la óptica receptora, 5.2 es el fotodetector que genera la señal S1 y 5.3 representa los medios electrónicos para obtener el espectro de la señal S1 y clasificar el estado del pavimento.

El peine de frecuencias ópticas dual (peine doble) está formado por dos peines de frecuencias ópticas. La óptica transmite el haz óptico desde el espacio libre a una zona del pavimento llamada región de verificación.

35 El haz de salida del peine dual ilumina un área del pavimento por delante del vehículo (unos 25 metros por delante o más). Esta luz interactúa con la superficie del pavimento y parte de esta luz se refleja hacia el vehículo. La luz retro reflejada contiene información espectroscópica sobre el estado del pavimento (seco, húmedo, helado...). La óptica receptora recoge la luz retro reflejada y la enfoca hacia el fotodetector (es decir, un fotodetector de alta velocidad). La electrónica asociada al fotodetector obtiene el espectro de RF de la señal detectada. En la presente realización, no siendo un procedimiento exclusivo para obtener el espectro de RF de la señal detectada, comprende un sistema de digitalización que muestrea la señal del fotodiodo y luego mediante un Algoritmo de Fourier Rápido o mediante un algoritmo lock-in digital obtiene el espectro de RF que mapea el espectro óptico de la luz detectada que contiene la información espectroscópica del estado del pavimento. El tiempo de adquisición de la detección contiene al menos un tiempo de repetición de la señal de doble peine que es $1/(\Delta f_2 - \Delta f_1)$.

45 La figura 3 muestra el espectro de radiofrecuencia de la detección de peine dual recibido por el fotodetector. Hay un par de líneas de peine dual mapeadas en el espectro de radiofrecuencia. El primer OFC (OFC1) tiene una frecuencia central f_1 y la distancia entre las líneas de frecuencia es Δf_1 , por lo que la línea numerada con 1 tiene una frecuencia $f_1 + \Delta f_1$, la línea numerada con 2 tiene una frecuencia $f_1 + 2 \cdot \Delta f_1$ y así sucesivamente. El segundo OFC (OFC2) tiene una frecuencia central f_2 y la distancia entre las líneas de frecuencia es Δf_2 , por lo que la línea numerada con 1 tiene una frecuencia $f_2 + \Delta f_2$, la línea numerada con 2 tiene una frecuencia $f_2 + 2 \cdot \Delta f_2$ y así sucesivamente. El espectro de RF resultante de la señal S1 tiene una frecuencia central $f = f_2 - f_1$ y una distancia entre líneas de frecuencia $\Delta f = \Delta f_2 - \Delta f_1$, por lo que la línea numerada con 1 tiene una frecuencia $f + \Delta f$, la línea numerada con 2 tiene una frecuencia $f + 2 \cdot \Delta f$ y así sucesivamente. Las frecuencias f_1 y f_2 están en la región óptica del espectro electromagnético, las frecuencias Δf_1 , Δf_2 , f y Δf están en la región de radiofrecuencia del espectro electromagnético.

La figura 4 muestra la representación en el dominio del tiempo de los pulsos ópticos de los dos peines junto con la representación en el dominio del tiempo de la señal de RF después de la fotodetección (señal S1). La tasa de repetición de OFC1 es $1/\Delta f_1$ y la tasa de repetición de OFC2 es $1/\Delta f_2$. La tasa de repetición resultante de la señal S1 es $1/(\Delta f_2 - \Delta f_1)$.

5 En una realización particular, como ejemplo, el agua presenta un pico de absorción a una longitud de onda de 1450 nm, mientras que el hielo también presenta este pico de absorción pero ligeramente desplazado en longitud de onda y con una amplitud ligeramente diferente (Fig.5). Esta es una de las regiones de interés del espectro de absorción que permite la detección de agua y hielo en la superficie del pavimento. Hay otras regiones del espectro donde el agua y el hielo presentan diferentes propiedades de absorción: entre 900 y 1350 nm, entre 1400 y 1800 nm y entre
10 1900 nm y 2100 nm en el infrarrojo cercano. En la presente realización hemos utilizado una fuente de peine doble cuyo par de frecuencias centrales (f_1 y f_2) corresponde a 1470 nm. La diferencia entre f_1 y f_2 está en el rango de la radiofrecuencia (es decir, 40 MHz), por lo que corresponde a una diferencia no relevante en la longitud de onda óptica. La heterodinación de las frecuencias centrales de los dos peines genera una línea de frecuencia f en el espectro de radiofrecuencia de la señal S1, siendo $f = f_2 - f_1$ ($f = 40$ MHz en la realización propuesta). Como f_1 y f_2
15 están muy cerca en el espectro óptico, ambas frecuencias se ven afectadas de la misma manera si la absorción de la región de verificación del pavimento cambia debido a un cambio en el estado del pavimento, por lo que si la absorción aumenta a una longitud de onda de 1470 nm, la amplitud de la línea de frecuencia con frecuencia f de la señal S1 disminuye porque la luz reflejada hacia atrás a una longitud de onda de 1470 nm disminuye.

Un peine dual adecuado para su uso en la presente invención puede comprender dos generadores de peine de frecuencia óptica (OFCG) que utilizan el mismo diodo láser con, por ejemplo, una longitud de onda de 1470 nm (Fig. 6). Como ambos generadores están acoplados, ya que tienen la misma fuente, se produce un peine doble. Una parte de la potencia del láser (es decir, el 50 %) se dirige al primer OFCG. El primer generador de peine de frecuencia óptica está compuesto por al menos un modulador excitado con una frecuencia de RF Δf_1 (20 GHz). Como resultado, el primer OFC tiene un espectro óptico caracterizado por una frecuencia central f_1 (1470 nm) y un
20 número de modos ópticos espaciados Δf_1 (20 GHz). Con un espaciamiento de modos de 20 GHz y 30 líneas para el OFC1, se obtiene un intervalo óptico de unos 4 nm, siendo este intervalo suficiente para obtener información espectroscópica sobre la presencia de agua y hielo en el pavimento superficial.

La otra parte de la potencia emitida por la fuente de luz monocromática de diodo láser se dirige a un segundo OFCG. El segundo generador de peine de frecuencia óptica está compuesto por al menos dos moduladores. Uno se excita con la frecuencia f (40MHz) y el otro con Δf_2 (es decir, 20,0001 GHz). Como resultado, el segundo OFC tiene un espectro óptico caracterizado por una frecuencia central $f_2 = f_1 + 40\text{MHz}$ (1470 nm) y un número de modos ópticos espaciados Δf_2 (20,0001 GHz).
30

Las señales de salida de los dos OFCG se combinan para obtener un peine dual. Dicho peine dual, al ser detectado por el fotodiodo, genera una señal de RF S1. Cada línea en el espectro de RF de la señal S1 es generada por la heterodinación de un par de líneas de ambos OFC. Como se ha dicho antes, la frecuencia central f de la señal S1 se genera por la heterodinación de la frecuencia central f_1 del OFC1 con la frecuencia central f_2 del OFC2. La línea 1 de la señal S1 se genera por la heterodinación de la línea 1 del OFC1 (frecuencia $f_1 + 20$ GHz) con la línea 1 del OFC2 (frecuencia $f_1 + 40$ MHz + 20,0001 GHz), resultando una frecuencia de 40 MHz + 100 kHz. La línea 2 de la señal S1 se genera por la heterodinación de la línea 2 del OFC1 (frecuencia $f_1 + 40$ GHz) con la línea 2 del OFC2 (frecuencia $f_1 + 40$ MHz + 40,0002 GHz), resultando una frecuencia de 40 MHz + 200 kHz. Y así sucesivamente con el resto de los pares de líneas del peine dual. Así, el espectro de RF generado a la salida del detector (señal S1) en la presente realización tiene una frecuencia central de 40 MHz y un espaciado de frecuencias de 0,0001 GHz (100 kHz), considerando 30 pares de líneas el ancho de banda de la señal S1 es de 30 MHz.
40

Como se ha dicho anteriormente las frecuencias centrales f_1 y f_2 de los dos OFC están muy próximas en el espectro óptico, por lo que ambas frecuencias se ven afectadas de la misma manera si la absorción de la región de verificación del pavimento cambia debido a un cambio en el estado del mismo. Lo mismo ocurre con cada par de frecuencias del peine doble, por lo que los cambios del espectro de absorción dentro del ámbito óptico del peine doble debidos a un cambio en el estado del pavimento se reflejan directamente en el espectro de RF de la señal S1. La información espectral sobre el estado del pavimento puede obtenerse a una velocidad máxima igual a la diferencia de frecuencia del peine doble (100kHz en la presente realización), lo que proporciona una resolución temporal de $1/100$ kHz = 10 μ s. Se obtiene una mayor relación señal/ruido promediando varios ciclos de peinado dual. La presente invención proporciona una resolución espacial de 1 cm a una velocidad de vehículo de 120 km/h (300 μ s de tiempo de integración requerido) promediando 30 ciclos de peine dual.
50

El estado del pavimento puede obtenerse directamente del espectro de RF de la señal S1, ya que es una copia del espectro de reflectancia difusa del pavimento. En la presente realización, las frecuencias centrales f_1 y f_2 están cerca de un punto isobéptico en el espectro de absorción del agua y del hielo (1470 nm). La presencia de agua o hielo puede detectarse comparando la amplitud de la línea de frecuencia $f = f_2 - f_1$ con una amplitud de referencia para el pavimento en estado seco. Una vez que se detecta agua o hielo en la superficie del pavimento, el estado del mismo puede determinarse calculando las relaciones de las amplitudes de las frecuencias en torno a la frecuencia central f . Por ejemplo, suponiendo el espectro de RF del peine doble como el representado en la figura 3 , si la relación (amplitud de la línea espectral número 3) / (amplitud de la línea espectral número - 3) está por encima de un
60

umbral indica un estado húmedo, mientras que si está por debajo del umbral indica la presencia de hielo en la superficie del pavimento.

Otras ventajas de la invención son:

5 - Permite adquirir información espectroscópica sin elementos ópticos difractivos o cualquier otro componente óptico que requiera alineación óptica, lo que hace que sea un sistema robusto para aplicaciones en el vehículo como el Sistema Avanzado de Asistencia al Conductor (ADAS) o los vehículos autónomos.

- Emisión óptica pulsada, que permite pulsos ópticos de alta potencia de pico manteniendo los niveles de radiación de seguridad para los ojos (baja potencia óptica media).

10 - La disposición permite el uso de una cámara de vídeo para la detección de la señal de doble peine, proporcionando una resolución espacial sobre el estado del pavimento. En este caso, los parámetros del peine dual ($f = f_2 - f_1$ y $\Delta f = \Delta f_2 - \Delta f_1$) deben elegirse de forma que la heterodina de las líneas de peine genere frecuencias dentro del ancho de banda de la cámara de vídeo (es decir, $f = 5\text{Hz}$ y $\Delta f = 1\text{Hz}$)

15 Tal y como se utiliza en el presente documento, el término "comprende" y sus derivaciones (como "que comprende", etc.) no deben entenderse en un sentido excluyente, es decir, estos términos no deben interpretarse como que excluyen la posibilidad de que lo descrito y definido pueda incluir más elementos, pasos, etc.

Por otra parte, la invención no se limita, obviamente, a la(s) realización(es) específica(s) aquí descrita(s), sino que también abarca cualquier variación que pueda ser considerada por cualquier experto en la materia (por ejemplo, en lo que se refiere a la elección de materiales, dimensiones, componentes, configuración, etc.) para estar dentro del alcance general de la invención tal como se define en las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de determinación del estado seco, húmedo o helado del pavimento de la calzada en una región de verificación específica (3) por delante de un vehículo, que comprende las etapas de:
 - la generación, con una fuente óptica (1) que consta de dos peines de frecuencia óptica:
 - 5 - un primer peine de frecuencia óptica con una frecuencia central f_1 y un intervalo de frecuencias de $n \cdot \Delta f_1$, siendo n el número de líneas del peine y Δf_1 el espaciado entre líneas del peine, en el que el ancho de banda espectral del peine cubre una región del espectro en la que la parte imaginaria del índice de refracción complejo de agua y hielo se cruzan entre sí;
 - 10 - un segundo peine de frecuencia óptica con una frecuencia central f_2 y un intervalo de frecuencias de $m \cdot \Delta f_2$, siendo m el número de líneas del peine y Δf_2 el espaciado entre las líneas del peine, en el que el ancho de banda espectral del segundo peine se superpone al ancho de banda espectral del primer peine, en el que las frecuencias f_1 y f_2 están en la región óptica del espectro electromagnético, y las frecuencias Δf_1 , Δf_2 , $f = f_2 - f_1$ y $\Delta f = \Delta f_2 - \Delta f_1$ están en la región de radiofrecuencia del espectro electromagnético;
 - 15 - combinar las señales de salida de los dos peines para obtener un haz de peine dual (2) y dirigir dicho haz (2) (2) hacia la región de verificación;
 - recibir una señal retro reflejada (4) en un fotodetector (5.2) después de que dicho haz (2) haya incidido en la región de verificación (3);
 - 20 - emitir una señal eléctrica S_1 , con un ancho de banda BW ,
 - obtener el espectro de radiofrecuencia de la señal S_1 ,
 - comparar la amplitud de la línea de frecuencia $f = f_2 - f_1$ con una amplitud de referencia para el pavimento en estado seco;
 - si esta amplitud es diferente de la amplitud de referencia, entonces,
 - 25 - calcular las relaciones de las amplitudes de las líneas de frecuencia alrededor de la frecuencia central f ;
 - evaluar el estado del pavimento como "húmedo" si la relación está por encima de un umbral y como "hielo" si está por debajo del umbral.
2. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que:
 - 30 - la diferencia de las frecuencias de los dos peines ($|f_2 - f_1|$) es igual al ancho de banda de la frecuencia central del fotodetector (5.2),
 - el heterodino del primer peine y segundo peine generan frecuencias dentro del ancho de banda del fotodetector (5.2).
3. El procedimiento según las reivindicaciones 1 o 2, en el que la fuente óptica (1) utiliza el mismo diodo láser para generar el peine de frecuencia óptica doble.
- 35 4. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la frecuencia central f_1 y la frecuencia central f_2 están en una región del espectro en la que el índice de refracción complejo de agua y de hielo se cruzan entre sí.
- 40 5. El procedimiento según la reivindicación 4, en el que la frecuencia central f_1 y la frecuencia central f_2 se encuentran en uno de los rangos entre 900 y 1350 nm, entre 1400 y 1800 nm y entre 1900 nm y 2100 nm en el infrarrojo cercano.

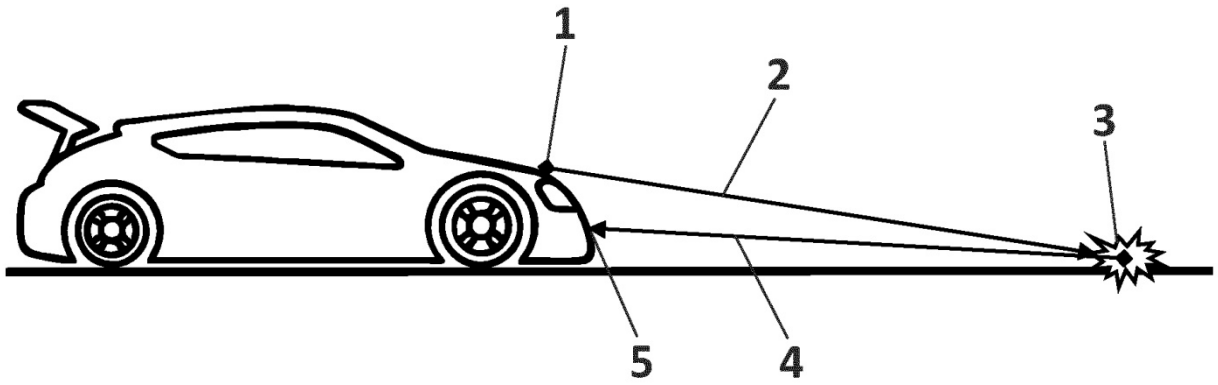


FIG. 1

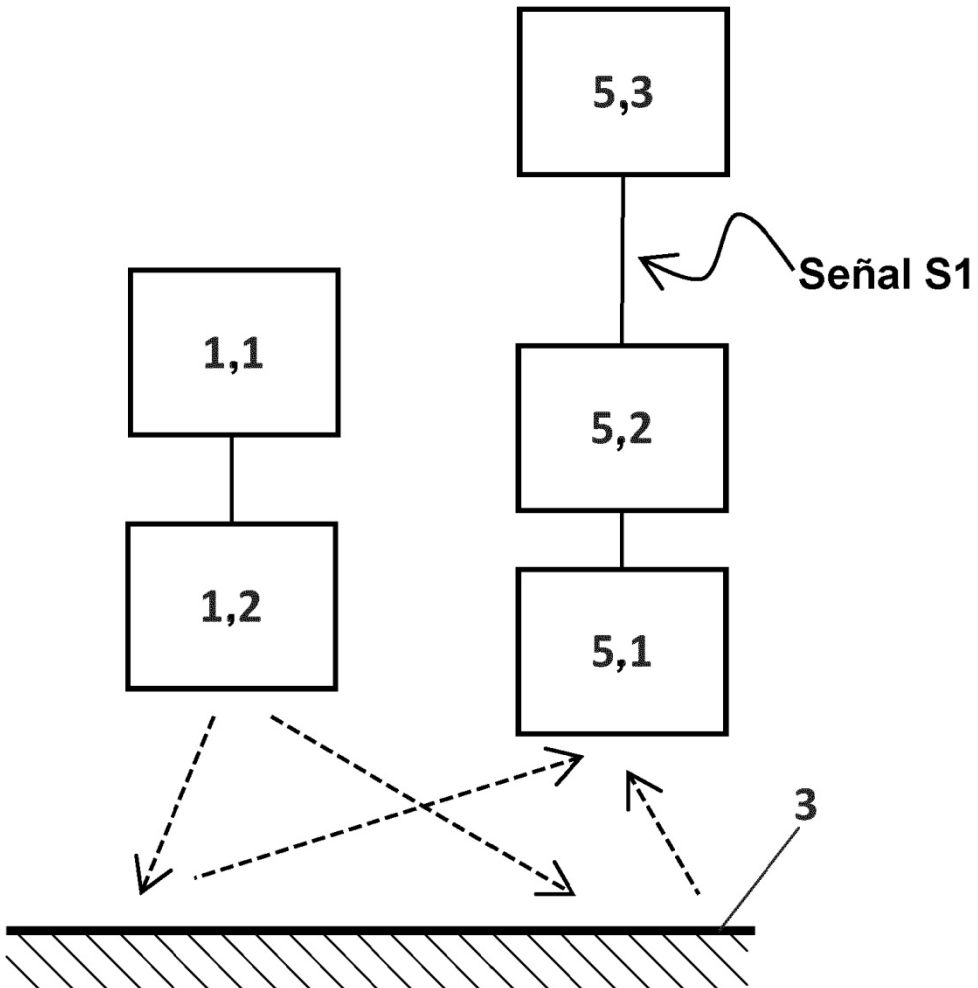


FIG. 2

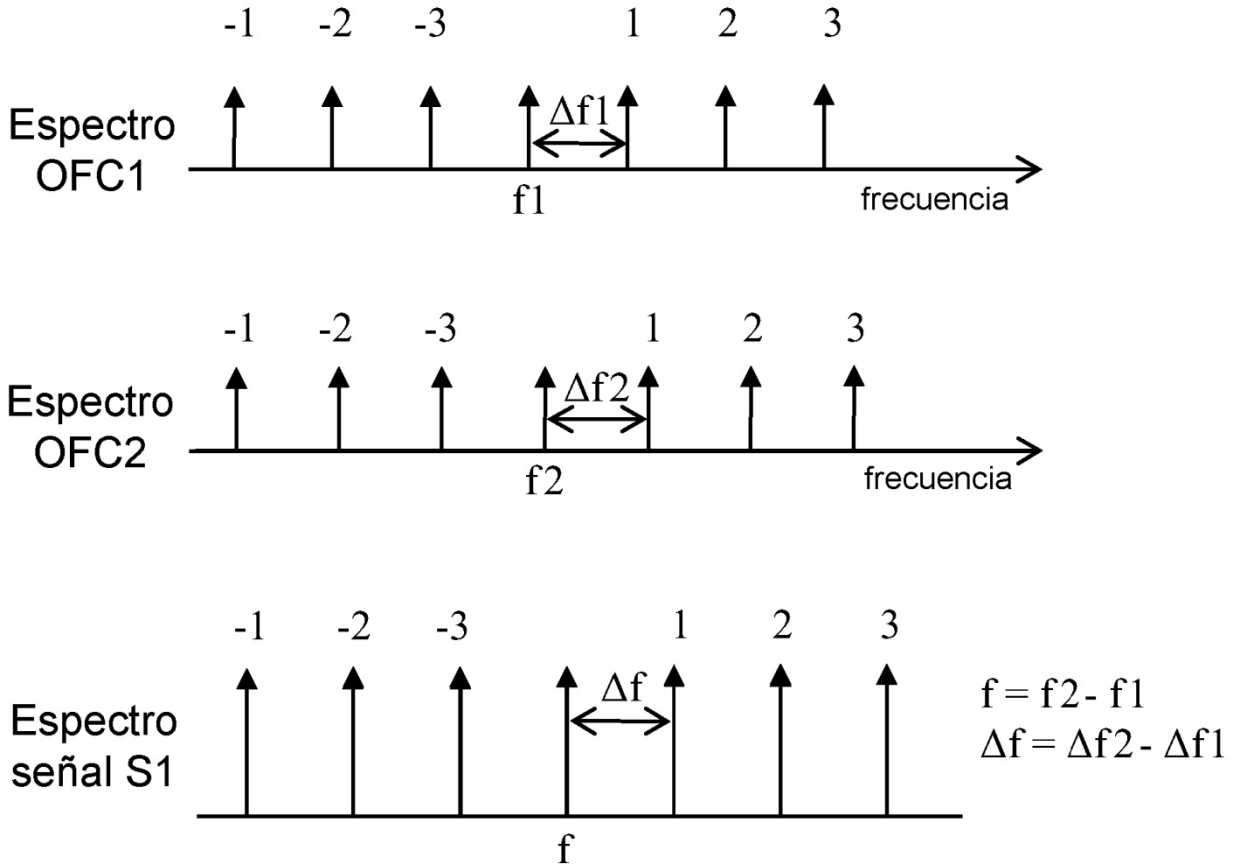


FIG. 3

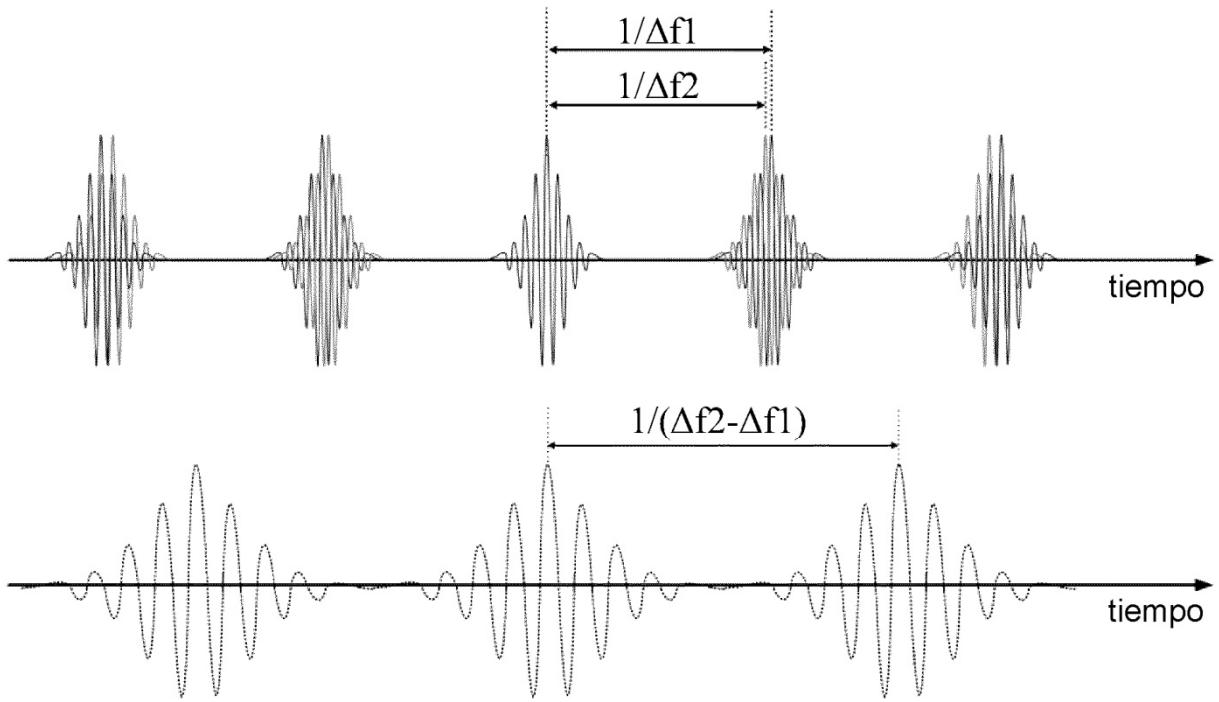


FIG. 4

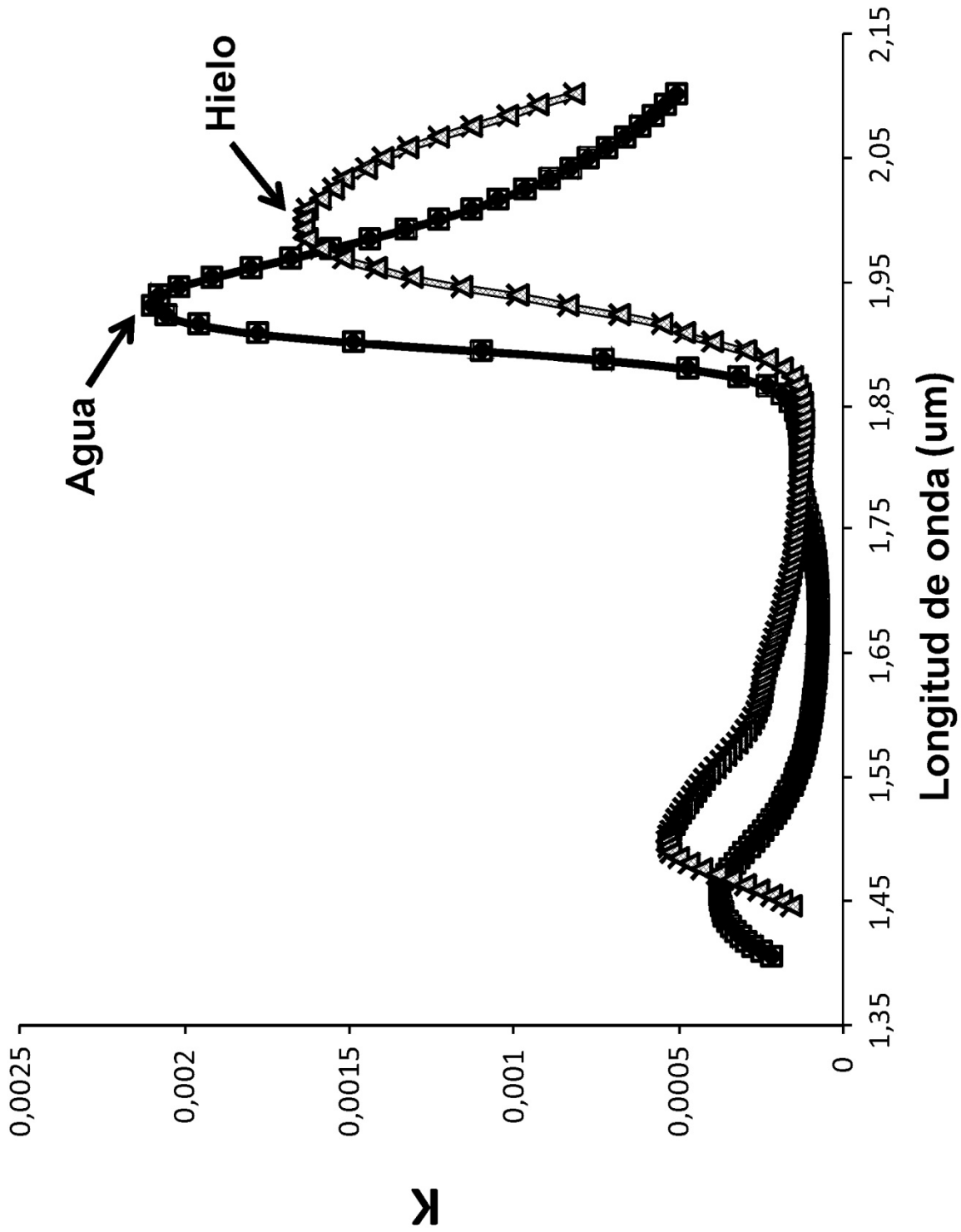


FIG. 5

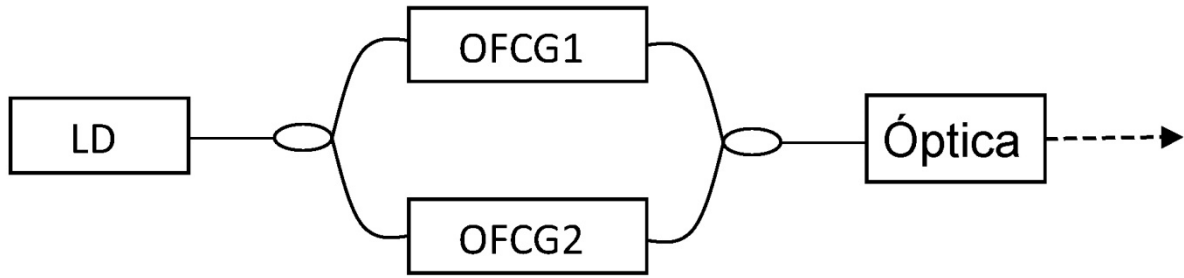


FIG. 6