

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 731 673**

51 Int. Cl.:

**G06F 3/01** (2006.01)

**G06F 3/16** (2006.01)

**H04S 7/00** (2006.01)

**H04R 1/40** (2006.01)

**G06F 3/043** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.02.2016 PCT/GB2016/050421**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.08.2016 WO16132144**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.02.2016 E 16708197 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.04.2019 EP 3259653**

54 Título: **Procedimiento para producir un campo acústico en un sistema háptico**

30 Prioridad:

**20.02.2015 US 201562118560 P**

**16.07.2015 US 201562193234 P**

**18.08.2015 US 201562206393 P**

**05.01.2016 US 201662275216 P**

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

**18.11.2019**

73 Titular/es:

**ULTRAHAPTICS IP LTD (100.0%)**

**The West Wing, One Glass Wharf**

**Bristol BS2 0EL, GB**

72 Inventor/es:

**LONG, BENJAMIN JOHN OLIVER;**

**CARTER, THOMAS ANDREW;**

**SUBRAMANIAN, SRIRAM;**

**BLINKINSOPP, ROBERT CHARLES;**

**SEAH, SUE ANN y**

**FRIER, WILLIAM THIERRY ALAIN**

74 Agente/Representante:

**DURAN-CORRETJER, S.L.P**

ES 2 731 673 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 para producir un campo acústico en un sistema háptico

5 APLICACIÓN RELACIONADA

SECTOR DE LA INVENCION

La presente invención se refiere, en general, a técnicas de percepción mejoradas en sistemas hápticos.

10

**ANTECEDENTES**

Las superficies multitáctiles son cada vez más comunes en entornos públicos, con grandes pantallas que aparecen en los vestíbulos de hoteles, centros comerciales y otras zonas de alto tránsito peatonal. Estos sistemas pueden cambiar de manera dinámica su interfaz, lo que permite a múltiples usuarios interactuar al mismo tiempo y con muy poca instrucción.

15

Existen situaciones en las que recibir una retroalimentación háptica antes de tocar la superficie sería beneficioso. Estas incluyen cuando la visión de la pantalla está restringida, tal como durante la conducción, y cuando el usuario no quiere tocar el dispositivo, tal como cuando tiene las manos sucias. Proporcionar retroalimentación sobre la superficie también permitiría un canal de información adicional, junto con la visual.

20

Un sistema de retroalimentación háptica en el aire crea sensaciones táctiles en el aire. Una manera de crear retroalimentación háptica en el aire es mediante ultrasonido. Un grupo en fase de distribución continua de energía sonora, que se denominará en el presente documento "campo acústico", es útil para un rango de aplicaciones, incluyendo la retroalimentación háptica.

25

Por consiguiente, es deseable un sistema que proporcione diversas técnicas de percepción mejoradas para la retroalimentación háptica por encima de superficies interactivas, y que no requiera contacto con herramientas, accesorios o con la propia superficie.

30

La solicitud de Patente de GB N° GB2513884A da a conocer un procedimiento para producir un campo acústico a partir de un grupo de transductores, que comprende definir una serie de puntos de control con una relación espacial conocida con respecto al grupo de transductores; asignar una amplitud a cada punto de control; calcular un conjunto que contiene elementos que representan, para cada punto de control, el efecto que tiene producir un campo acústico, modelado con la amplitud asignada con una fase concreta en el punto de control, sobre la amplitud y la fase resultante del campo en los otros puntos de control; determinar los vectores propios del conjunto, representando cada vector propio un conjunto de fases y amplitudes relativas del campo acústico modelado en los puntos de control; y seleccionar uno de los conjuntos y el funcionamiento del grupo de transductores para hacer que uno o varios transductores emita una onda acústica, cada una con una amplitud y fase iniciales, de tal manera que las fases y amplitudes del campo acústico resultante en los puntos de control se correspondan con las del conjunto seleccionado. Las ondas acústicas pueden ser ondas ultrasónicas, y pueden proporcionar una retroalimentación háptica, tal como producir sensaciones táctiles de objetos virtuales o proyectar Braille sobre la mano de un usuario, o se pueden utilizar para hacer levitar objetos pequeños.

35

40

45

**BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

Las figuras adjuntas, en las que números de referencia similares se refieren a elementos idénticos o funcionalmente similares en todas las vistas separadas, junto con la descripción detallada que se muestra a continuación, están incorporadas y forman parte de la memoria descriptiva, y sirven para mostrar realizaciones adicionales de conceptos que incluyen la invención reivindicada, y explican diversos principios y ventajas de esas realizaciones.

50

La figura 1 es una representación de formas realizadas en un sistema háptico.

55

La figura 2 es una ilustración de una serie de ejemplo de cinco puntos de control hápticos producidos de manera simultánea en el plano de interacción.

La figura 3 es una selección de simulaciones de campo acústico, en la que el punto de control es desplazado a través del plano de interacción.

60

La figura 4 es una vista ilustrativa de transductores no restringidos y restringidos.

Los expertos en la técnica apreciarán que los elementos en las figuras se muestran por sencillez y claridad y no necesariamente han sido dibujados a escala. Por ejemplo, las dimensiones de algunos de los elementos en las figuras pueden estar exageradas con respecto a otros elementos, para ayudar a mejorar la comprensión de las realizaciones de la presente invención.

65

Los componentes del aparato y del procedimiento han sido representados, según corresponda, mediante símbolos convencionales en los dibujos, mostrando solo aquellos detalles específicos que son pertinentes para comprender las realizaciones de la presente invención, a fin de no oscurecer la invención con detalles que serán fácilmente evidentes para los expertos en la técnica que tengan el beneficio de la descripción del presente documento.

## DESCRIPCIÓN DETALLADA

### I. Dificultades para crear campos acústicos en sistemas hápticos

Controlar un campo acústico mediante la definición de uno o varios puntos de control en un espacio dentro del cual puede existir el campo acústico, es conocido. A cada punto de control se le asigna un valor de amplitud que equivale a la amplitud deseada del campo acústico en el punto de control. A continuación, los transductores son controlados para crear un campo acústico que muestre la amplitud deseada en cada uno de los puntos de control.

#### A. Propiedades de la mano humana

La vibración es detectada mediante receptores mecánicos en el interior de la piel. Los receptores mecánicos en el interior de la piel son sensibles a las vibraciones en el rango comprendido entre 0,4 Hz y 500 Hz. El ultrasonido emitido puede ser modulado para crear vibraciones dentro del rango de frecuencias óptimo detectable por la mano humana. Cambiando la frecuencia de modulación, también puede cambiar la frecuencia de la vibración sobre la mano, y esto se puede utilizar para crear diferentes propiedades táctiles. Modular diferentes puntos focales a diferentes frecuencias puede dar a cada punto de retroalimentación su propia "percepción" independiente. De esta manera es posible correlacionar las retroalimentaciones háptica y visual, y también añadir un significado a texturas notablemente diferentes, para que la información pueda ser transferida al usuario a través de la retroalimentación táctil.

De manera específica, cuando la piel humana interactúa con el campo acústico, las vibraciones de la piel son interpretadas mediante la excitación de los receptores mecánicos y el envío de señales al cerebro por parte de los mismos a través del sistema nervioso. Por ejemplo, la superficie de la palma de la mano tiene 4 tipos diferentes de receptores mecánicos, cada uno de los cuales responde a un rango diferente de frecuencias. La fuerza necesaria para activar cada uno de estos receptores varía con la frecuencia de la vibración. Por ejemplo, el corpúsculo de Pacini tiene su umbral de activación más bajo en aproximadamente 200 Hz, mientras que el corpúsculo de Meissner es más sensible entre 10 Hz y 50 Hz.

Estos receptores están distribuidos en diferentes tejidos en la piel. Por ejemplo, una vibración de 200 Hz no se percibirá tan intensamente en las puntas de los dedos como en la palma de la mano, debido a que existe una concentración mayor del corpúsculo de Pacini en la mano.

Los sistemas de retroalimentación háptica ultrasónica crean una percepción vibro-táctil sobre la piel de un usuario del sistema. El ultrasonido enfocado crea suficiente fuerza en el punto de intersección para desplazar ligeramente la piel de un usuario. Habitualmente, los sistemas de retroalimentación háptica de ultrasonido utilizan un ultrasonido con una frecuencia de 40 kHz o superior, que está por encima del umbral para que los receptores en la piel lo perciban. Por lo tanto, un usuario solo puede detectar el inicio y el cese de dicho ultrasonido focalizado. Para proporcionar una percepción detectable por los receptores en la piel, el ultrasonido enfocado es modulado a una frecuencia más baja, dentro del rango detectable de los receptores. Este rango está comprendido, habitualmente, entre 1 Hz y 500 Hz.

Cuando se crea un sistema con retroalimentación táctil en el aire, es importante seleccionar la frecuencia correcta de vibración para la parte de la piel a la que se dirige. Por ejemplo, si se dirige a la mano, una frecuencia de vibración de 110 Hz es una buena opción, ya que se puede percibir en todas las partes de la mano, aunque para diferentes grados de fuerza.

#### B. Transmisión de señales ultrasónicas para retroalimentación háptica

Se pueden crear sensaciones táctiles sobre la piel humana utilizando un grupo de transductores ultrasónicos en fase, para ejercer una fuerza de radiación acústica sobre un objetivo en el aire. Las ondas ultrasónicas son transmitidas por los transductores, estando ajustada la fase emitida por cada transductor de tal manera que las ondas lleguen simultáneamente al punto objetivo para maximizar la fuerza de radiación acústica ejercida.

Definiendo uno o varios puntos de control en el espacio, se puede controlar el campo acústico. A cada punto se le puede asignar un valor que equivale a una amplitud deseada en el punto de control. Un conjunto físico de transductores se puede controlar para crear un campo acústico que muestre la amplitud deseada en los puntos de control.

Un efecto colateral de esta técnica es que el ultrasonido se descompone y crea un sonido a la frecuencia de

modulación. Por lo tanto, cuando se crea retroalimentación táctil con una frecuencia de modulación de 200 Hz, también se produce un sonido de 200 Hz. Este sonido, audible, puede ser molesto para los usuarios, y puede suponer una barrera para la adopción de la tecnología háptica ultrasónica.

5 Las condiciones óptimas para producir un campo acústico de una sola frecuencia se pueden crear asignando coeficientes de activación para representar el estado inicial de cada transductor. Sin embargo, para crear retroalimentación háptica, el campo puede ser modulado con una señal de una frecuencia potencialmente más baja. Por ejemplo, un campo acústico de 40 kHz puede ser modulado con una frecuencia de 200 Hz para conseguir un efecto vibro-táctil de 200 Hz. Los procedimientos para generar este efecto vibro-táctil pueden reducir el contenido audible al interpolar de manera continua los coeficientes de activación de los transductores entre conjuntos discretos y disjuntos de puntos de control, dando como resultado variaciones continuas de la amplitud sinusoidal en las ubicaciones de los puntos de control. Estas variaciones de la amplitud sinusoidal hacen que se genere un tono puro. Un tono puro, aunque mucho más bajo en el volumen perceptivo que el contenido de frecuencia dispar causado por el cambio brusco del estado de los transductores, sigue siendo audible.

15 Es conocido que la forma de onda de modulación puede ser configurada para reducir el volumen del ruido audible que se crea. En general, reducir y evitar cambios bruscos en el nivel de presión en el foco reducirá el volumen del sonido audible. Por ejemplo, la modulación con una onda cuadrada pura producirá un sonido audible de mayor volumen que la modulación con una onda sinusoidal pura.

20 Además, en este campo acústico, se pueden definir uno o varios puntos de control. Estos puntos de control pueden ser modulados en amplitud con una señal y, como resultado, producen retroalimentación vibro-táctil en el aire. Un procedimiento alternativo para producir retroalimentación es crear puntos de control que pueden no estar modulados en amplitud y, en cambio, estar desplazados espacialmente para crear una modulación espacio-temporal que se pueda percibir. Ambos procedimientos se pueden utilizar por separado o juntos, para producir sonidos y texturas diferentes.

## II. Crear una percepción uniforme en un sistema háptico

### 30 A. Pasos para crear una retroalimentación háptica optimizada

Los pasos para crear una retroalimentación háptica optimizada utilizando frecuencias multiplexadas incluyen lo siguiente:

- 35 1. Conociendo la distribución y el rango de respuesta en frecuencia de los receptores en la piel, crear una retroalimentación perceptiblemente uniforme.
2. Seleccionar una frecuencia que esté en el rango de todos los receptores.
- 40 3. Optimizar las frecuencias de vibración para no solo ser perceptibles, sino también ser la mejor frecuencia de vibración posible para una percepción intensa o de alta calidad.
4. Ajustar de manera dinámica la frecuencia de vibración para estar siempre en la frecuencia óptima.
- 45 5. Multiplexar múltiples frecuencias para crear una vibración que proporcione un nivel óptimo de intensidad y calidad en toda la zona objetivo.

### B. Optimización de la retroalimentación háptica

50 Con el fin de optimizar la calidad y la intensidad percibida de la retroalimentación, es posible variar de manera dinámica la frecuencia de vibración a medida que se lleva a cabo la interacción. Por ejemplo, en la situación de un umbral táctil, en la que una mano pasa a través de algún plano fijo y tiene una línea de vibración creada en la intersección de la mano y ese plano, la frecuencia de la vibración puede ser ajustada en tiempo real, para optimizar la zona de la mano que está vibrando actualmente. Una posibilidad es que los dedos reciban una vibración de 100 Hz mientras que el centro de la palma recibe una vibración de 200 Hz.

Este ajuste dinámico también es posible con múltiples puntos de retroalimentación. Por ejemplo, un conjunto de pulsadores en el aire puede estar representado por un punto localizado de vibración en el aire para cada pulsador. Cuando se mueve una mano sobre el conjunto de pulsadores para explorar su posición y orientación, la frecuencia de vibración de cada pulsador podría ser ajustada en tiempo real para coincidir con la frecuencia óptima para la parte de la mano a la que está dirigida.

65 Existen, asimismo, muchas situaciones en las que el ajuste dinámico no es posible o no es deseable. Por ejemplo, el sistema de seguimiento puede no ser sofisticado para determinar partes discretas de la mano, o la potencia de procesamiento necesaria puede ser demasiado alta.

En estas situaciones, puede ser posible multiplexar frecuencias para proporcionar una cobertura uniforme a través de la zona de la piel a la que se dirige. Por ejemplo, cuando se dirige a una mano, un punto de retroalimentación puede ser multiplexado con 100 Hz y 200 Hz. La palma respondería con intensidad a la componente de 200 Hz, mientras que las puntas de los dedos responderían con mayor intensidad a la componente de 100 Hz. Con ello, se establece un punto de retroalimentación que puede ser percibido de manera uniforme en la mano.

### III. Crear formas y esquinas distintas

La utilización de vibraciones para generar formas hápticas en el aire conduce a dificultades con las esquinas. Se ha demostrado que la detección háptica de un borde requiere un desplazamiento de la piel (estiramiento) altamente localizado, y, en las frecuencias ultrasónicas utilizadas actualmente, esto no es posible. Los bordes pueden ser detectados de manera fiable, pero las esquinas no son lo suficientemente grandes para ser fácilmente reconocibles.

La utilización de puntos de alta presión en el campo ultrasónico transmite vibraciones, y se denominan "puntos de control". Proporcionan una retroalimentación local en una zona alrededor de una longitud de onda en un diámetro pequeño (tal como 8,6 mm a 40 kHz). Los puntos de control pueden estar dispuestos en el espacio 3D de manera programática, para crear la percepción de una forma en el espacio.

Existe una densidad máxima de facto para los puntos de control de aproximadamente dos longitudes de onda (~2 cm a 40 kHz) separadas, ya que los decrecientes retornos de fidelidad son cambiados por un aumento del ruido. Esto significa que cuando se utiliza la densidad del punto de control dependiente de la curvatura, la fidelidad del borde debe sacrificarse para que los puntos de la esquina sean perceptibles. En muchas situaciones, incluso esto no es suficiente para que se puedan distinguir las esquinas en formas hápticas.

Para mejorar las esquinas, es posible deformar los bordes de la forma hacia el interior para resaltar las esquinas en el espacio, creando una representación háptica acentuada de una manera que permite la percepción de las esquinas a partir de señales espaciales.

Volviendo a la figura 1, en el recuadro izquierdo 10 se muestra una forma sin distorsión de mejora de las esquinas. En el recuadro central 20 de la figura 1 se muestra una función de distorsión de mejora de las esquinas aplicada para resaltar las esquinas de manera háptica. En el recuadro derecho 30 de la figura 1 se muestra una función en la que se ha aplicado una mayor distorsión, lo que muestra que el efecto es ajustable dependiendo de las circunstancias y del efecto deseado.

Una vez que se ha conseguido la distorsión de la forma, se pueden utilizar asimismo otras técnicas para mejorar las esquinas. De manera específica, la densidad del punto de control dependiente de la curvatura y la rotación de los puntos en el tiempo pueden ser alteradas para producir un efecto deseado. Esta distorsión de la forma puede ser aplicada a secciones de la geometría 3D para crear una geometría 3D háptica con esquinas distintas, para aumentar la fidelidad háptica. Esto se puede aplicar asimismo como un proceso para resaltar las características más destacadas en formas para atraer la atención.

### IV. Crear puntos pulsantes

Debido al conocimiento del límite de facto de la definición y la densidad del punto de control, es posible crear puntos pulsantes que son agradables en términos de percepción háptica. Al obligar a los puntos de control a unirse, se fusionan y se convierten en una vibración más pequeña y débil. Haciéndolos girar y acercándolos y alejándolos, se puede generar una percepción de pulsación localizada que puede proporcionar de manera háptica una respuesta de espera o de conclusión.

Volviendo a la figura 2, se muestra una ilustración, a modo de ejemplo, de una serie de cinco puntos de control producidos simultáneamente en el plano de interacción. Los puntos en la figura tienen un diámetro de una longitud de onda. Los cinco puntos giran rápidamente para que no se puedan distinguir. En el panel izquierdo 40 de la figura 2, los cinco puntos giran y están lo suficientemente separados para ser percibidos como un solo punto háptico grande. El panel central 50 muestra que, a medida que los puntos giran más cerca unos de otros, el punto háptico se contrae y se debilita. En el panel derecho 60, los cinco puntos de control se fusionaron para convertirse en un solo punto de control. A continuación, el proceso se invierte para aumentar el tamaño y la intensidad del punto háptico, y este sistema se repite de manera cíclica para generar una percepción pulsante. Esto da como resultado un punto que se percibe cada vez más grande con el tiempo, para producir un efecto pulsante agradable en términos de percepción háptica. De este modo, la figura 2 muestra un conjunto de puntos que giran en un círculo, haciéndose el diámetro del círculo cada vez más pequeño/más grande con el tiempo. Un procedimiento alternativo al círculo giratorio es desplazar el foco entre dos ubicaciones.

Volviendo a la figura 3, se muestra una selección de simulaciones de campo acústico en las que el punto de control se desplaza a través del plano de interacción (que se muestra aproximadamente en el recuadro con borde negro insertado). Los pequeños círculos negros rellenos a lo largo del borde inferior de cada figura representan los elementos del transductor que han sido configurados para reproducir un punto de control. En el panel izquierdo 70,

el punto de control se crea por debajo del plano de interacción, lo que resulta en ningún enfoque en el espacio de interacción. Puesto que el foco se desplaza hacia arriba, el espacio de interacción contiene el punto de control tal como se muestra en el panel central 80. Finalmente, en el panel derecho 90 el foco se ha desplazado hacia arriba y hacia el exterior del espacio de interacción. A continuación, este proceso se invierte y se realiza de manera cíclica, para producir la percepción pulsante. Por lo tanto, desplazando el punto de control hacia atrás y hacia adelante a través del recuadro de inserción, se puede producir una percepción de pulsación en toda la región central. La detección del usuario en este escenario puede ser mucho más burda, por ejemplo, un sensor de luz en la zona central.

5 El objetivo, tal como se muestra en estas figuras es crear una percepción "pulsante". "Pulsante" se define como una percepción que se hace cada vez más intensa/más débil y más grande/más pequeña con el tiempo. En comparación, una modulación simple solo se hace cada vez más intensa/más débil con el tiempo.

10 Además, la figura 3 muestra un posible ejemplo, en el que el foco está interpolado linealmente entre dos posiciones, una verticalmente por debajo de la zona de interacción, y la otra verticalmente por encima. A medida que el foco se desplaza hacia arriba y hacia abajo, la percepción experimentada en la zona de interacción se hace más pequeña/más grande, puesto que el foco ultrasónico tiene forma de cono (en la figura, más grande en la imagen de la izquierda 70 y la imagen de la derecha 90, más pequeña en la imagen central 80). Esto también tiene el efecto de hacer que la percepción sea más intensa/más débil a medida que la intensidad disminuye alejándose del enfoque óptimo (lo que se muestra en la imagen central 80).

15 El desplazamiento del foco hacia arriba y hacia abajo a través de la zona de interacción también tiene un beneficio con el sistema de seguimiento. Se necesita menos precisión en la dirección vertical. Tal como se muestra en la figura 3, si la zona de interacción se desplaza hacia arriba o hacia abajo, todavía experimenta una percepción que se hace cada vez más grande/ más pequeña y más intensa/más débil con el tiempo. Esto significa que se necesita menos precisión en el eje vertical del sistema de seguimiento, lo que permite la utilización de un sistema de seguimiento más barato.

20 De manera alternativa, variar la ubicación del foco puede crear una percepción pulsante. Esto tiene el efecto de enfocar y desenfocar alternativamente el punto de control, lo que genera una pulsación de menor fidelidad. Aunque esto es menos eficaz, puede ser potencialmente útil para situaciones en las que se requiere una respuesta fuera de línea, predefinida, que no necesita una percepción activa.

25 V. Combinar y diseñar retroalimentación audible y háptica

30 A. Diseñar la retroalimentación audible

35 Puesto que el sonido audible está creado por la forma de onda de modulación, es posible diseñar el sonido que se produce. Por ejemplo, en lugar de modular el ultrasonido enfocado con una forma de onda pura, al modularlo con la forma de onda de un sonido de "clic" se producirá un sonido de "clic" audible. Por lo tanto, la forma de onda de modulación se puede diseñar y cambiar de manera dinámica para producir cualquier sonido audible.

40 Cuando se utilizan ondas portadoras ultrasónicas enfocadas, el sonido audible se produce con mayor intensidad en el foco, y es direccional. Para el usuario, esto significa que el sonido parece originarse en el foco. Esto puede ser de gran utilidad en un sistema háptico. Por ejemplo, se puede crear un pulsador en el aire enfocando el ultrasonido en la punta del dedo del usuario. A continuación, el ultrasonido puede ser modulado con la forma de onda de un sonido de "clic". El usuario percibiría una percepción de clic háptico y un sonido de "clic" audible que se origina en la punta de su dedo. Por lo tanto, tanto la retroalimentación háptica como la de audio se crean en la misma ubicación en el aire.

45 B. Separar retroalimentación de audio y háptica

50 La forma de onda de modulación que proporciona la retroalimentación háptica óptima a menudo diferirá de la que proporciona el sonido audible óptimo. Por ejemplo, una forma de onda de modulación que crea un sonido de "clic" agradable puede proporcionar una percepción táctil muy débil, o una forma de onda de modulación que proporciona una percepción táctil intensa puede proporcionar un sonido molesto. Por lo tanto, cuando se diseña una combinación de retroalimentación háptica y de audio, es necesario encontrar una solución de compromiso entre los dos.

55 Una solución para esto es crear múltiples puntos de enfoque dentro del campo acústico. Cada uno de los puntos puede tener el propósito de crear un efecto háptico o de crear una retroalimentación audible. En el ejemplo de clic de pulsador simple, se puede posicionar un punto en la punta del dedo para crear el efecto háptico, mientras que otro se puede posicionar en otro lugar del campo acústico para crear el sonido audible. En este escenario, el punto audible se posicionaría para evitar el contacto con el usuario y, por lo tanto, no se podría percibir.

### C. Enmascaramiento auditivo del efecto háptico mediante el sonido auditivo

El enmascaramiento auditivo de un sonido se produce cuando la percepción de un sonido se ve afectada o encubierta por otro sonido. Puesto que el ultrasonido enfocado es direccional, el punto audible puede ser posicionado en cualquier lugar a lo largo de la trayectoria entre los transductores y la cabeza o el oído del usuario, donde se maximizaría el volumen percibido de ese sonido. Por el contrario, el sonido audible creado por el punto háptico se reflejaría desde el dedo y alejándose del usuario. Por lo tanto, sería percibido como de menor intensidad. De este modo, el sonido audible desde el punto háptico será enmascarado por el sonido audible desde el punto audible y el usuario solo podría escuchar el punto audible.

Los puntos háptico y audible pueden tener cada uno sus propias formas de onda de modulación separadas. Esto permite que cada tipo de punto sea modulado con la forma de onda óptima por su efecto deseado de manera individual. De hecho, los sistemas no se limitan a tener solo dos puntos simultáneos. Es posible tener muchos puntos independientes y simultáneos tanto de retroalimentación háptica como de retroalimentación audible.

### VI. Modulación espacio-temporal en sistemas hápticos

#### A. Diferencia absoluta de fase

Para crear transiciones suaves entre cualesquiera dos espacios complejos de los coeficientes de activación de los transductores, deben diferir lo menos posible. Todos los conjuntos de coeficientes de activación de los transductores tienen un grado de libertad de reserva: su fase absoluta con respecto a algún otro patrón de coeficiente de activación. Vincular ambos a algún punto de medición arbitrario, tal como, por ejemplo, hacer que la diferencia de fase sea lo más cercana a cero posible, reduce al mínimo los cambios de frecuencia en los transductores necesarios para desplazarse entre los dos patrones.

Esto se muestra en la figura 4, que muestra un grupo ilustrativo de dos transductores. El enfoque de este grupo se debe a las diferencias de fase relativas en la onda entre los dos transductores, lo que se describe por el ángulo entre ellos. En el ejemplo sin limitaciones, a la izquierda, la fase en el tiempo  $t=0$  100 tiene que cambiar considerablemente para alcanzar los complejos coeficientes de activación definidos para el tiempo  $t=1$  110. Esto induce un comportamiento transitorio, cambio de frecuencia e ineficiencia de potencia cuando se escala a través de muchos transductores. Sin embargo, en el ejemplo limitado de la derecha, la suma de los coeficientes de los transductores se ha limitado a la línea real en  $t=0$  120 y  $t=1$  130, facilitando un pequeño cambio en el ángulo para obtener la fase relativa apropiada.

La suma de los coeficientes de activación de los transductores de valor complejo de cualquier patrón concreto se puede utilizar para producir un promedio. Una vez calculado, se puede tomar el complejo conjugado de este promedio y convertirlo en una unidad de amplitud de valor complejo. A continuación, multiplicando cada coeficiente de activación de transductor por este valor, la desviación de fase promedio se convierte en cero. Esto utiliza el grado de libertad de reserva para minimizar linealmente los cambios experimentados por cada transductor, acercando a cero las diferencias entre los espacios de fase compleja de los coeficientes de activación de los transductores a patrones infinitesimalmente diferentes, una necesidad clave para reducir los cambios bruscos en el campo acústico y el consumo de energía de los transductores en general.

#### B. Modulación espacio-temporal de puntos, líneas y formas

La creación y destrucción de puntos de control (aumentando la amplitud desde cero o disminuyendo la amplitud hasta cero) se asocia con el ruido a medida que varía la amplitud. Para reducir al máximo el ruido, se pueden crear puntos de control no modulados y desplazarse en los conjuntos de piezas de curvas definidas de manera paramétrica. Si bien los puntos de control no modulados reducirán al máximo el ruido, los puntos de control "menos modulados" también pueden reducir el ruido en menor medida (es decir, modular la amplitud entre 0,5 y 1 en lugar de entre 0 y 1).

Las curvas definidas serán cerradas, donde los puntos circularán de manera continua en la curva, o abiertas, donde los puntos invertirán la dirección. De manera alternativa, los puntos pueden "desaparecer" tras llegar al final de la curva. Cuando varios puntos resaltan una sola curva abierta, puede ser útil que intercambien sus posiciones cuando se acercan lo suficiente como para ser percibidos como un solo punto, para evitar cualquier disminución perceptiva o física en la salida.

Esta curva de trayectoria abierta o cerrada, que puede ser implementada como una curva de spline tridimensional, es el bloque de construcción fundamental de un sistema para crear retroalimentación modulada espaciotemporal. Muchas de estas curvas que se ejecutan a través del espacio tridimensional pueden funcionar como contornos y ser utilizadas para crear la impresión de una forma o superficie. Se puede utilizar una trayectoria circular con un radio muy pequeño para crear la impresión de un punto.

Puesto que esta técnica requiere menos tiempo de enfoque para producir la misma respuesta, se pueden accionar

de manera háptica zonas más grandes. Por ejemplo, “pintar” una zona utilizando un punto de control se puede utilizar para crear una región más amplia en el espacio que pueda ser percibida para estimular más receptores en la piel.

5 Debido a la amplia zona que puede ser accionada, la retroalimentación puede ser eliminada de ciertos lugares para crear una impresión del espacio negativo. Por ejemplo, se puede crear un círculo con una porción faltante para representar una referencia háptica o generar una zona de percepción con una región visiblemente faltante. Emitiendo señales hápticas al espacio, se puede resaltar una zona sin que sea necesaria la percepción directa, por ejemplo, cuando la zona en cuestión debe ser mantenida alejada de las manos o de las extremidades por razones de visibilidad.

C. Sonido paramétrico desde un punto de control

15 La percepción háptica desde el punto de control se genera mediante la acción del efecto estroboscópico espaciotemporal. Puesto que la fuente del efecto háptico es distinta y diferente de la modulación de amplitud, la modulación de amplitud se puede utilizar con contenido audible no háptico al tiempo que crea una percepción háptica de alta calidad en el mismo punto, línea o forma.

20 El objetivo final de la tecnología es producir una operación silenciosa. La salida audible se correlaciona con cambios temporales en el campo acústico, que, por lo tanto, deben ser tan suaves y reducidos como sea posible. Para crear este efecto, es posible desplazar los puntos de control de los patrones enfocados ultrasónicos de manera continua, utilizando actualizaciones de alta velocidad (preferiblemente de más de 2 kHz), para producir percepciones en los puntos, líneas y formas objetivo, en lugar de crearlas de manera invariable en el tiempo con dispositivos ultrasónicos de intensidad mucho más alta o manipulando su amplitud en el tiempo.

25 La modulación de esta manera puede utilizar frecuencias estroboscópicas mucho más bajas de lo que se esperaría simplemente considerando los receptores mecánicos o la densidad de la potencia enfocada en el tiempo. Por lo tanto, combinar la modulación espaciotemporal y de la amplitud de los puntos de control a la vez se puede utilizar asimismo para producir una retroalimentación háptica más intensa. También se pueden utilizar diferentes ritmos de movimiento de los puntos de control para proporcionar diferentes texturas, y, de este modo, la modulación de la amplitud puede proporcionar textura a los puntos de control modulados de manera espaciotemporal o viceversa.

VII. Control de frecuencia mediante curvas de auto-intersección

35 Crear un punto y desplazarlo sin modular en amplitud puede accionar de manera háptica una trayectoria en el aire. Haciendo que el punto siga una trayectoria de manera repetida a una velocidad dada y a una frecuencia constante, se puede generar un efecto háptico en la trayectoria en el aire. Hacer más larga la trayectoria aumenta la distancia de la trayectoria y, por lo tanto, la velocidad necesaria para que el punto consiga una frecuencia dada. Por consiguiente, esto reduce la densidad de potencia disponible para crear una retroalimentación. Múltiples puntos pueden accionar de manera háptica una trayectoria para crear una distribución más uniforme alrededor de la trayectoria a una frecuencia determinada. Pero esto reduce la intensidad que se puede ejercer en estos puntos. Otra limitación importante es que la trayectoria debe ser cerrada, o se producirá un sonido audible debido a las discontinuidades implicadas en las trayectorias abiertas, tales como, por ejemplo, un punto o segmento de línea separado.

45 Una manera de superar estos problemas es ralentizar o acelerar los puntos a medida que se desplazan a lo largo de una curva. Sin embargo, cuando se utiliza con modulación espaciotemporal, esto tiene limitaciones, ya que la frecuencia no puede ser diferente para diferentes puntos a lo largo de la trayectoria y, si el punto se ralentiza demasiado, se vuelve menos perceptible, puesto que se sale del rango de frecuencias perceptibles de manera háptica. Por el contrario, si el punto se desplaza demasiado rápido a lo largo de su trayectoria, puede crear más perturbaciones del aire y, por lo tanto, un ruido audible.

50 En lugar de cambiar simplemente la velocidad de los puntos, se puede realizar un aumento en la cantidad de potencia en puntos concretos de la trayectoria, mediante la construcción de una curva de auto-intersección que se cruza sobre sí misma una o varias veces en el espacio. En la proximidad local de los puntos de intersección, se pueden expresar los armónicos de la frecuencia base de la trayectoria. Este cambio en el comportamiento de la frecuencia aumenta asimismo la potencia en el punto de cruce, lo que permite realizar una rica variedad de comportamientos en la región de cruce, que contrastan con otras ubicaciones a lo largo de la trayectoria. Esta intersección puede ser diseñada asimismo para que la intersección sea solo dentro del rango de frecuencias detectable por el toque humano, o la intersección sea solo fuera del rango de frecuencias y, por lo tanto, no detectable. También permite una orientación específica y amplia de diferentes receptores mecánicos en la piel. En muchos escenarios, la ausencia de retroalimentación háptica en una zona rodeada por retroalimentación háptica se puede percibir con mayor intensidad que la propia retroalimentación.

65 También se pueden crear múltiples trayectorias que se cortan una o varias veces; esto producirá un patrón de cadencia háptica que incorpora un ritmo o textura concreto. Esto no significa necesariamente que la trayectoria o las

trayectorias deban ser repetibles, o que el punto de cruce de la curva esté cada vez en la misma posición. En algunos casos, debido a que el desplazamiento de los puntos considerados individualmente es demasiado rápido o débil como para ser percibido, se puede diseñar de manera tal que el punto o puntos de cruce sean resaltados de manera háptica debido a la auto-intersección. En cada caso, estas curvas de múltiples cruces o de auto-intersección pueden contener una o ambas regiones de punto y segmentos de trayectoria en los que las curvas ocupan el mismo espacio.

Los puntos que se desplazan a lo largo de las curvas definidas en una ubicación precisa tienen un tamaño físico real. La noción abstracta de "curvas" no refleja el tamaño de los puntos, por lo que, en muchos casos, las curvas abstractas no tienen que cruzarse, sino que la zona de efecto del punto simplemente se debe superponer para conseguir un aumento en la intensidad promedio y en la frecuencia. Debido a esto, un conjunto de trayectorias o curvas de auto-intersección pueden conducir potencialmente a resultados hápticos no anticipados. Por lo tanto, los patrones hápticos producidos se pueden visualizar mejor utilizando un gráfico de frecuencia/ocupación, y dicho gráfico de frecuencia/ocupación puede ser transformado desde una curva háptica representativa y hacia la misma.

#### VIII. Conclusión

Las diversas características de las realizaciones anteriores se pueden seleccionar y combinar para producir numerosas variaciones de sistemas basados en técnicas hápticas mejoradas.

En la memoria descriptiva anterior, se han descrito realizaciones específicas. Sin embargo, un experto de nivel medio en la técnica aprecia que se pueden realizar diversas modificaciones y cambios sin apartarse del alcance de la invención, tal como se expone en las reivindicaciones que se muestran a continuación. En consecuencia, la memoria descriptiva y las figuras deben ser consideradas en un sentido ilustrativo en lugar de restrictivo, y todas estas modificaciones deben ser incluidas dentro del alcance de las presentes explicaciones.

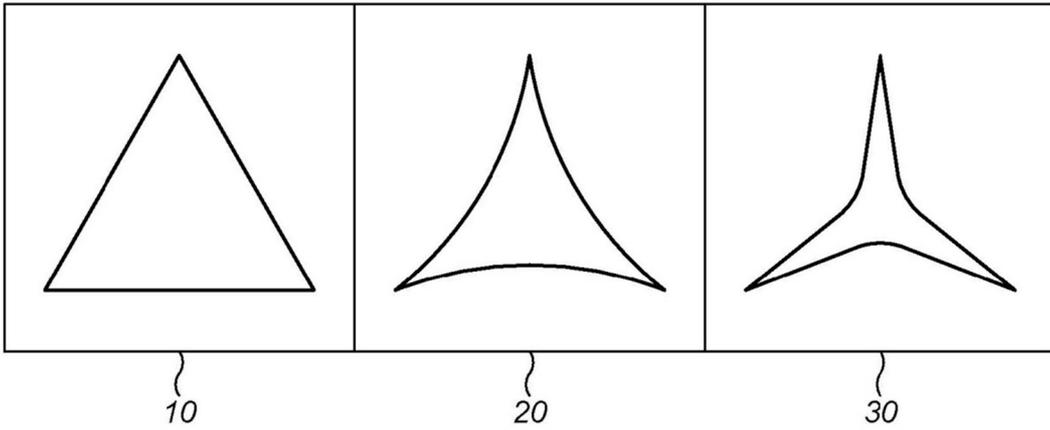
Los beneficios, las ventajas, las soluciones a los problemas y cualquier elemento o elementos que puedan causar que ocurra cualquier beneficio, ventaja o solución, o que se anuncien como tales, no deben ser interpretados como críticos, necesarios o características o elementos esenciales de alguna o de todas las reivindicaciones. La invención está definida únicamente por las reivindicaciones adjuntas.

Además, en el presente documento, los términos relacionales, tales como primero y segundo, arriba y abajo, y otros, se pueden utilizar únicamente para distinguir una entidad o acción de otra entidad o acción sin que sea necesario requerir o implicar ninguna relación u orden real entre dichas entidades o acciones. Los términos "comprende", "que comprende", "tiene", "que tiene", "incluye", "que incluye", "contiene", "que contienen" o cualquier otra variación de los mismos, están destinados a cubrir una inclusión no exclusiva, de tal manera que un proceso, procedimiento, elemento o aparato que comprende, tiene, incluye, contiene una lista de elementos no incluya solo esos elementos, sino que puede incluir otros elementos que no están enumerados expresamente o que son inherentes a dicho proceso, procedimiento, artículo o aparato. Un elemento precedido por "comprende ... un", "tiene ... un", "incluye ... un", "contiene ... un" no excluye, sin más limitaciones, la existencia de elementos idénticos adicionales en el proceso, procedimiento, artículo o aparato que comprende, tiene, incluye, contiene el elemento. Los términos "un" y "una" se definen como uno o varios, a menos que se indique explícitamente lo contrario en el presente documento. Los términos "sustancialmente", "esencialmente", "aproximadamente", "alrededor de" o cualquier otra versión de los mismos, se definen como estar cerca de, tal como lo entiende un experto de nivel medio en la técnica. El término "acoplado" tal como se utiliza en el presente documento se define como conectado, aunque no necesariamente de manera directa, y no necesariamente mecánica. Un dispositivo o estructura que está "configurado" de cierta manera está configurado, como mínimo, de esa manera, pero también puede estar configurado de varias maneras que no se enumeran.

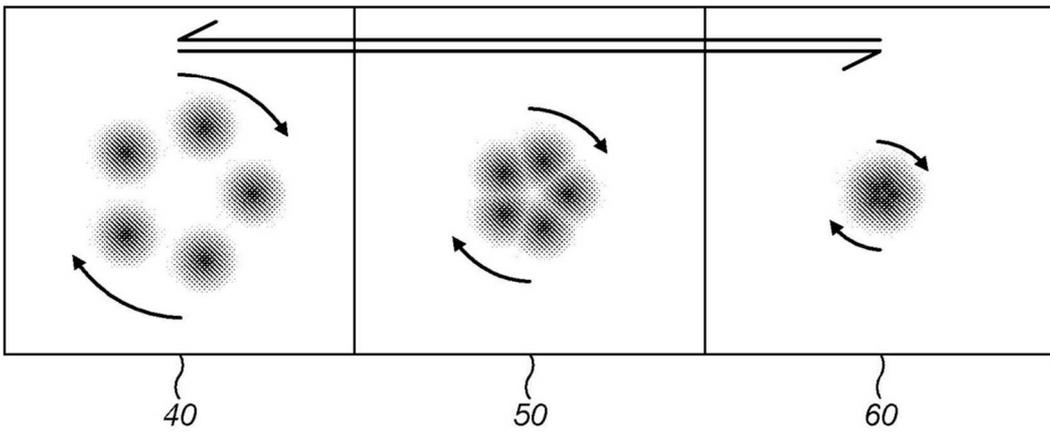
El resumen de la invención se da a conocer para que el lector pueda determinar rápidamente la naturaleza de la descripción técnica. Se presenta entendiendo que ya que no se utilizará para interpretar o limitar el alcance o el significado de las reivindicaciones. Además, en la descripción detallada anterior, se puede ver que diversas características están agrupadas entre sí en diversas realizaciones, con el fin de simplificar la invención. Este procedimiento de la invención no debe ser interpretado como un reflejo de la intención de que las realizaciones reivindicadas requieren más características que las citadas expresamente en cada reivindicación. Más bien, tal como se refleja en las siguientes afirmaciones, el tema central de la invención reside en menos de la totalidad de las características de una única realización dada a conocer. De este modo, las siguientes reivindicaciones están incorporadas en el presente documento en la Descripción Detallada, siendo cada reivindicación independiente como un asunto reivindicado por separado.

**REIVINDICACIONES**

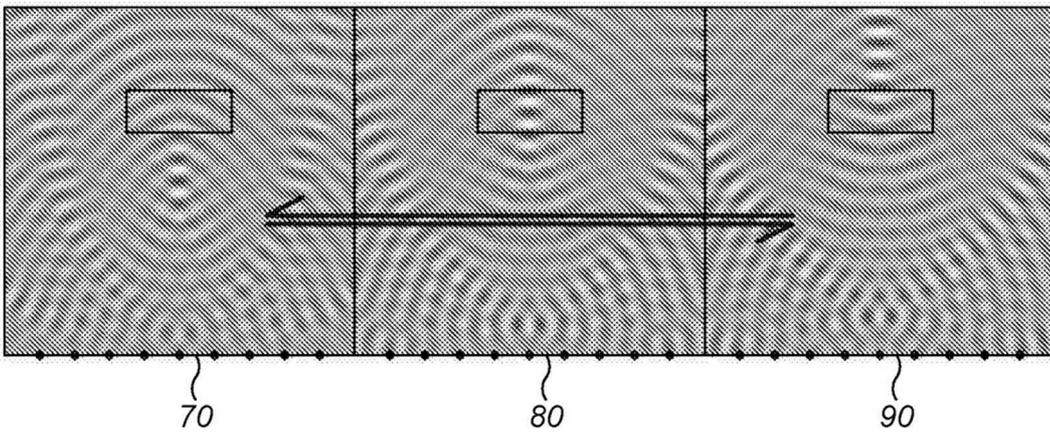
1. Procedimiento, que comprende:
- 5           i) producir un campo acústico a partir de un grupo de transductores que tienen posiciones y orientaciones relativas conocidas;
- ii) definir una serie de puntos de control, en el que cada uno de la serie de puntos de control tiene una relación espacial conocida con respecto al grupo de transductores;
- iii) asignar una amplitud a cada uno de la serie de puntos de control; y **caracterizado por:**
- 10          iv) desplazar la serie de puntos de control dentro del campo acústico mientras se ajustan los cambios temporales experimentados dentro del campo acústico, de tal modo que los cambios temporales se encuentran bajo un umbral de tiempo predeterminado.
2. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que el campo acústico es producido mediante un sistema de retroalimentación háptica en el aire.
- 15
3. Procedimiento, según la reivindicación 2, en el que la etapa de desplazar la serie de puntos de control crea una transición suave utilizando una diferencia de fase promedio que es sustancialmente cero.
- 20
4. Procedimiento, según la reivindicación 2, en el que la etapa de desplazar la serie de puntos de control tiene lugar en un conjunto de curvas definidas.
5. Procedimiento, según la reivindicación 4, en el que las curvas definidas son curvas spline.
- 25
6. Procedimiento, según la reivindicación 5, en el que las curvas spline están definidas para simular la impresión de una superficie en 3 dimensiones en la retroalimentación háptica.
7. Procedimiento, según la reivindicación 6, en el que la retroalimentación háptica incluye una región dentro de la superficie tridimensional que no incluye ningún efecto háptico.
- 30
8. Procedimiento, según la reivindicación 2, que comprende, además, modular los puntos de control utilizando modulación de amplitud.
- 35
9. Procedimiento, según la reivindicación 8, en el que la modulación de amplitud produce una retroalimentación háptica sustancialmente diferente de la realimentación háptica producida por la etapa iv.



**FIG. 1**



**FIG. 2**



**FIG. 3**

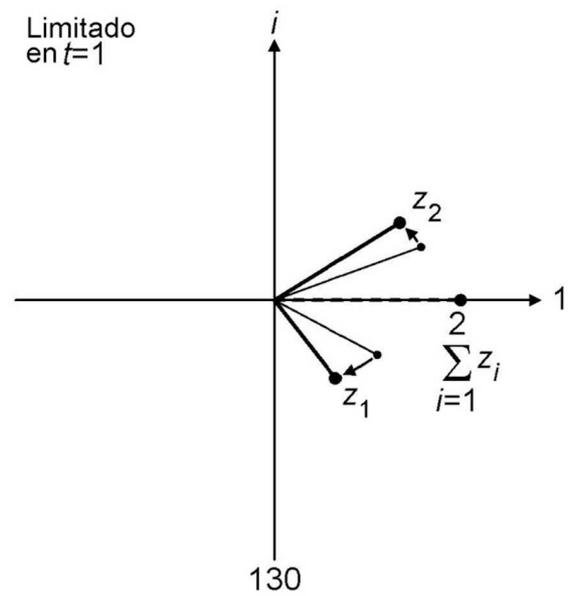
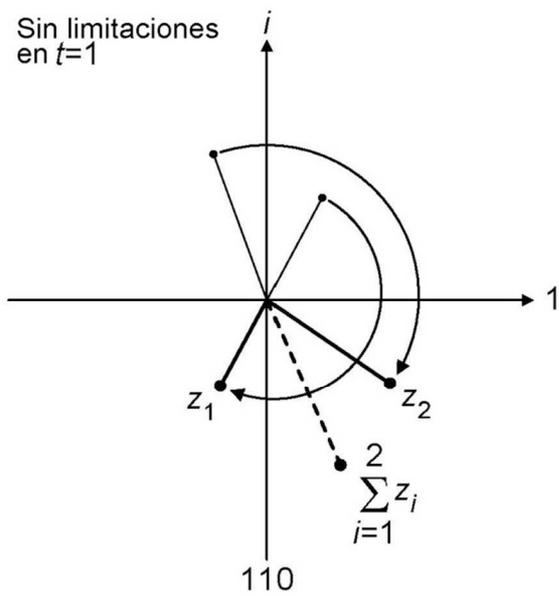
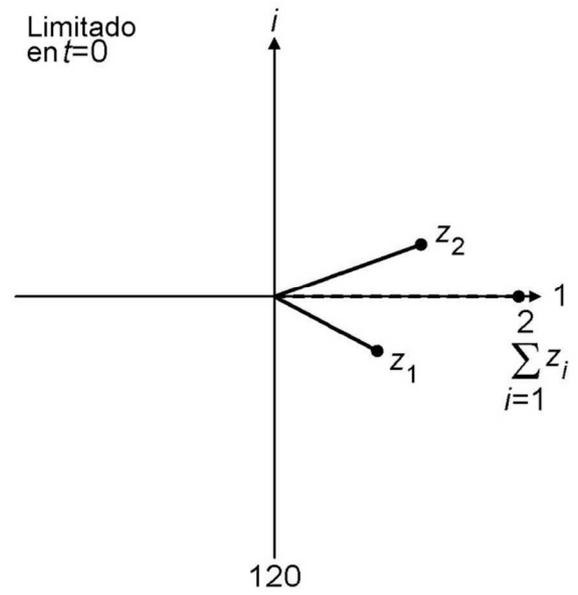
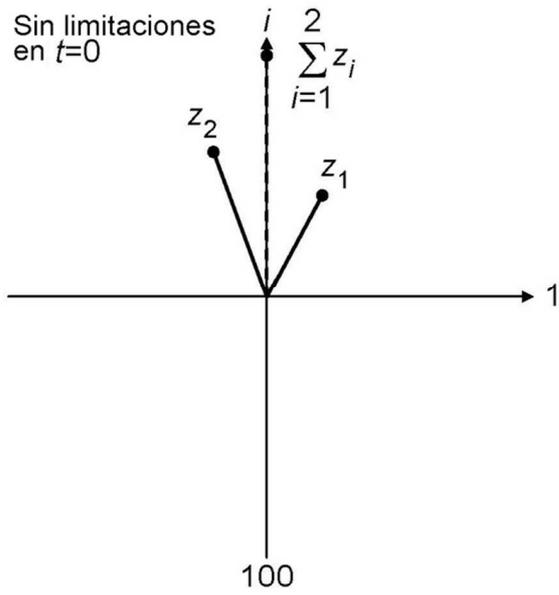


FIG. 4