

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 642 884**

51 Int. Cl.:

G03B 21/60 (2014.01)

G03B 35/16 (2006.01)

G03B 35/26 (2006.01)

G02B 27/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.01.2009** **PCT/US2009/032307**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.08.2009** **WO09097371**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.01.2009** **E 09705162 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.07.2017** **EP 2240825**

54 Título: **Pantalla de proyección frontal que conserva la polarización**

30 Prioridad:

28.01.2008 US 24138

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
20.11.2017

73 Titular/es:

REALD INC. (100.0%)
100 N. Crescent Drive, Suite 120
Beverly Hills, CA 90210, US

72 Inventor/es:

COLEMAN, DAVID, A. y
SHARP, GARY, D.

74 Agente/Representante:

DURAN-CORRETJER, S.L.P

ES 2 642 884 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

Pantalla de proyección frontal que conserva la polarización

5 **REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUDES RELACIONADAS**

La presente solicitud de patente se refiere y reivindica prioridad a la solicitud provisional de patente 61/024, 138 titulada "Pantalla de proyección frontal que conserva la polarización", presentada el 28 de enero de 2008.

10 **ANTECEDENTES****SECTOR TÉCNICO**

Esta invención se refiere, en general, a pantallas de proyección frontal y, más concretamente, se refiere a pantallas de proyección frontal que gestionan de manera óptima la difusión de la luz, de tal modo que conservan la polarización. Adicionalmente, dichas pantallas pueden maximizar el brillo y el contraste de la imagen sometida a proyectores y a ángulos de observación concretos.

20 **ANTECEDENTES**

En los sistemas estereoscópicos 3D que utilizan gafas de análisis de la polarización pasiva, la pantalla es una parte integral del sistema. Cualquier despolarización que se produzca en la pantalla tiene como resultado interferencias, en las que la imagen prevista para un ojo es transmitida parcialmente al ojo opuesto. Esta interferencia se manifiesta como una "imagen fantasma" que menoscaba la calidad de la experiencia y crea fatiga ocular. Por lo tanto, es deseable proporcionar una interferencia extremadamente reducida bajo las condiciones más extremas de iluminación y de observación angular.

Las pantallas de proyección frontal conocidas, tales como las utilizadas en el cine en dos dimensiones, son dispersores Lambertianos virtuales. Debido a las estadísticas de la rugosidad superficial de dichas pantallas conocidas, estas pantallas tienen una deficiente conservación de la polarización y una deficiente eficiencia luminosa efectiva (es decir, mientras que la dispersión total integrada, o TIS, es elevada, la utilización de la luz en el espacio angular es escasa).

Una técnica conocida para proporcionar pantallas estereoscópicas en 3D que conservan la polarización es pintar mediante pulverización de laminillas de aluminio sobre un aglomerante transparente en un sustrato de PVC. Dichas superficies estadísticas proporcionan un control limitado del perfil de ganancia de la pantalla, de la direccionalidad y de la polarización. Además, los procesos de recubrimiento muestran frecuentemente estructuras resolubles (por ejemplo, destellos) y problemas de uniformidad, tales como texturas. Dichas "pantallas de plata" con frecuencia son delicadas y no son capaces de resistir un proceso de lavado abrasivo suave.

Las pantallas Lambertianas proporcionan un aspecto uniforme en lo que respecta al brillo observado, pero realizan una utilización deficiente de la luz de proyección. Es decir, una parte significativa de la luz incidente se dispersa fuera del campo de visión, reduciendo la eficiencia del sistema. Además, una parte de la luz dispersada es dirigida de retorno a la pantalla, reduciendo el contraste y la saturación del color.

En consecuencia, existe la necesidad de una pantalla de proyección frontal que esté diseñada para dispersar la luz de forma óptima en un intervalo de ángulos de observación, de tal modo que el estado de entrada de la polarización se conserve con precisión.

El documento CA 2 550 510 da a conocer una pantalla de visualización que tiene una placa o un material base similar a una película cuya superficie se compone de espejos cóncavos o convexos adyacentes que tienen el mismo tamaño con las mismas curvaturas de los espejos. Los espejos son preferentemente elípticos y están dispuestos en la pantalla en una trama que tiene una estructura de nido de abeja. Los espejos están orientados espacialmente de tal modo que sus ejes ópticos se cruzan en un punto de intersección definido de la pantalla de visualización normal. Existen discontinuidades que aparecen entre los espejos adyacentes.

El documento U.S.A. 2004/0240054 da a conocer una pantalla de visualización para ser utilizada en presencia de luz externa perturbadora. La pantalla incluye una capa reflectora estriada.

El documento U.S.A. 4 911 529 da a conocer una pantalla de proyección que incluye una placa transparente que tiene una estructura de lente de Fresnel para reducir el efecto de interferencia de la luz ambiental.

El documento U.S.A. 2006/0291050 da a conocer una pantalla que tiene un elemento birrefringente, tal que el ángulo de reflexión de la luz depende de su polarización.

El documento U.S.A. 2006/0082873 da a conocer una pantalla compuesta de una pluralidad de elementos pasivos -200- rodeados de paredes laterales verticales.

BREVE RESUMEN

Esta invención pertenece al grupo de difusores reflectantes de diseño y, en particular, a pantallas utilizadas en sistemas de proyección frontal. Las pantallas proporcionan una conservación óptima de la polarización para la visión estereoscópica en 3D, así como un mejor control de la luz para mejorar el brillo, uniformidad y contraste tanto en sistemas bidimensionales como tridimensionales. La presente invención pretende dirigir la luz donde se desee, manteniendo unas óptimas características de ganancia.

De acuerdo con la presente invención, se utiliza una superficie diseñada para dispersar de forma óptima la luz de iluminación en un intervalo de ángulos de visión dentro de un emplazamiento específico de difusión, con un perfil de ganancia adecuado, conservando de manera óptima la polarización. Dicha pantalla, cuando se combina con gafas adaptadas de análisis de la polarización, proporciona una interferencia extremadamente reducida desde cualquier punto de observación.

En la presente solicitud se da a conocer un procedimiento para proporcionar un difusor reflectante que conserva la polarización, en el cual, el difusor proporciona luz a un emplazamiento de difusión deseado sometido a condiciones de iluminación específicas, de un modo que conserva la polarización. Un emplazamiento de visión que incluye sustancialmente todas las posiciones de visión está situado en el interior del emplazamiento de difusión.

Según un aspecto, la presente solicitud da a conocer un procedimiento para proporcionar una pantalla de proyección frontal que conserva la polarización, tal como se reivindica en la reivindicación 1.

Según otro aspecto, se da a conocer una pantalla tal como se reivindica en la reivindicación 19.

Otros aspectos serán evidentes haciendo referencia a la presente invención.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La **figura 1A** es un diagrama esquemático que muestra una vista lateral de una sala cinematográfica habitual, de acuerdo con la presente invención;

la **figura 1B** es un diagrama esquemático que muestra el funcionamiento de un sistema de proyección tridimensional de películas a modo de ejemplo, de acuerdo con la presente invención;

la **figura 2** es un diagrama esquemático que muestra el funcionamiento de un sistema de proyección tridimensional de películas a modo de ejemplo, de acuerdo con la presente invención;

la **figura 3** es un gráfico que muestra el comportamiento de la conservación de la polarización de una pantalla de plata convencional en función del ángulo de visión;

la **figura 4** es un gráfico que muestra el comportamiento del contraste que conserva la polarización de una pantalla de plata convencional en función del ángulo de visión;

la **figura 5** es un gráfico que muestra la curva de ganancia de una pantalla de plata convencional en función del ángulo de visión;

la **figura 6A** es un gráfico polar que muestra el emplazamiento de visión de un auditorio concreto, definido mediante el trazado del perímetro de la pantalla desde la butaca delantera izquierda, de acuerdo con la presente invención;

la **figura 6B** es un gráfico polar que muestra el emplazamiento de visión de un auditorio concreto, definido mediante el trazado del perímetro de la pantalla desde la butaca trasera izquierda, de acuerdo con la presente invención;

la **figura 7** es un gráfico polar que muestra el emplazamiento de difusión en el caso de un muestreo aleatorio de salas cinematográficas, de acuerdo con la presente invención;

la **figura 8** es un gráfico de la proporción de contraste en el caso de polarización circular o en el azimut en el peor de los casos de polarización lineal en función del ángulo de incidencia de las facetas, de acuerdo con la presente invención;

la **figura 9** es un gráfico que muestra las diferencias entre la proporción de contraste en el caso de polarizaciones lineal y circular, de acuerdo con la presente invención;

- la **figura 10** es un gráfico de una estructura cóncava con una función de densidad de probabilidad uniforme, de acuerdo con la presente invención;
- 5 la **figura 11** es un diagrama esquemático de una estructura periódica con una función de densidad de probabilidad uniforme, de acuerdo con la presente publicación;
- las **figuras 12A a 12D** son diagramas esquemáticos de una vista lateral de una sala cinematográfica con un proyector, una pantalla y una zona de butacas, de acuerdo con la presente publicación;
- 10 las **figuras 13A y 13B** son gráficos de curvas de ganancia, a modo de ejemplo, para pantallas diseñadas en las que la luz es difundida en el emplazamiento de difusión, de acuerdo con la presente publicación;
- 15 la **figura 14** es una representación polar de un emplazamiento normal a las facetas, relativo a la superficie normal de la pantalla, que ilumina sustancialmente la totalidad de la zona de visión con luz procedente del proyector, de acuerdo con la presente invención;
- la **figura 15** es un gráfico que muestra, a modo de ejemplo, una superficie Gaussiana de acuerdo con la presente invención;
- 20 la **figura 16** es un gráfico que muestra la densidad de los rayos reflejados desde una superficie Gaussiana, a modo de ejemplo, de acuerdo con la presente invención;
- la **figura 17** es un gráfico que muestra una representación de la intensidad de los rayos que experimentan una doble reflexión desde una superficie Gaussiana, a modo de ejemplo, de acuerdo con la presente invención;
- 25 la **figura 18** es un gráfico que muestra contraste frente a ganancia, en el caso de una serie de simulaciones con diferentes amplitudes en el caso de superficies Gaussianas de difusión, de acuerdo con la presente invención;
- 30 las **figuras 19A a 19D** proporcionan diagramas esquemáticos que muestran representaciones de las condiciones de reflexión para diferentes separaciones entre picos Gaussianos, de acuerdo con la presente invención;
- la **figura 20** es un diagrama gráfico que muestra el emplazamiento calculado de separaciones en el caso de dos picos Gaussianos en los que no se producen reflexiones múltiples, de acuerdo con la presente invención;
- 35 las **figuras 21A a 21C** son diagramas esquemáticos que muestran, en cada caso, la superposición de dos picos Gaussianos con alturas y anchuras variables, de acuerdo con la presente invención;
- la **figura 22** es un gráfico de un patrón de ruido simulado, de acuerdo con la presente invención;
- 40 las **figuras 23A a 23D** son gráficos de las ganancias y contrastes de un difusor compuesto de dos patrones y diferentes tamaños de dispositivos frente a un difusor compuesto de un solo patrón y sin diferentes tamaños de dispositivos, de acuerdo con la presente invención;
- 45 las **figuras 24A y 24B** son gráficos que muestran funciones de solapamiento, de acuerdo con la presente invención;
- las **figuras 25A a 25C** son gráficos que muestran un núcleo generador a modo de ejemplo, de acuerdo con la presente invención;
- 50 la **figura 26** es un gráfico que muestra la ganancia calculada para un núcleo generador Lambertiano bidimensional, de acuerdo con la presente invención;
- la **figura 27** es un gráfico que muestra la ganancia promediada radialmente en el caso de un núcleo generador, de acuerdo con la presente invención;
- 55 la **figura 28** es un diagrama esquemático que muestra la configuración de una retícula hexagonal, a modo de ejemplo, de acuerdo con la presente invención;
- 60 la **figura 29** es un diagrama esquemático que muestra el solapamiento de las celdas de una retícula hexagonal de núcleos generadores, de acuerdo con la presente invención;
- 65 la **figura 30** es un diagrama que muestra el solapamiento de las celdas de una retícula cuadrada, de acuerdo con la presente invención;
- la **figura 31** es un diagrama esquemático de una retícula hexagonal con centros aleatorios, de acuerdo con la presente invención;

la **figura 32** es un diagrama esquemático de una retícula hexagonal con celdas más pequeñas dispersas entre las celdas mayores con una asignación aleatoria de puntos de la retícula, de acuerdo con la presente invención;

la **figura 33** es un diagrama esquemático de una retícula con teselado semiregular, de acuerdo con la presente invención;

la **figura 34** es un diagrama de aleatoriedad con desplazamiento horizontal, de acuerdo con la presente invención;

la **figura 35** es un gráfico de la distribución de probabilidad en el caso de desplazamiento de centro de celda a centro de celda, para una superficie con desplazamiento horizontal aleatorio, de acuerdo con la presente invención;

la **figura 36** es un gráfico del ángulo de difusión en función de la separación de picos Gaussianos, de acuerdo con la presente invención;

la **figura 37** es un gráfico que muestra el corte del ángulo de difusión para características gaussianas solapadas, de acuerdo con la presente invención;

las **figuras 38A y 38B** son gráficos que muestran el solapamiento de un difusor Lambertiano tratado en dos configuraciones, de acuerdo con la presente invención;

las **figuras 39A y 39B** muestran un procedimiento de corrección previa de los núcleos generadores para abordar el solapamiento, de acuerdo con la presente invención;

la **figura 40** es un gráfico de la celda corregida previamente, con solapamiento del difusor Lambertiano, de acuerdo con la presente invención; y

las figuras **41A y 41B** son gráficos de perfiles de ganancia, de acuerdo con la presente invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

La **figura 1A** es un diagrama esquemático que muestra una vista lateral de una sala cinematográfica clásica -100- y la **figura 1B** es un diagrama esquemático que muestra una vista superior de la sala cinematográfica -100-. La sala cinematográfica -100- incluye una pantalla reflectante -110-, una plataforma de proyección -120- y una zona de visión -130-. La plataforma de proyección -120- puede incluir un proyector -121- y un conmutador de polarización -122-. La zona de visión -130- puede estar provista de butacas dispuestas en filas, alejadas de la pantalla, que definen una zona de visión o de visualización para los espectadores que pueden estar sentados (o de pie) en diferentes lugares dentro de la zona de visión -130-. Por ejemplo, un primer espectador puede estar situado en la posición de visión delantera izquierda -132- de la sala cinematográfica -100- y recibir la luz reflejada -142-. Un segundo espectador puede estar situado en la posición de visión posterior izquierda -134- y recibir la luz reflejada -144-. Un tercer espectador puede estar situado en una posición de visión central -136-.

Con los recientes desarrollos de la tecnología de la polarización, se ha producido un resurgimiento de las películas en tres dimensiones decodificadas con gafas adaptadas. Los sistemas de proyección tridimensional conocidos proyectan de modo secuencial imágenes para el ojo izquierdo y para el ojo derecho utilizando polarizaciones ortogonales. En el caso de aplicaciones para películas tridimensionales que utilizan una única plataforma de proyección -120-, se puede colocar un conmutador de polarización -122- en la trayectoria de la luz desde el proyector -121- después de la lente de proyección. Dichos conmutadores de polarización son conocidos, tales como la patente U.S.A. comúnmente asignada nº 4.792.850 (ya caducada), titulada "Procedimiento y sistema que utiliza un modulador de contrafase de cristal líquido" de L. Lipton y otros, y la solicitud de patente U.S.A. comúnmente asignada nº 11.424.087 titulada "Conmutadores acromáticos de polarización" de M. Robinson. En plataformas de proyección alternativas se pueden utilizar dos o más proyectores, uno para proporcionar las imágenes para el ojo izquierdo con un estado de polarización y el otro para proporcionar imágenes para el ojo derecho con una estado de polarización ortogonal. Las pantallas reflectantes convencionales incluyen pantallas de plata que reflejan la luz polarizada del proyector -120- al espectador de la película.

Los sistemas de cine en 3D habituales son relativamente faltos de luz. Un brillo de catorce pies-lambert (aproximadamente 48 candelas por metro cuadrado) a la audiencia, proporciona habitualmente un brillo sustancialmente menor en modo tridimensional. Un motivo para ello es, por ejemplo, que los sistemas secuenciales sufren habitualmente una pérdida tanto en la polarización (normalmente mayor del 50%) como una pérdida del tiempo compartido (normalmente mayor del 50%), de modo que dichos sistemas proporcionan habitualmente un brillo por debajo del 25%, o 3,5 pies-lambert, sin pantalla con ganancia. Los recientes desarrollos para solucionar el problema, tales como el sistema RealD XL, y la solicitud de patente U.S.A. en copropiedad nº 11/864.198 titulada "Sistemas de conversión de la polarización para la proyección cinematográfica" de M. Schuck, G. Sharp y M. Robinson, presentada el 28 de septiembre de 2007, proporcionan una función de recuperación de la polarización, pero sigue permaneciendo el deseo de incrementar el brillo, pero conservando la polarización.

En los sistemas que requieren la conservación de la polarización, la dispersión total integrada (TIS) de una pantalla de plata habitual es aproximadamente del 40%, reduciendo aún más la eficiencia. Aunque la ganancia de la pantalla es elevada (2,2 a 2,5 sobre el eje), desde una posición de visión centrada, el brillo global percibido de la imagen queda afectado debido a la rápida disminución con el ángulo de visión. Por el contrario, las pantallas mate proporcionan un TIS elevado (> 90%) pero hacen un uso deficiente de la luz en el espacio angular. En general, las realizaciones dadas a conocer buscan maximizar el brillo de la imagen aprovechando tanto una elevada dispersión total integrada (aproximadamente mayor del 85%) así como el control del ángulo de difusión. Dichas pantallas pueden mejorar la eficiencia tanto en las experiencias en 2D como en 3D.

La **figura 2** es un diagrama esquemático que muestra el funcionamiento de un sistema -200- estereoscópico de proyección de películas tridimensionales a modo de ejemplo, que utiliza una plataforma -220- con un proyector único (secuencial). En funcionamiento, las imágenes -202- del ojo izquierdo y las imágenes -204- del ojo derecho pueden ser proyectadas secuencialmente desde el proyector -220- a través del conmutador de polarización -222- hacia una pantalla -210- de conservación de la polarización. La pantalla -210- de conservación de la polarización permite que la luz polarizada procedente del proyector -220- y del conmutador de polarización -222- sea reflejada hacia el espectador -240-. Las imágenes del ojo izquierdo y del ojo derecho son vistas por el espectador -240- que utiliza gafas -250- que decodifican la respectiva luz polarizada ortogonalmente para crear la experiencia de profundidad para el objeto -206-.

En general, la calidad de la experiencia de la visión estereoscópica depende de la capacidad de la pantalla -210- de conservar el elevado grado de polarización transmitido por la plataforma de proyección -220-. Las pantallas cinematográficas clásicas mate (casi Lambertianas) no son adecuadas, en general, para ser utilizadas con dichos sistemas 3D debido a que la dispersión es muy difusa. Debido a las estadísticas de tamaño/altura de los dispositivos y de la densidad de la probabilidad de la pendiente relativa a la longitud de onda de iluminación, dichas pantallas son casi totalmente despolarizantes. Sin embargo, una experiencia estereoscópica 3D de alta calidad utiliza preferentemente una proporción de contraste como mínimo de 100:1, y más preferentemente de 200:1 o mayor entre las imágenes transmitidas y bloqueadas, respectivamente.

Hasta la fecha, con el fin de conservar la polarización, se han venido utilizando las denominadas "pantallas de plata". Las pantallas de plata implican pintar por pulverización un sustrato de cloruro de polivinilo (PVC) que puede o no tener características superficiales en relieve, con laminillas de aluminio dispersadas en un aglomerante transparente. La tendencia es que las facetas de la laminilla estén situadas casi paralelas al plano del sustrato, generando de este modo una ganancia y reflectancia especular relativamente elevadas con un sustrato mate. Los intentos de suavizar los puntos conflictivos o el exceso de saturación en ciertos puntos de una pantalla con unas periferias más oscuras y de reducir la ganancia tienen como resultado a menudo un compromiso entre aspecto, uniformidad e interferencia. Por ejemplo, se pueden incluir agentes de mateado que consiguen una interfaz aleatoria aire/aglomerante, rebajando de este modo el punto conflictivo asociado a la reflexión especular. Cuando se evalúa el comportamiento en la dirección normal a la pantalla -110- (es decir, hacia la posición de visión -136- de la figura 1), es habitual tener una proporción de contraste de la polarización lineal superior a 150:1. Pero esta proporción disminuye rápidamente con el ángulo, debido principalmente a la pérdida de brillo de la imagen. Como resultado, frecuentemente existen butacas en una sala cinematográfica en las cuales el contraste puede caer a veces en ciertas ubicaciones por debajo de 20:1, tales como las posiciones de visualización -132- y -134-.

Otros problemas relacionados con las pantallas actuales de laminillas metálicas son el "granulado" y el "moteado" que aparecen debido a la disposición estadísticamente finita y no controlada de las laminillas. En el caso de la pantalla mate convencional, la dispersión se consigue por medio de una gran densidad de centros de dispersión extremadamente pequeños. En consecuencia, se consiguen estadísticas ergódicas en una región espacial del difusor relativamente pequeña y el aspecto es uniformemente blanco. Por el contrario, una pantalla de laminillas está compuesta de características macroscópicas (mayores de una micra) y esto requiere una zona considerablemente más grande para abarcar las mismas estadísticas ergódicas. Habitualmente esta zona es mayor que la resolución del ojo humano y de este modo la variación espacial en la intensidad de dispersión es claramente visible, es decir, la superficie aparece como "granulada". A medida que aumenta el ángulo de dispersión disminuye el número relativo de facetas que contribuyen a la intensidad, agravando de este modo los problemas de "granulado" y "moteado".

Una contribución coherente a la uniformidad resulta asimismo evidente en una pantalla de laminillas. A pesar de la naturaleza incoherente de la fuente luminosa original de la proyección, después de propagarse por toda la longitud de una sala, la iluminación consigue un alto grado de colimación, y de este modo una coherencia espacial transversal relativamente grande (tan grande como de varios centenares de micras). Las facetas situadas dentro de esta longitud de coherencia pueden interferir de manera constructiva o destructiva para modular la intensidad percibida de un modo sustancialmente cromático. Esto se puede observar en una pantalla de plata convencional como un patrón moteado, débilmente coloreado, que está superpuesto sobre la granulosidad global de la pantalla. No obstante, como el efecto de interferencia depende muy sensiblemente del ángulo de reflexión, el patrón de moteado parece desplazarse con respecto a la pantalla cuando el observador gira la cabeza. La coherencia temporal de la luz sigue siendo pequeña y por lo tanto para experimentar un efecto de interferencia, las facetas que contribuyen al mismo deben estar situadas aproximadamente coplanarias a los frentes de ondas incidentes y

reflejadas, es decir, el efecto se maximiza en la dirección de la retro-reflexión y disminuye cuando aumenta el ángulo de dispersión.

Proporción de contraste y ganancia de la polarización

El contraste asociado con la interferencia viene dado como la proporción de brillo observada para la luz que pasa a través de la lente de transmisión con respecto a la que pasa a través de la lente de bloqueo. Las variables que afectan a la proporción de contraste de la polarización (PCR) incluyen el vector base de polarización, la geometría de la proyección, la posición de observación y el punto observado en la pantalla. Con una pantalla Lambertiana, el término del numerador es virtualmente constante con la posición de observación. Pero con las pantallas de plata convencionales, la ganancia es suficientemente alta para que el descenso del término del numerador domine a menudo la dependencia angular del PCR. Una forma de caracterizar una pantalla es medir la función de distribución de la reflectancia bidireccional sensible a la polarización (BRDF) que es la reflectividad en un ángulo sólido.

La **figura 3** es un gráfico -300- que muestra el comportamiento de la conservación de la polarización de una pantalla de plata convencional en función del ángulo de visión. El gráfico -300- muestra una medición de la BRDF de una pantalla de plata convencional utilizando una fuente de colimación (un láser HeNe con una longitud de onda de $0,633 \mu\text{m}$), en la que se introduce un polarizador orientado en P en la trayectoria de iluminación y se utiliza un polarizador orientado en P o en S en la trayectoria de detección. P y S son vectores unitarios paralelos y perpendiculares al plano de incidencia en el sistema global de coordenadas (sustrato), respectivamente. Esto no debe ser confundido con el sistema de coordenadas local que está asociado con las facetas reflectantes individuales incrustadas en la pantalla. Para obtener estas mediciones la pantalla fue iluminada a -5° de desviación de la normal (correspondiente a -10° en la representación), de tal modo que la dirección especular corresponde a 0° . El detector escaneó los ángulos en el plano en los que se produjeron abandonos debido al tamaño limitado del módulo de detección.

En la **figura 3**, la representación PP -302- corresponde a la BRDF del polarizador paralelo, que sigue estrechamente el perfil de ganancia. La representación PS -304- es la BRDF del polarizador cruzado correspondiente a la potencia convertida en polarización S mediante la combinación de diversos mecanismos, en función del ángulo de dispersión. Este término es relativamente "blanco" en un espacio angular, tal como es de esperar en un componente de dispersión difusa.

La **figura 4** es un gráfico -400- que muestra el comportamiento del contraste con conservación de la polarización de una pantalla de plata convencional en función del ángulo de visión. La proporción del contraste de polarización (PCR) -402- es representada como una función del ángulo de observación y es una proporción de la representación de la BRDF PP -302- con respecto a la representación de la BRDF PP -304- mostradas en la **figura 3**. Más adelante se mostrará que esto corresponde a un contraste del "mejor caso" de polarización lineal desde un punto de vista Fresnel, cuando la polarización de entrada está contenida en el plano de incidencia.

La **figura 5** es un gráfico -500- que muestra la curva de ganancia de una pantalla de plata convencional en función del ángulo de visión. La curva de ganancia -502- muestra la proporción de la BRDF PP con la de un dispersor Lambertiano y, como tal, es independiente de la polarización. En el caso de esta pantalla, el contraste se reduce a la mitad, aproximadamente a 20° . Debido a que el PCR sigue a la ganancia, las pantallas de alta ganancia muestran habitualmente la no uniformidad espacial más elevada en la interferencia observada.

Las mediciones anteriores mostradas en las figuras 3 a 5 ilustran que en las pantallas de plata convencionales la BRDF es casi independiente del ángulo de incidencia en la dirección especular. El numerador de la PCR de una pantalla de ganancia depende de este modo principalmente de la diferencia angular entre el rayo de observación y la dirección especular. La dirección especular se corresponde con la dirección que el rayo seguiría si la superficie de la pantalla fuera un espejo.

Los factores que determinan el término de fuga de interferencias (denominador) incluyen:

1. Despolarización debida a la dispersión difusa de características mucho más pequeñas que la longitud de onda de iluminación. Esto puede incluir superficies de partículas reflectantes con rugosidades a nano escala, bordes agudos de partículas y espacios vacíos en el recubrimiento que dejan al descubierto el sustrato mate situado debajo.
2. Cambios de polarización debidos a la anisotropía local del aglomerante o de los materiales de adición.
3. Cambios de polarización en la reflexión (especular) de una sola superficie.
4. Reflexiones múltiples que, a escala óptica, son el resultado de superficies que tienen una pendiente muy alta con respecto a la dirección de iluminación.

La presente invención plantea superar las limitaciones en el contraste asociadas con superficies estadísticas convencionales, tales como las de las pantallas de plata convencionales. Las superficies diseñadas de acuerdo con la presente invención pueden proporcionar perfiles de ganancia más deseables utilizando medios de dispersión totalmente reflectantes que no presentan una reflectividad excesiva en la dirección especular. Las contribuciones debidas a los mecanismos indicados anteriormente pueden ser considerablemente minimizadas, si no virtualmente

eliminadas. Además, el control de la función de la densidad de la probabilidad de la pendiente permite que cada observador tenga una experiencia similar de alto contraste por medio de una mejor uniformidad en el brillo. Finalmente, las superficies diseñadas pueden permitir un brillo mejorado de la imagen al dirigir la luz de proyección a las posiciones de las butacas. Esto además mejora la saturación del color y el contraste de la imagen por medio de la reducción de la luz parásita. Utilizando los procesos descritos en esta memoria se puede fabricar un material para pantallas de la más alta calidad al menor precio posible.

Factor 1 – despolarización debida a la dispersión difusa desde características mucho más pequeñas que la longitud de onda de iluminación – se refiere a la despolarización asociada con la interacción de la luz incidente con superficies que están aproximadamente a una escala de algunos nanómetros a unos pocos centenares de nanómetros. La contribución de este término tiende a ser virtualmente blanca en el espacio angular (proyección y observación) y no es sensible al vector base de polarización. Cuando se observa bajo un microscopio de polarización cruzada, la contribución aparece como un fondo “luminoso”. Este término puede ser eliminado virtualmente mediante la utilización de recubrimientos ópticos de alta calidad (rugosidad de bajo rms) que están sustancialmente libres de espacios vacíos y son conformes a una topografía superficial con relieves que está libre de características a este nivel.

Factor 2 – cambio de polarización debido a la anisotropía local del aglomerante o de los materiales de adición – está asociado con recubrimientos “transparentes” ópticamente gruesos. Dichos recubrimientos pueden tener anisotropía, lo que modifica la estado local de la polarización. Las enseñanzas de la presente invención pueden eliminar esta contribución mediante la utilización de la reflexión en una sola superficie desde un recubrimiento metálico similar a un espejo. Cualquier capa adicional puede ser de dieléctricos de baja birefringencia del tipo de óxidos, que se aplican relativamente delgadas y que tienen un retardo virtualmente nulo.

Factor 3 – cambio de polarización en la reflexión (especular) desde una superficie única – se refiere a la forma geométrica de la superficie reflectante local y es el resultado de diferencias fundamentales en la reflexión compleja de las polarizaciones de S y P. La pérdida asociada en la PCR es relativamente poco significativa en el caso de los ángulos habituales entre proyección/observación en la mayor parte de entornos cinematográficos, pero puede llegar a ser significativa en situaciones de más exigencia. Se mostrará que recubrimientos dieléctricos adicionales de conformación sobre la superficie metálica pueden reducir más esta contribución.

Factor 4 – múltiples reflexiones resultantes de superficies que tienen grandes pendientes con respecto a la dirección de iluminación – se refiere a reflexiones múltiples que se pueden producir (y que en ciertas situaciones están al máximo) en una observación/incidencia normal. Están asociadas habitualmente con estructuras de difusión con grandes pendientes. Esto es, un rayo que continua en dirección hacia adelante después de una sola reflexión o que no salva las estructuras adyacentes después de una sola reflexión, sufre una reflexión secundaria. La trayectoria libre de medios entre tales casos puede ser mucho mayor que el tamaño de la característica de reflexión, conduciendo de este modo a otros efectos no deseables (calidad de imagen). Un rayo doblemente reflejado puede tener un estado de polarización muy alterado, deteriorando de este modo la proporción de contraste de la polarización. Además, el impacto de dichas reflexiones está en función del vector base de la polarización, tal como se demostrará.

Dispersión difusa

El factor 1 puede ser virtualmente eliminado mediante la utilización de estructuras micro-reflectantes continuas que contienen una pequeña o ninguna contribución a las altas frecuencias espaciales asociadas con la dispersión difusa. En teoría, esto se puede conseguir parcialmente utilizando algunas de las posibilidades de diseño descritas por Morris y otros en la patente U.S.A. nº 7.033.736 (incorporada en esta memoria como referencia) en las que se pueden generar funciones arbitrarias de densidad de probabilidad de la pendiente, típicas de dispersores difusos, utilizando medios totalmente reflectantes. Además, estas estructuras pueden tener distribuciones pseudo-aleatorias en tamaño, situación, pendiente y altura que aseguran un aspecto mate sin poner en riesgo el comportamiento.

Desde un punto de vista práctico, las estructuras diseñadas (difusores) de la presente invención deberían ser producidas preferentemente en grandes cantidades de manera sistemática en un entorno de fabricación. Esto puede implicar la embutición rollo a rollo de núcleos generadores coherentes con las especificaciones descritas en esta memoria. Además, los recubrimientos posteriores deben ser aplicados preferentemente con un nivel de calidad elevado similar, por ejemplo mediante evaporación o deposición catódica. Aunque la invención describe la utilización de los difusores/pantallas en un entorno cinematográfico, se contempla que puedan ser utilizados alternativamente en otros entornos en el que son visionados medios visuales, tales como cine en el hogar, sistemas de juegos, realidad virtual, simuladores de vuelo, etc., pero sin estar limitados a los mismos.

Las superficies estadísticas actuales (por ejemplo, pantallas de plata convencionales) tienen invariablemente un factor de llenado reflectante por debajo del 100% deseado, en el que el factor de llenado se define como la proporción del área metalizada con respecto al área total. En este caso, el área metalizada se supone que tiene una transmisión cero. Pero en el caso de que el reflector sea parcialmente transmisor, puede entrar en juego otro mecanismo de despolarización. Muy habitualmente, en pantallas de plata, pequeñas picaduras en el recubrimiento

dejan al descubierto el sustrato despolarizante mate (que a menudo es blanco). En el caso de que las picaduras sean inevitables, es deseable utilizar un sustrato base altamente absorbente (por ejemplo, negro mate) dado que esto lleva a una transmisión significativamente reducida de la luz despolarizada. Las pantallas que se fabrican utilizando, por ejemplo, procesos de impresión por grabado tienen habitualmente un bajo factor de llenado, de tal modo que su PCR está dominado por la despolarización del sustrato.

En una implementación práctica, la dispersión difusa es a menudo el resultado de intentos de eliminar puntos conflictivos. Debido a la tendencia de las facetas a situarse paralelas al sustrato con superficies estadísticas, deben realizarse esfuerzos para deteriorar la reflexión en la dirección especular. Esto se puede realizar incrementando la dispersión difusa, pero es a expensas del brillo y de la PCR. Según la presente invención, la función de densidad de la probabilidad está diseñada de modo que sea uniforme en las proximidades de la dirección especular. Esto permite la conservación de la polarización incrementando al mismo tiempo el brillo de la pantalla.

Forma geométrica de la sala cinematográfica y cambio de polarización en la reflexión

Un aspecto importante del diseño de una superficie estadística optimizada es la plena comprensión de la gama de formas geométricas asociadas a las salas cinematográficas. En las cabinas de proyección modernas, la lente de proyección está (nominalmente) centrada horizontalmente con respecto a la pantalla, pero habitualmente está situada por encima del centro en sentido vertical. Esto puede variar desde cero hasta una desviación de más de media pantalla. Es habitual que la pantalla tenga una curvatura de un solo eje (alrededor de la vertical) con un radio de curvatura igual (óptimamente) a la distancia de proyección o mayor que ella. Esto, en realidad es una exigencia para cumplir con la SMPTE cuando se utiliza una pantalla con una ganancia superior a 1,3.

Es habitual encontrar butacas en las salas situadas en dos zonas, estando la sección delantera inclinada aproximadamente de 8 a 10°, y la sección posterior más grande inclinada aproximadamente de 20 a 22°. La sección delantera es habitualmente curvada (como la pantalla) mientras que la sección posterior habitualmente es rectangular. Frecuentemente se añaden butacas adicionales en las filas próximas al proyector, lo que aumenta la anchura efectiva de la sección posterior. En una sala cinematográfica habitual el promedio de la proporción de la distancia de proyección (proporción de la distancia de proyección a anchura de pantalla) es aproximadamente de 1,8.

En términos de definiciones, se puede describir el comportamiento para las diferentes posiciones de observación desde el punto de vista de un hipotético "espectador ideal". El espectador ideal representa la posición de butaca para la cual el pico del brillo de un fotograma blanco se produce en el centro de la pantalla (cuando se utiliza una pantalla de ganancia). Otras posiciones de interés incluyen las butacas perimetrales en las que el sistema debe comportarse satisfactoriamente. Estas butacas perimetrales definen el emplazamiento de la difusión, tomado conjuntamente con las demás consideraciones geométricas comentadas anteriormente.

La media del ángulo de desviación vertical de un rayo axial, de veintiuna salas cinematográficas comprobadas aleatoriamente, es aproximadamente de ocho grados en sentido descendente. La inclinación vertical desvía hacia abajo la dirección especular lo que es beneficioso para el brillo en una pantalla de ganancia. Cuando está diseñada adecuadamente, esto sitúa al espectador ideal en una posición central de las butacas. Por el contrario, con una desviación cero, la posición óptima de visión con una pantalla de ganancia está en el proyector, lo que evidentemente no es práctico. Dependiendo de la desviación del proyector y del ángulo asociado con el espectador ideal deseado, la desviación del ángulo de difusión puede estar incorporada en el diseño del difusor, de acuerdo con la presente invención.

Los ángulos de visión en el peor de los casos están asociados a las butacas perimetrales (o a un subconjunto de butacas para las cuales el sistema debería comportarse de manera adecuada). Estas butacas definen el emplazamiento de visión. En circunstancias ideales de brillo y contraste, según la presente publicación, no se emite luz fuera del emplazamiento de difusión. Además, la proporción optimizada de contraste de la polarización requiere que solamente se produzcan reflexiones únicas en el interior del emplazamiento de difusión. En el caso en que se produzcan múltiples reflexiones, éstas deberían producirse preferentemente, en el caso de condiciones de reflexión, al exterior del emplazamiento de difusión.

Las **figuras 6A y 6B** son gráficos polares -600- y -650- que muestran respectivamente representaciones polares para los emplazamientos de visión de una sala concreta en diferentes posiciones de visión. La **figura 6A** muestra una representación -602- que representa el ángulo del rayo de observación (en el sistema global de coordenadas) definido mediante el trazado del perímetro de la pantalla en la butaca delantera izquierda (es decir, la posición de visión -132- de la figura 1). La **figura 6B** representa la representación -652- correspondiente para la butaca posterior izquierda (es decir, la posición de visión -134- de la figura 1). En este caso, esta última (-652-) está contenida en el interior de la primera (-602-). Sin embargo, en la disposición habitual de las butacas de una sala, las butacas posteriores definen la parte del emplazamiento correspondiente a la parte inferior de la pantalla.

La **figura 7** es un gráfico polar -700- que muestra el emplazamiento de visión similar a los descritos anteriormente en las **figuras 6A y 6B** en un muestreo aleatorio de veintiuna salas cinematográficas. Dichos datos -704- están contenidos dentro de un perímetro -702- que, para condiciones de iluminación/visión simétricas respecto a la

vertical, definen un emplazamiento de difusión que asimismo es simétrico respecto a la vertical. Un objetivo del diseño es limitar la difusión sustancialmente al interior de la zona definida por el perímetro -702- para incluir el emplazamiento de visión que incluye sustancialmente todas las posiciones de visión más un margen de seguridad arbitrario, *por ejemplo*, de cinco grados.

En el análisis siguiente, se supone que la pantalla incluye una colección de micro-reflectores que, aunque virtualmente coplanarios a una escala macroscópica, están distribuidos aleatoriamente en cuanto a orientación, de acuerdo con la función de densidad de la probabilidad de la pendiente. En este caso, se define un sistema local de coordenadas mediante un vector del rayo de proyección y un vector del rayo de observación. Esto define un plano local de incidencia que contiene el vector normal a la faceta local (en el que se utiliza habitualmente un modelo de faceta como ilustración, aunque la superficie deseada pueda tener propiedades continuas de microreflexión). Debido a que la polarización está sustancialmente conservada mediante la pantalla, es razonable suponer que la luz desviada por la faceta es el resultado de una reflexión especular. La probabilidad de que exista una faceta con la orientación deseada viene dada por la función bidimensional de densidad de la probabilidad de la pendiente que está relacionada con la ganancia de la pantalla.

El plano local de incidencia define asimismo los vectores locales S y P (o vectores propios locales), que obedecen a las ecuaciones de Fresnel en cuanto a reflexión. En este caso, el recubrimiento funcional es habitualmente un metal (por ejemplo, aluminio) que tiene un índice de refracción complejo y, por lo tanto, es absorbente. Suponiendo que el "área de la faceta" sea grande con respecto a la longitud de onda de iluminación (o de un modo más realista, que la pendiente varíe lentamente a la escala de la longitud de onda) se puede considerar que la luz se refleja especularmente desde la superficie, conservando la polarización. De este modo, virtualmente no existe despolarización asociada con este suceso, aunque en general se produce un cambio en el estado de polarización (SOP) debido a los distintos coeficientes de reflexión complejos asociados con S y P.

Se considera el caso específico en el que la luz incidente polarizada linealmente incluye tanto proyecciones S como P. Una diferencia de fase en la reflexión tiende a inducir elipticidad, mientras que una diferencia en la reflectividad tiende a hacer girar la orientación. En el caso de un sistema 3D basado en un polarizador lineal, el ángulo de acimut en el peor de los casos (polarización a $\pm 45^\circ$ con respecto al plano de incidencia de la faceta), o en un sistema basado en un polarizador circular a cualquier ángulo de acimut, la contribución de la reflexión de Fresnel a la proporción del contraste de polarización viene dada por:

$$PCR = \frac{\left(\sqrt{R_P}/2 + \sqrt{R_S}/2\right)^2 - \sqrt{R_P R_S} \sin^2(\Gamma/2)}{\left(\sqrt{R_P}/2 - \sqrt{R_S}/2\right)^2 + \sqrt{R_P R_S} \sin^2(\Gamma/2)}$$

en que $\sqrt{R_P}e^{-i\Gamma/2}$ y $\sqrt{R_S}e^{i\Gamma/2}$ son los coeficientes de reflexión complejos asociados con polarizaciones S y P, respectivamente (despreciando la fase común), en que Γ es el cambio de fase entre los componentes R y P. En primer orden, el primer término en el denominador explica la pérdida de contraste debido a la diferencia de reflectividad, mientras que el segundo término en el denominador explica la pérdida de contraste debido al retraso de fase.

Básicamente, el ángulo de incidencia de la faceta debería ser menor de 45° , teniendo (*por ejemplo*, una pantalla plana) una distancia de proyección infinita (con un proyector centrado) y un espectador situado en el plano de la pantalla. Lo más habitual es que en las salas cinematográficas los ángulos de incidencia máximos de las facetas asociados con el espectador en el peor de los casos estén por debajo de 35° .

La **figura 8** es un gráfico -800- de la PCR de Fresnel para la polarización circular (o el acimut del peor de los casos de polarización lineal) en función del ángulo de incidencia de la faceta. El contraste -802- está por encima de 1.000:1 para ángulos por debajo de 25° (lo que significa la mayor parte de la audiencia) permaneciendo por encima de 270:1 para ángulos hasta 35° . De este modo, la contribución Fresnel es relativamente pequeña en el entorno de los cines actuales.

En lo que se refiere a contribuciones relativas (de nuevo en primer orden) el contraste debido a la diferencia de reflectividad sola es de 24.000:1 a 35° , mientras que el contraste asociado solo con el retardo es de 273:1. De este modo, la pérdida en contraste asociada con Fresnel se debe principalmente al cambio de fase entre S y P. Existe la oportunidad de adoptar más estrechamente la fase de S y P mientras se incrementa la reflectividad total mediante la adición de capas dieléctricas transparentes de conformación (que sirven al mismo tiempo para prevenir el crecimiento de óxido nativo) sobre el metal. Esto se realiza habitualmente con los recubrimientos de espejo denominados de "aluminio protegido". Lippey y otros, en la patente U.S.A. nº 7.110.175 (incorporada en esta memoria como referencia) dan a conocer la deposición de una capa de aluminio para tratar la diferencia de reflectividad mediante la utilización de una capa dieléctrica para hacer que la reflectividad de S y P sea la misma. Sin

embargo, Lippey no reconoce que el contraste se ve afectado mucho más por la diferencia de fase que por la diferencia de reflectividad. Debido a que se supone que la despolarización es solamente una consecuencia de la diferencia entre la reflectividad de S y P, el objetivo natural del contraste es el de minimizar los ángulos de incidencia locales, y tener de este modo una ganancia más elevada. No obstante, tal como se ha dado a conocer en esta memoria, hemos demostrado que el mecanismo dominante de despolarización son casos de dispersión múltiples, que Lippey ni siquiera menciona. Dicho de otro modo, Lippey no reconoce el mecanismo dominante que contribuye al comportamiento del contraste o las técnicas para dicha optimización del comportamiento del contraste. Además, el segundo objetivo identificado por Lippey es hacer coincidir la amplitud de la reflectividad de las polarizaciones de S y P. No obstante, con las explicaciones de la presente invención es posible hacer coincidir tanto la amplitud de la reflectividad de S y P como maximizar la diferencia de fase entre los dos componentes, consiguiendo de este modo un comportamiento excelente en las propiedades de conservación de la polarización.

Frecuentemente, los recubrimientos dieléctricos son depositados sobre espejos metálicos para proporcionar durabilidad y mejorar la reflectividad. Si el aluminio desnudo no es recubierto, se raya fácilmente y eventualmente forma una capa delgada (70 a 90 Å) de óxido nativo (Al_2O_3). El óxido nativo (índice $n = 1,66$) tiende a reducir la reflectividad a lo largo del tiempo. Si, por el contrario, se deposita una capa que es aproximadamente de un cuarto de onda de grosor óptico de MgF_2 ($n = 1,38$) sobre el aluminio desnudo, se puede hacer que la reflectividad aumente en un pequeño porcentaje. Aunque el MgF_2 representa una elección ideal de recubrimiento dieléctrico, se puede obtener una mejora sustancial utilizando otros dieléctricos de bajo índice tales como el SiO_2 . En ambos casos, la obligación principal es minimizar la diferencia de fase compleja entre las reflectividades de S y P.

En la presente invención, la conservación de la polarización es posiblemente más importante que el aumento de la eficiencia. Tal como se ha comentado anteriormente, la reducción de la diferencia de fase entre las componentes S y P mediante la compensación con una película delgada contribuye a conservar la polarización. Una película dieléctrica de un grosor y un índice arbitrarios, con la medición del comportamiento siendo la PCR de 589 nm (en que la polarización de entrada es a 45° con respecto al plano de incidencia), produce los mejores resultados cuando el índice de refracción es el mínimo (por ejemplo, con MgF_2). Cuando se utiliza un óxido nativo de grosor 70 Å, la PCR con un ángulo de incidencia de las facetas de 35° es de 139:1 (que es menor que la del aluminio desnudo). Al añadir una capa de 0,34 de grosor de onda de MgF_2 , se obtiene un contraste de 23.915:1. A 28° , el contraste es menor que en el caso compensado (1.934:1), pero todavía el contraste sigue siendo significativamente más elevado que en el caso sin compensar (360:1). En el caso de ángulos más pequeños generalmente aumenta el contraste, pero el caso compensado sigue siendo por lo menos mayor con un factor de tres que en el caso sin compensar.

Debido a que una faceta inclinada tiene auto polarizaciones lineales, el comportamiento de un sistema basado en la polarización lineal depende del acimut. Si la polarización de entrada está contenida en el plano de incidencia de la faceta, se conserva la polarización en la reflexión. Si este mecanismo es importante en la determinación del contraste, se pueden seleccionar las gafas para optimizar el comportamiento global. Por ejemplo, las esquinas de la pantalla tienden a corresponder a los mayores ángulos de incidencia de la faceta, que pueden tender a ser más próximos al ángulo de acimut de $\pm 45^\circ$ que al acimut de $0/90^\circ$. En estas circunstancias, se puede utilizar un sistema basado en gafas con una polarización lineal de $\pm 45^\circ$. En el caso de los sistemas que utilizan una base circular, no existe mejora en el cambio en la polarización en la reflexión para ningún acimut debido a que, de hecho, el contraste es independiente del ángulo de acimut. En el caso en que el contraste esté dominado por reflexiones múltiples, el argumento anterior puede no ser una consideración de diseño importante.

Dobles reflexiones

Dependiendo de la estructura de la pantalla, el cambio de polarización después de una sola reflexión puede no ser el factor más importante que influya en la interferencia. Los difusores altamente direccionales, tales como los fabricados por la empresa Wavefront Technologies, tienen crestas con altas pendientes que tienden a producir reflexiones secundarias. Bajo el microscopio de polarización cruzada los difusores holográficos del mercado presentan habitualmente auto polarizaciones lineales debido a retroreflexiones cuando son iluminados y detectados normalmente. En un ensayo con tres muestras de productos utilizados normalmente en transmisión, pero recubiertos con aluminio para el ensayo, todas las muestras dispersaron sustancialmente más en una dimensión que en la dirección ortogonal ($8^\circ/21^\circ$, $10^\circ/68^\circ$, $12^\circ/44^\circ$). Las muestras recubiertas verificaron que el contraste fue de varios centenares a uno cuando la polarización de entrada era paralela al eje de la estructura, pero fue sustancialmente más baja cuando se giró la muestra, con contrastes de solamente decenas a uno en el acimut de 45° . Hay que tener en cuenta que estas mediciones fueron realizadas en una disposición de retroreflexión.

Las superficies estadísticas, tales como las pantallas de laminillas metálicas, son también propensas a dobles reflexiones. A menudo, la trayectoria libre de medios entre pares de facetas es sustancialmente más larga que las dimensiones de las características reflectantes reales. Cuando se hace girar una pantalla de muestra bajo un microscopio de polarización lineal cruzada en una disposición de retroreflexión, se puede observar que el brillo de los pares de facetas cambia al mismo tiempo. Esto es debido probablemente a que la luz convertida por la polarización sale de direcciones de propagación opuestas. A lo largo de las direcciones propias los pares se apagan considerablemente. Debido al alto grado de conversión de la polarización con retroreflexión, los pares resultan muy

brillantes en el acimut de $\pm 45^\circ$. La forma geométrica efectiva de los pares es a menudo muy similar (dictada por el área de solapamiento de las facetas) lo cual es otro factor que las hace fácilmente identificables.

Las disposiciones de retroreflexión tienen beneficios potenciales desde el punto de vista del brillo. Es decir, si la dirección de la difusión pico es, en general, contraria a la dirección de incidencia, entonces la luz procedente del proyector tendrá una tendencia mayor a ser proyectada hacia la audiencia. Por ejemplo, las pantallas de esferillas pueden tener la ventaja de funcionar como un retroreflector de ojo de gato. Debido a que tienen la propiedad de autocorrección, los retroreflectores pueden eliminar virtualmente la necesidad de control local de las propiedades de difusión como medio para dispersar la luz de forma óptima. No obstante, se debe tener cuidado de asegurar que dichas retroreflexiones no ponen en riesgo la polarización tal como podría ocurrir con ciertos retroreflectores (por ejemplo, cúbicos de esquina). En el caso de dobles reflexiones procedentes de pares de facetas la polarización es convertida sustancialmente al estado ortogonal.

En el pasado, se han venido utilizando estructuras periódicas de tipo lenticular en las pantallas de cine para dispersar más en la dirección horizontal que en la vertical. En el caso en que se utilicen superficies estructuradas para dispersar la luz en mayor grado en la horizontal que en la vertical, las cuales son propensas a reflexiones secundarias, se puede utilizar un sistema basado en gafas de polarización 0/90°. Sin embargo, más probablemente las estructuras de pantalla que son propensas a reflexiones secundarias no se comportan de manera adecuada.

Contribución de cada término a la PCR

Se pueden utilizar mediciones específicas para extraer la contribución de cada mecanismo físico a la PCR. En base a la explicación anterior, el término de dispersión difusa es probable que sea blanco en un espacio angular, e independiente del vector base de la polarización. Este es el término de las pérdidas de fondo. De este modo los resultados de la PCR frente al ángulo de incidencia de la faceta deberían ser los mismos tanto para la polarización lineal como la circular. Si no lo fueran, es probable que otro mecanismo físico esté contribuyendo de forma significativa.

La contribución de Fresnel es cero en la dirección de retroreflexión (en el caso de retroreflexiones únicas) llegando a ser significativa cuando el ángulo de incidencia de la faceta se acerca a 20° , y crece cuando aumenta el ángulo. Claramente es dependiente de la polarización, desapareciendo cuando la entrada es paralela/perpendicular al plano de incidencia de la faceta y máxima a $\pm 45^\circ$. La contribución a la PCR es independiente del acimut cuando se utiliza polarización circular. De este modo, si la PCR lineal resulta que es una función de acimut potente (o si existe una diferencia significativa entre PCR lineal y circular) con ángulos de incidencia grandes, entonces el término de Fresnel puede ser importante. Esto supone que la contribución desde múltiples reflexiones llega a ser relativamente poco significativa en dichos ángulos grandes (o puede ser separada).

En el caso en que los vectores base circular y lineal proporcionen diferentes PCR en la dirección de retroreflexión, el motivo es probablemente la doble reflexión. Cuando una superficie estadística en la que la densidad de la probabilidad de la pendiente es uniforme en acimut, la probabilidad de un caso de doble reflexión es posiblemente uniforme en acimut. En el caso de polarización circular, la contribución a la PCR es por consiguiente asimismo uniforme en acimut. Pero debido a la dependencia del acimut de la polarización lineal, la contribución a la PCR promediada sobre todo el acimut es la mitad que la del caso circular.

Como un modo de probar esta contribución, se realizaron mediciones de la BRDF sensibles a la polarización tanto en el caso lineal como circular, en que el caso lineal es a lo largo de una dirección propia.

La **figura 9** es un gráfico que muestra que el contraste del caso lineal -902- está por encima de 160:1, mientras que en el caso circular -904- es solamente de 110:1. Debido a que esta diferencia se observa a lo largo de la dirección de retroreflexión, cualquier diferencia en la PCR puede ser atribuida a reflexiones múltiples, excepto que la PCR del caso circular sea inherentemente más baja. Para obtener estos resultados, se dirigió un láser de 532 nm a través de un par de polarizadores ortogonales lineales y circulares para ensayar el comportamiento de referencia con incidencia normal. La PCR de referencia fue medida, de modo que era de 888:1 en el caso lineal y de 895:1 en el caso circular, cuya diferencia está perfectamente dentro del error experimental y está limitada por el polarizador. De este modo, se pueden proporcionar PCR sustancialmente más elevadas por medio de la superficie diseñada de la presente invención mediante la eliminación de dobles reflexiones.

Otro aspecto cuestionable de las superficies estadísticas es la falta de control espacial de las características de la BRDF. La variación espacial en la función de densidad de la probabilidad de facetas puede producir un aspecto no uniforme. El tamaño de las características asociado a dichas variaciones puede ser muy dependiente de los procesos de fabricación y de los aspectos del control estadístico de cada uno de ellos. Dado que el tamaño de un pixel en una pantalla media para un proyector 2k HD total (1024 x 2048 píxeles) es de aproximadamente 7 mm, una variación significativa en la intensidad reflejada sobre estos tamaños (o mayores) es posiblemente problemática. Para demostrar esto se iluminó normalmente una pantalla de muestra a una distancia de 305 mm con un láser de 532 nm de amplitud estable. El láser y el módulo de detección fueron montados con una separación de 45 mm sobre el mismo carril portador (en el plano), y fueron trasladados con incrementos de 1 mm a lo largo del eje de la pantalla.

La apertura del detector es de 5 mm, eliminando virtualmente la contribución del moteado. Se da por supuesto que se producirá un cierto suavizado del perfil como consecuencia de promediar el ángulo sólido de detección asociado.

El intervalo total del escaneado en una posición determinada fue de 100 mm, sin diferencias significativas en los resultados para otras posiciones en la pantalla. Se ensayaron muestras de pantallas de dos proveedores. En el caso de las muestras A y B la desviación estándar de la potencia reflejada fue de 6,8% y 5,2% respectivamente. La desviación máxima fue de +21% y -16% en la muestra A y de +11% y -14% en la muestra B.

Se obtiene una estimación de la variación en el brillo percibido de los píxeles debido a una BRDF no uniforme mediante la comparación de la potencia media captada en segmentos de 7 mm del escaneo. En el caso de la muestra A, la desviación media fue del 4,6% mientras que para la muestra B la desviación media fue del 6,7%. La desviación máxima correspondiente fue del 8% y del 7,5%, respectivamente. Una ventaja de la superficie diseñada según la presente invención es que dichas variaciones de patrón fijo podrían ser virtualmente eliminadas en todas las escalas pertinentes.

Efectos de interferencia

Después de la propagación desde el proyector a la pantalla, y suponiendo coherencia espacial de la luz de proyección del orden de una longitud de onda, la luz de iluminación puede presentar coherencia espacial en áreas que son significativas con respecto al área de resolución de la pantalla. Esto puede agravar los problemas de uniformidad de aspecto de la pantalla por una superposición coherente en la retina. Según la presente publicación la microestructura diseñada puede tener una estructura de frecuencia espacial de ruido superpuesta a la topografía deseada. Dicha estructura no tiene impacto en el requisito de reflexión única, pero deja la fase al azar de tal modo que la luz captada por el ojo contiene una representación sustancialmente uniforme en el espacio fásico. Si la amplitud del ruido es un múltiplo de la longitud de onda y dicha longitud de onda es similar a la longitud de la coherencia espacial de la luz, la fase aleatoria debería ser suficiente para reducir sustancialmente el moteado.

Apariencia mate

El ojo tiene una resolución aproximada de un minuto de arco, por debajo de la cual la intensidad percibida puede ser considerada una integración ponderada de la densidad de probabilidad que los núcleos generadores se dispersen desde la dirección de iluminación a la dirección de observación en el área asociada. Esta probabilidad está relacionada con la densidad de la probabilidad de la pendiente local. En el caso en que la probabilidad integrada varíe espacialmente, significando que el área muestreada no es conforme a las estadísticas del conjunto, la pantalla tendrá una textura granulada, lo que es inaceptable. Esto puede suceder tanto a consecuencia de tamaños de características grandes, como debido a su distribución específica sobre la superficie de la pantalla. A menudo, las fluctuaciones relativas de intensidad aumentan con el ángulo de observación, con lo que la probabilidad de que exista el área de pendiente requerida disminuye sustancialmente con respecto a la dirección especular.

En las pantallas de cine convencionales, una apariencia mate es el resultado de características muy pequeñas que producen múltiples casos de dispersión que contribuyen al promedio en el espacio angular. Según la presente invención, el difusor diseñado es analizado y modificado espacialmente para crear una distribución de la intensidad más uniforme después de reflexiones únicas. Esto reduce sustancialmente la granulosidad del aspecto, pero conserva la polarización. En gran parte, según la presente invención, esto se realiza por medio de la forma del difusor diseñado. Localmente, cada características de dispersión llena todo el emplazamiento de visión de forma ergódica. Las fluctuaciones espaciales son debidas principalmente a los efectos de aleatoriedad y teselado. El porcentaje del área sometida a dichos efectos puede ser pequeño con respecto a la zona no afectada, *es decir*, puede estar limitado a zonas en las que los núcleos generadores diseñados están solapados. Mediante la utilización de núcleos generadores con pendiente cero y altura cero en el límite, este efecto está limitado sustancialmente a la zona especular del perfil de ganancia en la que es mucho menos inaceptable.

Diseños de pantalla a modo de ejemplo

En el caso en que la pantalla contenga una distribución estadísticamente homogénea de núcleos generadores, es necesario que dichos núcleos satisfagan sustancialmente las condiciones extremas de iluminación y de observación. Cada punto sobre la pantalla admite iluminación desde uno (o varios) ángulos distintos. Por encima de las áreas asociadas con estadísticas de conjunto, esta iluminación puede ser considerada habitualmente como colimada. Para cada una de dichas áreas de iluminación, la luz debe ser dispersada en una gama de ángulos asociada con el emplazamiento de difusión, sometido a los requisitos de ganancia. Para cada uno de estos puntos, una cuantía importante es el ángulo extremo formado entre la dirección especular y la dirección de observación. Cuando los requisitos de dispersión para cada punto de la pantalla están superpuestos, el perímetro denominado aquí como el "emplazamiento de difusión" define los requisitos de difusión de la microestructura de la pantalla. El emplazamiento de difusión está relacionado con la densidad de la probabilidad de la pendiente de la microestructura de la pantalla.

Cuando se describe un difusor microestructurado, es conveniente considerar la unidad (o unidades) estructurales fundamentales más pequeñas que han sido reproducidas para formar una macroestructura. Esta estructura se

denomina en esta memoria como el núcleo generador y en el caso de un difusor superficial tendrá una cierta forma topográfica que determine el perfil de difusión de la luz reflejada desde el mismo. En una situación ideal, el núcleo generador soporta la totalidad de estadísticas del conjunto del difusor requerido, de modo que la variación punto a punto en la difusión es minimizada a la escala más pequeña posible. En un caso más general, el núcleo generador puede no satisfacer completamente estas estadísticas, pero el conjunto de dichas estructuras si puede.

Un aspecto de la presente invención es el diseño del perfil de un núcleo generador (o la microestructura que comprende una serie de núcleos generadores) para eliminar reflexiones secundarias dentro de los ángulos de incidencia de la faceta asociados con la gama completa de ángulos de iluminación/observación. En una realización, esto se consigue determinando el emplazamiento de difusión de iluminación/observación para proporcionar luz a todas las butacas requeridas en la sala (en base a las consideraciones geométricas comentadas anteriormente) y el diseño de un núcleo generador (o de una microestructura que comprende una serie de núcleos generadores) que consigue por lo menos uno de los siguientes puntos: (1) una función de densidad de la probabilidad de la pendiente que es uniforme en todo el emplazamiento de difusión (virtualmente Lambertiana) con pocos o ningún "pico" en la dirección especular; (2) una función de densidad de la probabilidad de la pendiente que es uniforme espacialmente (*por ejemplo*, del 11%) de tal modo que existe una pequeña modulación percibida, si la hay, en el brillo; (3) una función de densidad de la probabilidad de la pendiente que tiene un corte brusco en el espacio angular en el perímetro del emplazamiento de la difusión; (4) una disposición del núcleo generador que está libre de características más pequeñas que unas pocas micras, asegurando dicha uniformidad que se conserva el grado de polarización; (5) tamaños de las características de los núcleos generadores que son más pequeñas que varios centenares de micras (que podrían tener como resultado, *por ejemplo*, un aspecto "granulado" o de "destellos"); y (6) rayos incidentes en el interior del perímetro del emplazamiento de difusión que no sufren ninguna reflexión secundaria sustancial antes de entrar en el emplazamiento de difusión.

Al disponer un corte brusco en la densidad de la probabilidad de la pendiente, es posible eliminar los rayos que tienden a dispersarse en la dirección de la luz incidente (dispersión hacia delante) o de las estructuras adyacentes. Dicha luz sufrirá dos o más reflexiones, generalmente con un cambio significativo en la polarización. Adicionalmente, la luz que de otro modo no entraría en el emplazamiento de difusión puede ser utilizada para incrementar el brillo de la imagen y eliminar la pérdida de la saturación de color y de contraste resultante de la luz parásita dispersada procedente de las superficies de la sala.

La **figura 10** es un gráfico -1000- de un ejemplo unidimensional de una estructura cóncava -1002- que tiene una función de densidad de la probabilidad uniforme con un corte brusco a 80° . Matemáticamente, los requerimientos para dicha estructura son los siguientes. En primer lugar, la velocidad del cambio de θ es proporcional a la inversa de la probabilidad de dispersión deseada $\mathcal{D}(\theta)$: $\partial\theta/\partial x = c1/\mathcal{D}(\theta)$ (en que c tiene unidades de distancia inversa y determina la escala de los núcleos generadores). En segundo lugar, el corte brusco en la distribución de la probabilidad se determina fijando los límites de integración de θ . Finalmente, la pendiente en cualquier punto en la superficie es igual a la tangente de la mitad del ángulo de dispersión: $\partial z/\partial x = \tan(\theta/2)$.

La **figura 11** es un diagrama que muestra una estructura unidimensional -1100- que es periódica y satisface los mismos criterios. Los elementos convexos -1102- de la estructura son obtenidos mediante la rotación de 180° de los elementos cóncavos. Las celdas adyacentes en la estructura pueden tener un tamaño arbitrario siempre que se conserve la proporción de aspecto, permaneciendo el tamaño suficientemente pequeño para ser visiblemente irresoluble, pero suficientemente grande para impedir la dispersión difusa (*por ejemplo*, menos de varios centenares de micras y mayor que un par de micras) y que no se produzcan reflexiones múltiples dentro del emplazamiento de difusión. La luz incidente con ángulos hasta de 10° no sufre reflexiones múltiples tal como se muestra mediante el rayo reflejado -1104-, lo que elimina el pico adyacente. Se puede generar una superficie aleatoria mediante el teselado con múltiples celdas unitarias de diferentes anchuras tal como se muestra en -1106-.

Más generalmente, una superficie estadística puede ser generada mediante la eliminación de la ecuación diferencial: $\partial\theta/\partial x = c1/\mathcal{D}(\theta)$, pero manteniendo la densidad de la probabilidad de la pendiente $\mathcal{D}(\theta)$. Las estructuras reflectantes pueden tener formas diferentes siempre que la densidad de los elementos superficiales con pendiente θ sea igual a $\mathcal{D}(\theta)$. En particular, esto permite que el diseño se adapte a diferentes requisitos de dispersión en diferentes zonas de la pantalla.

Las **figuras 12A a 12D** son diagramas esquemáticos que muestran una vista lateral de una sala arbitraria, incluyendo el proyector, la pantalla y la zona de butacas.

En la **figura 12A**, durante el funcionamiento, el rayo -1204- viaja desde el proyector -1202- hasta la parte inferior de la pantalla -1206-. Con el objeto de iluminar la zona de butacas -1208- debe ser dispersado en el emplazamiento de difusión -1210-. El emplazamiento de difusión se define de acuerdo con los extremos angulares en iluminación y en detección/observación. Dentro del emplazamiento de difusión se producen sustancialmente solamente reflexiones únicas desde la pantalla hacia el emplazamiento de difusión; mientras que en el exterior del emplazamiento de difusión pueden producirse múltiples reflexiones.

La **figura 12B** es un diagrama esquemático que muestra un ejemplo de microestructura -1222- en la superficie de la pantalla de la **figura 12A**. Los rayos -1224-, -1226-, y -1232- son todos ellos aproximadamente paralelos al rayo -1204- pero iluminan diferentes partes de la microestructura. Los rayos -1224- y -1226- experimentan reflexiones especulares simples -1230- y -1228- antes de entrar en el emplazamiento de difusión -1210-. El rayo -1232- experimenta dos reflexiones especulares, pero el rayo saliente -1234- no entra en el emplazamiento de difusión -1210- y de este modo no es probable que se produzca un descenso en la PCR.

Por el contrario, la **figura 12C** muestra un rayo que viaja desde el proyector hasta la parte superior de la pantalla -1206- que ilumina una posición de visión sustancialmente diferente en el interior del emplazamiento de difusión. La **figura 12D** muestra las reflexiones -1268- desde una microestructura -1262- situada en la parte superior de la pantalla -1206- mostrando que ningún rayo incidente en la parte superior de la pantalla experimenta reflexiones múltiples aunque algunos rayos reflejados -1270- no entren en el emplazamiento de difusión -1240-.

De este modo, comparado con los rayos que viajan hacia arriba desde el proyector -1202- hasta la parte superior de la pantalla -1206-, los rayos que viajan hacia abajo desde el proyector -1202- y que chocan con la parte inferior de la pantalla -1206- se dispersan preferentemente en una parte sustancialmente diferente del emplazamiento de difusión con el objeto de iluminar la zona de butacas, es decir, la densidad de la probabilidad de la pendiente es asimismo una función del ángulo de incidencia. Además, dado que diferentes ángulos de incidencia iluminan diferentes posiciones de visión, se pueden tolerar algunas reflexiones dobles siempre que tengan como resultado luz que no entra en el emplazamiento de difusión. Estos efectos aumentan al disminuir la distancia desde el proyector. Aunque se muestra una única microestructura -1222-, -1262- coherente con la presente invención, una microestructura única puede estar compuesta de uno o varios núcleos generadores.

Las **figuras 13A y 13B** son gráficos -1300-, -1350- de varias posibles curvas de "ganancia" para pantallas diseñadas en las que la luz solamente es dispersada en el emplazamiento de difusión mostrado en la figura 7. En este caso, la ganancia se calcula en el interior del emplazamiento de difusión y se supone que es simétrica alrededor del eje vertical pero con un corte brusco, tal como se muestra en la figura 7. El gráfico -1300- muestra que un perfil uniforme (tipo Lambertiano) -1310- en el interior del emplazamiento de difusión da lugar a un aumento de la eficiencia de casi el 30% sobre un perfil típico -1320- de una pantalla mate blanca. El gráfico -1350- muestra que si el perfil de ganancia tiene la misma forma funcional que la ganancia de la pantalla de plata de ganancia existente, el incremento en eficiencia -1360- es casi del 100%. Alternativamente, la curva de ganancia puede ser aplanada, mostrada mediante la línea -1340-, de tal manera que la uniformidad global es mejor que la de la pantalla de plata convencional, mostrada mediante la línea -1330-, es decir, ensanchar el perfil de ganancia de la pantalla de plata actual, sustancialmente con el mismo brillo máximo.

La **figura 14** es una representación polar -1400- del emplazamiento normal a las facetas con respecto a la superficie normal de la pantalla que sustancialmente ilumina toda la zona de visión con luz procedente del proyector. En cada punto de la pantalla existe un conjunto de normales -1410- a las facetas que dirigen la luz desde el proyector a cada butaca individual. La unión de todos estos conjuntos en toda la superficie de la pantalla define el emplazamiento de las normales -1420- a las facetas para asegurar que cada espectador recibe luz sustancialmente desde todas las partes de la pantalla. Cualesquiera normales a las facetas que caigan fuera de este emplazamiento tienen como resultado una pérdida de luz. Los puntos negros -1410- son calculados desde las butacas situadas en la posición de visualización extrema del lado izquierdo a partir de una selección aleatoria de las salas. El emplazamiento o curva -1420- se extiende para abarcar asimismo los ángulos de visión de las butacas situadas más a la derecha.

Las propiedades geométricas deseadas para una pantalla de proyección que conserva la polarización han sido identificadas como: (1) llenar el emplazamiento de difusión con una intensidad uniforme de luz; (2) impedir múltiples reflexiones de la luz mediante (a) introducir un ángulo de corte en la distribución de la luz para impedir que la luz reflejada choque con la pantalla una segunda vez, y (b) mantener las características con pendientes pronunciadas bien separadas, de tal modo que la luz dispersada en ángulos grandes no encuentre una segunda superficie; (3) conseguir un modo ergódico en el interior de una zona menor que un pixel, es decir, el emplazamiento de difusión completa debe ser muestreado uniformemente en un área de la pantalla que es menor que un píxel, de modo que la intensidad de la pantalla sea espacialmente uniforme; (4) asegurar que todas las características son significativamente mayores que una longitud de onda óptica para impedir la dispersión; y (5) evitar estructuras periódicas que podrían combinarse con la pixilación del proyector para producir moaré o interferencias entre conjuntos de rejillas de patrón fino. Se encontró una curva que satisfacía estos requisitos para el caso de dispersión unidimensional.

Tal como se utiliza en esta memoria "ergodicidad" es la condición en la que el valor medio de algún parámetro en una zona finita ha convergido al promedio del conjunto de toda la zona. Cuando una zona de un cierto tamaño se dice que es ergódica no es estadísticamente diferente de cualquier otra zona de tamaño similar o mayor en el conjunto.

Existen dos estrategias generales para realizar una superficie difusora bidimensional. La primera es determinar un conjunto de reglas que puedan ser utilizadas en procesos aleatorios (estocásticos) que como promedio satisfagan

los requisitos. La identificación de procesos totalmente aleatorios que, en general, satisfagan todos los requisitos de diseño puede ser complicado, pero la fabricación de estas superficies puede ser, en general, más fácil. La segunda estrategia es diseñar una estructura a medida que satisfaga explícitamente todos los requisitos anteriores. Esto asegura el mejor comportamiento, pero requiere una técnica de fabricación que pueda transferir este diseño a la superficie de la pantalla con elevada fidelidad.

Diseño estocástico

Existen una gran cantidad de técnicas disponibles con las que realizar un difusor superficial a partir de estructuras aleatorias. Dichas técnicas incluyen grabado holográfico de un moteado láser, ataque químico, ataque mecánico (*por ejemplo*, chorreado con esferillas) y recubrimiento con laminillas de metal encapsuladas en un aglomerante polimérico. La forma geométrica local de las características de dispersión individuales en estos difusores se define mediante el proceso con el que se crea el difusor. Por ejemplo, un difusor holográfico estará compuesto de picos Gaussianos bidimensionales, mientras que una pintura con laminillas metálicas estará compuesta por una colección de facetas planas con bordes agudos. Despreciando todos los bordes agudos, el límite de un gran número de dichas características se espera que se adapte a las estadísticas Gaussianas. Por consiguiente, un difusor estocástico puede equipararse a una colección distribuida aleatoriamente de características de dispersión Gaussianas en la que las características tengan una altura $-d-$ y un ancho $-\sigma-$ característicos.

En principio, los valores medios de $-d-$ y $-\sigma-$ pueden ser controlados a menudo independientemente. Por ejemplo, en el caso de un patrón de moteado láser, $-\sigma-$ es el tamaño característico del moteado y puede ser ajustado mediante la modificación de la distancia a la apertura, o el tamaño de la apertura. Si el patrón de moteado está grabado en modo fotoresistente, $-d-$ puede ser controlado mediante la modificación del tiempo de exposición y/o las condiciones de revelado. De manera similar, en un proceso de chorreado con esferillas, $-\sigma-$ estará relacionado con el tamaño de las partículas abrasivas y $-d-$ será proporcional a su velocidad de incidencia (en primer lugar). Por consiguiente, el establecimiento de reglas de diseño para la generación de difusores estocásticos depende de la comprensión de la relación entre $-d-$, $-\sigma-$ y la conservación de la polarización, es *decir*, de las dobles reflexiones.

La **figura 15** es un diagrama esquemático que muestra una vista superior -1500- de una superficie Gaussiana a modo de ejemplo y las vistas laterales respectivas -1502- y -1504- que han sido simuladas con estadísticas Gaussianas para verificar el modelo de cálculo frente a experimentos con muestras físicas. Se simula un difusor bidimensional con estadísticas Gaussianas llenando un plano con Gaussianos situados al azar (*por ejemplo*, los Gaussianos -1506- y -1508-). En primer lugar, es suficiente utilizar Gaussianos idénticos ($-\sigma-$ y $-d-$ son constantes). Se proporciona una cobertura relativamente uniforme mediante la ubicación de los picos en una retícula hexagonal y trasladando aleatoriamente a continuación sus posiciones por medio de una distancia Gaussiana ponderada. Si la desviación estándar de la traslación es suficientemente grande, se elimina a continuación el orden hexagonal subyacente y las correlaciones par a par se convierten en Gaussianas. Esto tiene como resultado una distribución Gaussiana del ruido tal como se muestra en la figura 15. En esta simulación a modo de ejemplo, $\sigma = 30 \mu\text{m}$, $d = 16 \mu\text{m}$, la constante de la retícula subyacente es de $60 \mu\text{m}$, y la anchura total de la estructura es de 2 mm .

La distribución de la dispersión y la ganancia de esta estructura -1500- fue simulada utilizando un software no secuencial de trazado de rayos (ASAP). La iluminación fue una fuente de luz colimada uniforme que muestreaba totalmente la superficie con una incidencia normal. Para acelerar el cálculo y simplificar el análisis, se despreció la polarización de los rayos individuales y se ignoraron los efectos no geométricos (*por ejemplo*, la reflectividad Fresnel y la dispersión de las características por debajo de la longitud de onda). Para calcular la ganancia, se capturaron todos los rayos reflejados desde la superficie una sola vez.

La **figura 16** proporciona un gráfico -1600- que muestra la densidad de los rayos reflejados desde la superficie Gaussiana a modo de ejemplo de la figura 15, representado en función del ángulo. El gráfico -1600- representa esta traza del rayo bidimensional como una superficie Gaussiana de ruido, y los gráficos -1602- y -1604- muestran el perfil desde los aspectos horizontal y vertical respectivamente. En el gráfico -1600-, los rayos simulados solamente han sido reflejados una sola vez desde la superficie y la intensidad se ha escalado por $\cos(\theta)$ para mostrar la ganancia. Se puede utilizar una representación de la ganancia de todos los rayos que se han reflejado dos veces desde la superficie para calcular el efecto de despolarización de múltiples reflexiones.

La **figura 17** proporciona un gráfico -1700- que muestra una representación de la intensidad de los rayos que han experimentado una reflexión doble desde la superficie Gaussiana del ejemplo de la figura 15. El gráfico -1700- y las vistas laterales -1702-, -1704- revelan que la superficie Gaussiana no es totalmente ergódica, es *decir*, debido a que la distribución dispersada no es uniforme radialmente, esta superficie no es estadísticamente lisa. Esto es coherente con experimentos en difusores holográficos con tamaños similares de las características en los que se aprecia una variación significativa de la intensidad entre porciones adyacentes de $3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$. Sin embargo, el promedio radial de la distribución es una aproximación correcta de la distribución total. La proporción del contraste de la polarización debido a múltiples reflexiones es la proporción de la intensidad debida a reflexiones únicas, tal como se muestra en la figura 16, con respecto a la intensidad debida a dobles reflexiones, tal como se muestra en la figura 17.

La **figura 18** es un gráfico -1800- que muestra contraste frente a ganancia en el caso de una serie de simulaciones con diferentes amplitudes para superficies difusoras Gaussianas. Mediante el incremento de la amplitud de la distribución del ruido, se disminuye la ganancia de la estructura. Esto aumenta la probabilidad de reflexiones múltiples y, como resultado, disminuye el contraste. La tendencia es cualitativamente similar a la tendencia medida en una serie de difusores holográficos. La línea -1802- que muestra el resultado simulado tiene de una forma sistemática un contraste mayor que la línea -1804- que muestra el resultado experimental debido a la falta de dispersión puntual, de efectos de Fresnel y de sensibilidad a la polarización finita del sistema de medición. Esta serie de experimentos destaca algunas de las limitaciones de una superficie estadística como difusor en el caso de una pantalla cinematográfica. En dichas estructuras existe un compromiso intrínseco entre ganancia (y por lo tanto, uniformidad de iluminación) y contraste. En la medida en que se pueda tolerar una alta ganancia, se puede obtener un contraste más elevado. No obstante, se debe observar que para conseguir a la vez un alto contraste y una baja ganancia se requiere una superficie cuidadosamente diseñada.

Con el objeto de diagnosticar estos resultados, se pueden calcular las propiedades de dispersión de una superficie aleatoria. Se considera un pico Gaussiano con una altura $-d-$ y una anchura $-\sigma-$.

$$z(r) = de^{\frac{r^2}{\sigma^2}} \quad 1)$$

La pendiente máxima conexión en esta característica se produce a $r = \frac{\sigma}{\sqrt{2}}$ y da origen a un ángulo de reflexión θ de

$$\theta = 2 \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{2}}{\sigma} d e^{-1/2} \right) \quad 2)$$

Por lo tanto, para una altura dada de la característica, se puede fijar una anchura mínima σ_m de la característica, de tal modo que para características de dispersión aisladas se produce un ángulo de corte θ_c .

Las **figuras 19A a 19D** proporcionan diagramas esquemáticos que muestran representaciones de las condiciones de reflexión para diferentes separaciones entre picos Gaussianos. La **figura 19A** es un diagrama esquemático que muestra la reflexión de un rayo -1904- saliendo de una única característica de dispersión -1902-. En el caso de una única característica de dispersión, siempre que θ_c sea menor de 90° , el rayo reflejado -1906- será dirigido lejos de la superficie y no se producirá reflexión secundaria. La **figura 19B** es un diagrama esquemático que muestra las propiedades reflectantes cuando las características adyacentes -1922- y -1924- se acercan. No obstante, cuando las características adyacentes -1922- y -1924- se aproximan, existe alguna zona en la que, para ángulos de reflexión grandes, se produce una segunda reflexión. La **figura 19C** es un diagrama esquemático que muestra la situación cuando los picos -1932- y -1934- se aproximan todavía más. En este caso, desaparece la doble reflexión debido a que la superposición de los dos picos disminuye la pendiente máxima en la zona entre ellos. La **figura 19D** es un diagrama esquemático que muestra el escenario de los dos picos -1942- y -1944- solapándose, de tal modo que aumenta la pendiente máxima, lo que en muchos casos conduce a una reflexión múltiple. Por consiguiente, en el caso de picos Gaussianos adyacentes existe un emplazamiento de zonas en las que se producen reflexiones múltiples.

La **figura 20** es un gráfico -2000- que muestra que en el caso de dos picos Gaussianos con alturas y ángulos de corte θ_c iguales, existe un emplazamiento calculado de separaciones en el que no se producen reflexiones múltiples. Con el objeto de que haya una probabilidad cero (o próxima a cero) de una doble reflexión en la superficie definida por los dos picos, θ_c del Gaussiano es preferentemente de menos de 52° . En el caso de θ_c menor de 80° , no se producen reflexiones múltiples entre los picos, pero esto puede suceder cuando los picos empiezan a solaparse. Si se considera la posibilidad de que tres picos se solapen, entonces θ_c sería todavía menor. Desgraciadamente, θ_c es considerablemente más pequeño que el emplazamiento de difusión deseado en el caso de una sala cinematográfica habitual. La luz se dispersará en ángulos mayores cuando los picos se aproximan uno al otro, pero para utilizar este comportamiento para llenar el emplazamiento de la difusión se necesitaría una gran densidad de características de dispersión. En este caso, la probabilidad de que más de dos características se solapen aumenta drásticamente. En resumen, el intento de eliminar las reflexiones dobles disminuyendo el θ_c a menos de 52° , tiene como resultado que la luz no incide en la totalidad de los emplazamientos de difusión.

Un modo de resolver el problema anterior es utilizar picos Gaussianos con alturas y anchuras diferentes. Las **figuras 21A a 21C** son diagramas esquemáticos que muestran la superposición de dos picos Gaussianos con $d_1 = 1$, $\sigma_1 = 1$ y $d_2 = 1/5$, $\sigma_2 = 1/5$. Se calcula el ángulo reflejado en función de la posición para diferentes separaciones de pico a pico. Cuando los picos están bien separados (ver, *por ejemplo*, la **figura 21A**), el ángulo de reflexión en la superficie es localmente el de los Gaussianos individuales ($\theta_c = 50^\circ$). No obstante, cuando los picos se aproximan, la pendiente

máxima entre ellos aumenta. La **figura 21B** muestra que el pico más pequeño está situado aproximadamente en el reborde del pico mayor. La pendiente máxima disminuye a continuación cuando los picos se solapan exactamente (ver, *por ejemplo*, la **figura 21C**). El efecto global es similar a la superposición de características de igual tamaño con una diferencia importante: se obtiene la misma situación de pendiente máxima pero la profundidad media de la superficie no ha aumentado significativamente. En consecuencia, las dispersiones de gran ángulo permanecen relativamente bien separadas y la posibilidad de una segunda reflexión es menor.

La **figura 22** es un gráfico de un patrón -2200- de ruido simulado que muestra dos patrones compuestos de estructuras con alturas y anchuras diferentes pero con un ángulo de corte sustancialmente idéntico.

Las **figuras 23A a 23D** son gráficos que muestran una comparación de las ganancias y contrastes de un difusor compuesto de dos patrones y diferentes tamaños de las características frente a un difusor compuesto de un patrón y sin tamaños de características diferentes. La ganancia calculada a partir del difusor con tamaños de características diferentes produce una curva -2302- mucho más suave (ver la **figura 23A**) que la curva de ganancia -2352- calculada a partir de solamente una única estructura periódica (ver **figura 23C**). Esto se debe a que el menor tamaño de la característica de la primera estructura permite que la curva -2302- sea casi ergódica en un área más pequeña, pero la ganancia de las dos estructuras es aproximadamente la misma. De una manera más importante, el contraste del pico del difusor de dos patrones (ver la **figura 23B** que muestra una parte ampliada de la **figura 23A**) es sustancialmente cinco veces mayor que el contraste del pico del difusor de patrón único (ver la **figura 23D** que muestra una parte ampliada de la **figura 23B**). El contraste medio es más del doble.

En conclusión, una técnica práctica para incrementar el contraste máximo en una estructura puramente estadística, es superponer dos patrones con periodicidades diferentes. Las limitaciones prácticas de esta técnica son que la característica más pequeña preferentemente debería seguir siendo grande con respecto a la longitud de onda de la luz (por ejemplo, del orden de décimas de μm) y la característica mayor debería seguir siendo preferentemente pequeña con respecto a un píxel (es decir, del orden de centenares de μm). Con difusores holográficos, esto se puede conseguir realizando dos exposiciones en las que la segunda exposición se ajusta para que sea aproximadamente de 1/5 de la altura y 5 veces la frecuencia. Otra técnica para conseguir esto sería aplicar una pintura con laminillas metálicas de alta ganancia a un sustrato con relieve.

Diseño a medida

Dada la capacidad para diseñar con precisión la altura de la superficie en una base punto a punto, se da a conocer asimismo en esta memoria una técnica para diseñar dicha superficie. En principio, es posible tratar la superficie del difusor como una red de polígonos conectados. A continuación, se puede realizar una simulación de Montecarlo para hallar la orientación y la altura óptimas de estos polígonos que optimiza las características de difusión de la superficie. No obstante, dado que se desea ergodicidad en una zona pequeña, la limitación en el tamaño mínimo de la característica, así como las limitaciones en las reflexiones múltiples hacen que esto sea un cálculo innecesariamente costoso. Es más práctico, en cambio, utilizar una función específica de generación que se reproduce a continuación por toda la superficie del difusor. Esta función puede ser genérica, tal como una función Gaussiana, en cuyo caso las estadísticas deberían estar preferentemente limitadas de un modo esencialmente no Gaussiano con el objeto de satisfacer las limitaciones del diseño. Alternativamente, la función puede ser un núcleo generador que satisfaga localmente la propiedad de ergodicidad deseada.

Una vez identificada una función de generación, la función puede ser reproducida en dos dimensiones con el objeto de llenar la superficie. Cualquier superficie bidimensional curvada puede ser representada mediante una disposición bidimensional de valores que representan la altura de la superficie. Por ejemplo, los valores del píxel de la figura 22 representan la altura de la superficie en cada punto. Para llenar toda la disposición, se puede teselar con múltiples copias de la función de generación. Dos procedimientos de cálculo sencillos y económicos para llenar dicha disposición con múltiples copias de la función de generación son la sustitución y la adición. La sustitución consiste en sustituir los valores del píxel dentro de una sección de la disposición final con los valores del píxel de la función de generación. En las zonas en las que se pueden solapar dos funciones de generación, una de ellas puede ser truncada. La **figura 24A** es un gráfico -2400- que muestra las funciones truncadas solapadas -2410- y -2420-. Los resultados del solapamiento en una faceta vertical -2430- deben ser corregidos para impedir fuentes de dispersión múltiple. Esto se puede conseguir sustituyendo la faceta vertical por una faceta inclinada -2440- que dirige la luz fuera del emplazamiento de difusión, es decir, con una pendiente mayor que θ_c , pero aún suficientemente pequeña para impedir una segunda reflexión. La adición consiste en añadir los valores del píxel de la función de generación a los valores del píxel de la disposición total. La **figura 24B** es un gráfico -2450- que muestra la adición de los valores del píxel de las funciones de generación -2460- y -2470- a los valores del píxel de la disposición total. Se debe observar que la altura de la función de generación es negativa y que la altura = 0 está indicada mediante la línea -2490-. Para asegurar una transición suave y continua, la altura y la pendiente de la función de generación se debe aproximar a cero en el límite -2480-. La ventaja de esta técnica es que no existen facetas en los límites y de este modo es posible, en principio, hacer un mejor uso de la luz disponible. No obstante, en promedio, la adición conduce a una disminución en la media de la proporción de aspecto, y de este modo un incremento de la ganancia del difusor y por tanto debe ser corregido tal como se comenta más adelante.

Informado por medio de la exploración de difusores aleatorios, incluso cuando la característica de generación de la dispersión tiene un ángulo de corte que evita una segunda reflexión con la superficie, se producen reflexiones múltiples cuando dos picos interaccionan de una forma predecible (es decir, cuando se solapan exactamente o cuando se aproximan demasiado). Con estadísticas Gaussianas, estas situaciones es posible que ocurran para un cierto porcentaje finito de características. Por consiguiente, una técnica sencilla para incrementar el contraste es modificar las estadísticas de las posiciones de pico en una forma esencialmente no Gaussiana para evitar los casos no deseados. El modo más sencillo de hacer esto es limitar la traslación aleatoria de los picos, de modo que no puedan solaparse. La traslación debe ser suficientemente grande para ocultar estadísticamente el carácter hexagonal subyacente de la retícula.

La derivación de una lente bidimensional de un difusor es algo más complicada que la resolución de la curva unidimensional. Suponiendo una distribución axialmente simétrica, la ecuación diferencial que describe θ como función de r es:

$$\frac{\text{flujo}}{\text{estereoradianes}} = \frac{I_o r dr}{\sin \theta d\theta} = \alpha D(\theta) \quad 3)$$

en la que $D(\theta)$ es la función de distribución deseada, I_o es el flujo incidente por unidad de área y α es una constante de proporcionalidad. Para calcular α , el flujo incidente total en el núcleo generador es igual a la integral de la función de distribución sobre todos los ángulos sólidos:

$$I_o \pi (r_M^2 - r_m^2) = 2\pi \int_0^{\theta_c} \alpha D(\theta) \sin \theta d\theta \quad 4)$$

en que r_m es el radio interior del núcleo generador (que puede ser igual a 0), r_M es el radio exterior del núcleo generador y θ_c es el ángulo de corte de la función de distribución. Una vez θ es conocido como una función de r , la etapa siguiente es integrar la pendiente de la superficie para hallar la altura de la superficie:

$$\frac{dz}{dr} = \tan \frac{\theta}{2} \quad 5)$$

En general, esta integración es bastante difícil de realizar analíticamente, pero puede ser llevada a cabo numéricamente de una manera relativamente fácil. Las **figuras 25A a 25C** son gráficos de varias soluciones a modo de ejemplo a las ecuaciones 3 a 5 en el caso de $D(\theta) = \cos(\theta)$, es decir, un núcleo generador o un difusor Lambertiano. La **figura 25A** es un gráfico -2500- de una solución generada en una zona circular de radio máximo $r_M=1$, con la pendiente máxima en su límite exterior. La **figura 25B** es un gráfico -2510- de una solución a modo de ejemplo generada en una zona anular con un radio interior, $r_m = 1$ y un radio exterior $r_M=1,5$. La pendiente máxima en la zona -2510- se produce en la superficie interior y de este modo las dos soluciones se pueden unir entre sí de forma continua para formar la solución -2550-. La **figura 25C** es un gráfico -2550- de una solución de un núcleo generador a modo de ejemplo generado mediante la combinación de las soluciones -2500- y -2510-. Siguiendo este procedimiento son posibles perfiles de difusión arbitrarios $D(\theta)$, sometidos a las limitaciones antes mencionadas en el ángulo de corte.

La **figura 26** es un gráfico -2600- que muestra la ganancia simulada mediante el trazado de un rayo no secuencial para un núcleo generador Lambertiano bidimensional.

La **figura 27** es un gráfico -2700- de la ganancia promediada radialmente para el núcleo generador de la figura 26. El llenado completo de una pantalla con la solución -2550- (tal como se muestra en la figura 25C) presenta el problema de eliminar sustancialmente el espacio vacío pero con una mínima distorsión del núcleo generador.

Teselado de los núcleos generadores

Una forma de llenar una pantalla con los núcleos generadores técnicos es teselar los núcleos generadores en una configuración reticulada, por ejemplo, una retícula cuadrada, hexagonal, o cualquier otra forma regular.

La **figura 28** es un diagrama esquemático que muestra una configuración de una retícula hexagonal -2800- a modo de ejemplo. No obstante, tal como se ha comentado anteriormente, no es deseable un espacio vacío con el objeto de utilizar de forma óptima la luz disponible y para impedir un aumento en la reflectividad especular ("picos" de reflectividad). Para eliminar sustancialmente el espacio vacío, los núcleos generadores -2802- en una retícula hexagonal -2800- pueden experimentar un solapamiento. Por ejemplo, para eliminar el espacio vacío en una pantalla

utilizando una retícula hexagonal -2800- de núcleos generadores con un diámetro de la celda unitaria de $2/\sqrt{3}$, aproximadamente el 20,9 % de las áreas de la celda unitaria quedaría solapado.

La **figura 29** es un diagrama esquemático que muestra el solapamiento -2910- de una celda unitaria de una retícula hexagonal -2900- de los núcleos generadores.

La **figura 30** es un diagrama que muestra el solapamiento de la celda unitaria -3010- de una retícula cuadrada -3000-. La retícula cuadrada -3000- puede requerir una celda unitaria -3020- adicional más pequeña para llenar el espacio, siendo el radio de la celda unitaria más pequeña una función del radio de la celda grande -3030-. En la configuración de la retícula cuadrada -3000- mostrada en la figura 30, lo óptimo es un solapamiento del 17,9%. Tal como se describe más adelante, el solapamiento de los núcleos generadores modifica la ganancia de la estructura combinada. El cambio en la ganancia es una función de la distancia de centro a centro del núcleo generador individual vecino más próximo que, a su vez, es una función del acimut dentro de la retícula. Por consiguiente, una retícula perfecta tiene una desviación en la distribución dispersada que refleja la disposición local de los núcleos generadores. Por ejemplo, una retícula hexagonal tiene una simetría séxtuple en la que los vecinos más próximos de un punto determinado están distribuidos alrededor de dicho punto cada 60°. En consecuencia, la distribución dispersada tendrá una modulación acimutal con una periodicidad de 60° cuya amplitud es proporcional a la magnitud del solapamiento de los núcleos generadores. La retículas regulares de núcleos generadores pueden conducir a la formación de moaré, difracción y otros efectos no deseados. La modificación de la retícula regular para conseguir más aleatoriedad, por ejemplo mediante la utilización de una retícula hexagonal con puntos de la retícula aleatorios, reduce estos efectos. Un solapamiento adicional puede ser el resultado de disponer aleatoriamente una retícula regular. Asimismo, los tamaños de las celdas unitarias pueden ser aleatorios además de sus posiciones. Sin embargo, en este caso, resulta casi imposible corregir previamente el solapamiento de las estructuras.

La **figura 31** es un diagrama esquemático de una retícula hexagonal -3100- que permite una aleatoriedad de 0,1 ℓ del punto central. Esta configuración produce un área de solapamiento -3110- del 60%.

La **figura 32** es un diagrama -3200- de una retícula hexagonal con celdas -3220- más pequeñas dispersadas entre las celdas mayores -3230-, con el resultado de un área de solapamiento -3210- mucho más pequeña, del 9,4%. La disposición de celdas de la **figura 32** permite más aleatoriedad.

Asimismo, se pueden utilizar otras técnicas para disminuir el efecto de la retícula. Por ejemplo, mediante la utilización de una celda unitaria más grande que comprende múltiples núcleos generadores para el teselado inicial, se puede disminuir la magnitud de la aleatoriedad necesaria para ocultar la estructura de la retícula en el perfil de dispersión. La retícula hexagonal tiene una simetría rotacional séxtuple pero si se combinan elementos de dos retículas hexagonales separadas con una rotación de 30° entre las mismas, entonces se incrementa a una simetría duodécupla. Esto se puede conseguir mediante cualquier número de infinitos conjuntos de medios teselados y de teselados semi-regulares. Los medios teselados y los teselados semi-regulares comprenden habitualmente múltiples polígonos (por ejemplo, triángulos y cuadrados) y de este modo tamaños de características para llenar la retícula, proporcionando una variación adicional de la altura y la orientación de las características de dispersión y reduciendo la interferencia. La **figura 33A** es un diagrama esquemático -3300- que muestra un patrón de teselado semi regular. La **figura 33B** es un diagrama esquemático -3350- que muestra la celda unitaria de este teselado que se compone de dos componentes -3360- y -3370- de una retícula hexagonal así como de tres retículas cuadradas -3380-. Los vértices de los polígonos indican los centros de las funciones de generación. La orientación angular de las direcciones vecinas más cercanas en este teselado es de 0, 30, 60, 90, 120, ... 330, a diferencia de 0, 60, 120, ... 300 para la retícula hexagonal regular. Además, los elementos cuadrados introducen un conjunto adicional de ángulos: 15, 45, 75, ... 345. Las **figuras 33C y 33D** son diagramas esquemáticos que muestran los vértices de los polígonos -3390- y -3396- (y los centros de las funciones de generación). La distancia repetida de la estructura sigue siendo significativamente más pequeña que un píxel.

De manera arbitraria se pueden generar teselados pseudo-aleatorios realizando una simulación bidimensional de Montecarlo de fusión de cristal. Dichos procedimientos son muy conocidos en el estudio de interacciones de discos duros así como de partículas con potenciales arbitrarios de interacción de atracción/repulsión. El punto inicial de la simulación es generar una retícula bidimensional de partículas en una rejilla regular. A continuación se toma una partícula al azar del conjunto y se traslada una pequeña magnitud fijada. Si la traslación tiene lugar en una zona que no está cubierta por ningún disco, entonces se rechaza el desplazamiento. Si la traslación tiene como resultado una disminución de la magnitud total del solapamiento de las partículas, entonces es aceptada. Si aumenta la magnitud total del solapamiento, el desplazamiento es aceptado con una probabilidad que es inversamente proporcional a la magnitud del incremento. Este proceso se repite hasta que el sistema alcanza el equilibrio. Habitualmente, cuando las limitaciones del empaquetado son destacadas en dicha simulación, convergen en una retícula hexagonal. Por consiguiente, para suprimir la cristalinidad reduciendo el solapamiento de las partículas, es útil añadir un cambio aleatorio en el tamaño de la partícula a la etapa de Montecarlo (sometida a limitaciones similares).

La **figura 34** es un diagrama esquemático -3400- de una disposición al azar mediante desplazamiento horizontal. Los desplazamientos generados uniformemente pueden asegurar que la superficie está totalmente cubierta, tal como se muestra en -3400-.

La **figura 35** es un gráfico -3500- de la distribución de probabilidades en el caso del centro de la celda para el desplazamiento del centro de la celda para una superficie con un desplazamiento horizontal aleatorio, tal como el mostrado en la figura 34. Tal como se muestra en el gráfico -3500-, el desplazamiento máximo para las estructuras adyacentes es de 2,0 y el desplazamiento medio de 0,905.

Una estructura genérica, por ejemplo un pico Gaussiano, no produce necesariamente la distribución de dispersión ideal. Por el contrario, las estadísticas del tamaño y la posición de la estructura pueden ser controladas de tal modo que la distribución es alcanzada por un número relativamente elevado de dispositivos. En los casos en que es difícil diseñar específicamente la celda unitaria de un difusor, por ejemplo difusores holográficos o grabados, una característica genérica tal como un pico Gaussiano es útil para determinar los parámetros de diseño. Una celda, un núcleo generador, o una microestructura que comprenda una serie de núcleos generadores, debería tener teóricamente una pendiente próxima a cero y un cierto radio de corte, con el objeto de permitir que las celdas queden unidas entre sí de modo continuo. Un núcleo generador ideal, un núcleo generador diseñado o una microestructura que comprenda una pluralidad de núcleos generadores, sería asimismo preferentemente ergódica, dado que el núcleo generador produce individualmente la totalidad de la función de distribución deseada. Un núcleo generador que produce una distribución Lambertiana es localmente ergódico. Una función ergódica de generación contribuye a asegurar que las variaciones de intensidad en la superficie del difusor se reducen al mínimo.

Las características de difusión de un pico Gaussiano aislado son modelados por medio de la ecuación siguiente:

$$z(r) = z_0 e^{-r^2}$$

La pendiente máxima del pico Gaussiano aislado se produce en $r=1/2$. El ángulo reflejado máximo es:

$$\theta_{\text{máx}} = 2 \tan^{-1}(\sqrt{2} z_0 e^{-1/2})$$

Para producir una pendiente de corte de θ_c , seleccionar z_0 :

$$z_0 = \frac{\tan(\theta_c / 2)}{\sqrt{2}} e^{-1/2}$$

De nuevo, los picos adyacentes pueden producir reflexiones dobles dependiendo de θ_c y de su proximidad, pero para θ_c de menos de $\approx 80^\circ$, no existen reflexiones múltiples (excepto en los picos que se solapan), tal como se muestra en la **figura 20**.

La **figura 36** es un gráfico -3600- del ángulo de difusión en función de la separación de los picos Gaussianos.

La **figura 37** es un gráfico -3700- que muestra el ángulo de corte de una estructura con características Gaussianas que se solapan.

En el caso de un núcleo generador diseñado, el solapamiento celdas unitarias y la aleatorización de la ubicación de las celdas unitarias puede tener como resultado problemas similares a los dados a conocer anteriormente, por ejemplo, reflexiones dobles y cambio del perfil de ganancia. Mediante la selección del procedimiento de adición de colocación de celdas unitarias en el interior de la disposición, se elimina virtualmente la posibilidad de reflexiones dobles, quedando para corregir el cambio en el perfil de ganancia.

Las **figuras 38A y 38B** son gráficos -3800- y -3850- que muestran un difusor Lambertiano diseñado que se solapa en dos configuraciones de muestra. Las líneas -3810-, -3811-, y -3812- representan superficies Lambertianas. La línea -3820- representa la suma de las líneas -3811- y -3812-, indicando que la ganancia de la superficie suma es demasiado elevada en la configuración -3800-. Cuando los núcleos generadores son desplazados aún más próximos entre sí en la configuración -3850-, la línea -3820- es empujada todavía más hacia abajo, indicando que la ganancia es incluso más elevada.

Una forma de solucionar este problema es corregir previamente los núcleos generadores para el solapamiento. Las **figuras 39A y 39B** muestran un procedimiento de corrección previa de los núcleos generadores para solucionar el solapamiento. El núcleo generador -A-, generado por la línea giratoria -a-, es ergódico; el núcleo generador -B- generado por la línea giratoria -b-, es ergódico; y el núcleo generador -C- generado por la línea giratoria -c-, es tan cercano a ser ergódico como sea posible, sometido a la limitación:

$$c'(r_{\text{Máx}}) = 0$$

donde

$$b(r) + b(r-\ell) = c(r); \quad (r < \ell/2).$$

$$b'(r) + b'(r_{\text{Máx}} - (r - r_{\text{Mín}})) = c(r)$$

$$(b'(r) - b(r))^2 + (b'(r_{\text{Máx}} - (r - r_{\text{Mín}})) - b(r_{\text{Máx}} - r_{\text{Mín}}))^2.$$

La **figura 40** es un gráfico -4000- de la celda corregida previamente con solapamiento del difusor Lambertiano. Las líneas -4010- y -4020- representan la forma del difusor objetivo. La línea -4030- es la solución que produce la línea -4020- mientras reduce la desviación desde la línea -4010-. Sin embargo el cálculo no corrige previamente de manera completa un perfil de ganancia arbitrario para el solapamiento, los resultados son altamente suficientes. En este caso, la pendiente es cero en los bordes del núcleo generador. El perfil de ganancia tiene un corte brusco a 80° de lo que resulta que sustancialmente no hay difusión más allá de 80°.

En la medida en que la corrección previa del perfil del núcleo generador para el solapamiento no es suficiente, se puede emprender una etapa adicional para llegar al perfil de difusión deseado. La **figura 41A** es un gráfico -4100- de un ejemplo de perfil de ganancia -4110- mostrando por separado las contribuciones desde las zonas solapadas -4120- y las zonas sin solapamiento -4130- una vez que la estructura ha sido convertida en aleatoria. En la medida en que la corrección previa de la zona solapada es imperfecta, la ganancia total no sigue el objetivo de ganancia tal como se muestra mediante las líneas -4110-. Las zonas sin solapamiento pueden ser asimismo corregidas previamente para tener en cuenta el error. La **figura 41B** muestra un gráfico de un ejemplo de perfil de ganancia en el que las zonas solapadas y sin solapar tienen correcciones complementarias de tal modo que la ganancia total es igual a la ganancia objetivo. La ganancia total puede ser anotada como:

$$G(\theta) = G_a(\theta)A_a + G_b(\theta)A_b,$$

en que $G(\theta)$ es la ganancia objetivo, $G_a(\theta)/G_b(\theta)$ son las curvas de ganancia asociadas a las zonas solapadas y sin solapar del núcleo generador y A_a/A_b son las áreas de las zonas sin solapar y solapadas respectivamente. En la medida en que $G_b(\theta) \neq G(\theta)$, puede ser resuelta para una contribución a la ganancia corregida en la zona sin solapamiento $G'_a(\theta)$

$$G'_a(\theta) = \frac{G(\theta) - G_b(\theta)A_b}{A_a}.$$

A continuación deben ser resueltas las ecuaciones 3 a 5 con el objeto de hallar la forma correcta para la zona del núcleo generador no sometida a solapamiento. La suma -4160- de ambas zonas corregidas previamente, las zonas de solapamiento -4170- y sin solapamiento -4180-, encajan sustancialmente con el perfil del objetivo de ganancia. Al contrario del procedimiento de diseño iterativo descrito por Morris, este es un procedimiento determinístico que alcanza el diseño óptimo en un número fijo de etapas, es decir, el diseño del núcleo generador en la zona de solapamiento, la corrección previa del núcleo generador en la zona de solapamiento, y el diseño del núcleo generador en la zona sin solapamiento.

La utilización de un núcleo generador diseñado tal como ha sido descrito anteriormente, reduce de manera significativa el problema del aspecto granulado asociado con las pantallas de plata convencionales. Debido a que cada núcleo generador individual representa sustancialmente todo el perfil de difusión, se evitan en gran parte las fluctuaciones espaciales a gran escala debidas a la variación estadística, incluso en ángulos de dispersión grandes, es decir, cada núcleo generador individual tiene al menos dos zonas que contribuyen a la intensidad a cualquier ángulo acimutal dado.

Se puede utilizar que la altura de la superficie del difusor sea aleatoria mediante la adición de alguna forma de ruido para solucionar el problema de un moteado coherente cerca de la dirección de retro reflexión. La amplitud de esta aleatoriedad debería ser un pequeño múltiplo de la longitud de onda óptica para mezclar la fase de la luz reflejada.

Las ventajas prácticas y las consideraciones asociadas con proporcionar una pantalla de acuerdo con la presente invención incluyen un coste mínimo por unidad de área, uniformidad espacial en el comportamiento, fiabilidad sistemática de comportamiento en la fabricación y solidez en la manipulación y la limpieza.

El coste del material de la pantalla se puede minimizar equilibrando los procesos existentes rollo a rollo tanto como sea posible. La infraestructura para fabricar material optimizado en rollo para pantallas puede incluir un aparato que realice microembuticiones, metalización, recubrimientos dieléctricos transparentes (recubrimiento duro), ranuras de precisión y perforaciones (para la transmisión acústica). Existen actualmente procesos de embutición rollo a rollo que están libres de uniones a lo largo del elemento laminar (en dirección transversal) asociadas a cuñas de níquel convencionales. Según el proceso de fabricación preferente, la embutición por UV con un tambor de embutición continua produce un material difusor continuo. De acuerdo con este proceso, el material del difusor en rollos es convertido fácilmente en pantallas acabadas mediante la unión de dichas bandas. Utilizando un ranurado de precisión rollo a rollo, dichas bandas pueden ser unidas con uniones a tope que proporcionan intersticios suficientemente pequeños para que las uniones no sean sustancialmente visibles en la sala de cine. Con este planteamiento, se puede utilizar un proceso de unión del extremo final de las películas para fabricar pantallas cinematográficas acabadas. Este proceso debería proporcionar preferentemente una resistencia suficiente en las uniones y fiabilidad cuando la pantalla es montada o tensada sobre el bastidor. La unión (y cualquier zona que la rodee afectada por el proceso de unión) debería ser suficientemente pequeña para que no pueda ser percibida por la audiencia.

Una ventaja potencial de unir las películas antes del recubrimiento (por ejemplo, pintando por pulverización con laminillas de metal) es que unas capas ópticamente gruesas pueden convertir en planos las características pequeñas. En la práctica, las uniones en dichas pantallas son frecuentemente observables debido a que existe una "etapa" asimétrica en la unión. Debido a la elevada reflexión especular, la faceta macroscópica asociada crea una gran interrupción en la dispersión angular de la luz. Cuando el material es plano en toda la junta (es decir, como una unión a tope) las uniones generalmente no son observables cuando el intersticio es de aproximadamente 50 micras, y en la mayoría de los casos, de hasta 100 micras. Esto probablemente puede ser incluso mayor cuando se realizan etapas adicionales para enmascarar la junta, tales como que el perfil del borde sea aleatorio.

En el caso en que el ranurado de precisión rollo a rollo no proporcione una precisión suficiente, otra técnica preferente para la fabricación de la pantalla acabada a partir de bandas recubiertas, en la que las bandas cuelgan verticalmente por motivos de resistencia, es ranurar simultáneamente las láminas de modo que se puedan unir entre sí fácilmente. Esto puede hacerse solapando las láminas y utilizando una sola cuchilla, o utilizando un par de cuchillas con una separación fija. Mientras que esto proporciona una cierta mejora en cuanto a las limitaciones sobre la rectitud de los bordes, es un proceso por lotes que precisa sustancialmente más trabajo intensivo que el planteamiento de ranurado de precisión rollo a rollo.

Después del ranurado, las dos láminas pueden ser unidas entre sí, tanto acercando las láminas localmente con un sistema de rodillos de un perfil adecuado, o trasladando la lámina utilizando una mesa de vacío para unir globalmente los materiales entre sí. Con las superficies recubiertas colocadas cara abajo, las películas pueden ser unidas entre sí utilizando uno cualquiera de diversos procedimientos que incluyen adhesivos, productos químicos o procesos de soldadura. Los adhesivos pueden incluir endurecedores por UV, endurecedores por haces electrónicos o diversos procesos de termo-endurecimiento. La unión química puede incluir disolventes o disolventes dopados. Los procesos de soldadura pueden incluir diversos medios para el suministro de energía térmica a la unión, preferentemente láseres.

Dada la falta de área superficial asociada con una unión a tope, es posible que se pueda utilizar un proceso de soporte mecánico adicional para asegurar la resistencia de la unión. Esto se puede conseguir utilizando alguna forma de banda de refuerzo que cree una unión en T. El grosor y el tamaño de la banda de refuerzo pueden ser seleccionados para asegurar que la superficie frontal de la pantalla acabada (tensada) sea uniforme en todo el contorno. En algunos casos, puede ser preferente laminar toda la pantalla con una lámina de refuerzo secundaria, tal como un tejido que mejore adicionalmente la resistencia y el aspecto.

Un diseño de pantalla más sofisticado según la presente invención puede implicar un control local (una posición específica) de las propiedades de difusión. Esto puede ser llevado a cabo fabricando rollos de material que sean especiales para ubicaciones específicas en la pantalla. Habitualmente esto implica un ángulo de desviación en la dirección de la difusión, o en el caso de una pantalla de tipo Lambertiano, una desviación (de primer orden) en la ubicación del centroide del emplazamiento.

Suponiendo que el material de la pantalla sea fabricado utilizando un proceso rollo a rollo, y que las bandas cuelguen verticalmente, la corrección local es probable que sea en dirección horizontal. El diseño del perfil de difusión en sentido transversal al elemento laminar de cualquier lámina puede variar adiabáticamente, de tal manera que no existan cambios bruscos en el perfil de difusión en los límites entre láminas. Esto permite unas pantallas muy grandes con propiedades de difusión optimizadas variando de manera casi continua en dirección horizontal.

Una pantalla fabricada tal como se ha descrito anteriormente puede tener el mismo comportamiento que una pantalla curvada a lo largo de la vertical pero en un formato plano. Además, el comportamiento efectivo de una pantalla curvada compuesta (por ejemplo, toroidal) se podría conseguir curvando la pantalla antes mencionada a lo largo del eje horizontal. Esto elimina las complicaciones de fabricar una gran pantalla compuesta curvada (por ejemplo, aplicando vacío en el volumen de detrás del material de la pantalla plana/flexible).

Aunque anteriormente se han descrito diversas realizaciones según los principios dados a conocer en esta memoria, se debe comprender que han sido presentadas a modo de ejemplo y no como limitación. De este modo la amplitud y el alcance de la invención o invenciones no deben estar limitados por ninguna de las realizaciones descritas anteriormente a modo de ejemplo, sino que deberían estar definidas solamente de acuerdo con cualesquiera reivindicaciones y sus equivalentes facilitadas por esta invención. Además las ventajas y características anteriores son dadas a conocer en las realizaciones descritas, pero no limitan la aplicación de dichas reivindicaciones publicadas a los procesos o estructuras que cumplan cualquiera o todas las ventajas anteriores.

Adicionalmente, los encabezamientos de las secciones de esta memoria están dispuestos en coherencia con las sugerencias de la norma 37 CFR 1.77 o para proporcionar de otro modo indicaciones en cuanto a la organización. Estos encabezamientos no limitan ni caracterizan la invención o invenciones, expuestas en cualesquiera reivindicaciones, que puedan deducirse de esta invención. Concretamente, y a modo de ejemplo, aunque los encabezamientos se refieren al "Sector técnico", las reivindicaciones no deben considerarse limitadas por el lenguaje escogido bajo dicho encabezamiento para describir el sector así denominado. Además, una descripción de la tecnología en los "Antecedentes" no debe ser considerada como una admisión de que cierta tecnología es una técnica anterior a cualquier invención o invenciones en esta publicación. Tampoco se debe considerar que "Resumen" sea una caracterización de la invención o invenciones enunciadas en las reivindicaciones publicadas. Además, cualquier referencia en esta publicación a "invención" en singular, no debe ser utilizada para argumentar que solamente existe un único punto de novedad en esta publicación. Se pueden enunciar múltiples invenciones según las limitaciones de las múltiples reivindicaciones que se deducen de esta publicación y, en consecuencia, tales reivindicaciones definen la invención o invenciones y sus equivalentes que están protegidas por las mismas. En cualquier caso, el alcance de dichas reivindicaciones debe ser considerado por sus propios méritos a la luz de esta publicación, pero no se debe considerar limitado por los encabezamientos expuestos en esta memoria.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para proporcionar una pantalla de proyección que conserva la polarización, comprendiendo el procedimiento:
 - 5 proporcionar una superficie contorneada reflectante (210) que comprende una serie de núcleos generadores (2500), teniendo la superficie contorneada reflectante un perfil de dispersión predeterminado, pudiendo actuar el perfil de dispersión predeterminado para reflejar la luz incidente desde un intervalo de ángulos de incidencia predeterminado al interior de un emplazamiento de difusión,
 - 10 en el que la luz reflejada desde el intervalo de ángulos de incidencia predeterminado al interior del emplazamiento de difusión no sufre más de una reflexión desde la superficie contorneada reflectante, y **caracterizado por que**, el procedimiento comprende, además, eliminar sustancialmente que toda la luz que sufre múltiples reflexiones sea distribuida al interior del emplazamiento de difusión.
2. Procedimiento, según la reivindicación 1, que comprende, además:
 - 15 satisfacer el perfil de dispersión predeterminado con cada núcleo generador.
3. Procedimiento, según la reivindicación 1, que comprende, además:
 - satisfacer el perfil de dispersión predeterminado con la pluralidad de núcleos generadores.
4. Procedimiento, según la reivindicación 2 o 3, que comprende, además:
 - 20 minimizar la variación punto a punto de la difusión en cada uno de los núcleos generadores.
5. Procedimiento, según la reivindicación 1, 2, 3 o 4, que comprende, además:
 - 25 satisfacer un modelo estadístico para minimizar las reflexiones dobles entre núcleos generadores con la serie de núcleos generadores.
6. Procedimiento, según las reivindicaciones 1 a 5 que comprende, además:
 - 30 definir el emplazamiento de difusión por medio de un intervalo predeterminado de ángulos de reflexión, o definir el emplazamiento de difusión mediante una zona en la que las reflexiones al interior del emplazamiento de difusión no sufren sustancialmente más de una reflexión en la superficie contorneada reflectante, y en el que la luz reflejada fuera del emplazamiento de difusión sufre una o varias reflexiones en la superficie contorneada reflectante.
7. Procedimiento, según la reivindicación 1, que comprende, además:
 - 35 distribuir la pluralidad de núcleos generadores para optimizar la visión desde una ubicación en el emplazamiento de difusión.
8. Procedimiento, según la reivindicación 1, que comprende, además, por lo menos uno de:
 - a) mejorar el brillo de la luz reflejada al emplazamiento de difusión;
 - b) hacer que la luz reflejada al emplazamiento de difusión sea sustancialmente uniforme;
 - 40 c) mejorar el contraste de la luz reflejada al emplazamiento de difusión;
 - d) satisfacer un perfil de ganancia predeterminado con la luz reflejada al emplazamiento de difusión.
9. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, que comprende, además:
 - 45 proporcionar un recubrimiento dieléctrico; y
 - distribuir el recubrimiento dieléctrico sobre la pluralidad de núcleos generadores.
10. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, que comprende, además:
 - distribuir la pluralidad de núcleos generadores en una retícula sustancialmente regular (2800).
11. Procedimiento, según la reivindicación 10, que comprende, además:
 - 50 distribuir la pluralidad de núcleos generadores en un patrón teselado.
12. Procedimiento, según la reivindicación 10, que comprende, además, por lo menos uno de:
 - a) disponer aleatoriamente los centros de la retícula sustancialmente regular (2800);
 - 55 b) solapar, por lo menos, dos de los núcleos generadores;
 - c) disponer, por lo menos, uno de los núcleos generadores para corregir previamente una desviación resultante de los núcleos generadores adyacentes solapados.
13. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en el que los núcleos generadores están dispuestos en una retícula sustancialmente hexagonal.
14. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, que comprende, además:
 - 60 mantener el estado de polarización de la luz reflejada desde el intervalo predeterminado de ángulos de incidencia al interior del emplazamiento de difusión.
15. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, que comprende, además:

determinar el emplazamiento de difusión en base a la información de la ubicación de visión de la sala cinematográfica.

16. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15, que comprende, además:
distribuir los núcleos generadores sobre la superficie contorneada reflectante.

17. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16, que comprende, además:
determinar un perfil $D(\theta)$ de, por lo menos, uno de la serie de núcleos generadores, en base a una función de generación.

18. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la pendiente del núcleo generador se aproxima a cero en el límite del núcleo.

19. Pantalla de proyección (210) que conserva la polarización, que comprende:

una superficie contorneada reflectante; y
una pluralidad de núcleos generadores (2500) distribuidos por toda la superficie contorneada reflectante, en la que la superficie contorneada reflectante tiene un perfil de dispersión predeterminado, pudiendo el perfil de dispersión predeterminado actuar para reflejar la luz incidente procedente de un intervalo de ángulos de incidencia predeterminado al interior de un emplazamiento de difusión, y en la que la luz reflejada procedente del intervalo de ángulos de incidencia predeterminado al interior del emplazamiento de difusión no sufre más de una reflexión desde la superficie contorneada reflectante, y

caracterizado por que la pantalla puede actuar para eliminar sustancialmente que toda la luz que sufra múltiples reflexiones sea distribuida al interior del emplazamiento de difusión.

20. Pantalla de proyección, según la reivindicación 19, en la que cada núcleo generador satisface el perfil de dispersión predeterminado.

21. Pantalla de proyección, según la reivindicación 19, en la que la serie de núcleos generadores satisface el perfil de dispersión predeterminado.

22. Pantalla de proyección, según la reivindicación 20 o 21, en la que cada uno de los núcleos generadores puede actuar para minimizar la variación punto a punto en la difusión.

23. Pantalla de proyección, según la reivindicación 19, 20, 21 o 22, en la que la serie de núcleos generadores satisface un modelo estadístico para minimizar reflexiones dobles entre núcleos generadores.

24. Pantalla de proyección, según las reivindicaciones 19 a 23, en la que el emplazamiento de difusión está definido, por lo menos, por uno de:

un intervalo de ángulos de reflexión predeterminado; o
una zona en la que las reflexiones al interior del emplazamiento de difusión no sufren sustancialmente más de una reflexión en la superficie contorneada reflectante, y en la que la luz reflejada al exterior del emplazamiento de difusión sufre una o varias reflexiones en la superficie contorneada reflectante.

25. Pantalla de proyección, según la reivindicación 19, en la que la serie de núcleos generadores están distribuidos por toda la superficie contorneada reflectante para optimizar la visión desde una ubicación en el emplazamiento de difusión.

26. Pantalla de proyección, según la reivindicación 19, en la que la pantalla puede actuar, por lo menos, en uno de los puntos siguientes para:

- a) mejorar el brillo de la luz reflejada al emplazamiento de difusión;
- b) hacer que la luz reflejada al emplazamiento de difusión sea sustancialmente uniforme;
- c) mejorar el contraste de la luz reflejada al emplazamiento de difusión;
- d) satisfacer un perfil de ganancia predeterminado con la luz reflejada al emplazamiento de difusión.

27. Pantalla de proyección, según cualquiera de las reivindicaciones 19 a 26, que comprende, además, un recubrimiento dieléctrico distribuido por toda la pluralidad de núcleos generadores.

28. Pantalla de proyección, según cualquiera de las reivindicaciones 19 a 26, en la que la pluralidad de núcleos generadores están distribuidos en una retícula (2800) sustancialmente regular.

29. Pantalla de proyección, según la reivindicación 28, en la que la pluralidad de núcleos generadores están distribuidos en un patrón teselado.

30. Pantalla de proyección, según la reivindicación 28, en la que los centros de la retícula están distribuidos al azar.

31. Pantalla de proyección, según la reivindicación 28, en la que por lo menos dos de los núcleos generadores están solapados.
- 5 32. Pantalla de proyección, según la reivindicación 31, en la que por lo menos uno de los núcleos generadores está dispuesto para corregir previamente una desviación resultante del solapamiento de los núcleos generadores adyacentes.
- 10 33. Pantalla de proyección, según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 19 a 21, en la que los núcleos generadores están dispuestos en una retícula sustancialmente hexagonal.
34. Pantalla de proyección, según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 19 a 33, en la que la pantalla puede actuar para mantener el estado de polarización de la luz reflejada desde el intervalo predeterminado de ángulos de incidencia al interior del emplazamiento de difusión.
- 15 35. Pantalla de proyección, según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 19 a 34, en la que el emplazamiento de difusión se determina en base a la información sobre la ubicación de visión de la sala cinematográfica.
- 20 36. Pantalla de proyección, según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 19 a 35, en la que un perfil $D(\theta)$ de, por lo menos uno de la pluralidad de núcleos generadores se basa en una función de generación.
37. Pantalla de proyección, según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 19 a 36, en la que la pendiente de la función de generación se aproxima a cero en el límite (2480) de la función de generación.
- 25

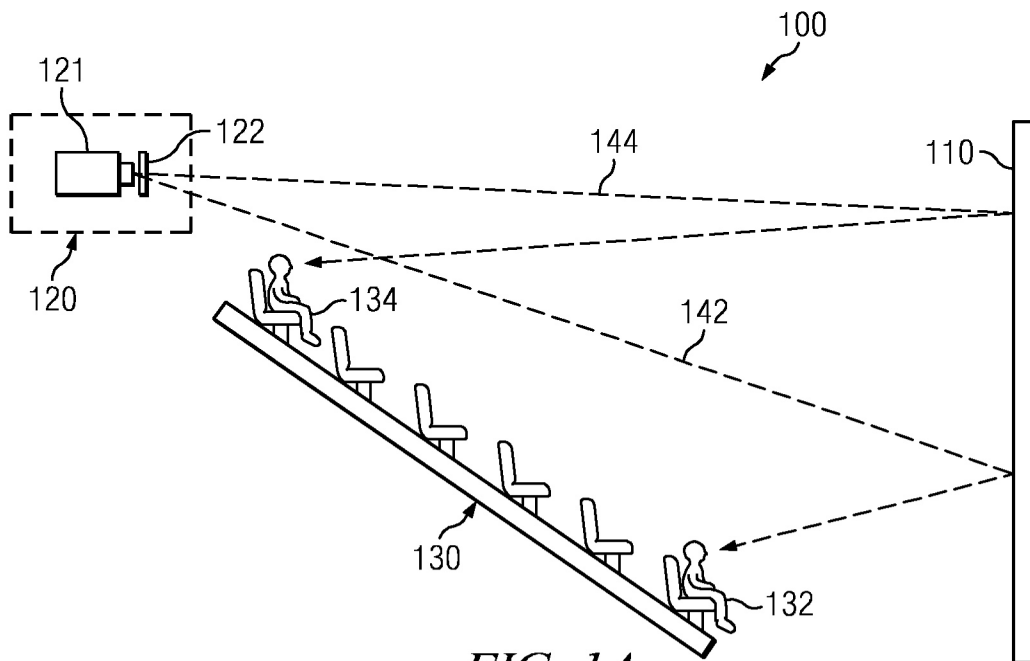


FIG. 1A

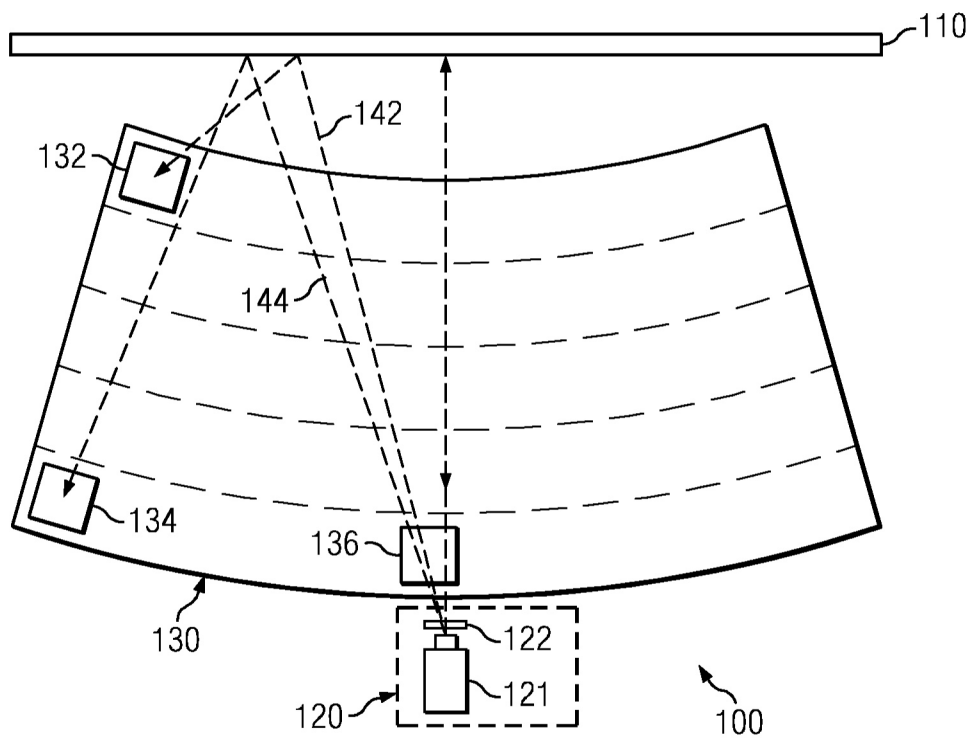
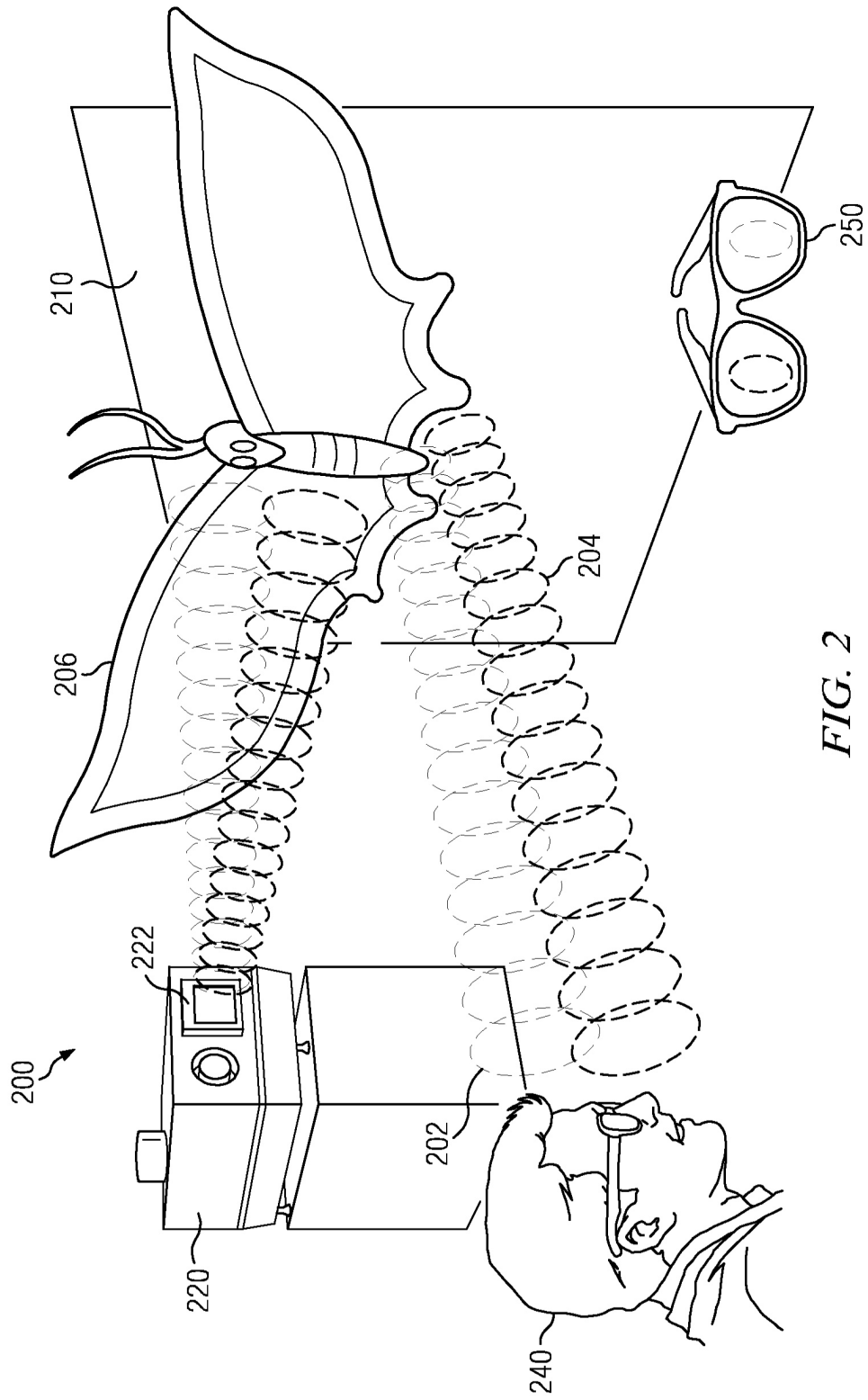


FIG. 1B



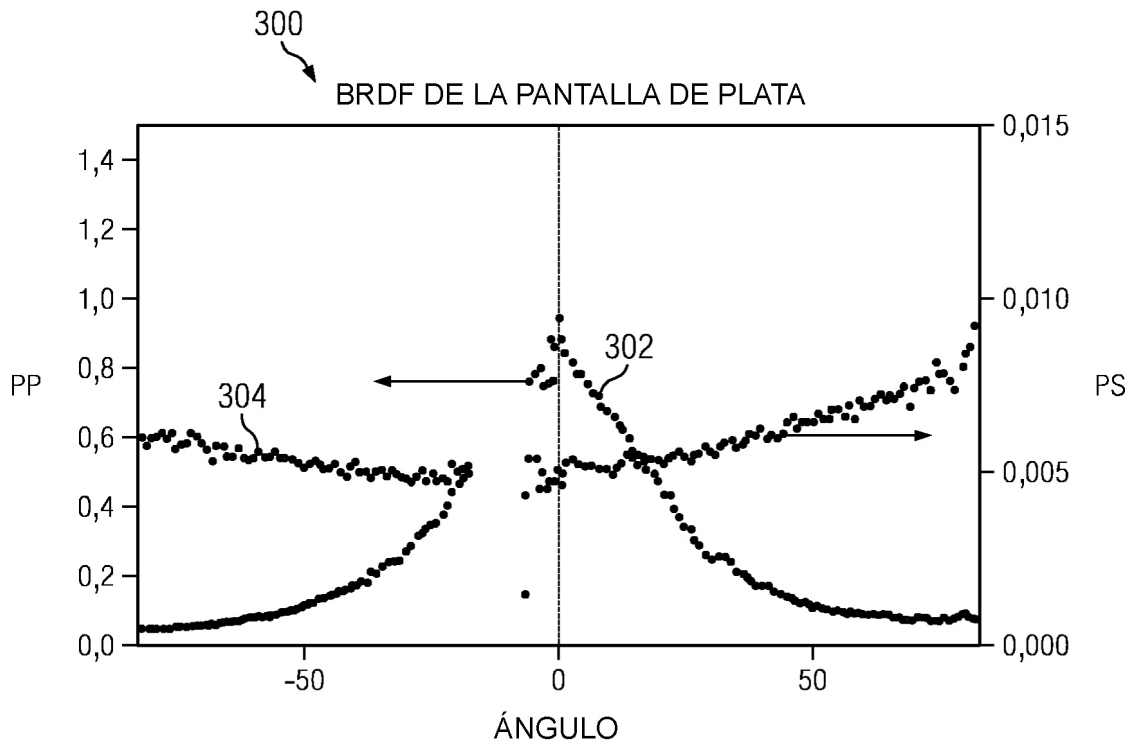


FIG. 3

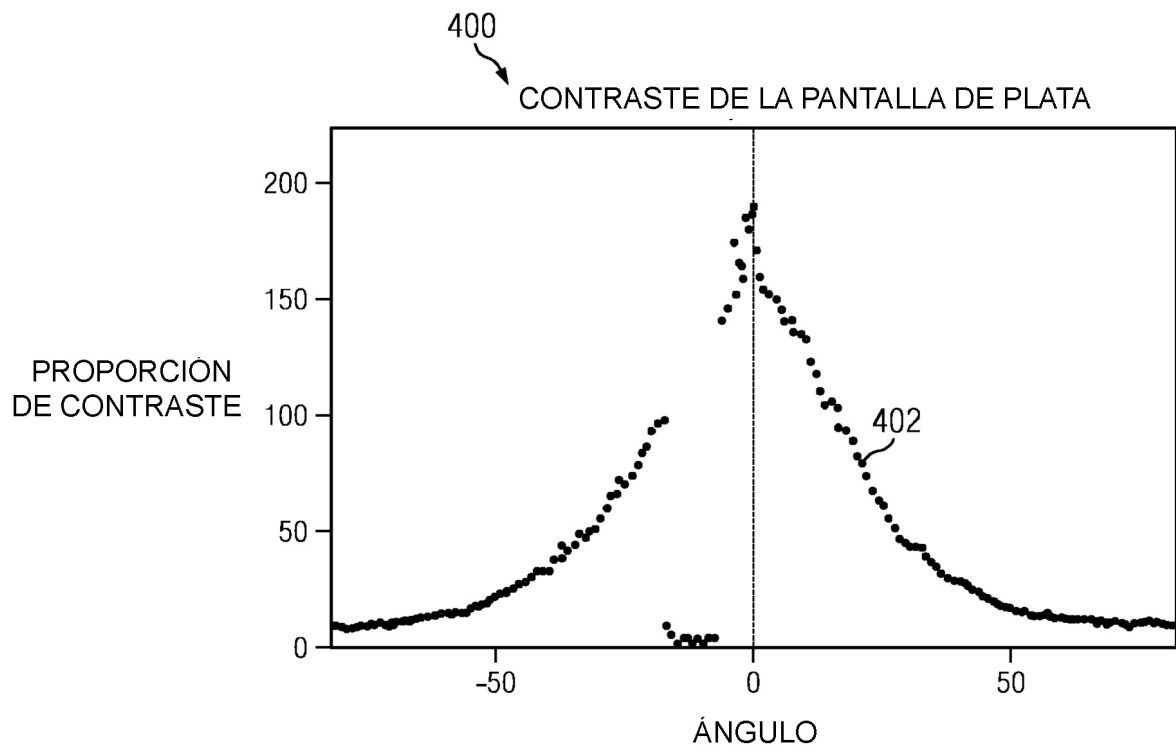


FIG. 4

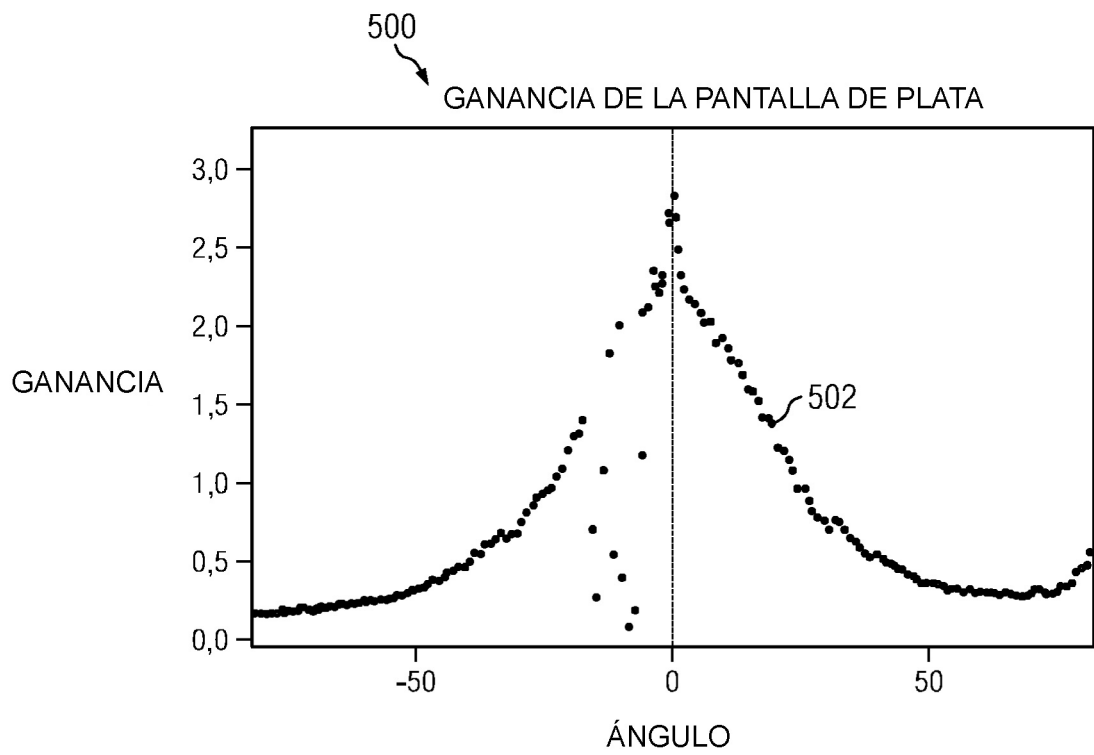


FIG. 5

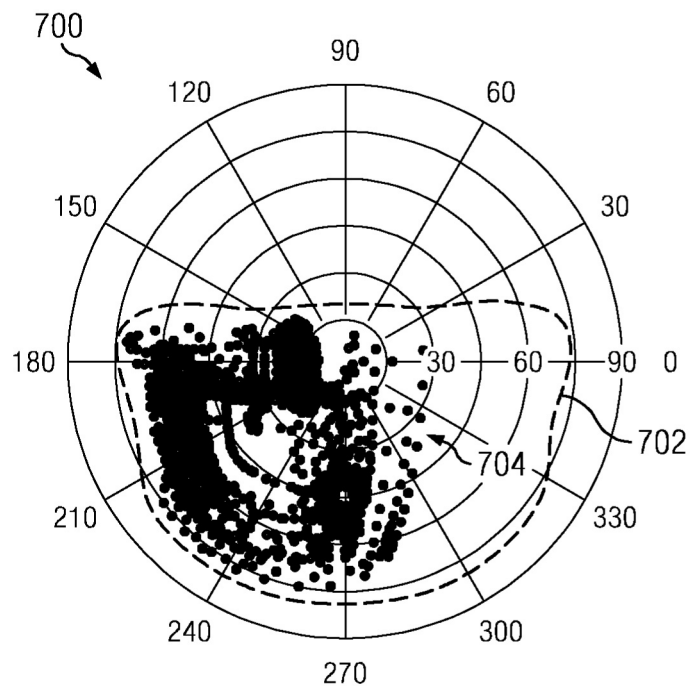
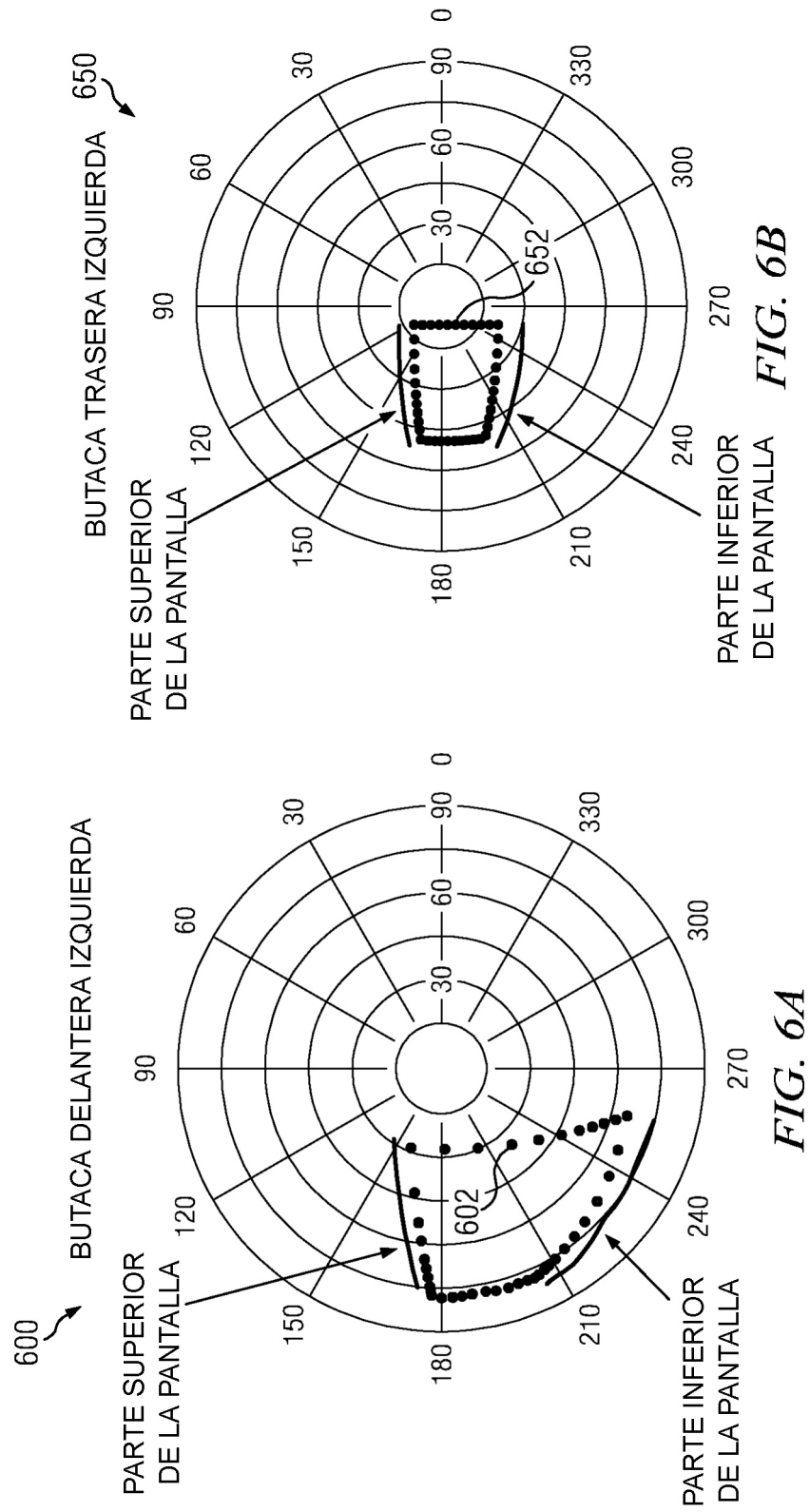


FIG. 7



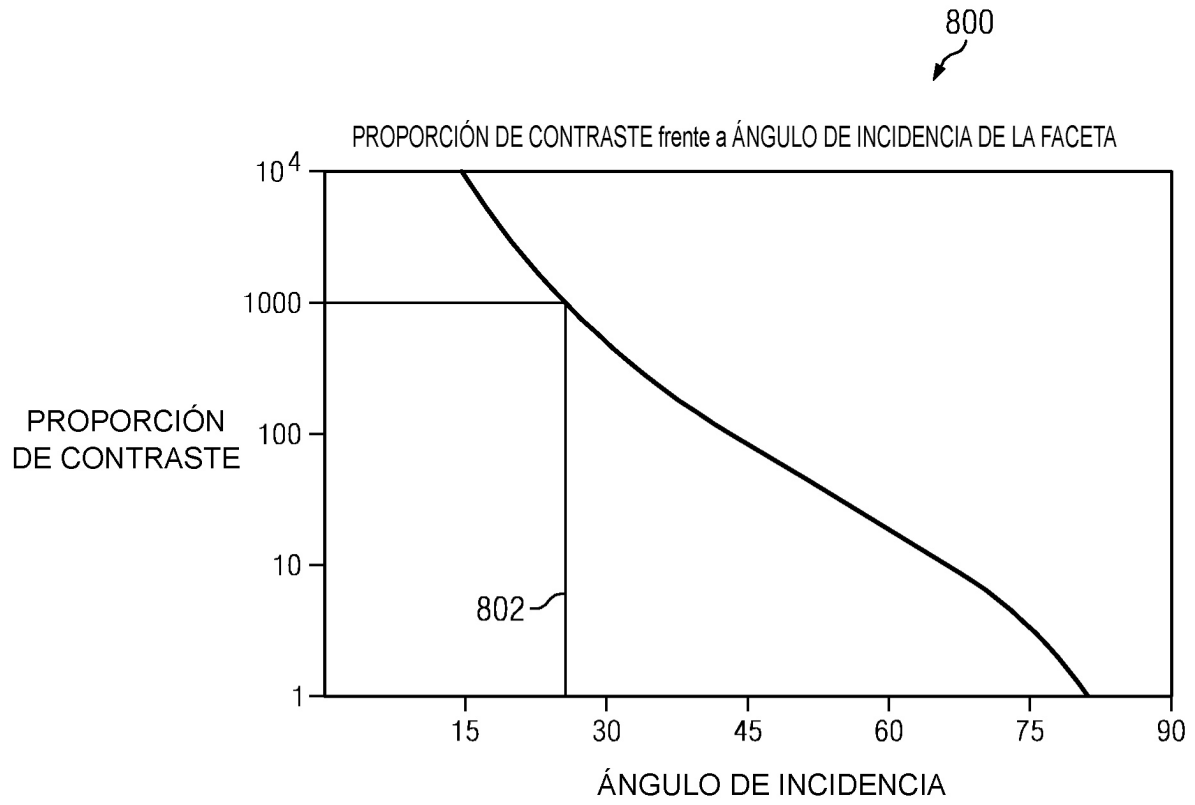


FIG. 8

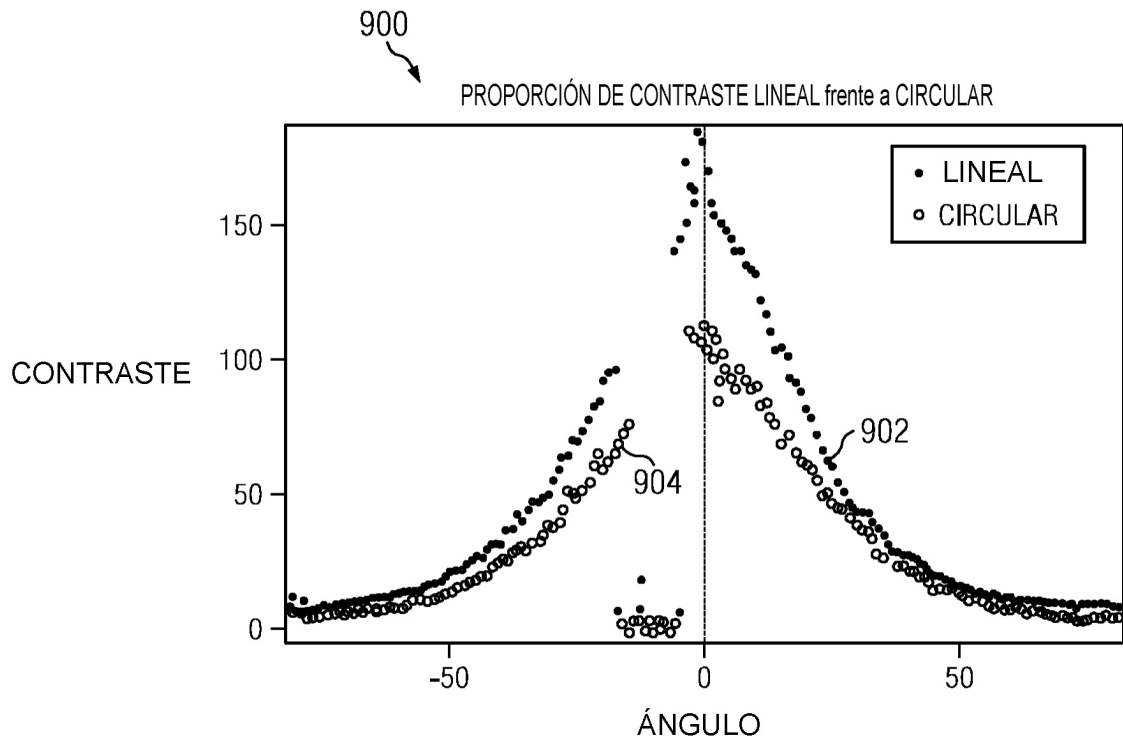


FIG. 9

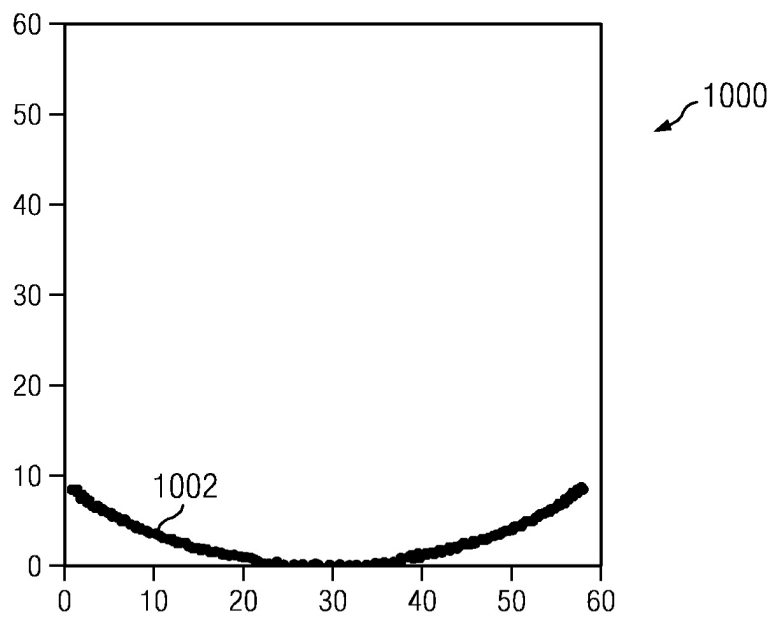


FIG. 10

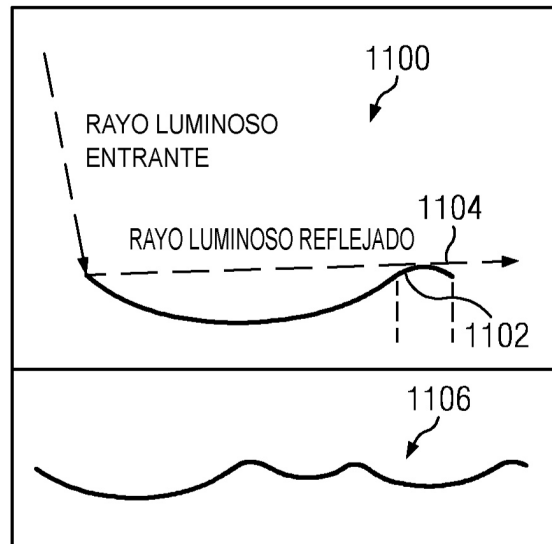


FIG. 11

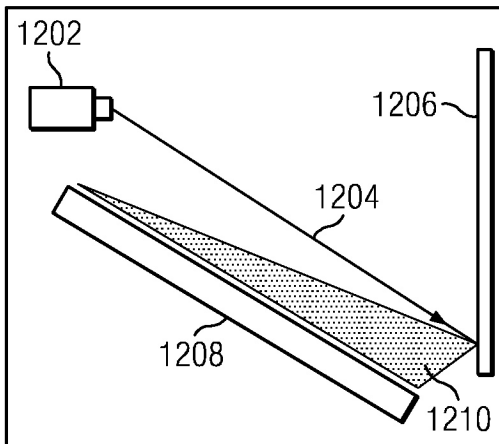


FIG. 12A

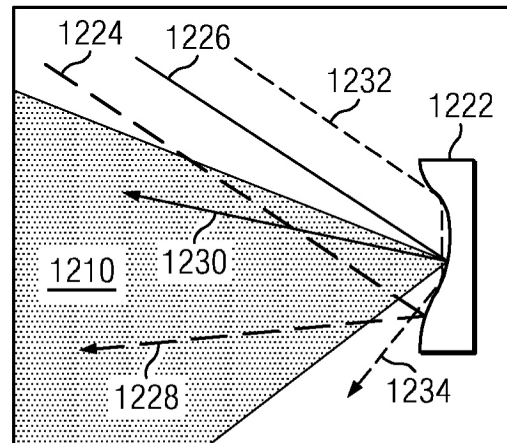


FIG. 12B

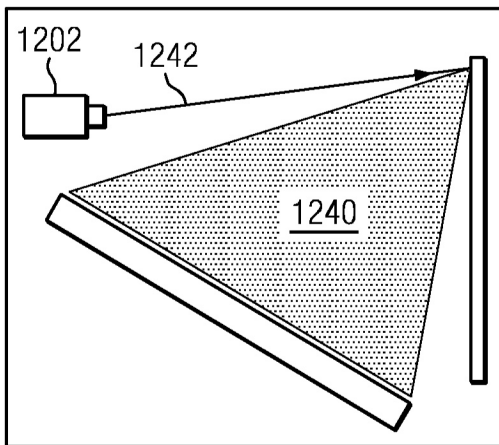


FIG. 12C

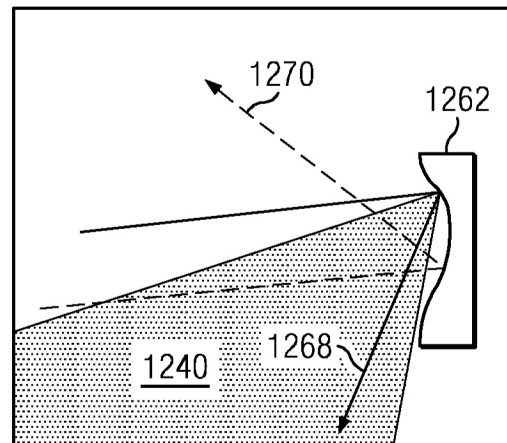


FIG. 12D

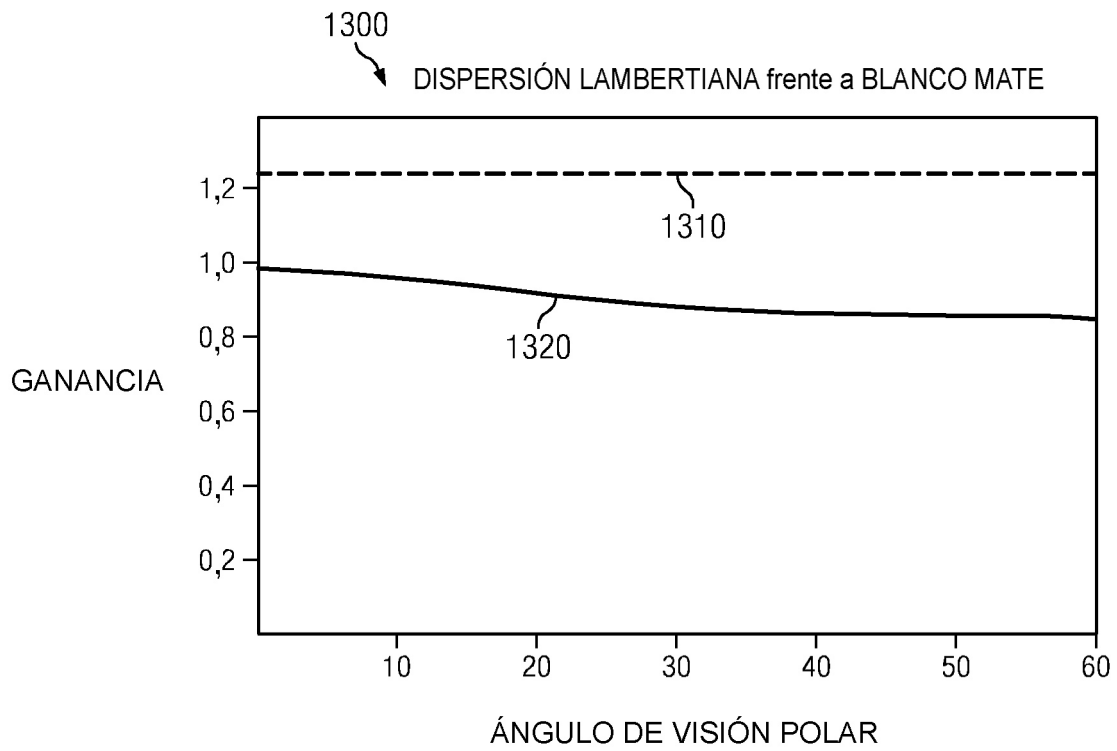


FIG. 13A

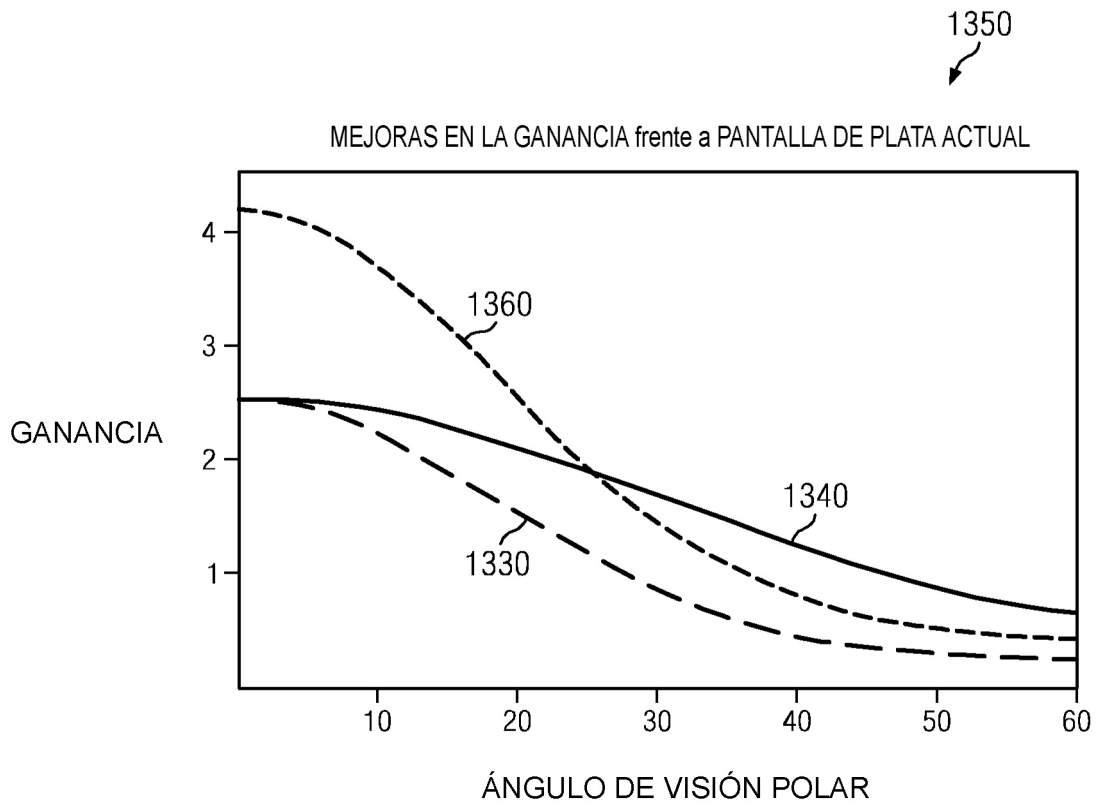


FIG. 13B

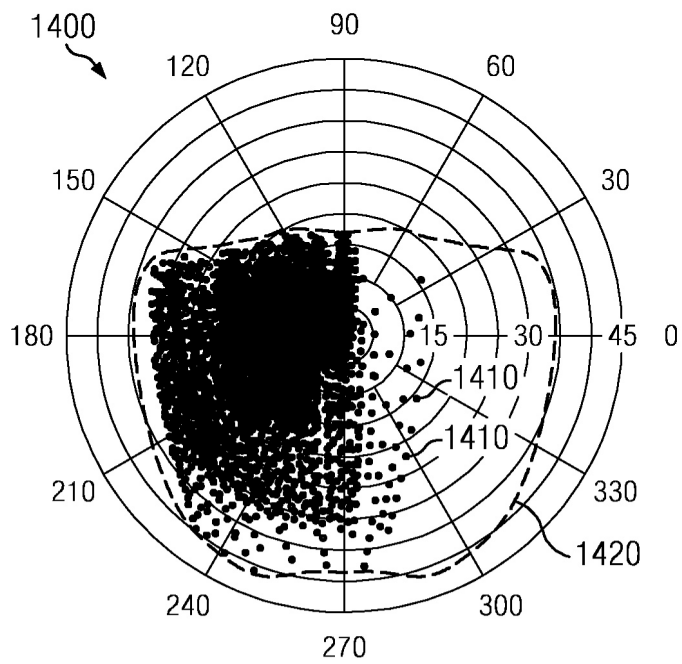


FIG. 14

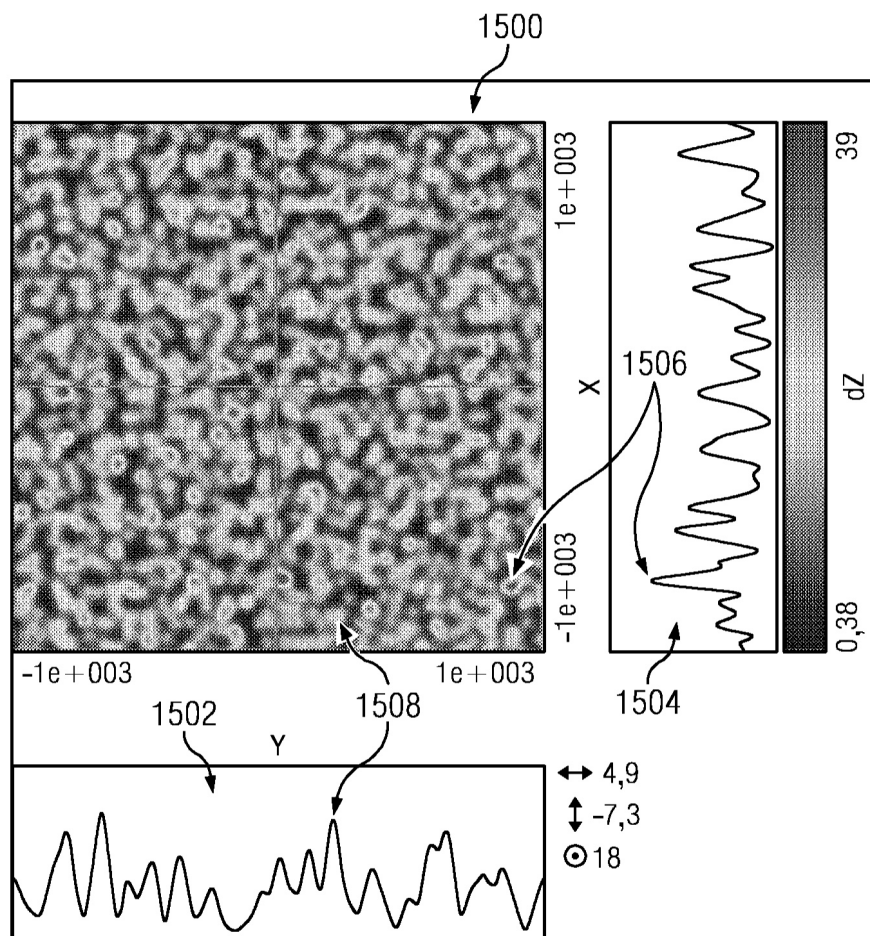


FIG. 15

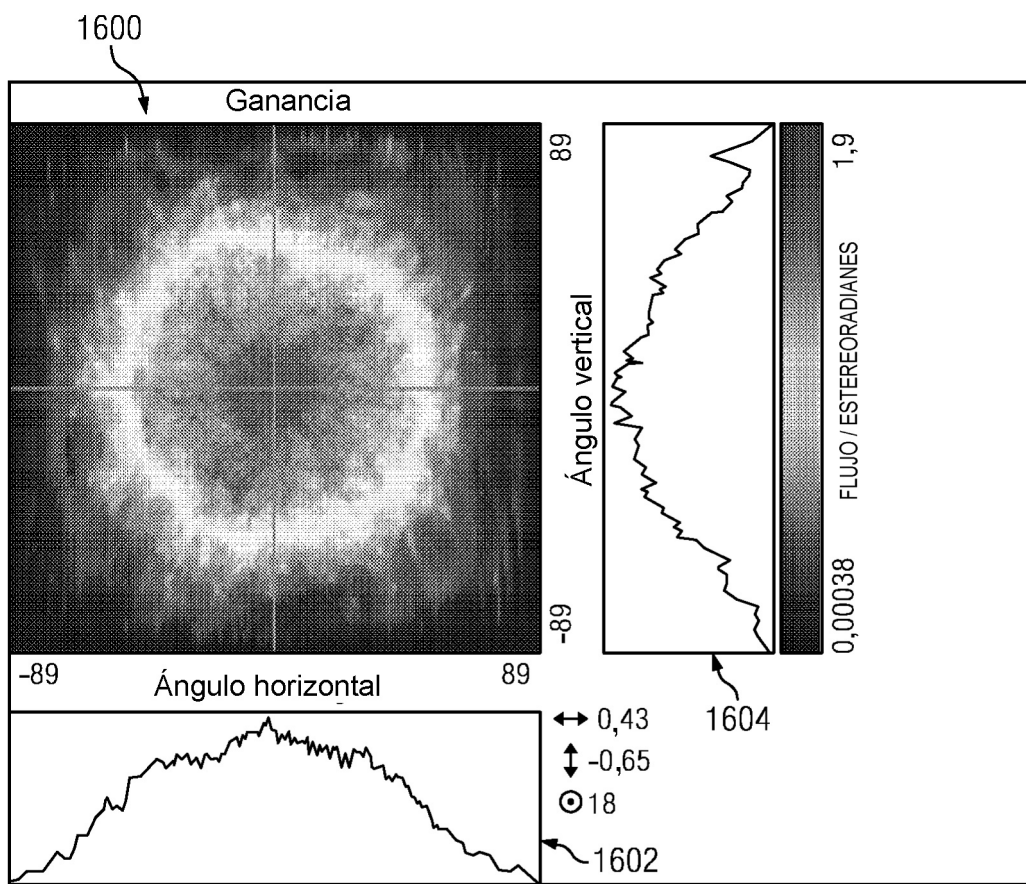


FIG. 16

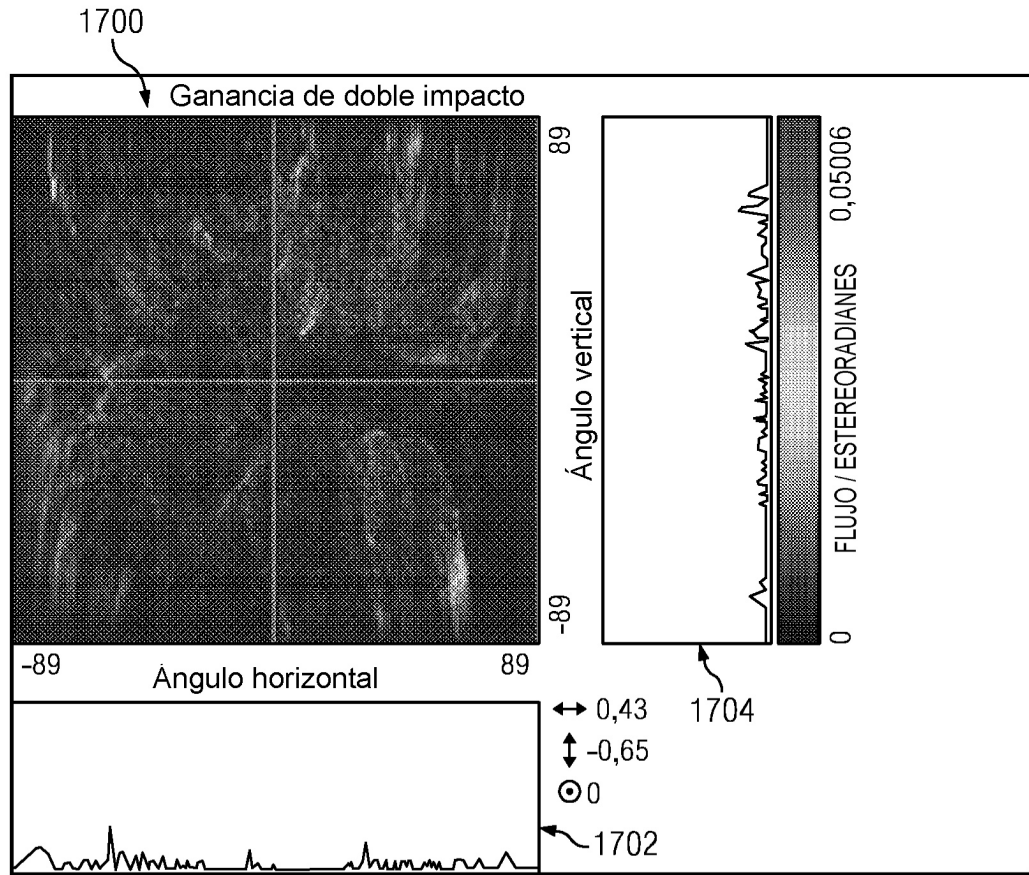


FIG. 17

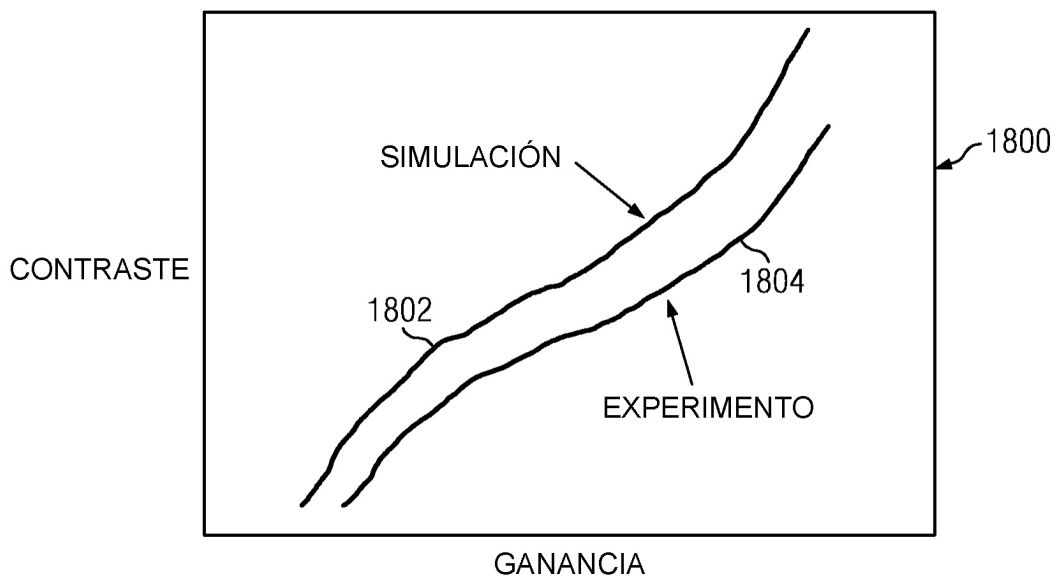
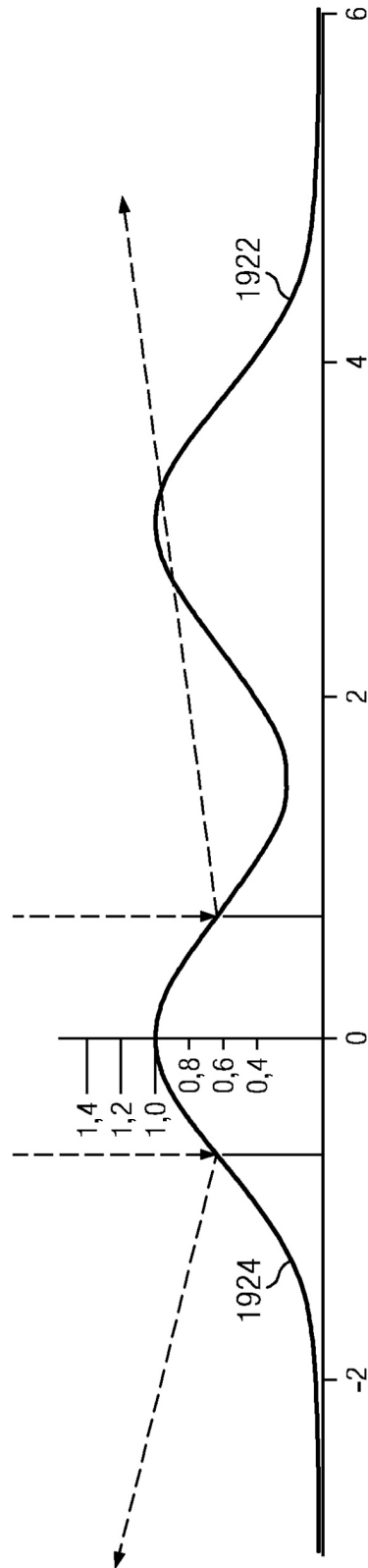
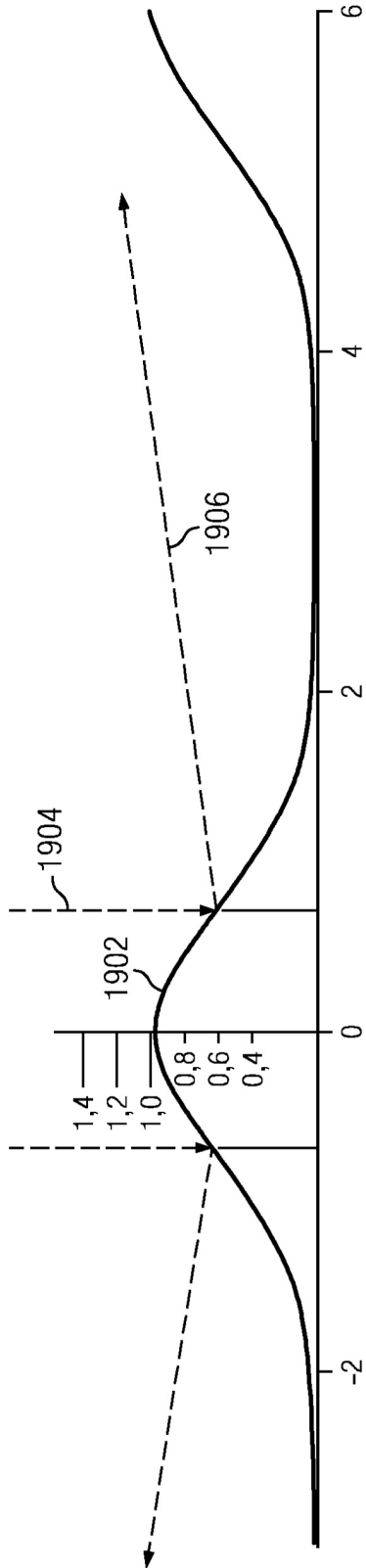
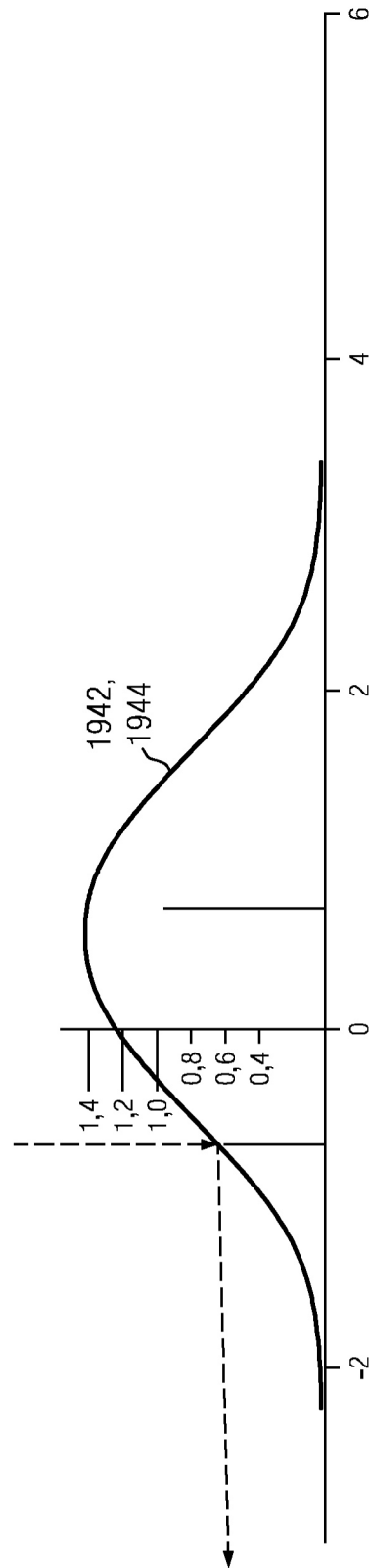
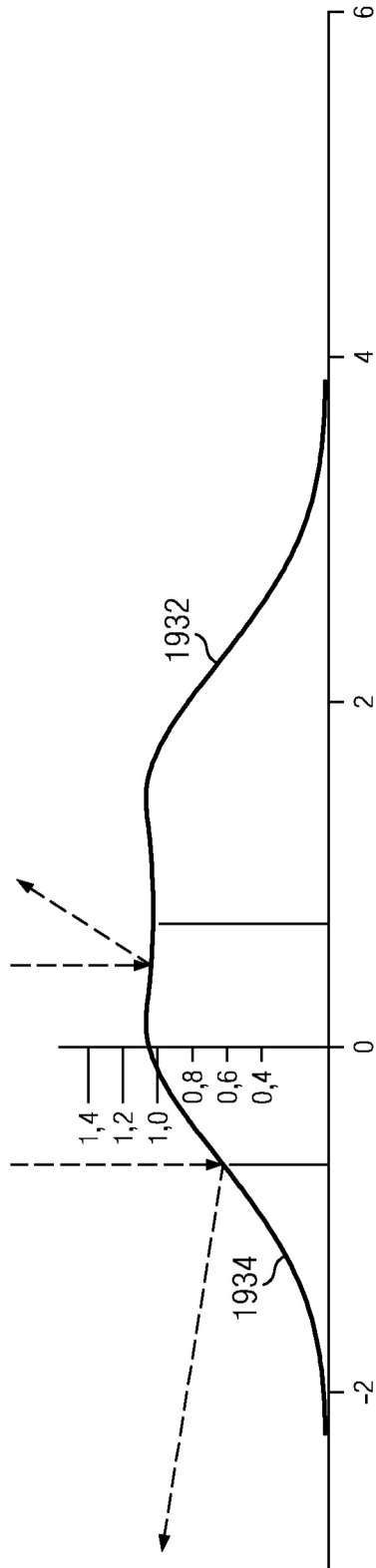


FIG. 18





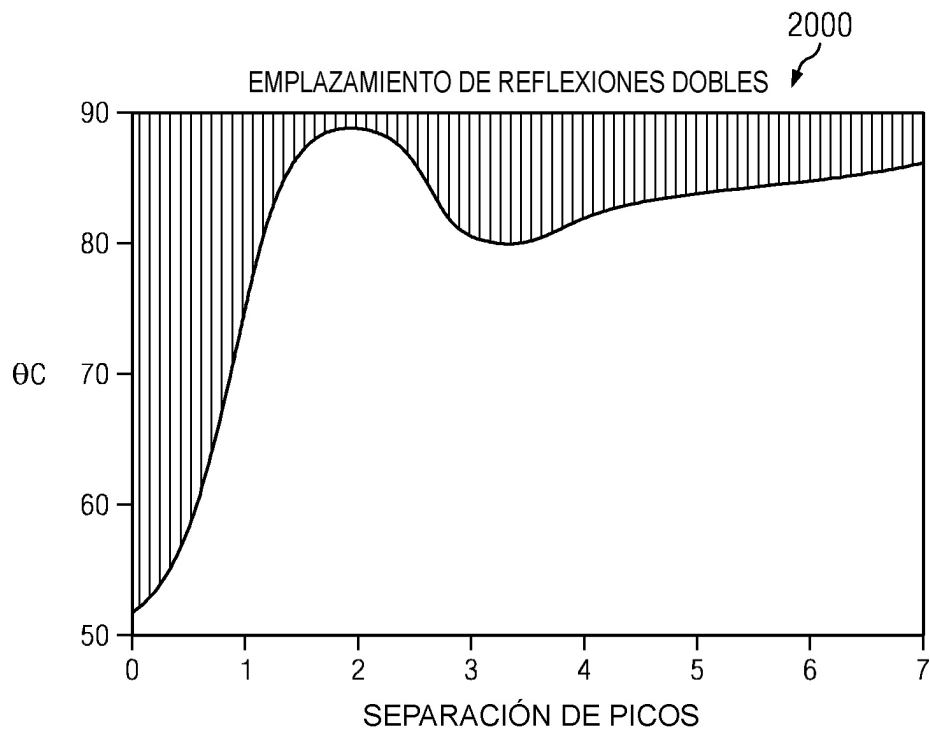


FIG. 20

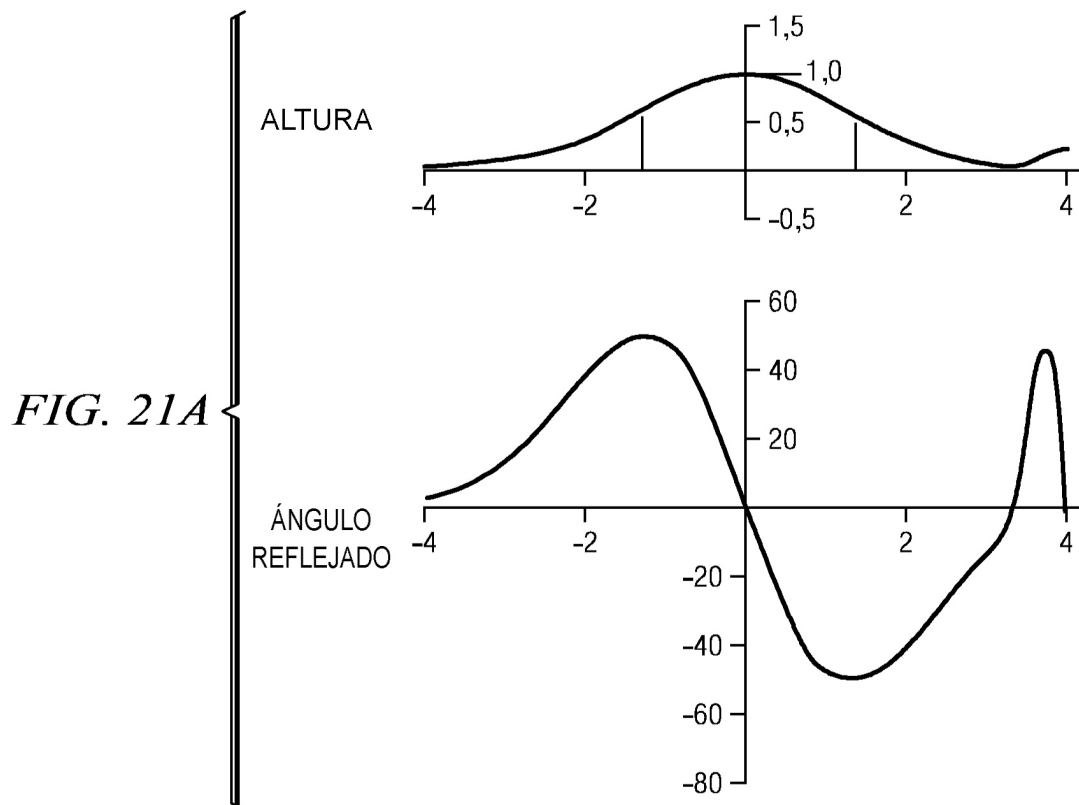
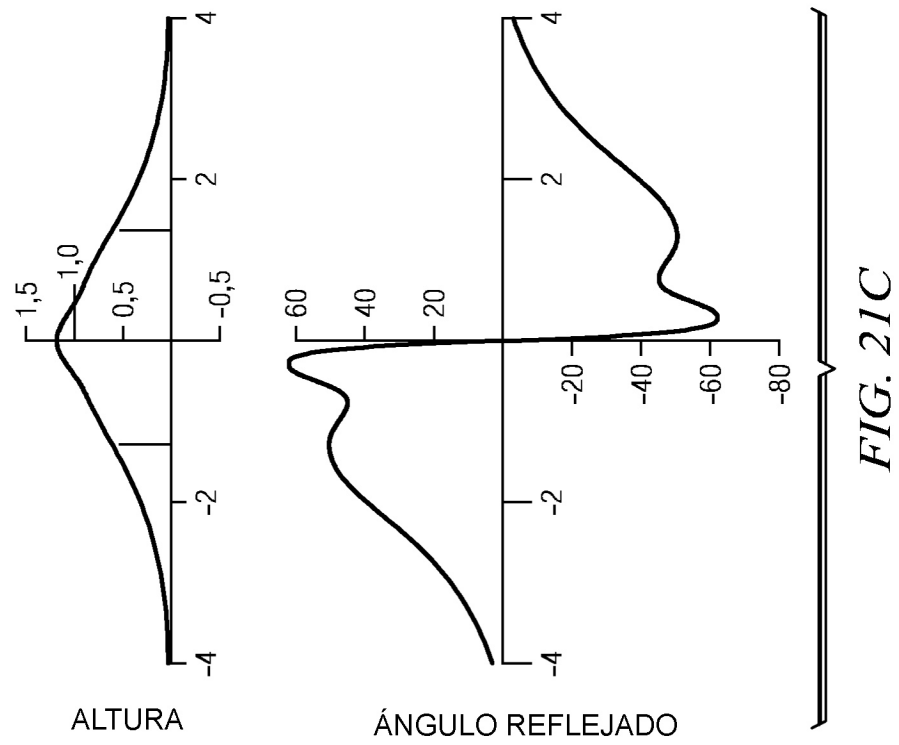
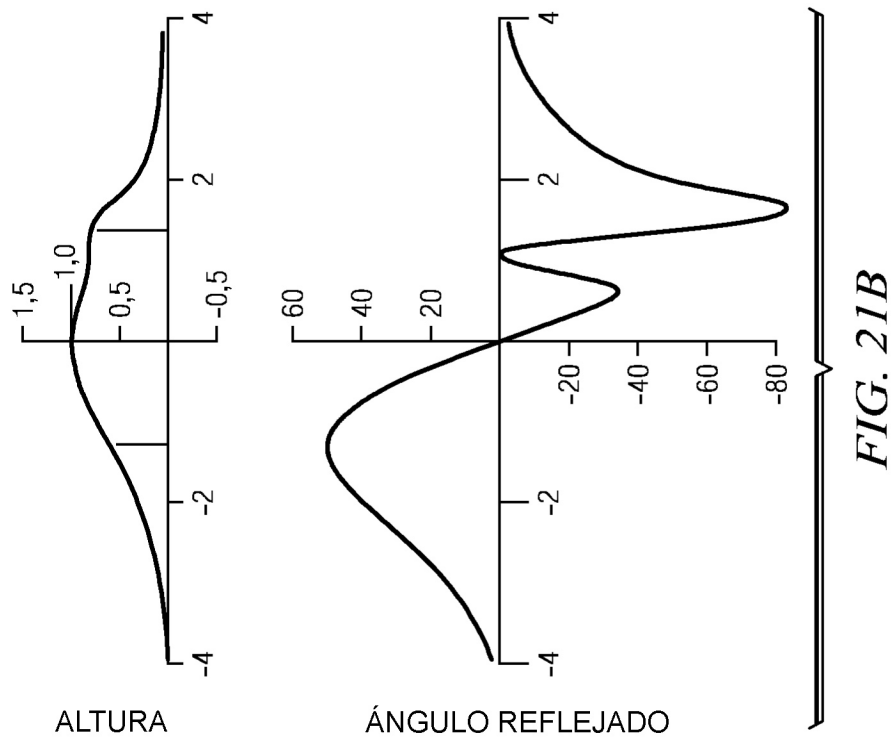


FIG. 21A



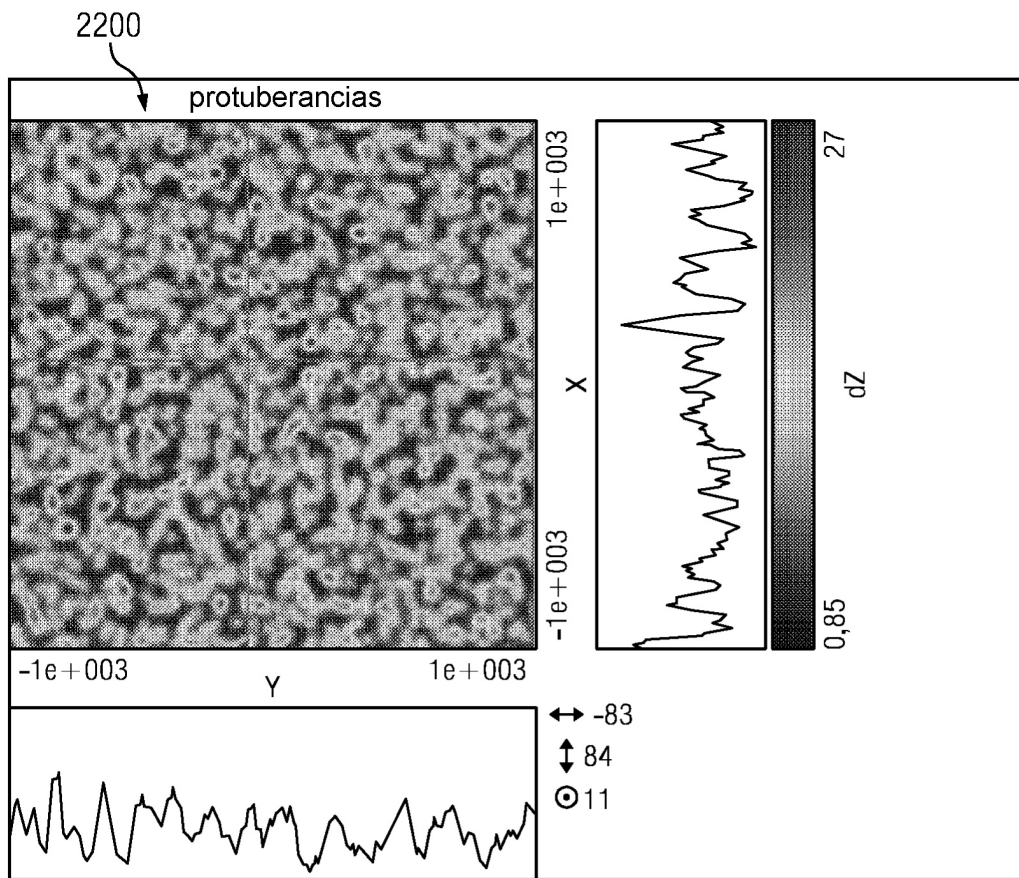


FIG. 22

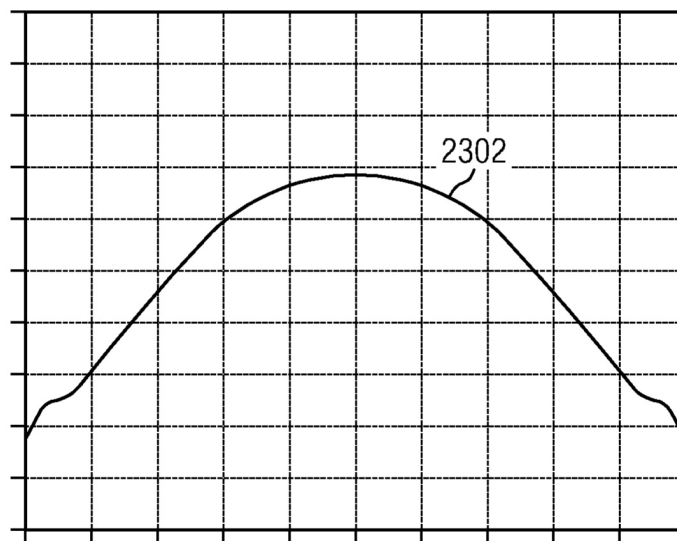


FIG. 23A

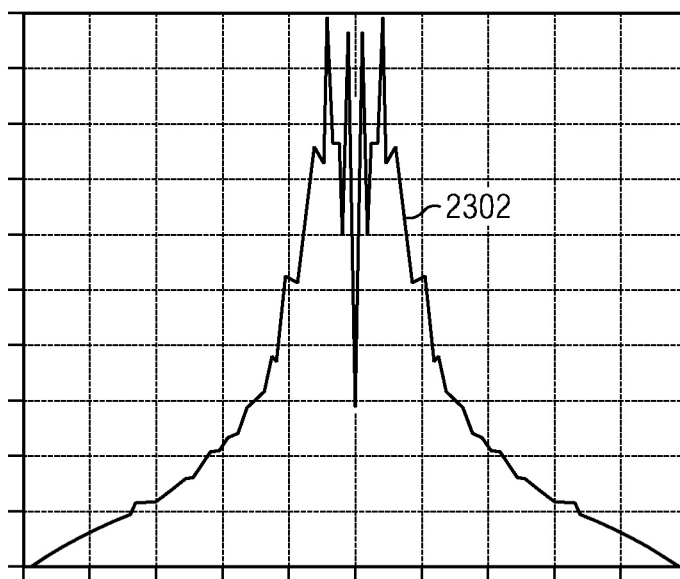


FIG. 23B

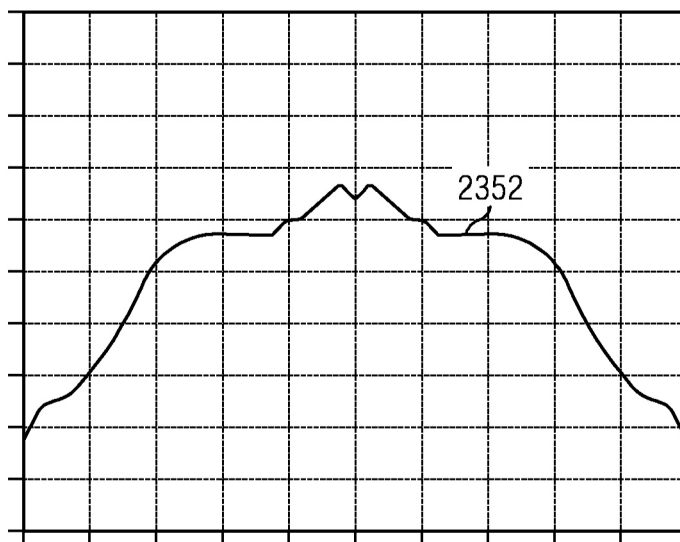


FIG. 23C

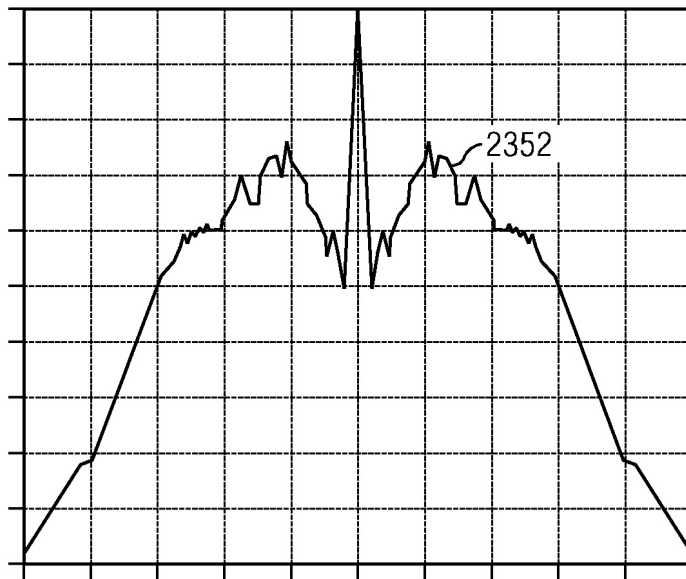


FIG. 23D

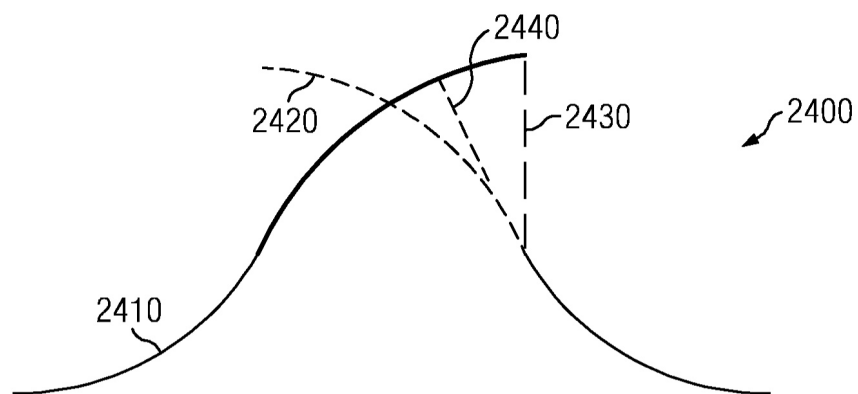


FIG. 24A

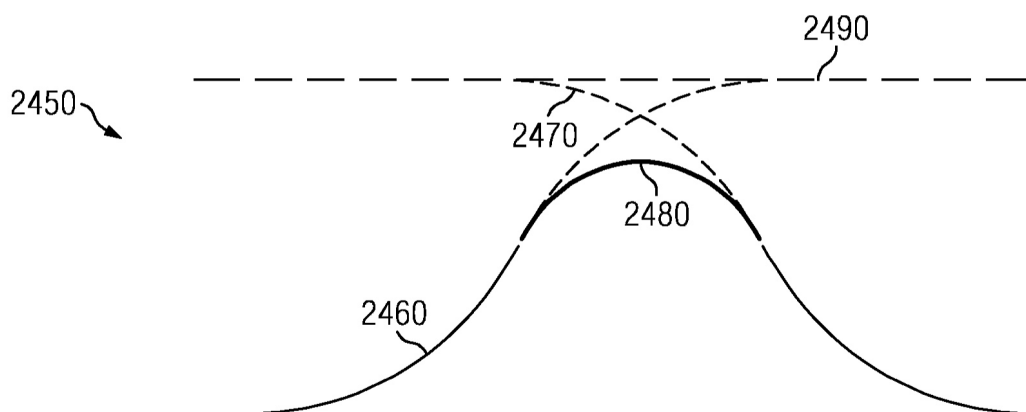
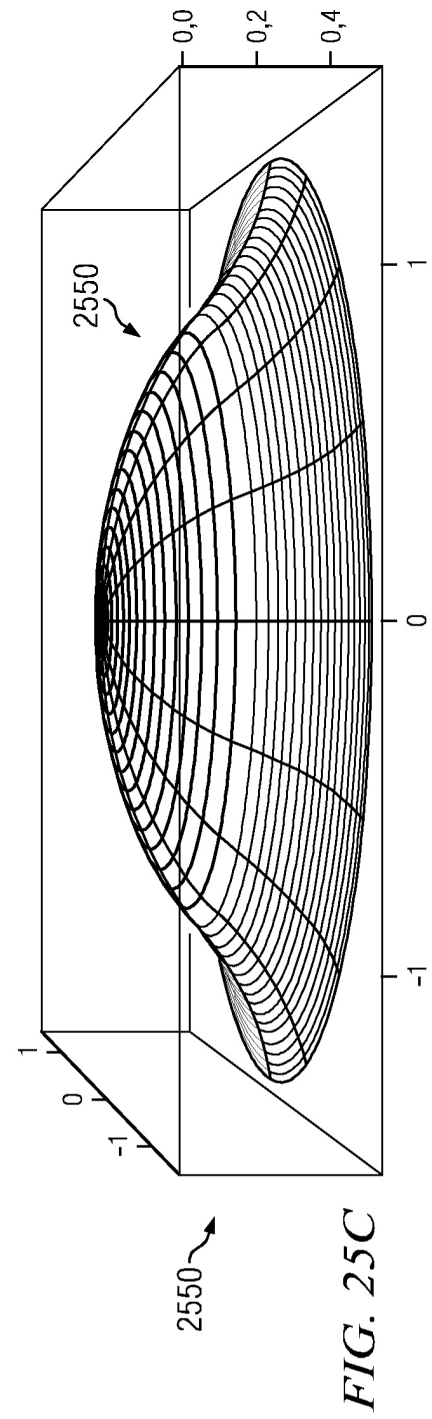
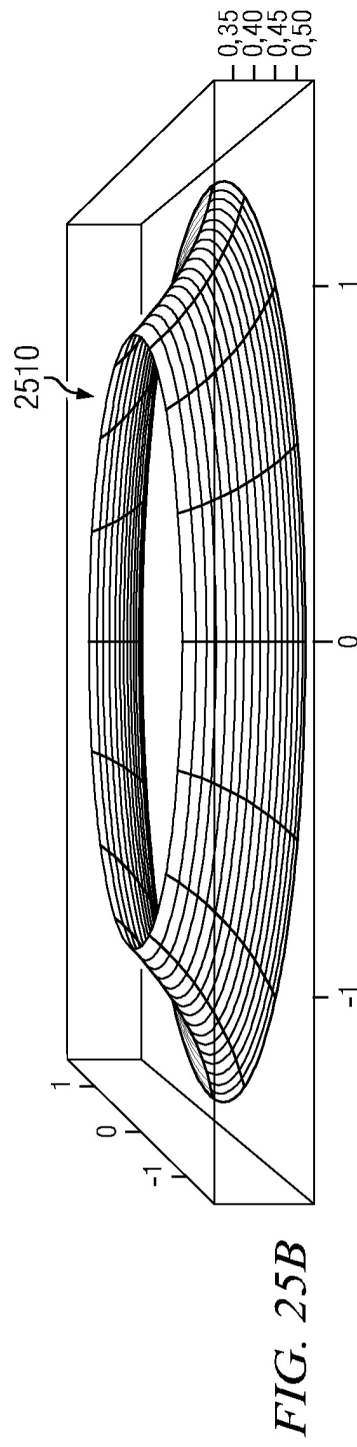
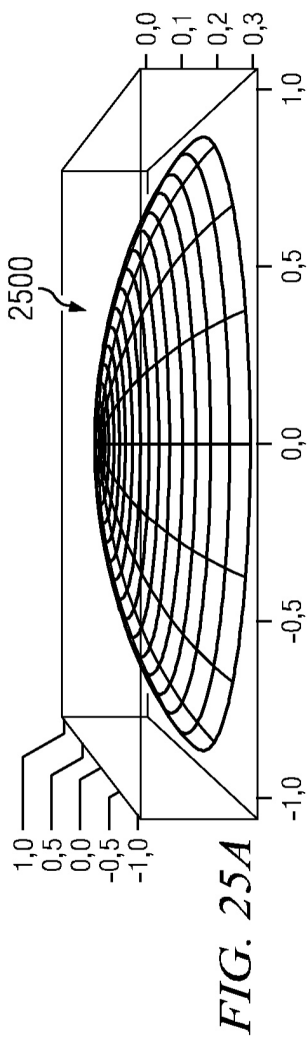


FIG. 24B



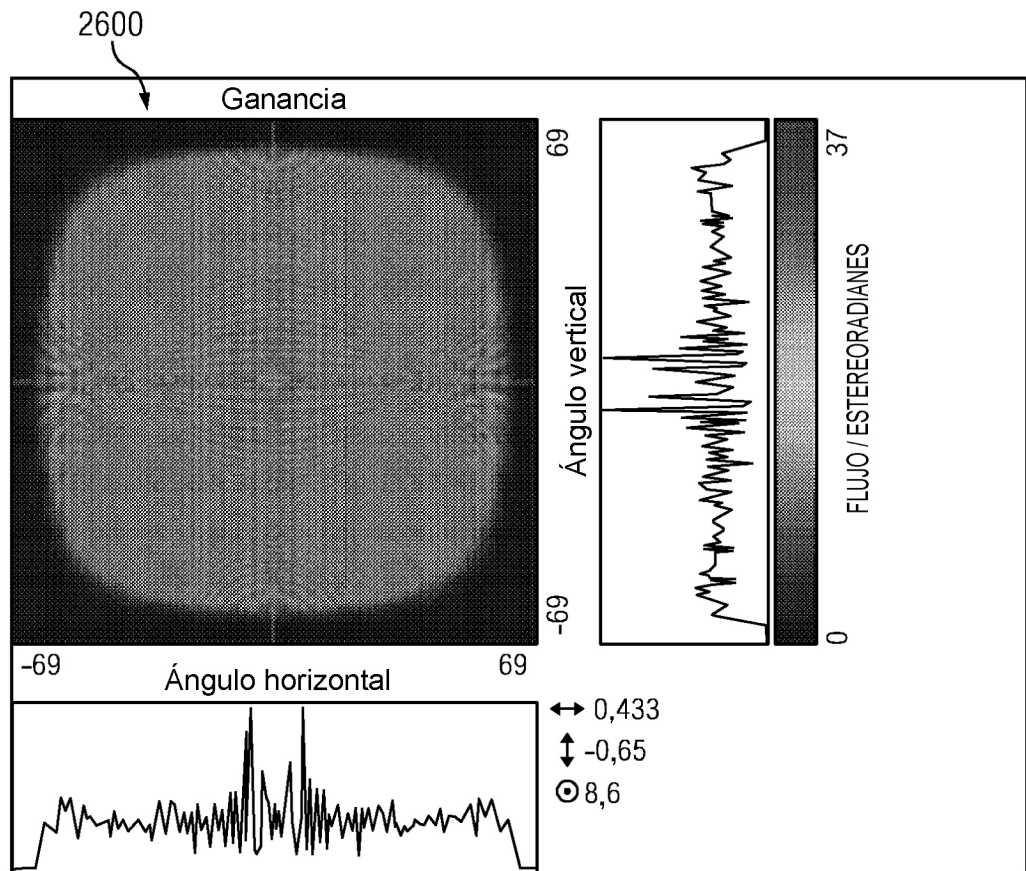


FIG. 26

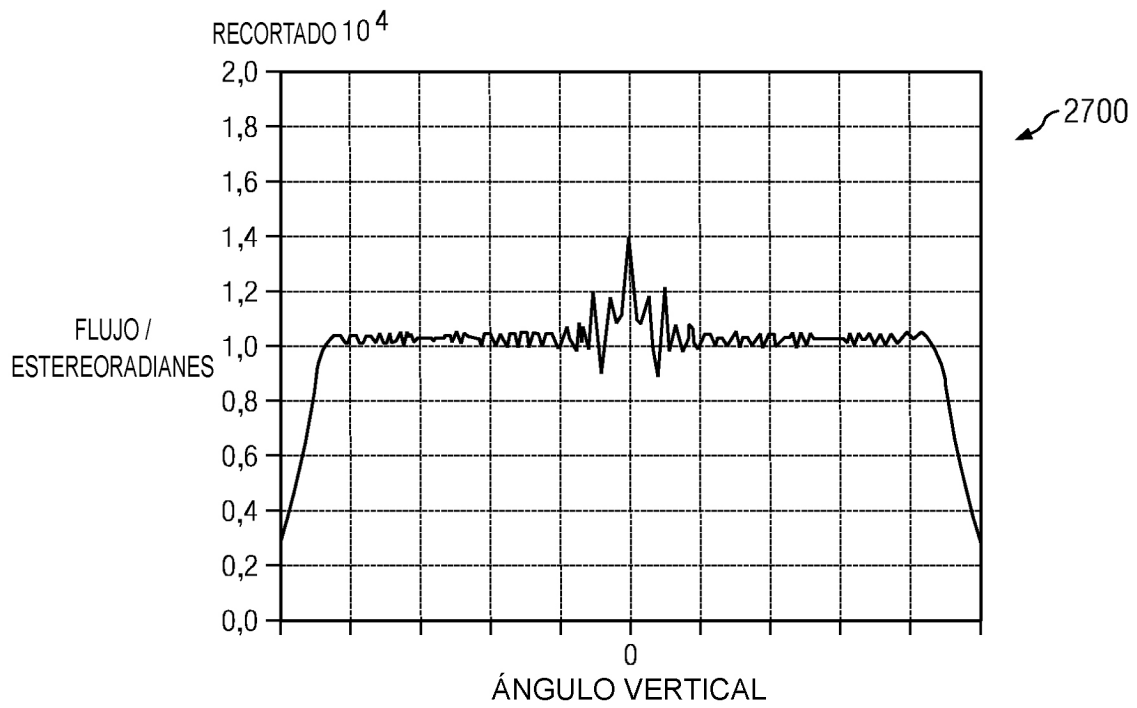


FIG. 27

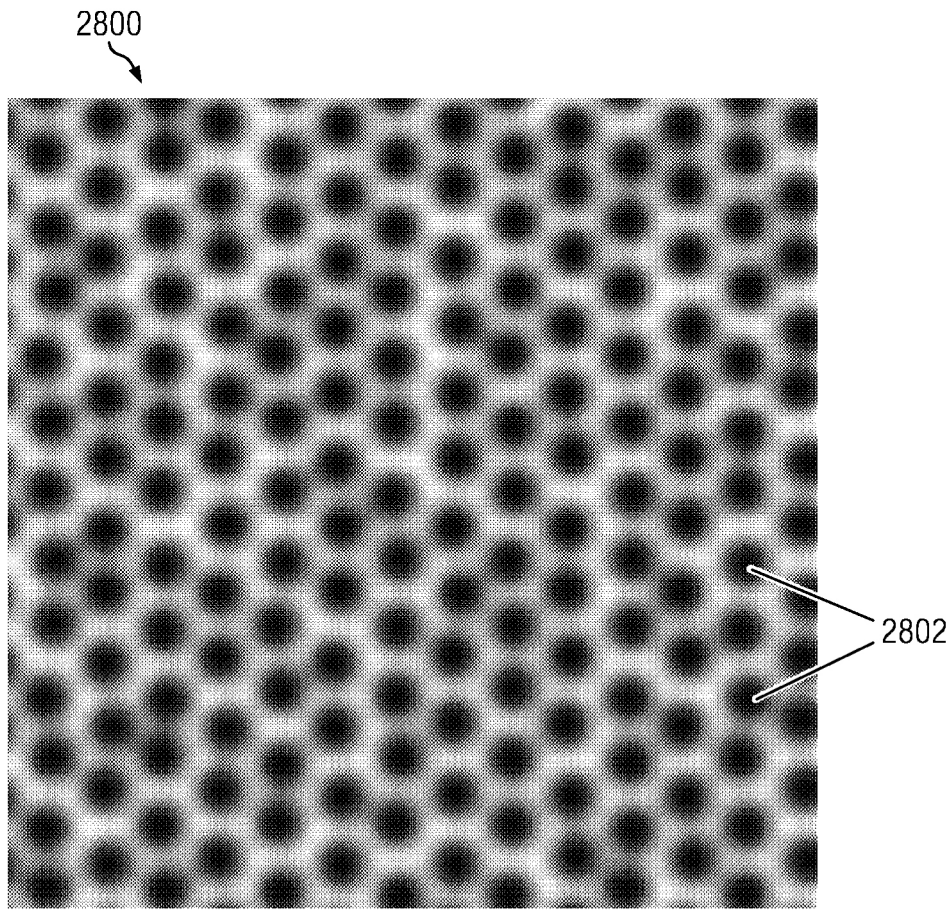


FIG. 28

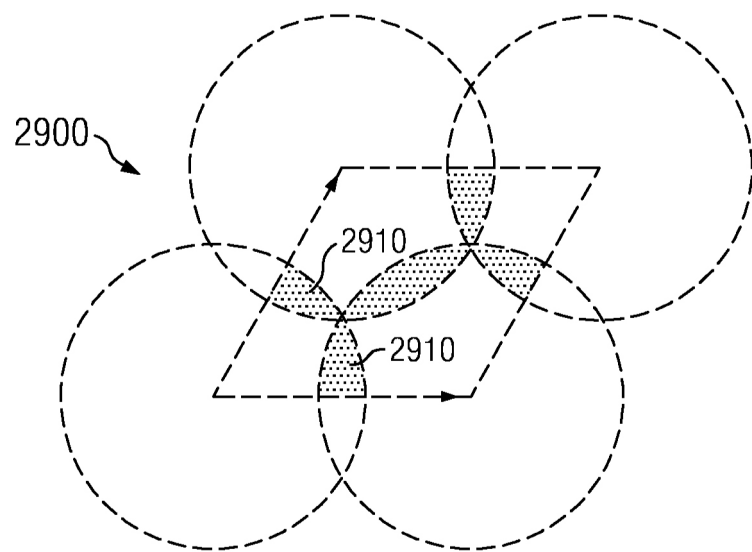


FIG. 29

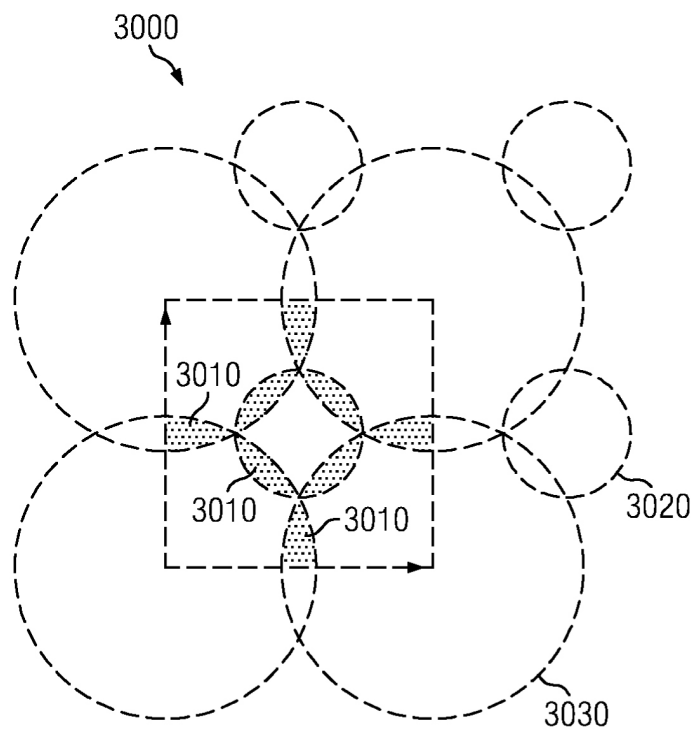


FIG. 30

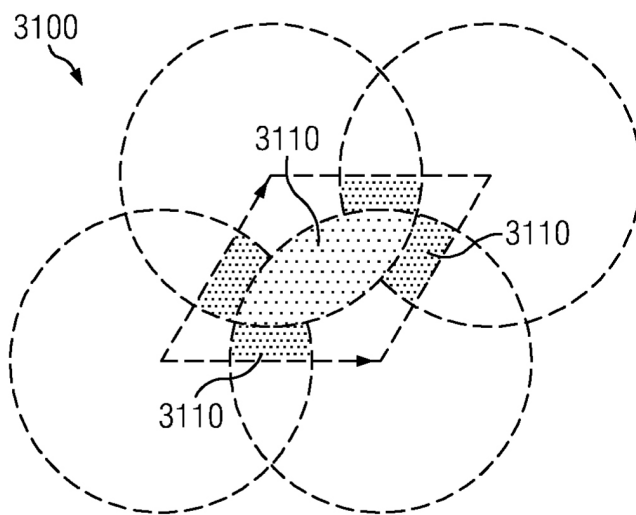


FIG. 31

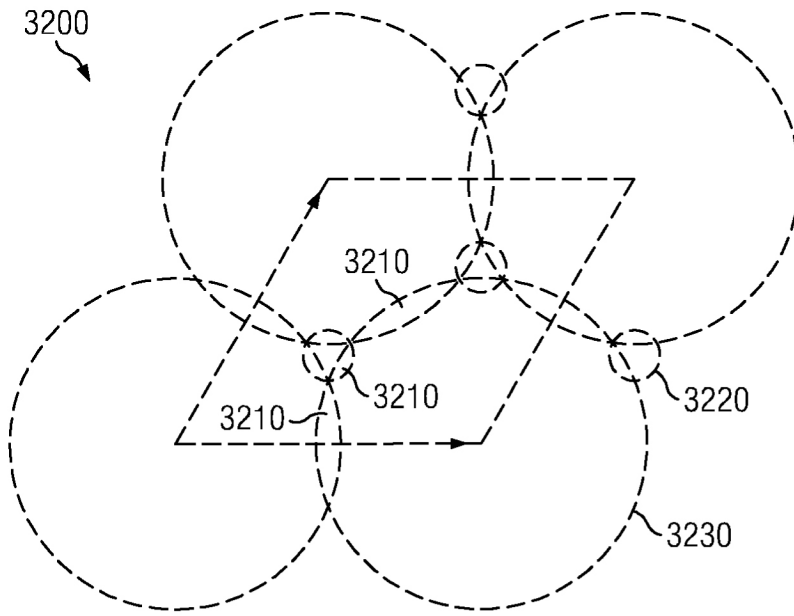


FIG. 32

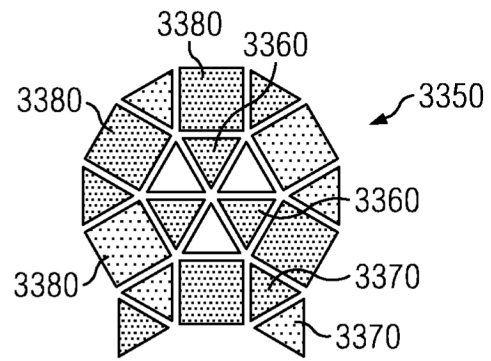


FIG. 33B

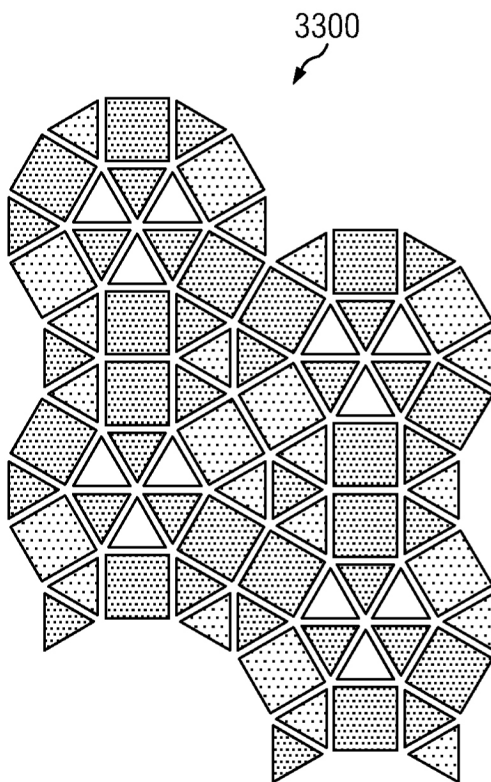


FIG. 33A

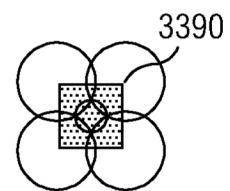


FIG. 33C

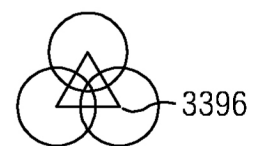


FIG. 33D

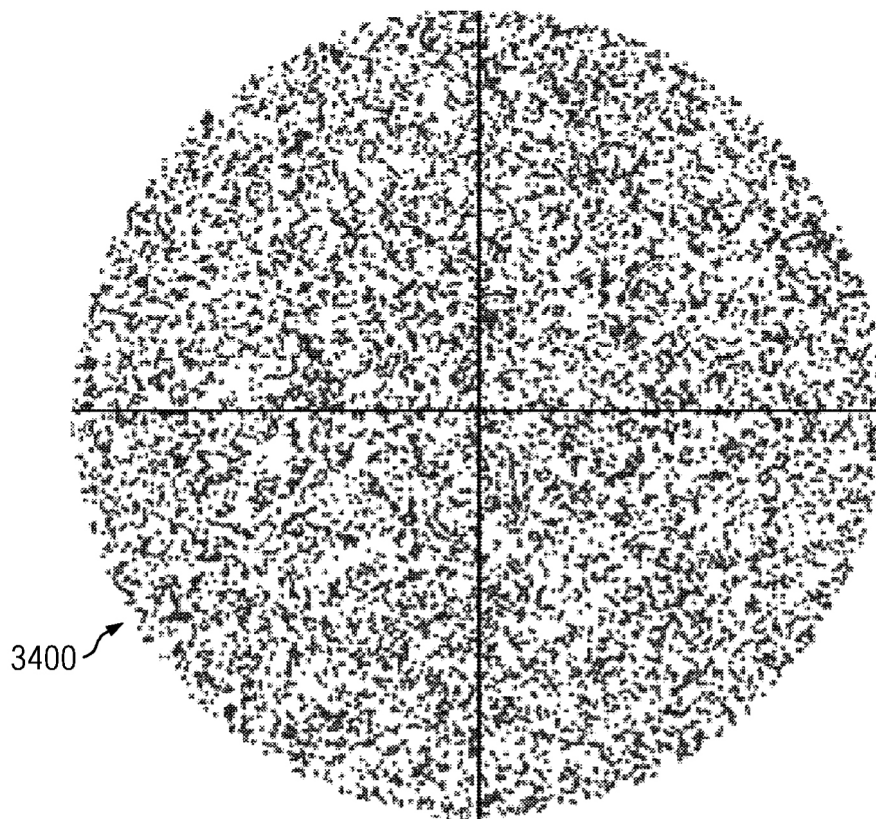


FIG. 34

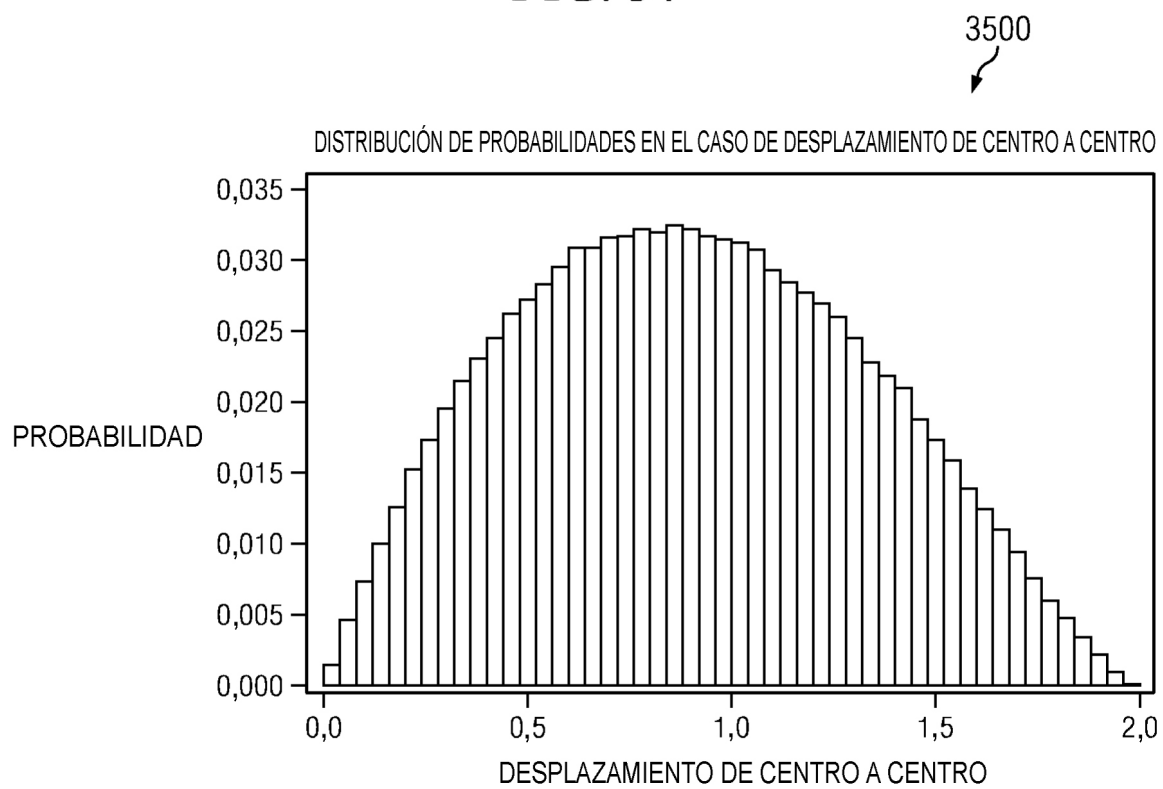


FIG. 35

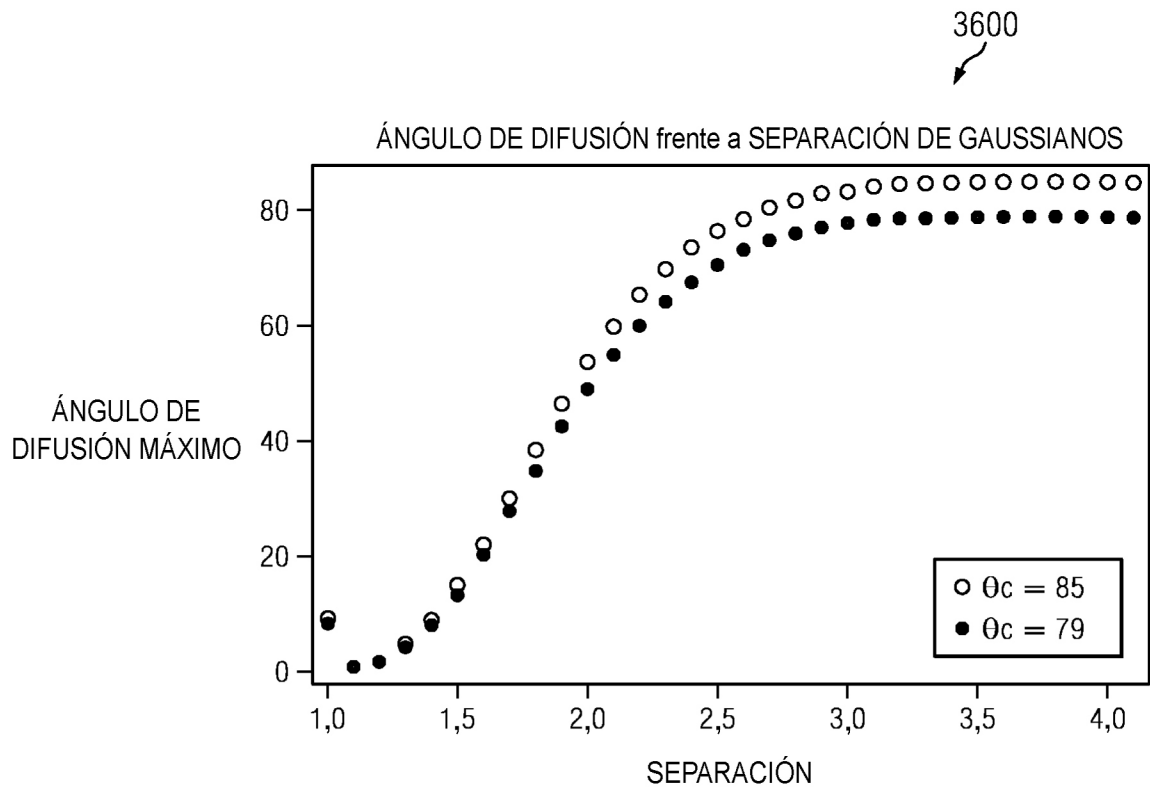


FIG. 36

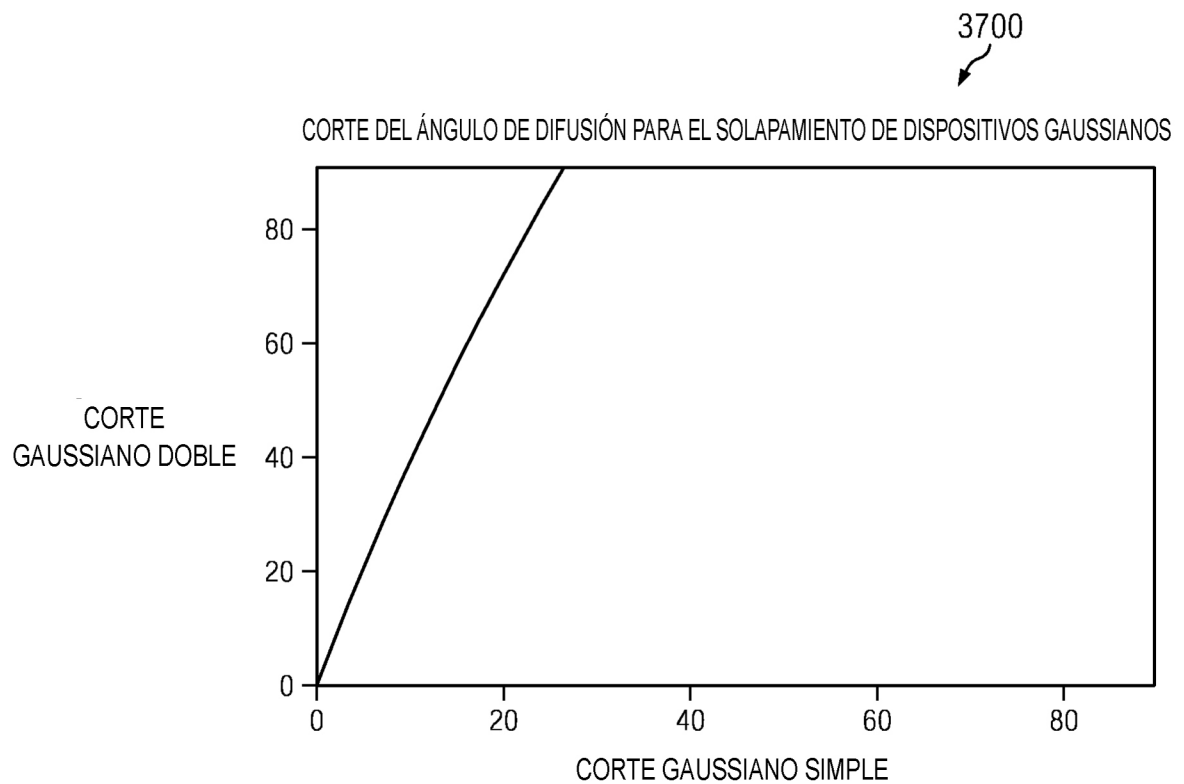


FIG. 37

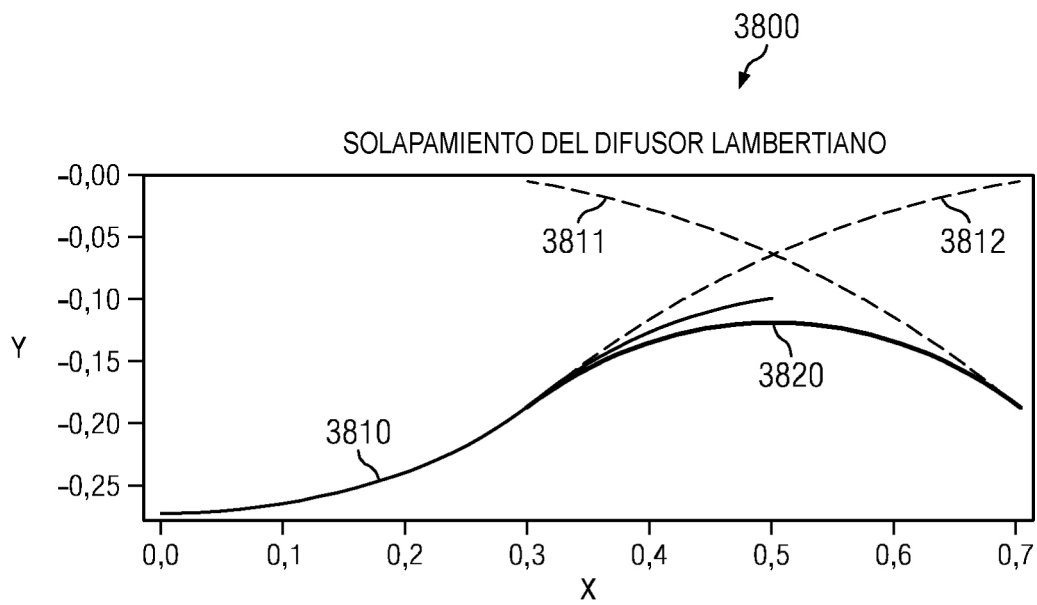


FIG. 38A

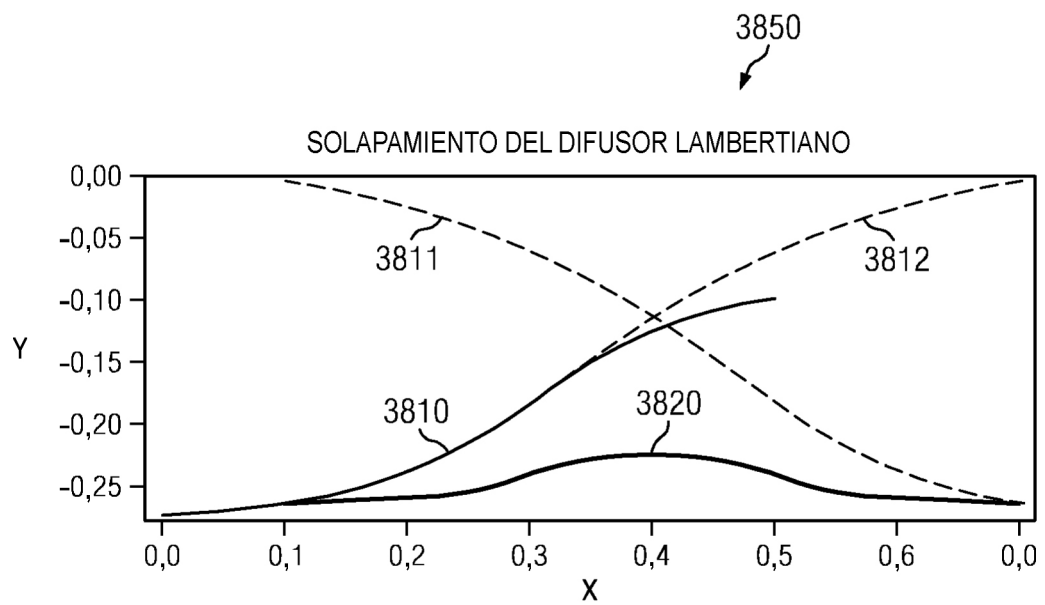
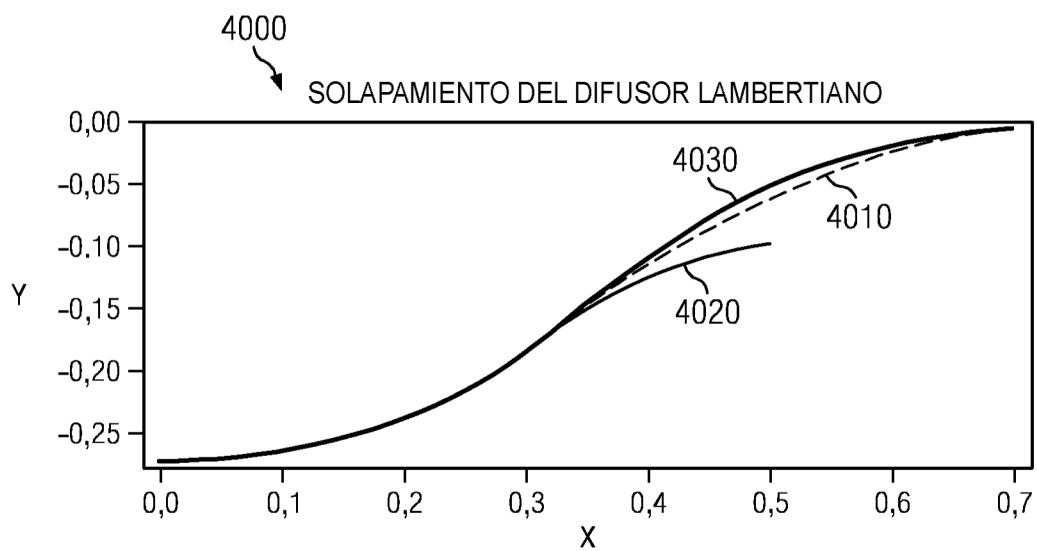
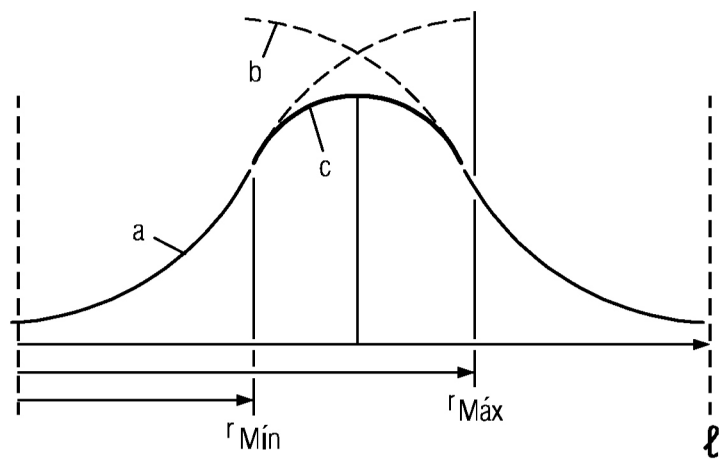
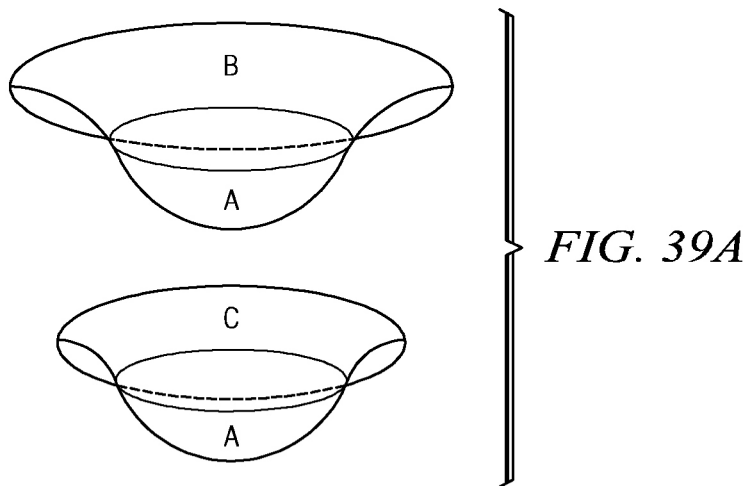
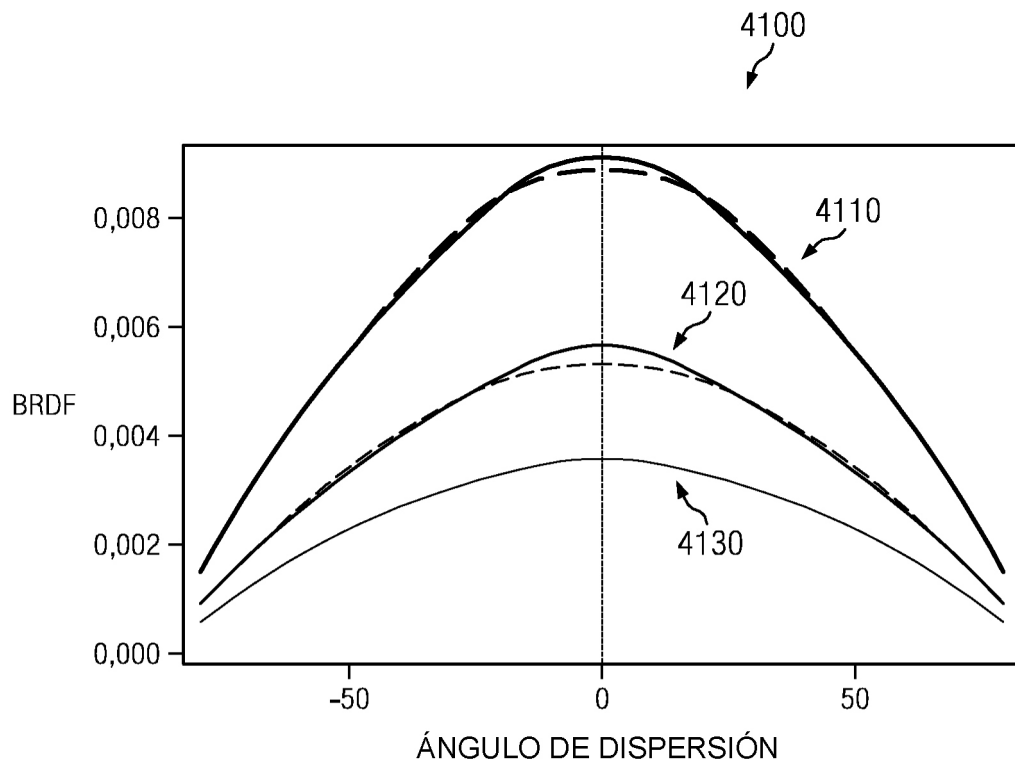


FIG. 38B





GANANCIA TOTAL		ZONA SOLAPADA	ZONA SIN SOLAPAMIENTO
— — —	GANANCIA OBJETIVO	CONTRIBUCIÓN A LA GANANCIA OBJETIVO	CONTRIBUCIÓN A LA GANANCIA OBJETIVO ORIGINAL
————	GANANCIA REAL	CONTRIBUCIÓN A LA GANANCIA INCLUYENDO EL SOLAPAMIENTO	CONTRIBUCIÓN A LA GANANCIA CORREGIDA PREVIAMENTE

FIG. 41A

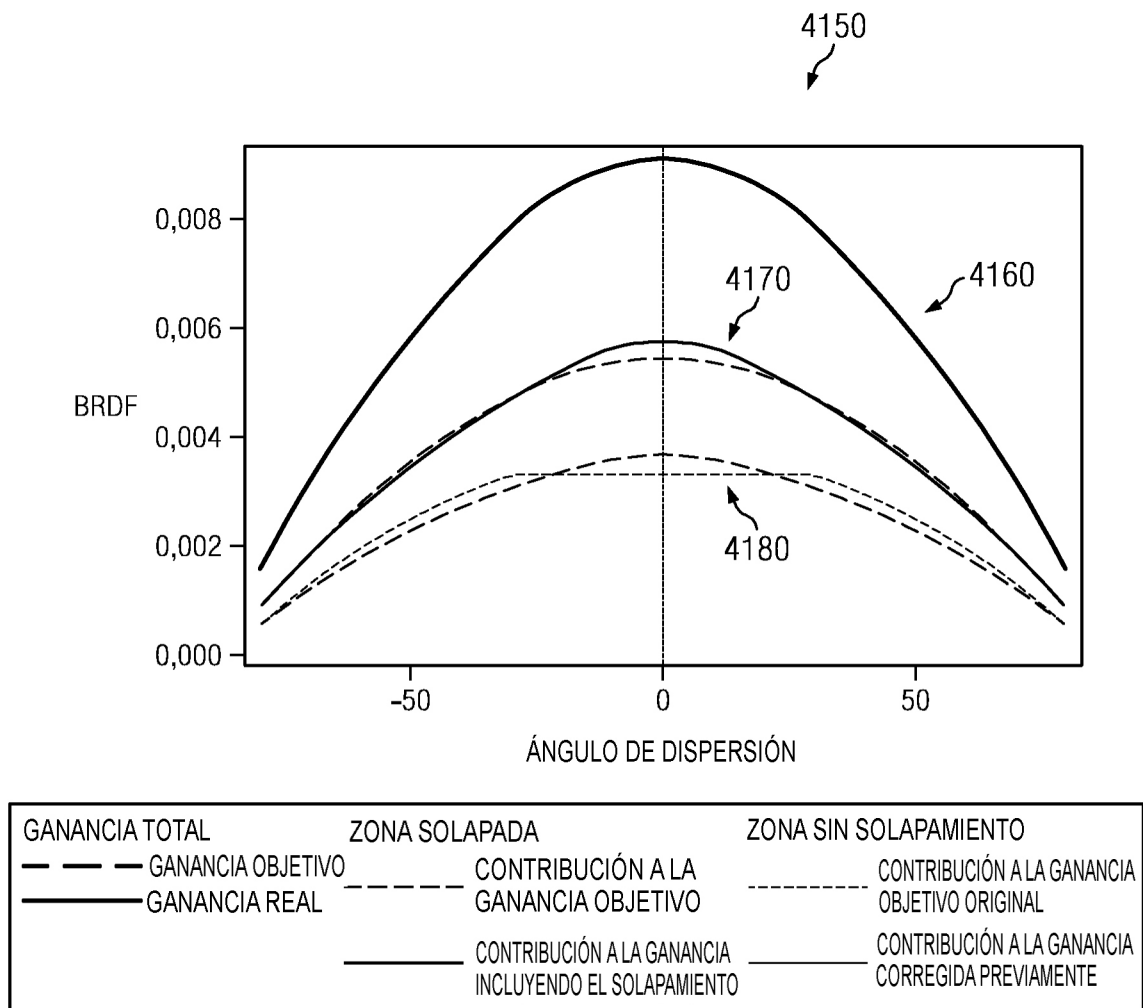


FIG. 41B