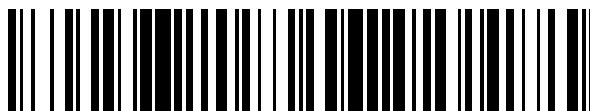


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 535 435**

51 Int. Cl.:

H01L 31/054	(2014.01) F24J 2/06	(2006.01)
H01L 31/042	(2014.01) F24J 2/18	(2006.01)
H01L 25/00	(2006.01) G02B 19/00	(2006.01)
H01L 31/00	(2006.01) H02S 40/22	(2014.01)
G02B 26/08	(2006.01)	
G02B 27/00	(2006.01)	
G02B 5/08	(2006.01)	
H01J 3/14	(2006.01)	
H01J 5/16	(2006.01)	
H01J 40/14	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.07.2007 E 07796999 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.02.2015 EP 2050135**

54 Título: **Aparato para obtener energía radiante**

30 Prioridad:

03.08.2006 US 498673

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

11.05.2015

73 Titular/es:

**CORNING INCORPORATED (100.0%)
1 RIVERFRONT PLAZA
CORNING NY 14831, US**

72 Inventor/es:

**BRUNING, JOHN, H y
COBB, JOSHUA, M**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 535 435 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

Aparato para obtener energía radiante

Declaración relativa a la investigación o el desarrollo con patrocinio federal

5 La presente invención ha sido realizada con apoyo del gobierno según el acuerdo w911nf-05-9-0005 otorgado por el gobierno. El gobierno tiene ciertos derechos en la invención.

Campo de la invención

La presente invención versa, en general, acerca de un aparato para captar y concentrar luz de forma eficaz y, más en particular, versa acerca de un aparato que capta y separa luz en dos o más bandas espectrales, dirigida cada una hacia un receptor separado.

10 **Antecedentes de la invención**

La captación y la concentración eficaces de energía radiante son útiles en un número de aplicaciones y tienen un valor particular para dispositivos que convierten energía solar en energía eléctrica. Las células solares concentradoras hacen que sea posible obtener una cantidad significativa de la energía del sol y concentrar esa energía como calor o para la generación de corriente directa a partir de un receptor fotovoltaico.

15 Normalmente, los concentradores de luz a gran escala para obtener energía solar incluyen un conjunto de espejos curvados opuestos con una disposición Cassegrain como sistema óptico para concentrar luz sobre un receptor que está colocado en un punto focal. Simplemente como algunos ejemplos que emplean el modelo Cassegrain, tanto la patente U.S. n° 5.979.438 titulada "Sunlight Collecting System" de Nakamura como la patente U.S. n° 5.005.958
20 titulada "High Flux Solar Energy Transformation" de Winston et al. describen sistemas de energía solar a gran escala que utilizan conjuntos de espejos primarios y secundarios opuestos. Como desarrollo más reciente para proporcionar un aparato más compacto de captación, se han introducido concentradores planos, tales como el descrito en el artículo titulado "Planar Concentrators Near the Etendue Limit" de Roland Winston y Jeffrey M. Gordon en Optics Letters, vol. 30, n° 19, pp. 2617 – 2619. De forma similar, los concentradores planos emplean espejos curvados primarios y secundarios con una disposición Cassegrain, separados por un material óptico dieléctrico, para
25 proporcionar una concentración elevada de flujo de luz.

La Figura 1A muestra la disposición Cassegrain básica para la captación de luz. Un aparato fotovoltaico 10 con un eje óptico O tiene un espejo primario parabólico 12 y un espejo secundario 14 ubicado cerca del punto focal del espejo primario 12. Entonces, se coloca un receptor 16 en el punto focal de este sistema óptico, en el vértice del espejo primario 12. Un problema reconocido de esta arquitectura, un problema inherente del modelo Cassegrain, es
30 que el espejo secundario 14 presenta una obstrucción a la luz en el eje, de forma que una porción de la luz, nominalmente hasta aproximadamente un 10%, no llega al espejo primario 12, reduciendo la capacidad total de fotocaptación del aparato fotovoltaico 10. Este oscurecimiento puede ser especialmente grande si el concentrador es cilíndrico en vez de rotacionalmente simétrico. La colocación del receptor 16 en el vértice del espejo primario 12, en la trayectoria de la obstrucción presentada por el espejo secundario 14, ayuda un tanto a mitigar las pérdidas
35 causadas por la obstrucción. Sin embargo, con una configuración óptica cilíndrica, se recupera poco o nada de esta pérdida por obstrucción al realizar ajustes dimensionales, dado que el tamaño de la obstrucción aumenta de escala hacia arriba proporcionalmente con cualquier aumento de tamaño en el diámetro del espejo primario 12. Esto significa que aumentar el diámetro del espejo mayor no cambia de forma perceptible la pérdida inherente causada por la obstrucción causada por el espejo más pequeño.

40 Algunos tipos de sistemas de energía solar operan convirtiendo energía lumínica en calor. En diversos tipos de aparatos de captación de placa plana y de concentradores solares, la luz solar concentrada calienta un fluido que circula a través de la célula solar hasta temperaturas elevadas para la generación de energía. Un tipo alternativo de mecanismo de conversión solar, más adaptable para ser utilizado en paneles delgados y en dispositivos más compactos, utiliza materiales fotovoltaicos (FV) para convertir la luz solar directamente en energía eléctrica. Los
45 materiales fotovoltaicos pueden estar formados de diversos tipos de silicio y de otros materiales semiconductores y son fabricados utilizando técnicas de fabricación de semiconductores y son proporcionados por varios fabricantes, tales como Emcore Photovoltaics, Albuquerque, Nuevo México, EE. UU. por ejemplo. Aunque el silicio es menos caro, los materiales fotovoltaicos de mayor rendimiento son aleaciones fabricadas de elementos tales como aluminio, galio, e indio, junto con elementos tales como nitrógeno y arsénico.

50 Como es bien conocido, la luz solar es muy policromática, conteniendo un contenido espectral distribuido ampliamente, que varía desde longitudes de onda ultravioleta (UV), pasando por visible hasta la infrarroja (IR), teniendo cada longitud de onda un nivel de energía asociado, expresado normalmente en términos de electronvoltios (eV). No es extraño que, debido a características de banda prohibida que difieren entre materiales semiconductores, la respuesta de un material fotovoltaico particular cualquiera dependa de la longitud de onda incidente. Los fotones
55 que tienen un nivel de energía inferior a la banda prohibida de un material pasan. Por ejemplo, los fotones de luz roja (nominalmente aproximadamente 1,9 eV) no son absorbidos por semiconductores con banda prohibida elevada. Por

otra parte, los fotones que tienen un nivel de energía mayor que la banda prohibida para un material son absorbidos. Por ejemplo, se desaprovecha como calor el exceso de energía de los fotones de luz violeta (nominalmente aproximadamente 3 eV) en un semiconductor con banda prohibida reducida.

5 Una estrategia para obtener mayores eficacias de materiales fotovoltaicos es formar una célula fotovoltaica apilada, denominada a veces dispositivo fotovoltaico de uniones múltiples. Estos dispositivos se forman apilando múltiples células fotovoltaicas unas encima de otras. Con tal diseño, cada célula fotovoltaica sucesiva en la pila, con respecto a la fuente de luz incidente, tiene una energía de banda prohibida menor. En un dispositivo fotovoltaico apilado sencillo, por ejemplo, una célula fotovoltaica superior, que consiste en arseniuro de galio (GaAs), capta la mayor energía de la luz azul. Una segunda célula, de antimonio de galio (GaSb), convierte la luz infrarroja de menor energía en electricidad. En la patente U.S. n° 6.835.888 titulada "Stacked Photovoltaic Device" de Sano et al. se proporciona un ejemplo de un dispositivo fotovoltaico apilado.

15 Aunque las células fotovoltaicas apiladas pueden proporcionar cierta medida de mejora en la eficacia total, puede ser costoso fabricar estos dispositivos de múltiples capas. También puede haber restricciones sobre los tipos de materiales que pueden ser apilados conjuntamente unos encima de otros, lo que hace que sea difícil que tal enfoque resulte económico para una amplia gama de aplicaciones. Otro enfoque es separar la luz según la longitud de onda en dos o más porciones espectrales, y concentrar cada porción sobre un dispositivo receptor fotovoltaico apropiado, con dos o más receptores fotovoltaicos dispuestos lado a lado. Con este enfoque, la fabricación de dispositivos fotovoltaicos es más sencilla y menos costosa, y se pueden considerar una mayor variedad de semiconductores para ser utilizados. Este tipo de solución requiere una óptica auxiliar tanto para separar luz en componentes espectrales adecuados como para concentrar cada componente espectral sobre su superficie fotovoltaica correspondiente.

25 En una monografía titulada "New Cassegrainian PV Module using Dichroic Secondary and Multijunction Solar Cells" presentada en un Congreso Internacional sobre la Concentración Solar para la Generación de Electricidad o Hidrógeno, en mayo de 2005, de L. Fraas, J. Avery, H. Huang y E. Shifman, se describe una solución propuesta para separar y concentrar simultáneamente luz con suficiente intensidad. En el módulo descrito en este artículo y representado esquemáticamente en la Figura 1B, el espejo primario curvado 12 capta luz y dirige esta luz hacia un espejo secundario hiperbólico dicróico 14, cerca del plano focal del espejo primario. Se concentra la luz IR en un primer receptor fotovoltaico 16 cerca del punto focal del espejo primario. El espejo secundario redirige luz casi visible hacia un segundo receptor fotovoltaico 18 colocado cerca del vértice del espejo primario. De esta forma, cada receptor fotovoltaico 16 y 18 obtiene la energía lumínica para la que está optimizado, aumentando la eficacia total del sistema de células solares.

35 Aunque el enfoque mostrado en la monografía de Fraas proporciona de forma ventajosa la separación espectral y concentra luz utilizando el mismo conjunto de componentes ópticos, existen algunas limitaciones significativas a la solución que presenta. Un primer problema versa acerca de las pérdidas totales debidas a la obstrucción de la apertura, como se ha hecho notar anteriormente. Como problema adicional, el aparato descrito por Fraas et al. tiene un campo de visión limitado del cielo debido a que tiene una concentración elevada en cada eje debido a su simetría rotacional. Otra desventaja más tiene que ver con los grandes anchos de banda de luz visible proporcionada a un único receptor fotovoltaico. Con muchos tipos de materiales fotovoltaicos utilizados habitualmente para la luz visible, se seguiría desaprovechando una cantidad apreciable de la energía lumínica utilizando tal enfoque, teniendo como resultado, posiblemente, un calor excesivo.

45 Las superficies dicróicas, tales como las utilizadas para el espejo hiperbólico en la solución propuesta en la monografía de Fraas, proporcionan una separación espectral de luz utilizando efectos de interferencia obtenidos a partir de revestimientos formados de múltiples capas superpuestas que tienen distintos índices de refracción y otras características. En operación, los revestimientos dicróicos reflejan y transmiten luz como una función del ángulo de incidencia y de la longitud de onda. Según varía el ángulo de incidencia, la longitud de onda de luz que es transmitida o reflejada por una superficie dicróica también cambia. Cuando se utiliza un revestimiento dicróico con luz incidente con ángulos superiores a aproximadamente +/- 20 grados con respecto a la normal, pueden producirse efectos espectrales no deseables, de forma que la separación espectral de luz, debida a variaciones en los ángulos de incidencia, se ve comprometida con tales ángulos mayores.

50 Ha habido un número de soluciones de fotocaptadores que emplean superficies dicróicas para una división espectral. Por ejemplo, en un artículo titulado "Spectral Beam Splitting Technology for Increased Conversion Efficiency in Solar Concentrating Systems: A Review", disponible en Internet en www.sciencedirect.com, los autores A.G. Imenes y D.R. Mills proporcionan un estudio de sistemas de captación solar, incluyendo algunos que utilizan superficies dicróicas. Por ejemplo, la descripción de una torre reflectante (Figura 24 en el artículo de Imenes y Mills) muestra una solución propuesta que emplea un divisor dicróico curvado de haz como parte del sistema de captación óptica. Los ángulos elevados de incidencia de cierta porción de la luz sobre esta superficie podrían hacer que tal solución no llegase a ser satisfactoria con respecto a la eficacia lumínica. De forma similar, la patente U.S. n° 4.700.013 titulada "Hybrid Solar Energy Generating System" de Soule describe el uso de una superficie dicróica como un espejo térmico selectivo. Sin embargo, como se hace notar en el artículo de Imenes citado anteriormente, el enfoque mostrado en la patente U.S. n° 4.700.013 de Soule exhibe pérdidas ópticas sustanciales. Algunas de

estas pérdidas están relacionadas con los ángulos elevados de incidencia de luz dirigida hacia el espejo térmico selectivo utilizado.

Existen problemas inherentes con la forma y la colocación de la superficie dicróica para la luz enfocada desde un espejo parabólico. Una superficie dicróica plana colocada cerca de la región focal de un reflector parabólico exhibiría un rendimiento deficiente de separación para muchos diseños, limitando las dimensiones de un sistema de captación de luz. Una superficie dicróica curvada de forma apropiada, tal como una superficie hiperbólica, puede estar colocada en la región focal, o cerca de la misma, pero obstruye alguna porción de la luz disponible, como se ha hecho notar anteriormente.

La Figura 1C muestra una versión simplificada de una solución convencional que ha sido propuesta en numerosas realizaciones para una separación espectral en un aparato de captación de energía radiante utilizando un divisor plano dicróico 20 de haz. La luz incidente es concentrada por medio de una lente 22 y es dirigida hasta el divisor 20 de haz, orientada a 45 grados, que refleja una porción de la banda espectral hacia el primer receptor fotovoltaico 16 y transmite otra porción de la banda espectral al segundo receptor fotovoltaico 18. Se describe este tipo general de solución como un "sistema óptico lateral" en una monografía titulada "50% Efficient Solar Cell Architectures and Designs" de Barnett et al. presentada en el 4º Congreso Mundial IEEE de 2006 sobre la Conversión de Energía Fotovoltaica. Las Figuras 19, 23 y 24 en el artículo de Imenes et al. citado anteriormente muestran algunas de las configuraciones alternativas basadas en esta solución general.

El sistema de tipo óptico lateral exhibe buenos niveles de transmisión óptica pero tiene una eficacia relativamente reducida. Esto es debido, al menos parcialmente, a una cantidad significativa de contaminación espectral resultante de ángulos de incidencia relativamente elevados de luz sobre la superficie dicróica del divisor 20 de haz. Los revestimientos dicróicos reflejan y transmiten luz como una función del ángulo de incidencia y de la longitud de onda. Según varía el ángulo de incidencia, también cambia la longitud de onda de la luz transmitida o reflejada. Por lo tanto, el contenido espectral de la luz reflejada desde el divisor 20 de haz varía en la superficie de los receptores 16 y 18, reduciendo la eficacia de la conversión de energía.

Contra obstáculos tales como una respuesta deficiente de la superficie dicróica, los enfoques convencionales solo han proporcionado un número limitado de soluciones para conseguir, al mismo tiempo, tanto una buena separación espectral como una concentración eficaz del flujo de luz de cada componente espectral. Se puede optimizar el modelo Cassegrain de las Figuras 1A y 1B, pero siempre presenta una obstrucción cerca del punto focal del espejo primario y, por lo tanto, está inherentemente en desventaja. Las soluciones que emplean una separación dicróica tienen un rendimiento óptico cuando los ángulos de incidencia de luz sobre la superficie dicróica son bajos con respecto a la normal; sin embargo, como se ejemplifica en la Figura 1C, muchos diseños propuestos no parecen dar suficiente consideración a estas características de separación espectral, lo que tiene como resultado una separación deficiente o luz mal dirigida y una eficacia reducida.

Por lo tanto, se reconoce que existe una necesidad de una célula fotovoltaica que proporcione una separación espectral y una concentración de luz mejoradas, que pueda ser cambiada fácilmente de escala para ser utilizada en un diseño de panel delgado, que pueda ser fabricado fácilmente, y que ofrezca una mayor eficacia con respecto a soluciones fotovoltaicas convencionales.

El documento US 4.806.750 describe un formador de imágenes con un divisor de haz que utiliza un divisor de haz dicróico para enfocar una imagen proyectada sobre tres conjuntos paralelos de fotodiodos.

El documento NL 7402198 describe una disposición de prisma para una cámara de televisión en color que utiliza capas dicróicas que pueden ser paralelas o estar inclinadas entre sí para separar luz de distintos colores.

Sumario de la invención

Un objeto de la presente invención es hacer avanzar la técnica de la captación de luz y de la separación espectral. Con este objeto en mente, la presente invención proporciona un aparato para obtener energía del sol según la reivindicación 1.

Una característica de la presente invención es que proporciona tanto una separación espectral de luz en al menos dos bandas espectrales como una concentración de cada banda espectral separada sobre un receptor.

Una ventaja de la presente invención es que puede proporcionar una mayor eficacia para concentrar la energía radiante sobre fotorreceptores dirigiendo la luz hacia la superficie del separador espectral con ángulos pequeños de incidencia.

Estos y otros objetos, características y ventajas de la presente invención serán evidentes para los expertos en la técnica tras la lectura de la siguiente descripción detallada junto con los dibujos, que muestran y describen una realización ilustrativa de la invención.

Breve descripción de los dibujos

- La Figura 1A es un dibujo esquemático que muestra un aparato de captación de luz que utiliza el modelo Cassegrain.
- 5 La Figura 1B es un dibujo esquemático que muestra un aparato de captación de luz que utiliza el modelo Cassegrain, con una superficie dicróica curvada.
- La Figura 1C es un dibujo esquemático que muestra un aparato de captación de luz que utiliza un divisor de haz en una disposición convencional para una separación espectral.
- Las Figuras 2A y 2B son dibujos esquemáticos que muestran, para una realización, trayectorias de la luz para luz de mayor y menor energía, respectivamente.
- 10 La Figura 3 es una vista en perspectiva de una realización de la presente invención.
- La Figura 4 es una vista en perspectiva de una realización alterna con receptores de luz desplazados hacia un lado de la trayectoria óptica.
- La Figura 5 es una vista en perspectiva de una realización alterna con receptores de luz desplazados hacia el otro lado de la trayectoria óptica.
- 15 La Figura 6 es una vista esquemática que muestra la trayectoria de la luz de mayor energía en una realización con trayectorias ópticas plegadas.
- La Figura 7 es una vista esquemática que muestra la trayectoria de la luz de menor energía en una realización con trayectorias ópticas plegadas.
- La Figura 8 es una vista en perspectiva que muestra una realización que utiliza un concentrador reflectante de luz y que muestra la trayectoria para la luz de baja energía.
- 20 La Figura 9 es una vista en perspectiva que muestra una realización que utiliza un concentrador reflectante de luz y que muestra la trayectoria para la luz de alta energía.
- Las Figuras 10A, 10B y 10C son diagramas esquemáticos que muestran una manipulación de la luz que utiliza un diseño de parábola reflectante excéntrica para luz de alta energía, luz de menor energía y luz excéntrica, respectivamente.
- 25 La Figura 11 es una vista en perspectiva de las realizaciones mostradas en las Figuras 10A, 10B y 10C.
- La Figura 12 es un diagrama esquemático que muestra los componentes de otra realización de la presente invención, con fotocaptadores reflectantes esféricos excéntricos combinados.
- La Figura 13 es un diagrama esquemático que muestra una manipulación de la luz de baja energía utilizando parábolas reflectantes excéntricas combinadas.
- 30 La Figura 14 es un diagrama esquemático que muestra una manipulación de la luz de alta energía utilizando parábolas reflectantes excéntricas combinadas.
- La Figura 15 es un diagrama esquemático que muestra una manipulación combinada tanto de la luz de baja energía como de la luz de alta energía que utiliza parábolas reflectantes excéntricas combinadas.
- 35 La Figura 16 es una vista en perspectiva que muestra una realización cilíndrica del aparato fotovoltaico de la presente invención.
- La Figura 17 es una vista en planta que muestra un conjunto de aparatos fotovoltaicos en una realización.
- La Figura 18 es una vista en perspectiva que muestra un conjunto de dispositivos fotovoltaicos formados a partir de parábolas reflectantes excéntricas combinadas.
- 40 La Figura 19 es un diagrama esquemático en perspectiva, que muestra un aparato de energía solar con seguimiento para adaptarse a la posición variable de la fuente de radiación.

Descripción detallada de la invención

- La presente invención proporciona un concentrador de luz que proporciona tanto una separación espectral mejorada como un grado elevado de concentración de flujo de luz, que supera las prestaciones permitidas por enfoques anteriores. El concentrador de luz de la presente invención puede ser utilizado como un componente óptico de una célula fotovoltaica, implementada bien como una célula diferenciada o bien como parte de un conjunto de células fotovoltaicas. Aunque el aparato de la presente invención es muy adecuado para aplicaciones fotovoltaicas, su utilidad tiene un alcance más amplio, de forma que pueda ser utilizado en cualquier aplicación en la que sea beneficioso para obtener energía lumínica concentrada que ha sido separada espectralmente.
- 45
- 50 Según se utiliza el término "luz" en la presente divulgación hace referencia, en general, a energía radiante en el espectro electromagnético, con "luz policromática" que abarca longitudes de onda que incluyen luz infrarroja, luz visible y luz ultravioleta. En toda la presente memoria, se hace referencia a porciones del espectro electromagnético que tienen niveles de energía relativamente menor o mayor, según la longitud de onda. Como será evidente para los expertos en la técnica fotovoltaica, el umbral entre la luz de menor energía y la luz de mayor energía depende, en gran medida, de características de los receptores fotovoltaicos utilizados. Aunque la descripción subsiguiente puede proporcionar valores umbrales ejemplares utilizados en algunas realizaciones, el aparato y los procedimientos de la presente invención pueden ser aplicados de forma más generalizada cuando el valor umbral varía en un intervalo amplio.
- 55
- 60 La expresión "ángulo oblicuo" tiene su significado convencional, bien como mayor o menor que un ángulo recto (90 grados) y no paralelo con respecto a su referencia.

La expresión “eje óptico” tiene su significado convencional para cada una de las realizaciones descritas subsiguientemente. Con una óptica rotacionalmente simétrica, el eje óptico simplemente se corresponde con el eje de simetría de rotación. Sin embargo, con una óptica asimétrica, el eje óptico está definido de forma más general como la trayectoria tomada por un rayo que está centrado en la apertura del componente óptico de concentración de luz. Para una óptica cilíndrica, puede haber un eje de simetría con respecto a un plano; esto puede corresponderse o no con el eje óptico. Con un dispositivo óptico cilíndrico, el eje óptico se encuentra en el plano en el que existe potencia óptica, ortogonal con respecto a la dirección en la que se extiende el dispositivo cilíndrico. En aras de la claridad, se utiliza la expresión eje óptico en la siguiente descripción de forma relativa a un único componente óptico refractivo o reflectante, en vez de con respecto al sistema óptico más grande que comprende múltiples componentes. En la presente memoria se utiliza la expresión más general “trayectoria óptica” para describir la trayectoria tomada por un componente espectral particular de luz en el sistema óptico de la presente invención.

Las figuras a las que se hace referencia en la presente descripción ilustran los conceptos generales y estructuras y componentes clave del aparato de la presente invención. Estas figuras no están dibujadas a escala y pueden exagerar dimensiones y una colocación relativa de componentes en aras de la claridad. Además, los ángulos de refracción, si están representados, son únicamente ejemplares y variarán dependiendo de los materiales dieléctricos utilizados y del ángulo de luz incidente. Las bandas espectrales descritas en la presente memoria son proporcionadas a modo de ejemplo y no de limitación.

Como es bien conocido, la concentración de luz que se obtiene por medio de un sistema óptico específico depende de la geometría general. Por ejemplo, un reflector paraboloide rotacionalmente simétrico perfecto dirigiría idealmente la luz colimada hacia un “punto focal”. Un reflector parabólico cilíndrico, que tenga potencia óptica únicamente a lo largo de un eje, dirigiría idealmente luz colimada hacia una “línea focal”. Sin embargo, como resulta familiar para los expertos en la fabricación óptica, en la práctica solo se puede realizar una aproximación razonable a tales formas geométricas idealizadas y no se pueden conseguir ni un punto focal perfecto ni una línea focal perfecta, ni son necesarios, para una concentración eficaz de la luz. Por lo tanto, en vez de utilizar la terminología idealizada de “punto focal” o “línea focal”, la descripción y las reivindicaciones de la presente invención emplean la expresión más general “región focal”. En la descripción subsiguiente, se considera que la región focal de una estructura óptica es la zona espacial o el entorno de mayor concentración de luz de esa estructura.

Los cortes transversales de vista lateral de las Figuras 2A y 2B y la vista en perspectiva de la Figura 3 muestran un aparato fotovoltaico 30 para obtener energía radiante procedente del sol u otra fuente de luz policromática según la presente invención. Un concentrador 32 de luz dirige la luz policromática hacia un separador espectral 40 que redirige una porción espectral de esta luz incidente hasta un primer receptor 34, como se muestra para rayos R representativos en la Figura 2A y otra porción espectral de la luz hasta un segundo receptor 36, como se muestra en la Figura 2B. Los receptores primero y segundo 34 y 36 están dispuestos sustancialmente en la región focal apropiada para la luz de las bandas espectrales correspondientes. Es decir, el primer receptor de luz está dispuesto más cerca de la primera región focal para recibir la primera banda espectral y el segundo receptor de luz está dispuesto más cerca de la segunda región focal para recibir la segunda banda espectral.

El separador espectral 40 tiene forma de cuña, que tiene dos superficies reflectantes planas: una superficie dicroica 44 y una superficie reflectante 46. La superficie dicroica 44 está tratada con un revestimiento que refleja luz con longitudes de onda más cortas hacia el primer receptor 34 y transmite longitudes de onda más largas. La superficie reflectante 46, un reflector de banda ancha, vuelve a reflejar las longitudes de onda más largas a través de una superficie dicroica 44 y sobre el segundo receptor 36. La superficie reflectante 46 podría ser una superficie especular muy reflectante o también podría estar dotada de un revestimiento dicroico.

La superficie dicroica 44 y la superficie reflectante 46 no son paralelas, sino que son oblicuas entre sí, adquiriendo una forma de cuña. En las realizaciones de las Figuras 2A y 2B, las superficies 44 y 46 están formadas, en general, en lados opuestos de un material óptico sustancialmente transparente, tal como vidrio u otro material dieléctrico sólido; sin embargo, las superficies 44 y 46 podrían estar separadas por aire en una realización alterna. Un eje óptico O para el concentrador 32 de luz tiene un ángulo distinto de la normal a al menos una de la superficie dicroica 44 y de la superficie reflectante 46. Para el sistema óptico general del aparato fotovoltaico 30, el separador espectral 40 proporciona, de forma eficaz, trayectorias ópticas aparte para luz de longitud de onda más larga y más corta. Como se muestra en las Figuras 2A y 2B, se pueden dirigir las trayectorias de la luz de longitud de onda más larga y más corta hasta cualquiera de los dos lados del eje óptico O del concentrador 32 de luz, hacia receptores 36 y 34 que obstruyen una porción de la apertura del concentrador 32 de luz. De forma alterna, como se muestra en las realizaciones subsiguientes, cualquiera de las trayectorias de la luz de longitud de onda más larga y más corta, o ambas, pueden estar dirigidas hacia los receptores 36 y 34 que están dispuestos en el exterior de la apertura del concentrador 32 de luz.

La configuración óptica de las Figuras 2A y 2B tiene una ventaja con respecto a otros diseños de dispositivo fotovoltaico con respecto a ángulos de luz incidente. La luz policromática incidente que está dirigida hacia la superficie dicroica 44 se encuentra a ángulos que son relativamente pequeños con respecto a la normal, proporcionando un buen rendimiento dicroico y, como resultado, una eficacia mejorada.

La concentración más elevada para la conversión de luz se consigue cuando se enfoca sustancialmente la luz sobre los receptores 34 y 36. Existe cierta pequeña cantidad de aberración cromática cuando el concentrador 32 de luz es un componente refractivo tal como una lente. Como efecto de la aberración cromática por medio del concentrador refractivo 32, las longitudes de onda más largas tienen una mayor longitud de trayectoria óptica que las longitudes de onda más cortas, llegando, de esta manera, a concentrarse a una distancia que está incrementalmente más lejos que la distancia focal para longitudes de onda más cortas. En una realización, esta ligera diferencia de longitud de la trayectoria óptica simplemente significa que los receptores 34 y 36 no se encuentran en el mismo plano, sino que están desplazados un poco entre sí. Sin embargo, en otra realización, es deseable montar ambos receptores 34 y 36 sustancialmente en el mismo plano, tal como cuando se montan estos dispositivos en una placa plana o en una plancha de plástico o de vidrio, por ejemplo. En tal caso, esta diferencia de la longitud de la trayectoria óptica puede compensarse mediante una selección apropiada del material dieléctrico que es utilizado entre la superficie dicróica 44 y la superficie reflectante 46 en el separador espectral 40. Como es bien conocido en las técnicas ópticas, la cantidad de compensación de la trayectoria óptica que puede proporcionar tal material dieléctrico es proporcional a su grosor e inversamente proporcional a su índice de refracción. (También es instructivo hacer notar que la luz que se refleja desde la superficie reflectante 46 es transmitida a través de este material dieléctrico en direcciones tanto incidente como saliente, duplicando, de esta manera, el efecto de compensación de la trayectoria óptica de un grosor dado del material dieléctrico).

Como con las soluciones Cassegrain, como se ha hecho notar anteriormente, la realización de la Figura 3 exhibe el problema de obstrucción de una porción de la apertura del concentrador 32 de luz, dado que los receptores 34 y 36 se encuentran en la trayectoria de la luz incidente. Sin embargo, esta obstrucción es proporcionalmente menor de lo que lo sería para una solución Cassegrain debido a que la obstrucción se encuentra en la región focal. La realización de las Figuras 4 y 5 corrige este problema de obstrucción desplazando la orientación angular del separador espectral 40 con respecto al eje óptico O del concentrador 32 de luz. Como se muestra en la vista en perspectiva de la Figura 4, el separador espectral 40, que tiene superficies 44 y 46 en forma de cuña como se ha descrito con respecto a la realización precedente, recibe luz que es refractada por medio del concentrador 32 de luz. El separador espectral 40 está colocado en el eje óptico O, denominado convencionalmente eje z, pero tiene al menos una superficie 44, 46 que no es normal con respecto al eje z y está inclinado o es oblicuo con respecto a al menos uno de los ejes x e y ortogonales. En la nomenclatura utilizada en la Figura 4, la rotación en torno al eje y está marcada α ; la rotación en torno al eje x está marcada β . Como resultado de esta inclinación, las regiones focales para los receptores respectivos 34 y 36 se desplazan alejándose del eje óptico O del concentrador 32 de luz y alejándose de la apertura, hacia un lado del concentrador 32 de luz.

También se hace avanzar la disposición de las Figuras 4 y 5 para ángulos de incidencia reducidos sobre la o las superficies dicróicas 44 y 46 del separador espectral 40. Debido a que esta realización desplaza los receptores 34 y 36 fuera de la trayectoria de la luz incidente y, por lo tanto, fuera de la apertura del concentrador 32 de luz, se pueden obtener ganancias de eficacia con este enfoque.

Puede haber ventajas en configuraciones que pliegan la trayectoria óptica de la luz separada para obtener una distancia focal más larga. Con referencia a las Figuras 6 y 7, se muestra una realización del aparato fotovoltaico 30 con un espejo plegable 48 u otra superficie reflectante adecuada en la trayectoria óptica. Se muestra que el separador espectral 40 tiene un mayor grosor. Aquí, se puede formar una superficie reflectante 46 utilizando plata u oro sobre sílice fundida. Como se muestra en las trayectorias de la luz de la Figura 6, se refleja luz de mayor energía desde la superficie dicróica 44 y es dirigida hacia el receptor 34 por medio del espejo 48. Como se muestra en la Figura 7, la luz de menor energía pasa a través de la superficie dicróica 44, es refractada en el separador espectral 40, y es reflejada desde la superficie reflectante 46. Esta luz de menor energía pasa de nuevo a través de la superficie dicróica 44 y está dirigida hacia el receptor 36 por medio del espejo 48.

Como se hizo notar con respecto a las Figuras 2A y 2B, los concentradores de luz refractivos exhiben, en general, cierta cantidad de aberración cromática. Las Figuras 8 y 9 muestran una realización esférica excéntrica utilizando un concentrador reflectante 32 de luz que elimina este problema. La luz policromática entrante, como se muestra mediante rayos R representativos, es reflejada desde la superficie del concentrador reflectante 32 de luz, un espejo parabólico en una realización, con luz entrante excéntrica, como se muestra en las Figuras 8 y 9. La luz es dirigida hacia el separador espectral 40 que divide la luz en dos bandas espectrales y dirige cada banda espectral hasta su receptor correspondiente 34 o 36.

Las realizaciones de las Figuras 2A a 9 han sido mostradas en aire. Sin embargo, se pueden aplicar los mismos conceptos, utilizando un concentrador óptico y superficies con forma de cuña para una separación espectral, en realizaciones que dirijan la luz hacia componentes reflectantes a través de un medio dieléctrico sólido. Las realizaciones de las Figuras 10A, 10B, 10C, 11, 12, 13, 14 y 15 muestran realizaciones del aparato fotovoltaico 30 formado utilizando un medio dieléctrico sólido, tal como vidrio o un plástico óptico. Estas realizaciones pueden ser cilíndricas, extendiéndose a lo largo de un eje ortogonal con respecto a la dirección de su mayor potencia óptica (normal con respecto a la página tal como está dibujada). Entonces, las regiones focales primera y segunda para luz de energía menor y mayor son lineales. De forma alterna, el aparato fotovoltaico 30 podría ser toroidal, con potencia óptica a lo largo de dos ejes ortogonales.

Las Figuras 10A y 10B muestran otra realización utilizando un diseño óptico esférico excéntrico para proporcionar un aparato fotovoltaico 30 que tiene un amplio campo de visión (FOV). Aunque tiene un aspecto distinto, el diseño esférico de las Figuras 10A y 10B opera de una forma similar a la realización de las Figuras 8 y 9, con una separación espectral y una redirección variables dependiendo del ángulo y del contenido espectral de la luz policromática incidente. Esta realización es particularmente adaptable a una disposición cilíndrica, con componentes ópticos de un aparato fotovoltaico 30 formado de un medio dieléctrico sólido, y formado sobre el mismo, tal como vidrio o plástico óptico. La Figura 10A muestra la trayectoria óptica para luz de mayor energía de una banda espectral; la Figura 10B muestra la trayectoria óptica para luz de menor energía de longitudes de onda más largas. La luz incidente en una cara 58 de entrada es dirigida hacia el concentrador 32 de luz, una superficie esférica reflectante excéntrica en esta realización. El eje de simetría de rotación A_s (en el plano en corte transversal de la página) se encuentra por debajo de la parábola en la orientación mostrada en las Figuras 10A y 10B. El concentrador 32 de luz concentra la luz policromática incidente, dirigiéndola hacia el separador espectral 40. El separador espectral 40 separa la luz de alta energía de la luz de baja energía. Por ejemplo, en una realización, el separador espectral 40 separa las bandas espectrales con longitudes de onda cercanas al infrarrojo, nominalmente por encima y por debajo de aproximadamente 750 nm. La superficie dicróica 44 refleja la luz de alta energía hacia el receptor 34 y transmite luz de menor energía, como se muestra de forma óptima en la Figura 10A. La superficie reflectante 46 vuelve a reflejar la luz transmitida de menor energía a través de la superficie dicróica 44 y hacia el receptor 36, como se muestra de forma óptima en la Figura 10B.

Una ventaja de las realizaciones que son sólidas (es decir, formadas utilizando un material dieléctrico) en vez de en el aire tiene que ver con el campo de visión (FOV). La Figura 10C muestra de forma esquemática cómo está disponible un FOV expandido debido a una reflexión total interna (TIR). En la Figura 10C, el aparato fotovoltaico 30 en esta realización esférica recibe luz excéntrica. El concentrador 32 de luz dirige la luz policromática incidente hacia el separador espectral 40. De forma ventajosa, la cara 58 de entrada actúa como una superficie reflectante para la luz en el interior del aparato fotovoltaico 30, plegando de forma eficaz la trayectoria óptica redirigiendo luz que tiene un ángulo suficiente para la reflexión total interna (TIR) en el medio óptico dieléctrico. La vista en perspectiva de la Figura 11 muestra este efecto de TIR según se mira desde el lado de la cara 58 de entrada.

Con las realizaciones mostradas en las Figuras 10A a 11, el eje de simetría A_s en el plano en corte transversal de la página no intersecta la superficie del concentrador 32 de luz. El eje de simetría A_s no constituye el eje óptico de interés con esta disposición; en vez de ello, el eje óptico O simplemente está definido con respecto a la apertura de entrada del concentrador 32 de luz, como se hizo notar anteriormente.

Una dificultad de la disposición de las Figuras 10A a 11 está relacionada con cierta pequeña porción de luz atrapada que puede ser desaprovechada. Debido a que la reflexión dicróica es imperfecta, puede haber cierta fuga lumínica de luz de menor longitud de onda que es transmitida involuntariamente a través de la superficie dicróica 44. Parte de esta luz puede ser atrapada de forma eficaz entre la superficie dicróica 44 y la superficie reflectante 46.

La realización mostrada en las Figuras 12, 13, 14 y 15 despliega la disposición de las Figuras 10A a 11 y, al hacerlo, aborda el problema de luz atrapada para reducir este efecto. Con referencia en primer lugar a la Figura 12, se muestra la estructura básica de un aparato fotovoltaico 30 formada combinando dos estructuras similares utilizadas en la realización de las Figuras 10A a 11. Para esta realización, el aparato fotovoltaico 30 tiene dos superficies reflectantes concentradoras 62a y 62b de luz, con una superficie dicróica 60 intercalada entre ellas, con un ángulo oblicuo. Cada superficie reflectante concentradora 62a y 62b de luz tiene su propio eje de simetría de rotación A_{sa} o A_{sb} y su propio eje óptico O_a u O_b , respectivamente. Los ejes respectivos de simetría de rotación A_{sa} y A_{sb} no intersectan sus superficies físicas correspondientes en esta realización y no son colineales. En el plano transversal de la Figura 12, el eje óptico O_a y O_b de cada superficie concentradora 62a o 62b de luz está definido por la trayectoria del rayo que incide en el centro de la superficie concentradora y es paralelo, en general, con el eje de simetría de rotación. La superficie dicróica 60 se encuentra entre las dos superficies concentradoras y está colocada de forma que la superficie sea no paralela con respecto a al menos un eje de simetría de rotación.

La Figura 13 muestra la trayectoria de la luz de baja energía en el aparato fotovoltaico 30 de esta realización esférica. Debido a que transmite luz fuera de la banda espectral de alta energía, la superficie dicróica 60 es "transparente" de forma eficaz a la trayectoria de luz de baja energía. De forma notable, los rayos de luz incidentes sobre la superficie concentradora 62a de luz se transmiten a través de la superficie dicróica 60 y son dirigidos, a lo largo de una trayectoria óptica que se pliega debido a una TIR en la cara 58 de entrada, hasta receptores 36 de luz en el lado opuesto del aparato. Se debe hacer notar que la cara 58 de entrada puede necesitar o no que tenga un ángulo oblicuo con respecto a los ejes ópticos O_a y O_b como se muestra para permitir que tenga lugar la reflexión total interna.

La Figura 14 muestra la trayectoria de la luz de alta energía en el aparato fotovoltaico 30. Para esta luz, la superficie dicróica 60 sirve de reflector, plegando la trayectoria de la luz en consecuencia. De forma similar, la TIR en la cara 58 de entrada proporciona otro plegado reflector en la trayectoria de la luz, dirigiendo la luz hacia el receptor 34 en el mismo lado del aparato que la luz policromática de entrada correspondiente. La Figura 15 muestra trayectorias combinadas de la luz tanto para luz de baja energía como de alta energía con esta realización.

La realización mostrada en las Figuras 12 – 15 reduce el problema de luz atrapada, como se ha hecho notar con respecto a las realizaciones en las Figuras 10A y 10B. Con referencia de nuevo a la Figura 15, parte de la luz de mayor energía que se fuga a través de la superficie dicróica 60 y no es reflejada es dirigida hacia los receptores 34, 36 de luz en el lado opuesto del aparato fotovoltaico 30. La realización del receptor fotovoltaico 30 que se muestra en las Figuras 12-15 puede ser un diseño cilíndrico, formado en un material dieléctrico adecuado, como se ha hecho notar para otras realizaciones.

Con referencia aún a las Figuras 12-15, las superficies concentradoras 62a y 62b de luz pueden estar revestidas con un revestimiento reflectante, formado normalmente aplicando un revestimiento metálico reflectante o un revestimiento dicróico. En una realización alterna, las superficies concentradoras 62a y 62b de luz puede reflejar y redirigir la luz policromática incidente utilizando una reflexión total interna (TIR). Esto requeriría formar un aparato fotovoltaico 30 de un material dieléctrico que tiene un índice elevado n de refracción y disponer las superficies concentradoras 62a y 62b de luz para que tenga una forma adecuada y una inclinación angular para una TIR. En otra realización alterna, el aparato fotovoltaico 30 puede proporcionar superficies adyacentes concentradoras 62a y 62b de luz sin una separación espectral de la superficie dicróica 60. Aquí, el receptor de luz para la superficie concentradora 62a de luz está colocado más cerca de la superficie concentradora 62b de luz y el receptor de luz para la superficie concentradora 62b de luz está colocado más cerca de la superficie concentradora 62a de luz. En esta disposición, los receptores de luz en los bordes superior e inferior del aparato fotovoltaico 30 podrían ser células fotovoltaicas de uniones múltiples u otros tipos de células fotovoltaicas. Esta realización alterna también proporcionaría el campo de visión mejorado que se permite utilizando la TIR desde la cara 58 de entrada.

Se pueden utilizar el procedimiento y el aparato de la presente invención para proporcionar dispositivos fotovoltaicos en forma cilíndrica y en forma de conjunto. Las realizaciones del dispositivo fotovoltaico de la presente invención pueden fabricarse como dispositivos diferenciados o pueden fabricarse para ser utilizadas en un conjunto. La vista en perspectiva de la Figura 16 muestra un aparato fotovoltaico cilíndrico 70, basado en el modelo mostrado en las Figuras 2A y 2B. Aquí, el aparato fotovoltaico 70 se extiende en la dirección x , utilizando la correlación coordinada mostrada. Se puede formar un conjunto mediante un apilamiento adecuado de dos o más de tales aparatos fotovoltaicos extendidos 70. La Figura 17 muestra una disposición de conjunto alterno 72 utilizando una matriz de aparatos fotovoltaicos 30 dispuestos en filas y columnas. La Figura 18 muestra un conjunto 72 que consiste en dispositivos fotovoltaicos formados a partir de parábolas reflectantes excéntricas combinadas, tales como las mostradas en las Figuras 12-15, por ejemplo. Como pueden apreciar los expertos en las técnicas de diseño óptico, se debe tener en cuenta el índice n de refracción de cualquier material dieléctrico utilizado para optimizar la respuesta y la eficacia de estos dispositivos agrupados.

Orientación con respecto a la fuente de radiación

Los sistemas y procedimientos de seguimiento solar son bien conocidos y pueden ser adaptados fácilmente para un concentrador 30 de luz, bien en forma diferenciada o bien en forma conjunto. La Figura 19 muestra un sistema 80 de energía solar según la presente invención. Uno o más aparatos de concentración de energía radiante, tal como el conjunto 72, están dispuestos y diseñados para seguir el sol. Se controla un accionador 84 del seguimiento por medio de un procesador 82 de lógica de control para orientar de forma apropiada el aparato fotovoltaico 70 a medida que cambia la posición E-O del sol con respecto a la tierra 76 durante el día al igual que para realizar ajustes menores necesarios para una orientación N-S apropiada. El procesador 82 de lógica de control puede ser un ordenador o un aparato de control basado en microprocesadores dedicados, por ejemplo. El procesador 82 de lógica de control puede detectar la posición midiendo la cantidad relativa de corriente eléctrica obtenida en una posición, u obteniendo alguna otra señal adecuada. En respuesta a esta señal que es indicativa de la posición, el procesador 82 de lógica de control proporciona entonces una señal de control para dar instrucciones al accionador 84 del seguimiento para realizar en consecuencia ajustes de posición.

El aparato de la presente invención permite el uso de receptores fotovoltaicos que tienen un lateral, en vez de requerir una disposición de uniones múltiples o apilada. En la disposición lateral, las bandas espectrales separadas son dirigidas sobre células fotovoltaicas adecuadas, cada una optimizada para obtener energía lumínica de las longitudes de onda en esa banda espectral. Se puede utilizar el aparato de la presente invención para proporcionar un elemento modular diferenciado de concentración de luz o un conjunto de concentradores de luz. El aparato es escalable y puede adaptarse para aplicaciones de panel delgado o para un aparato de energía radiante de mayor escala. Uno o más receptores 34 y 36 de luz pueden ser dispositivos fotovoltaicos (FV), fabricados de cualquier material fotovoltaico adecuado para las bandas espectrales proporcionadas, incluyendo silicio, arseniuro de galio (GaAs), antimoniuro de galio (GaSb) y otros materiales. Uno o más de los receptores 34 o 36 de luz podrían ser un receptor fotovoltaico de uniones múltiples. De forma alterna, uno o más de los receptores 34 y 36 de luz podrían ser termovoltáicos o termofotovoltaicos (TPV), utilizando algún material que convierta calor en electricidad, incluyendo material termoeléctrico tal como diodos térmicos de mercurio cadmio telururo.

Se ha descrito el aparato de la presente invención principalmente como un aparato fotovoltaico en la anterior descripción. Sin embargo, en su aplicación más amplia, el aparato de la presente invención sirve de aparato de captación de energía radiante que proporciona una separación espectral de esta energía en bandas espectrales y redirige cada banda espectral hacia un receptor de luz.

5 Se puede observar que las dos o más bandas espectrales proporcionadas a los receptores 34 y 36 de luz no están muy diferenciadas espectralmente, sino que tendrán cierto solapamiento, conteniendo cada banda espectral algunas de las mismas longitudes de onda. Cierta cantidad de contaminación espectral sería inevitable, dado que la respuesta dicróica es imperfecta y la luz puede incidir con ángulos no normales, degradando el rendimiento del revestimiento dicróico. Se podrían optimizar los revestimientos dicróicos para reducir la contaminación espectral hasta niveles más bajos cuando se desee. Como se hizo notar anteriormente, se podría proporcionar, de forma alterna, un revestimiento dicróico para una superficie reflectante 46 del separador espectral 40, en vez de un revestimiento reflectante de algún otro tipo, proporcionando, de esta manera, una mayor eficacia con respecto a muchos tipos de revestimientos especulares convencionales. Para cualquiera de las realizaciones mostradas
10 anteriormente en la presente memoria, se pueden definir y optimizar bandas espectrales según mejor convenga a los requerimientos de una aplicación.

Por lo tanto, se proporciona un aparato que capta luz del sol, separa luz en dos o más bandas espectrales y proporciona cada banda espectral a un receptor de luz.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato que comprende:
- 5 a) un concentrador (40) de luz para concentrar y redirigir energía radiante incidente, teniendo el concentrador de luz un eje óptico;
- b) un separador espectral (32) separado del concentrador de luz y dispuesto a lo largo del eje óptico y en la trayectoria de la energía radiante redirigida concentrada, comprendiendo el separador espectral:
- 10 (i) una primera superficie plana (44) tratada para reflejar una primera banda espectral de luz recibida del concentrador de luz hacia una primera región focal y para transmitir una segunda banda espectral;
- (ii) una segunda superficie plana (46) separada de la primera superficie plana, estando tratada la segunda superficie plana para volver a reflejar la segunda banda espectral a través de la primera superficie plana y hacia una segunda región focal que está separada de la primera región focal;
- y
- 15 c) receptores primero y segundo (34, 36) de luz,
- en el que el primer receptor (34) de luz está dispuesto más cerca de la primera región focal para recibir la primera banda espectral y el segundo receptor (36) de luz está dispuesto más cerca de la segunda región focal para recibir la segunda banda espectral, y
- 20 **caracterizado porque** el aparato es para obtener energía del sol, la segunda superficie plana (46) es oblicua con respecto a la primera superficie plana; y
- los receptores primero y segundo (34, 36) de luz son dispositivos fotovoltaicos, termovoltáicos o termofotovoltaicos para obtener del sol energía lumínica de las longitudes de onda en las bandas espectrales respectivas.
- 25 2. El aparato según la reivindicación 1, en el que la primera superficie plana (44) refleja longitudes de onda visibles.
3. El aparato según la reivindicación 1, en el que la primera superficie plana (44) refleja longitudes de onda infrarrojas.
4. El aparato según la reivindicación 1, en el que las superficies planas primera y/o segunda (44, 46) tiene un revestimiento dicróico.
- 30 5. El aparato según la reivindicación 1, en el que al menos uno de los receptores primero y segundo (34, 36) de luz es un receptor fotovoltaico.
6. El aparato según la reivindicación 1, en el que al menos uno de los receptores primero y segundo (34, 36) de luz es un receptor termovoltáico.
- 35 7. El aparato según la reivindicación 1, en el que el eje óptico de dicho concentrador (32) de luz se encuentra entre las regiones focales primera y segunda.
8. El aparato según la reivindicación 1, en el que el separador espectral (40) comprende, además, un material dieléctrico sólido entre las superficies planas primera y segunda (44, 46) y en el que los receptores primero y segundo de luz se encuentran sustancialmente en el mismo plano.
- 40 9. El aparato según la reivindicación 1, en el que al menos una de las superficies planas primera y segunda (44, 46) es oblicua con respecto al eje óptico del concentrador de luz.

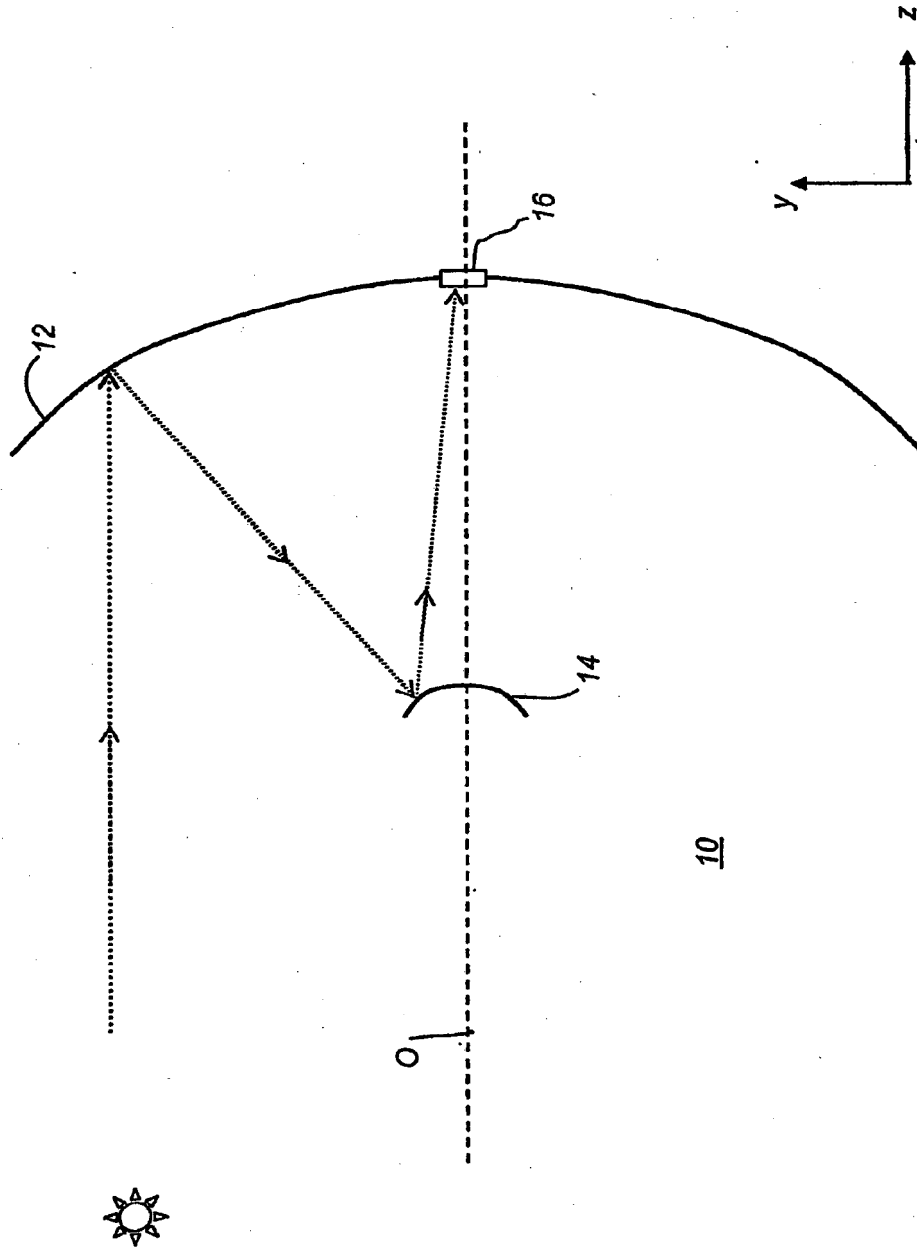


FIGURA 1A

(Técnica anterior)

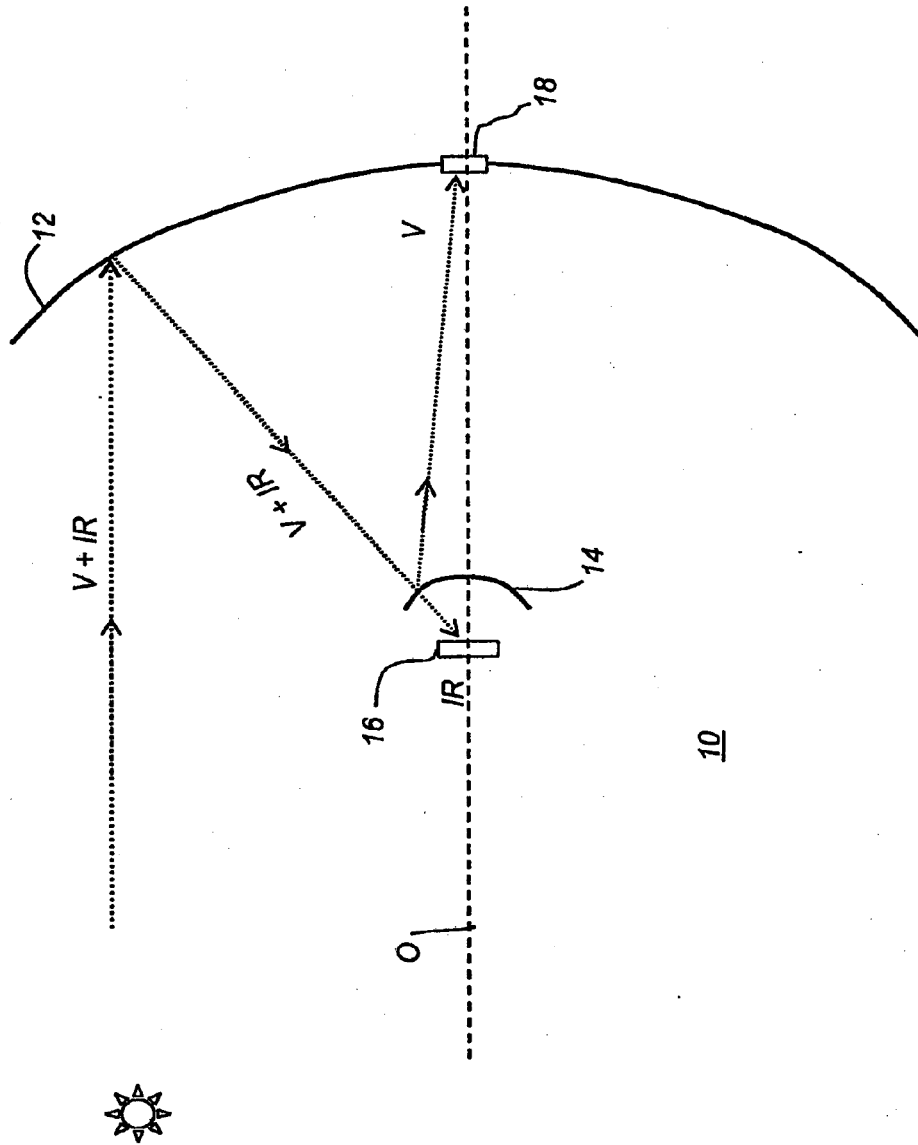


FIGURA 1B

(Técnica anterior)

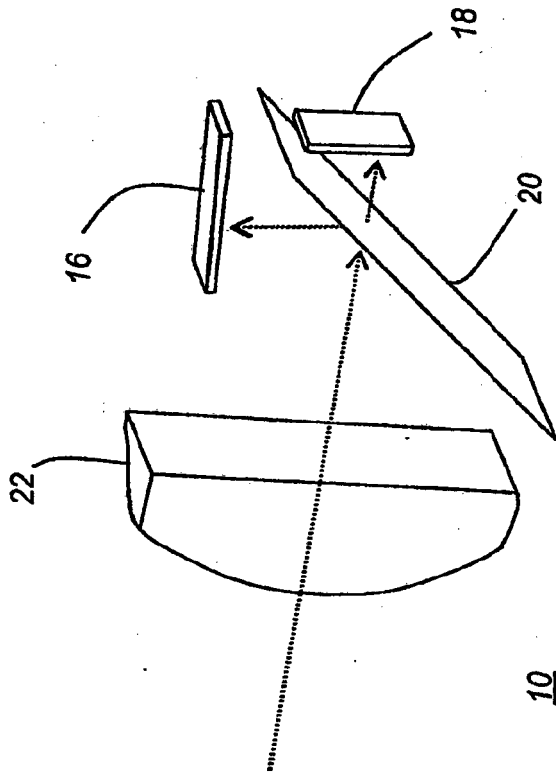


FIGURA 1C

(Técnica anterior)

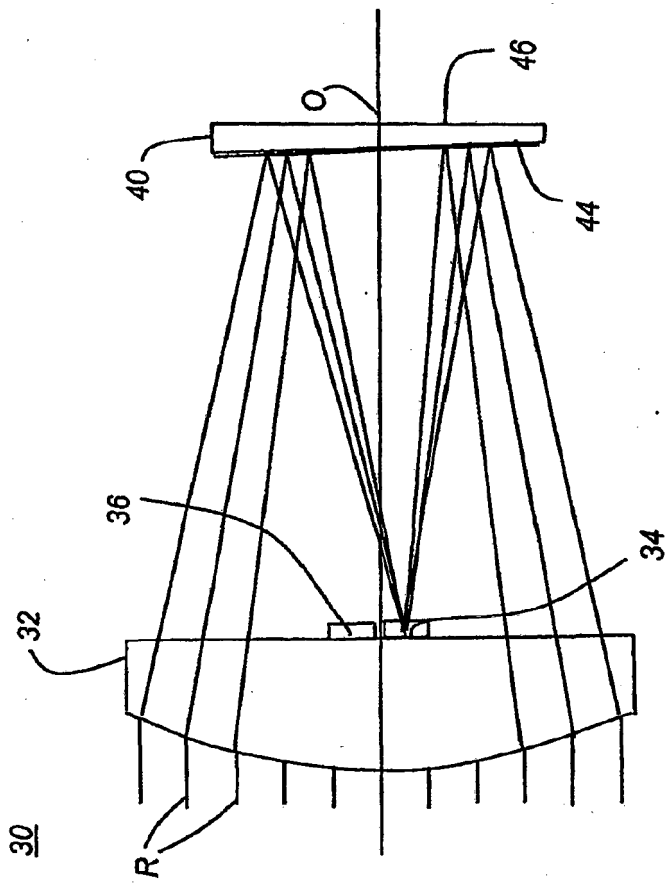


FIGURA 2A

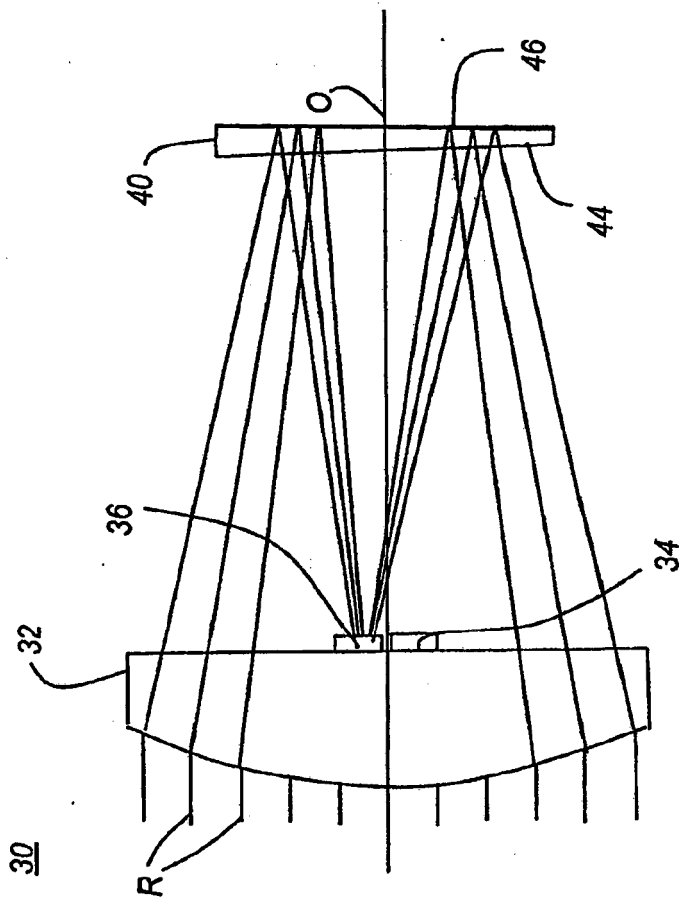


FIGURA 2B

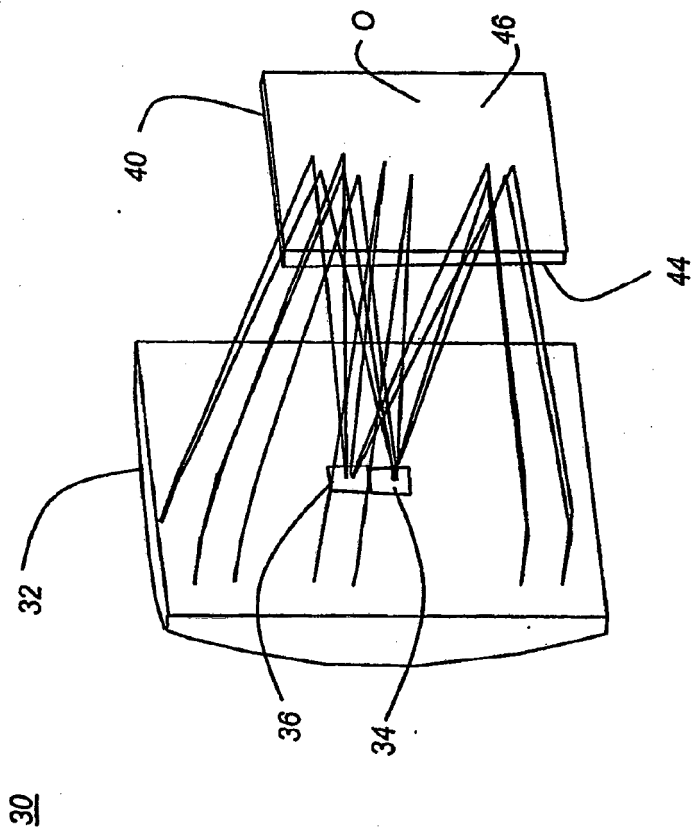


FIGURA 3

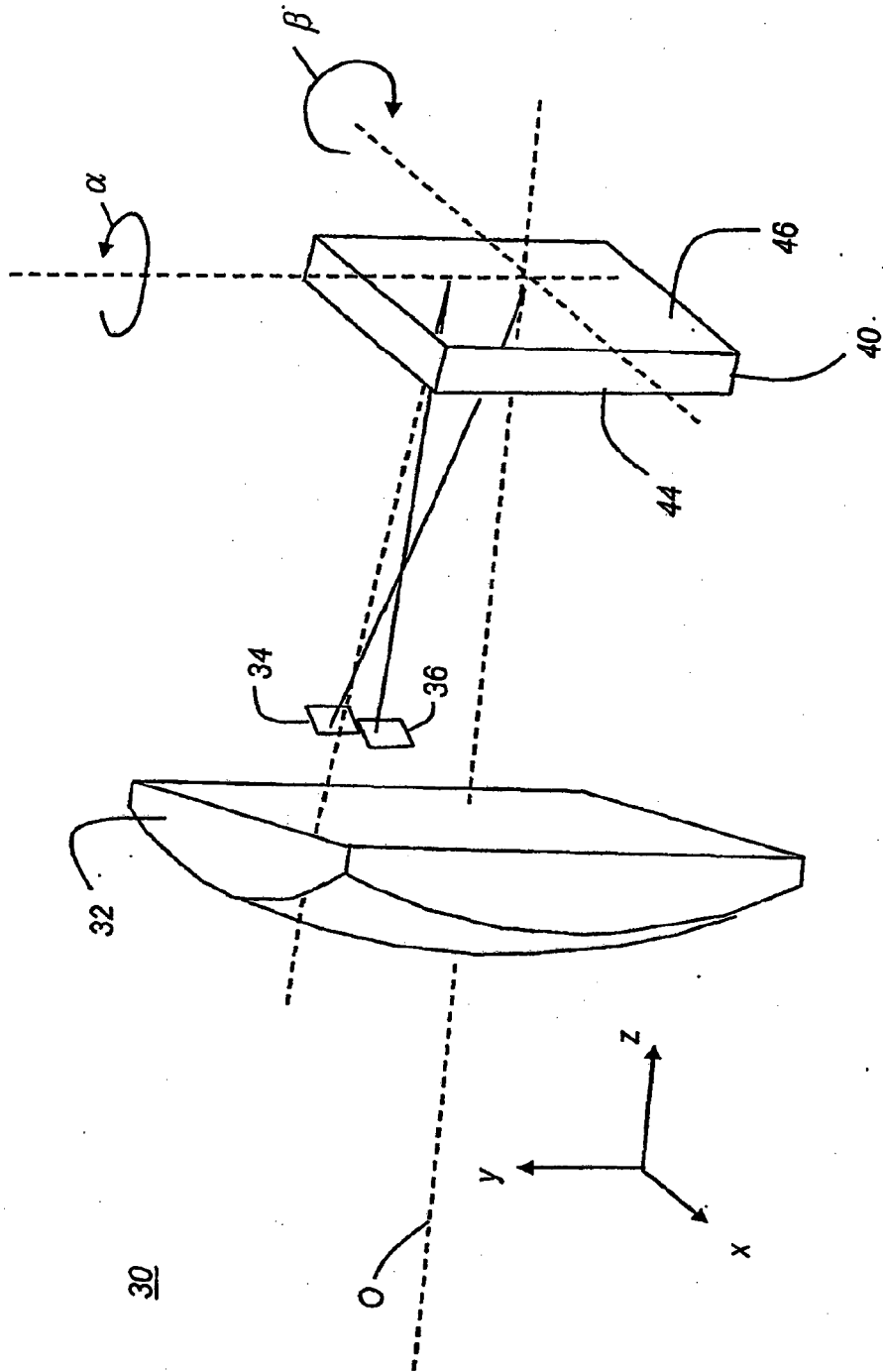


FIGURA 4

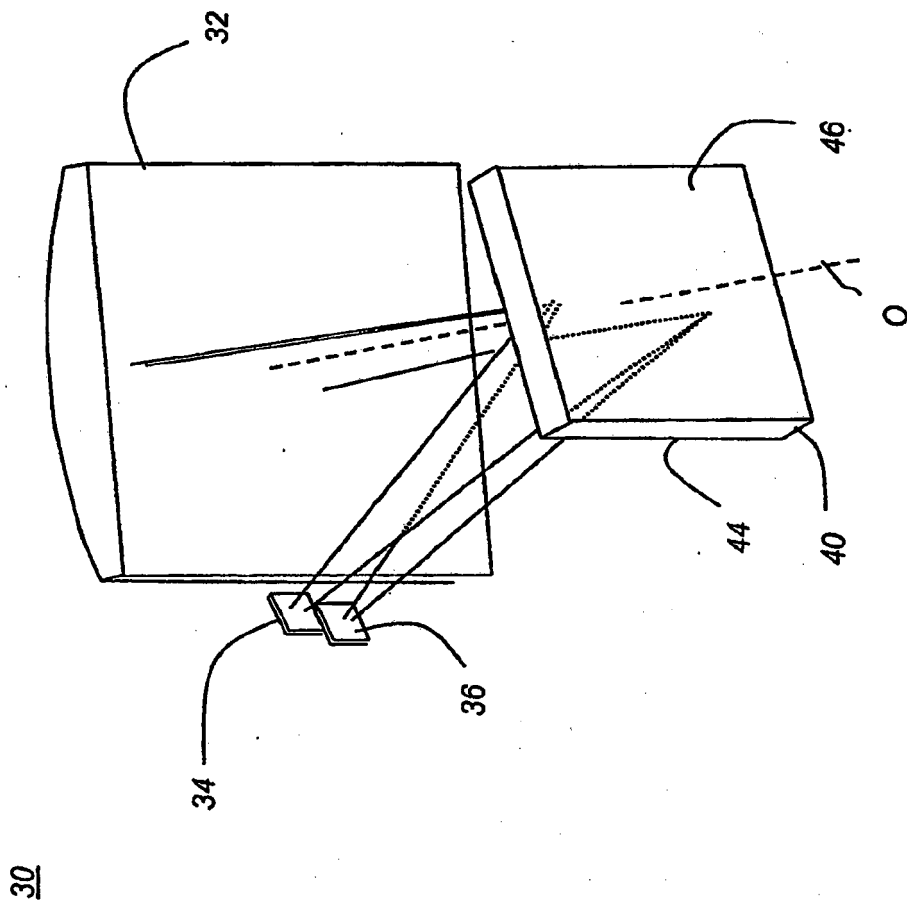


FIGURA 5

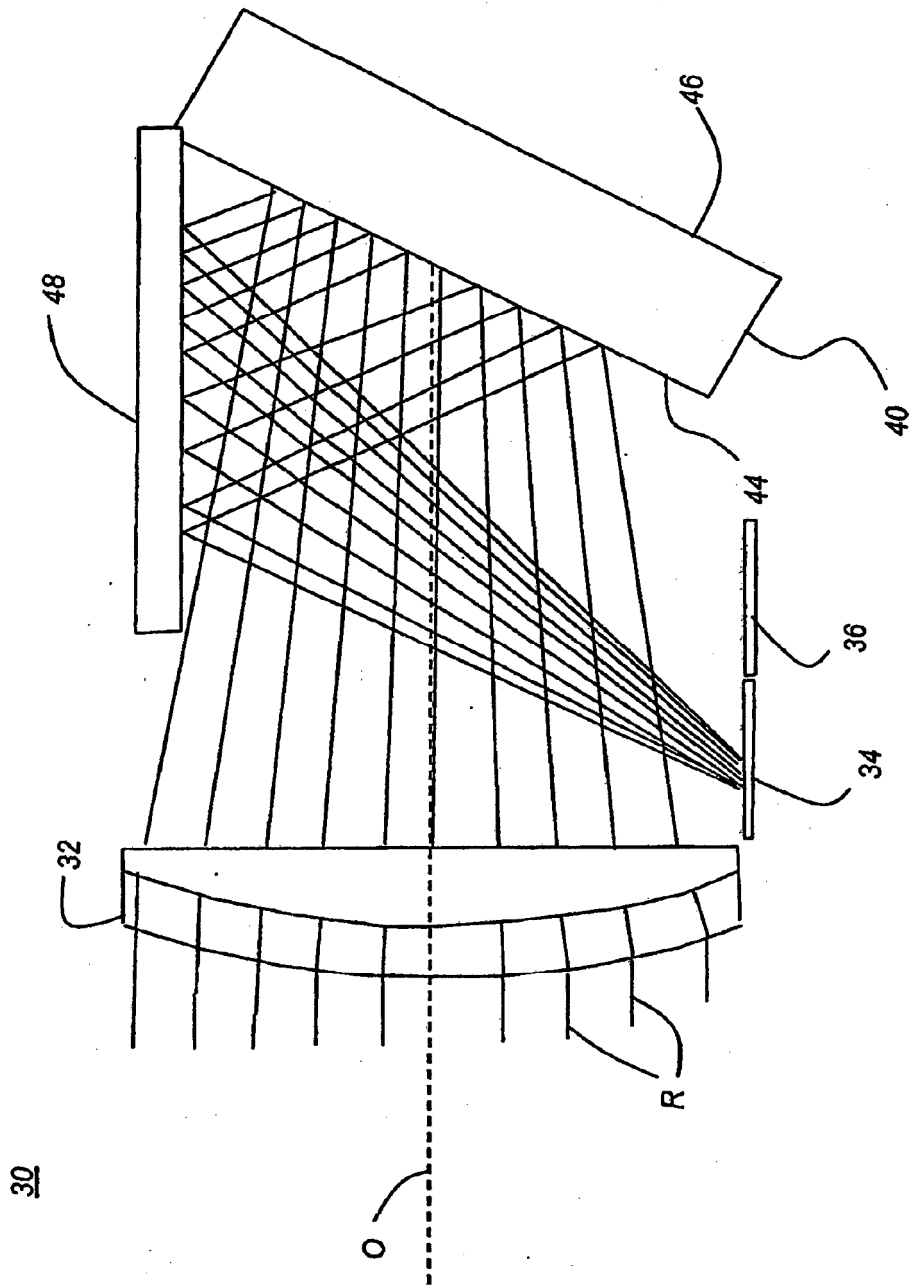


FIGURA 6

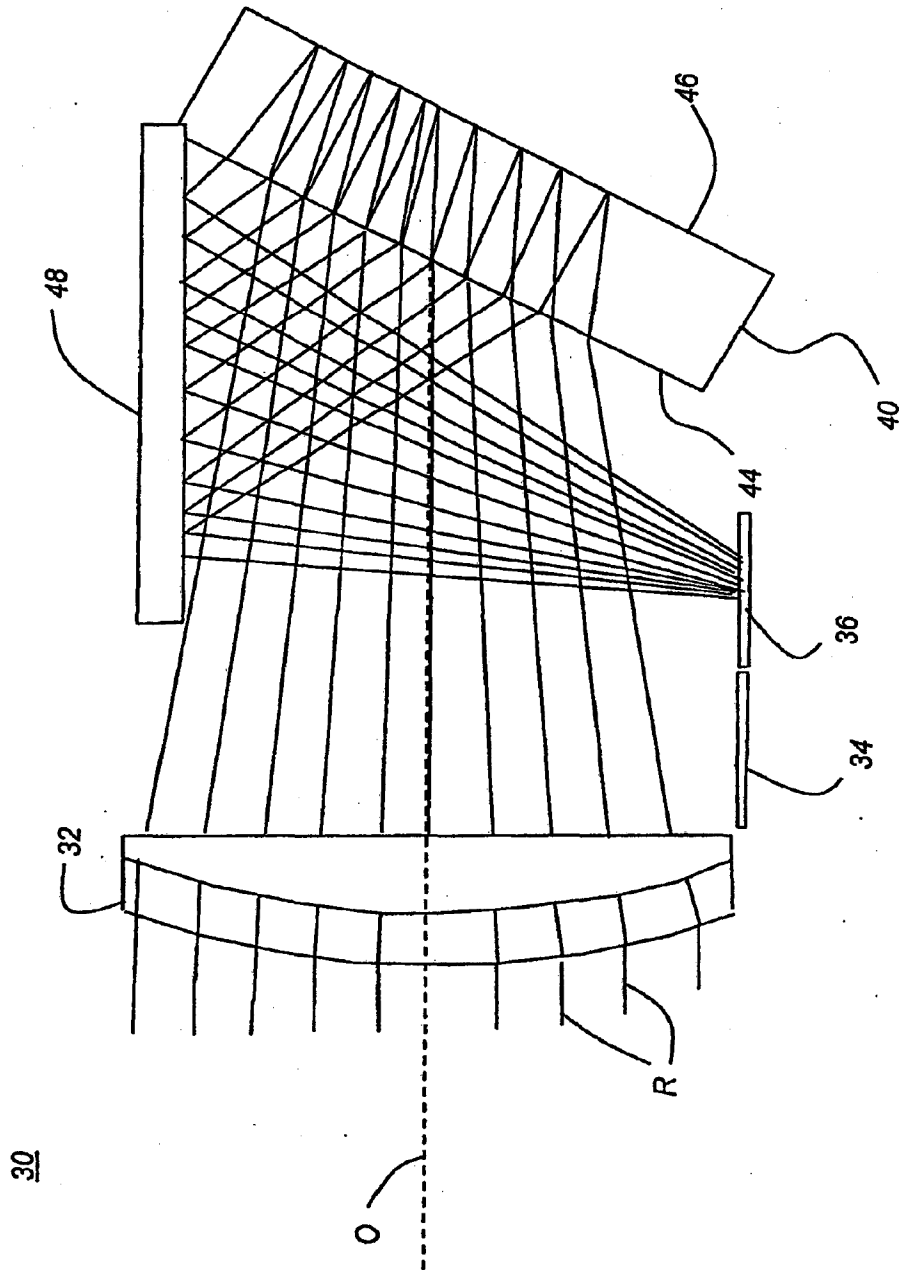


FIGURA 7

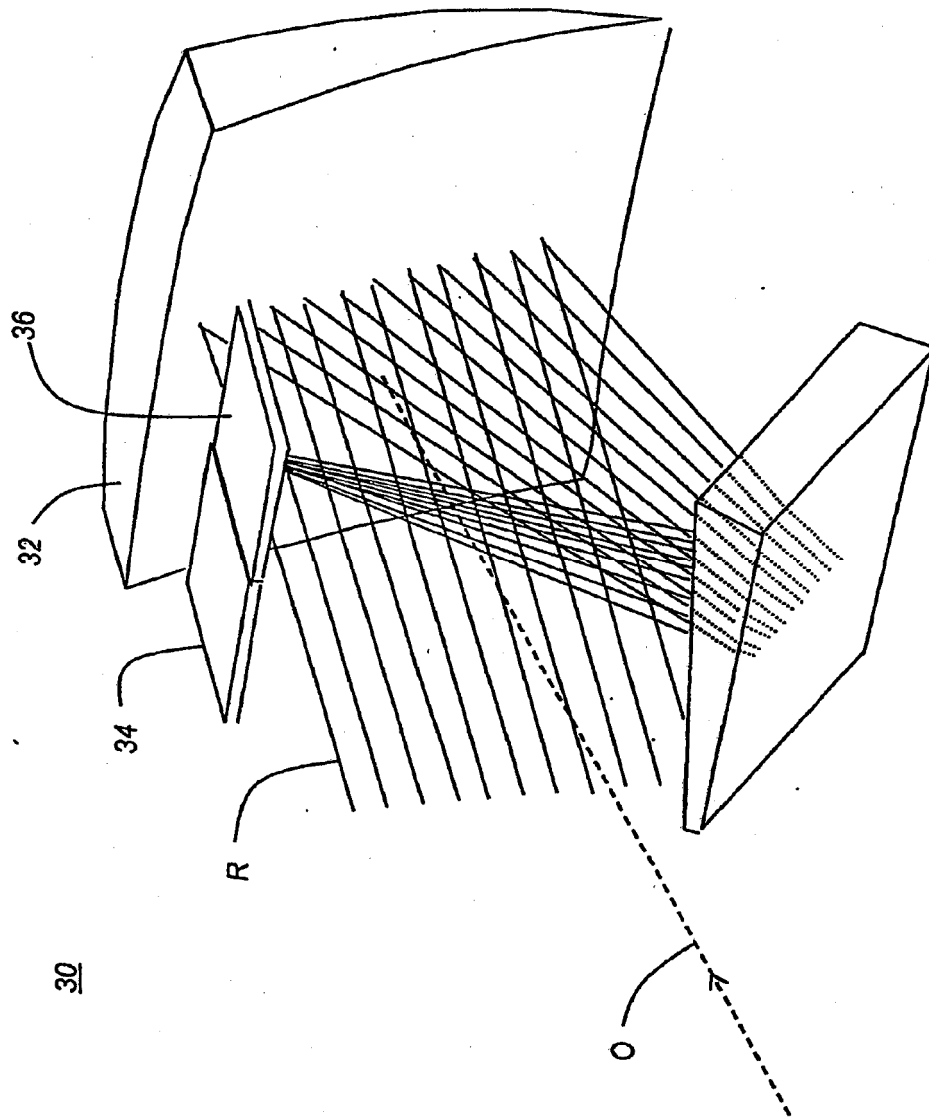


FIGURA 8

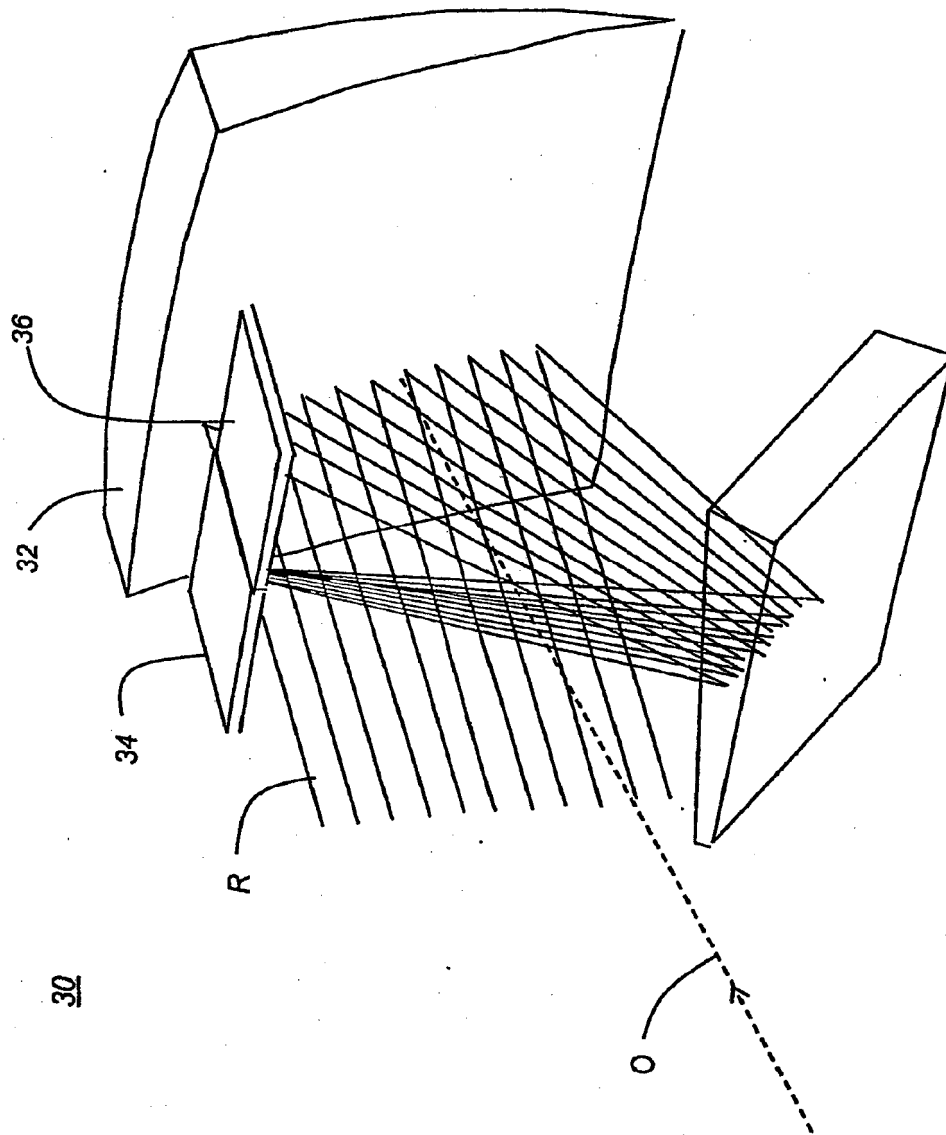


FIGURA 9

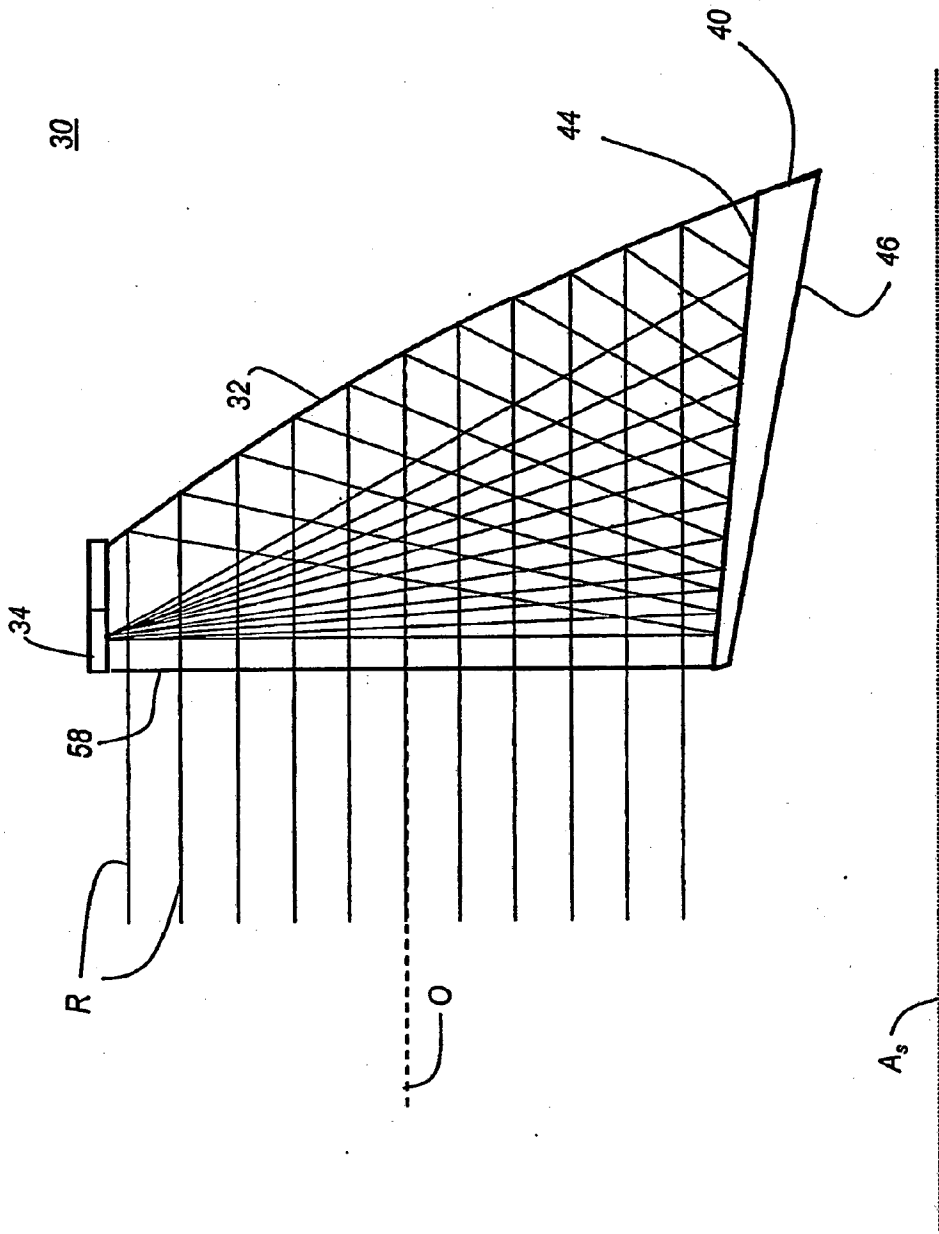


FIGURA 10A

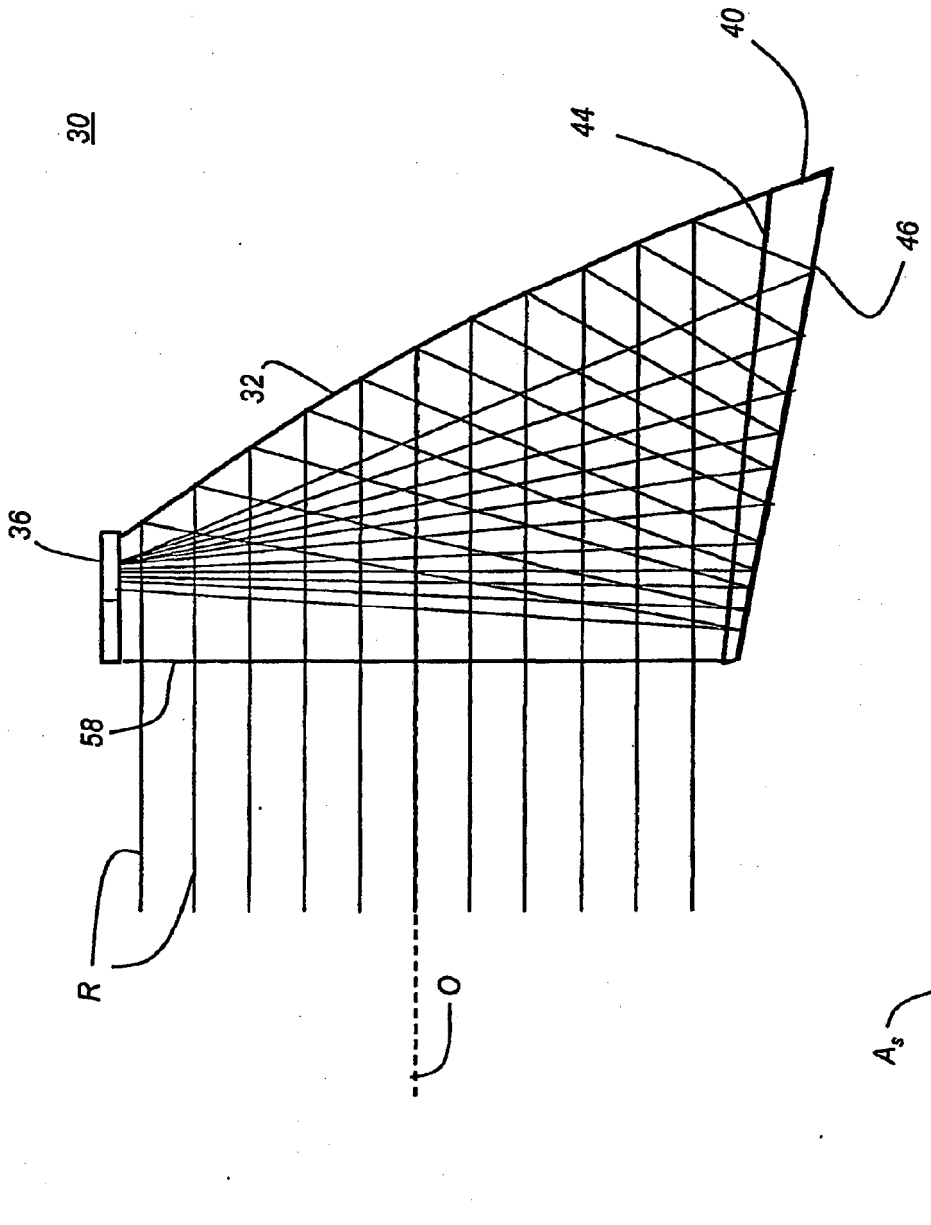


FIGURA 10B

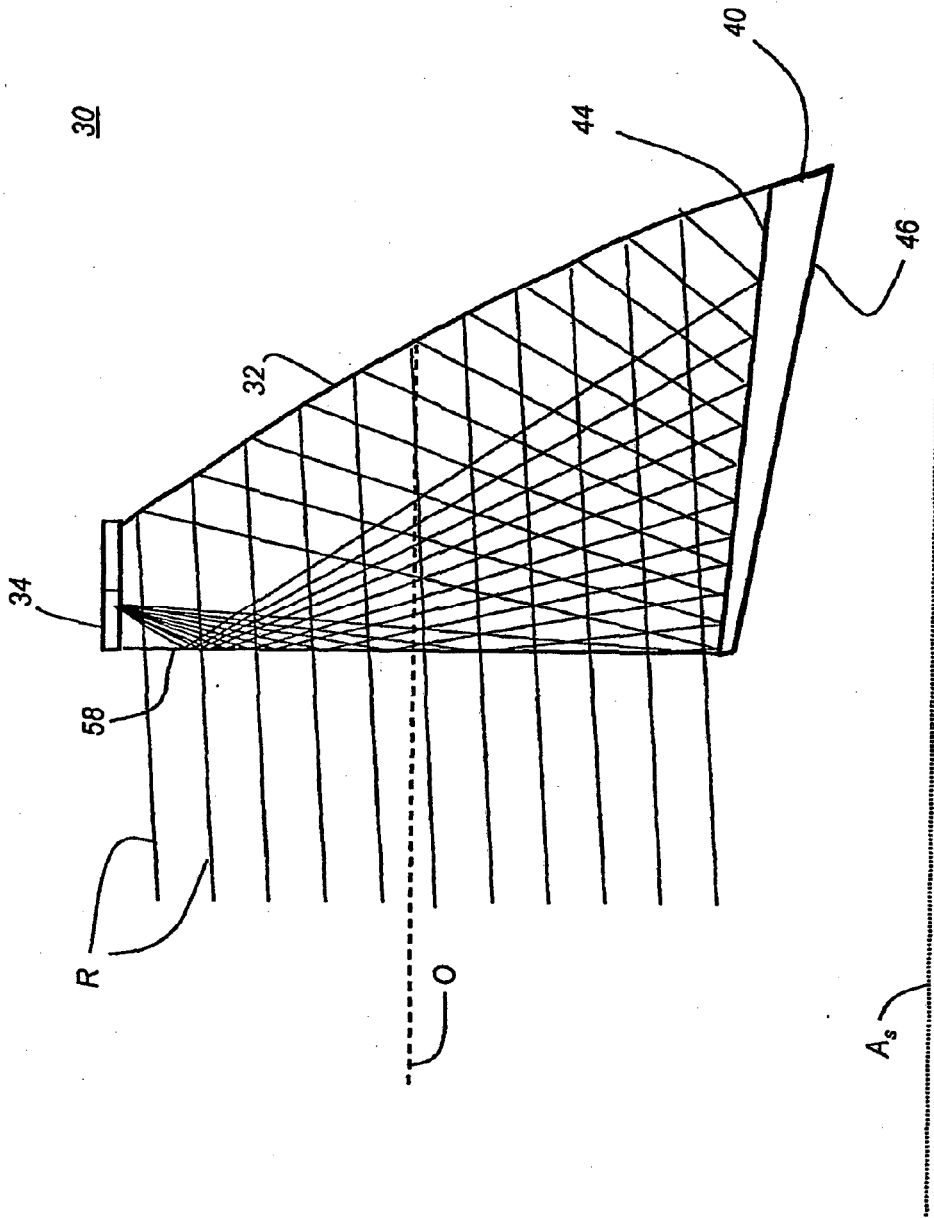


FIGURA 10C

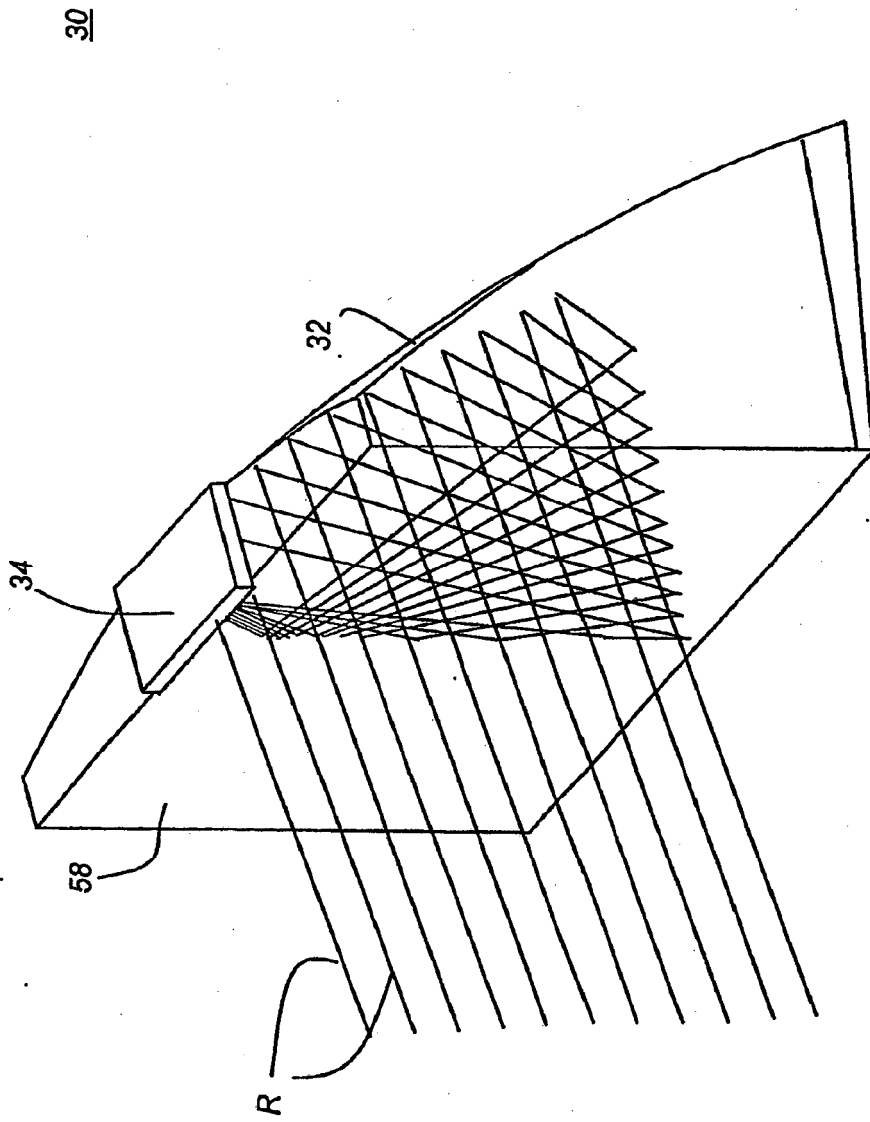


FIGURA 11

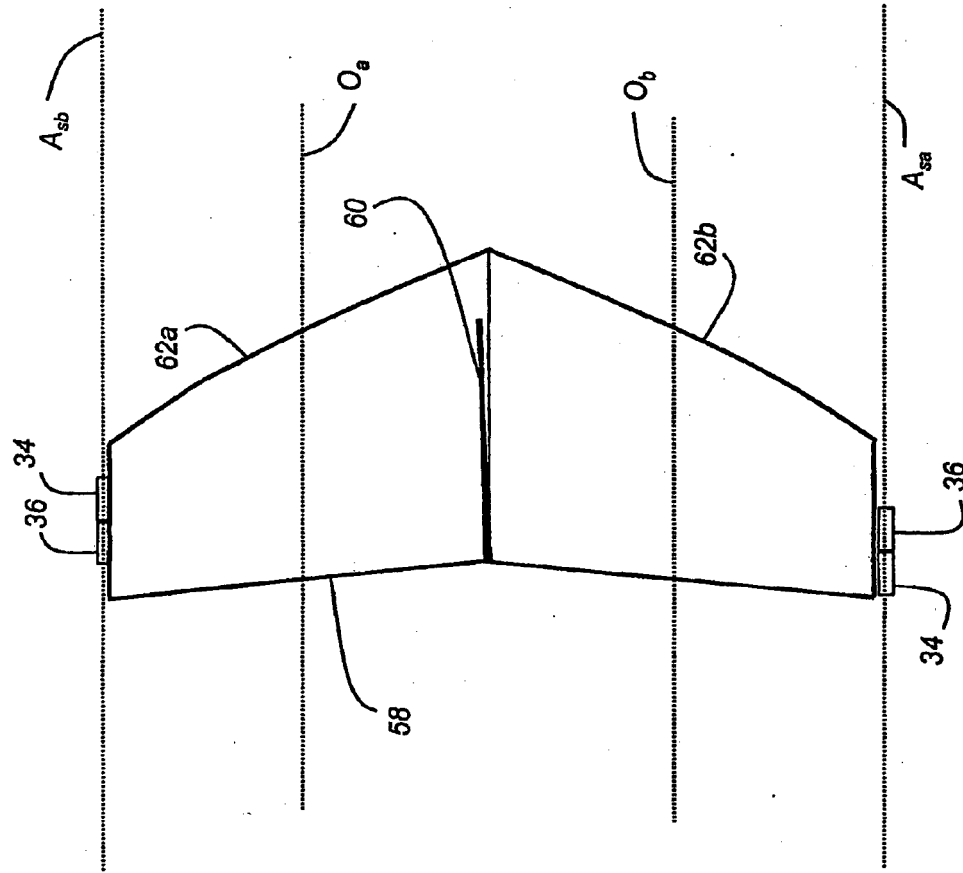


FIGURA 12

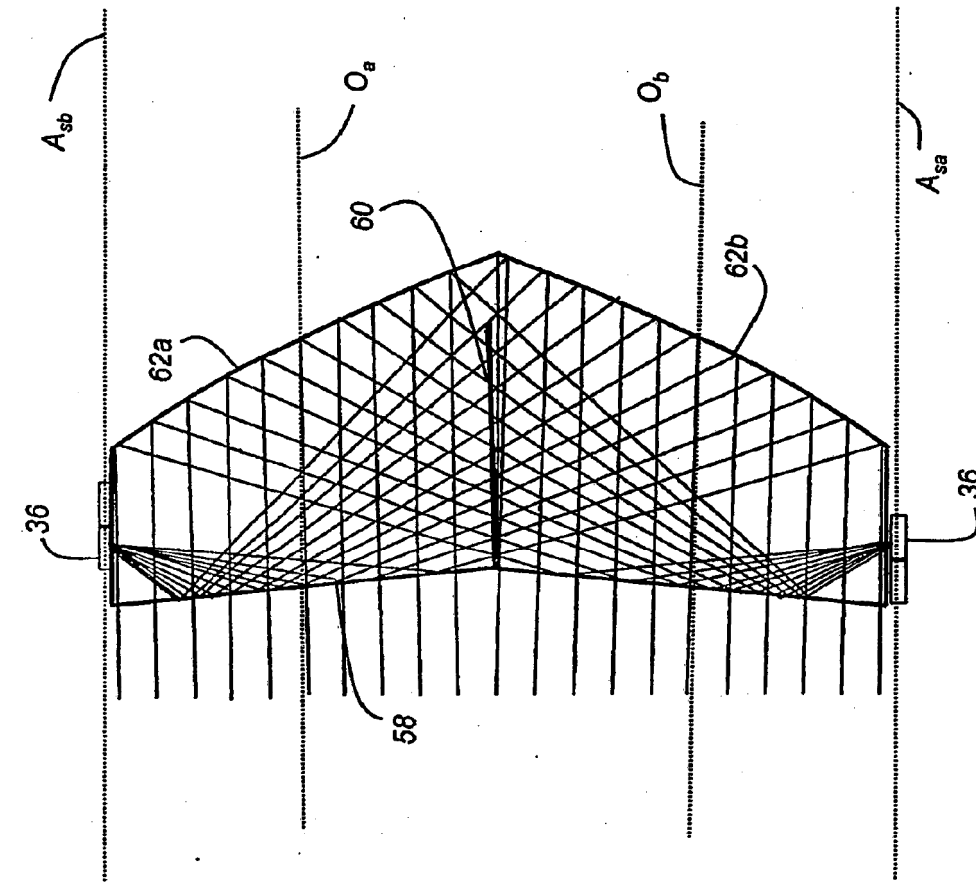


FIGURA 13

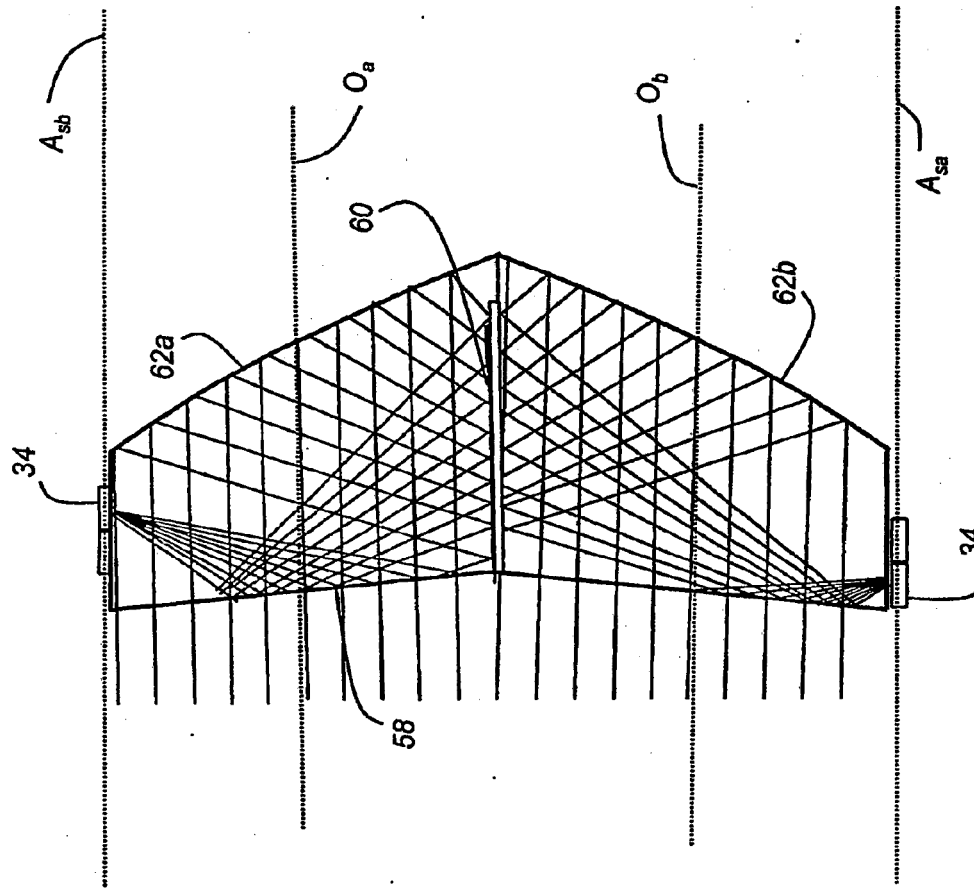


FIGURA 14

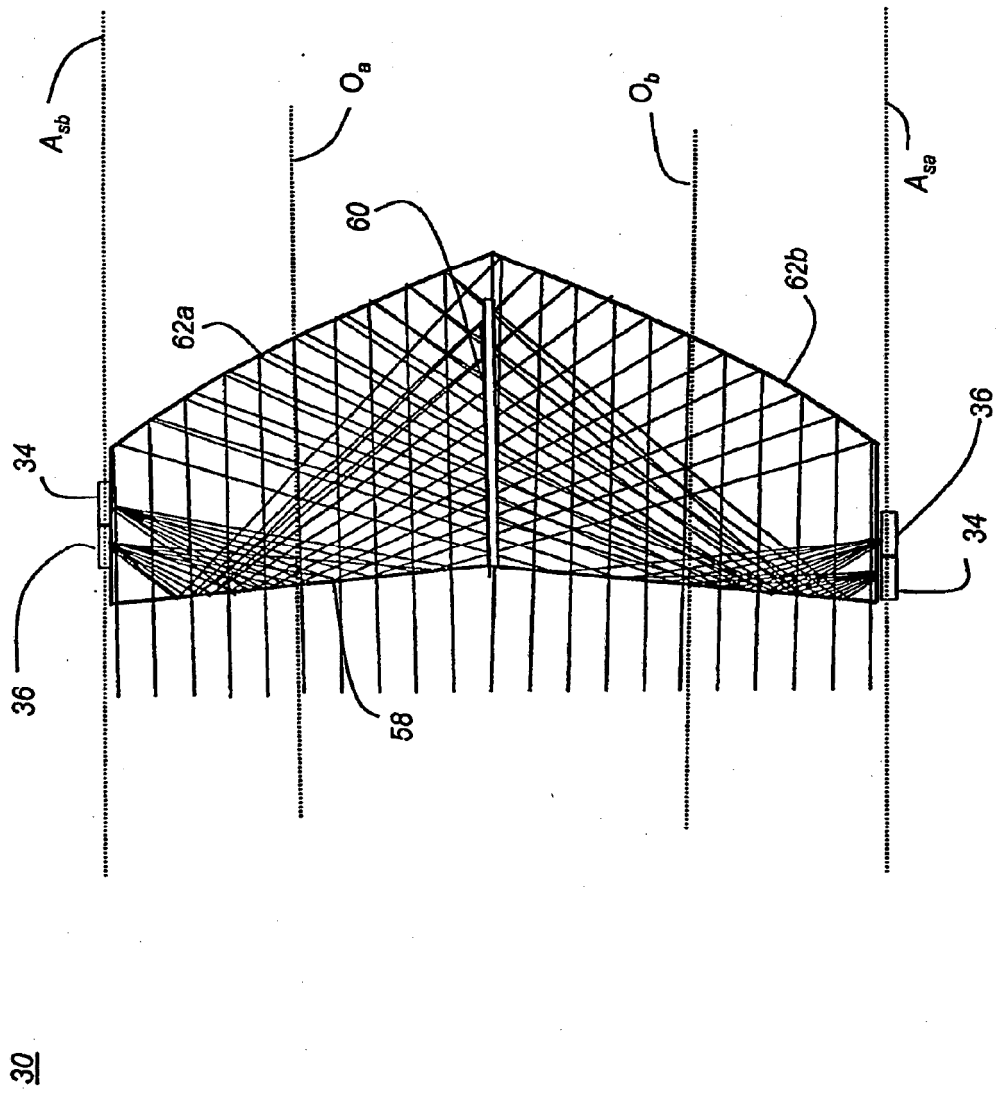


FIGURA 15

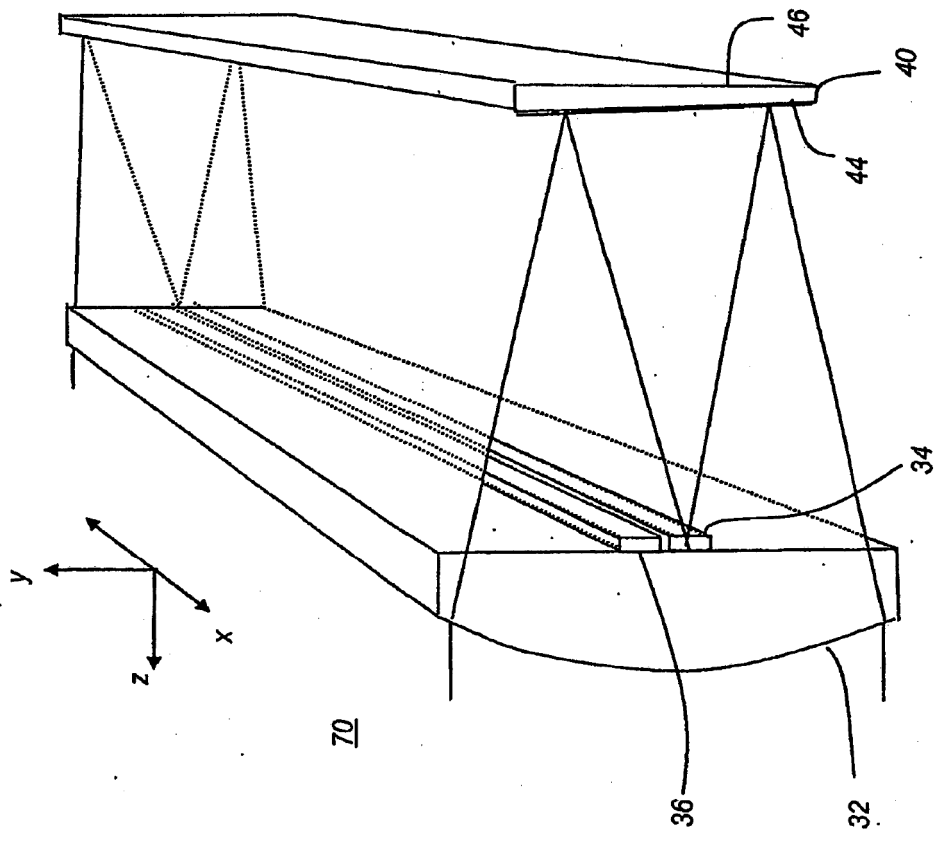


FIGURA 16

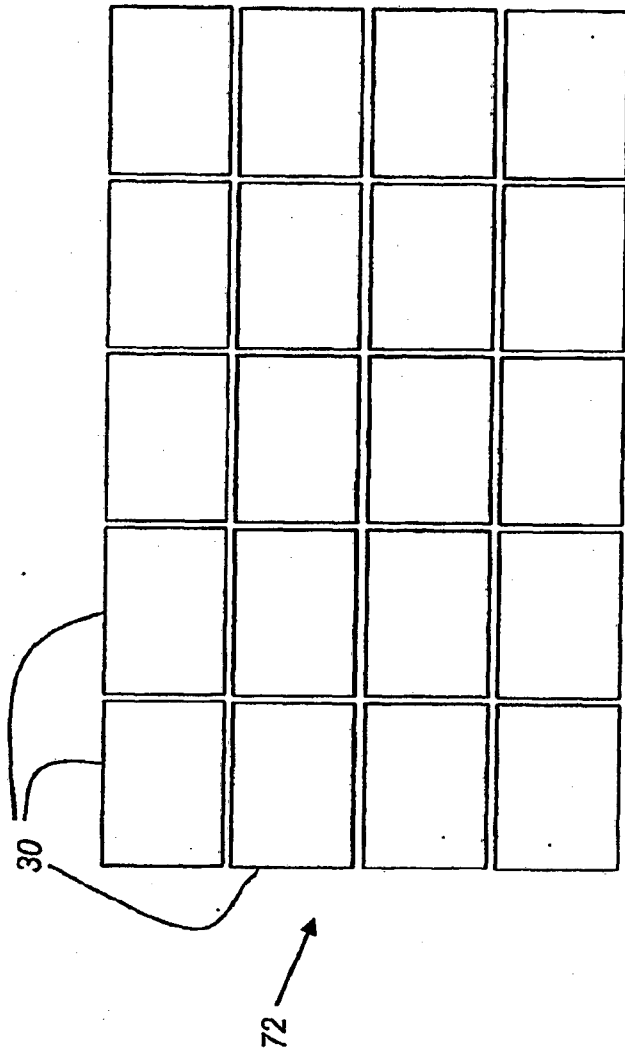


FIGURA 17

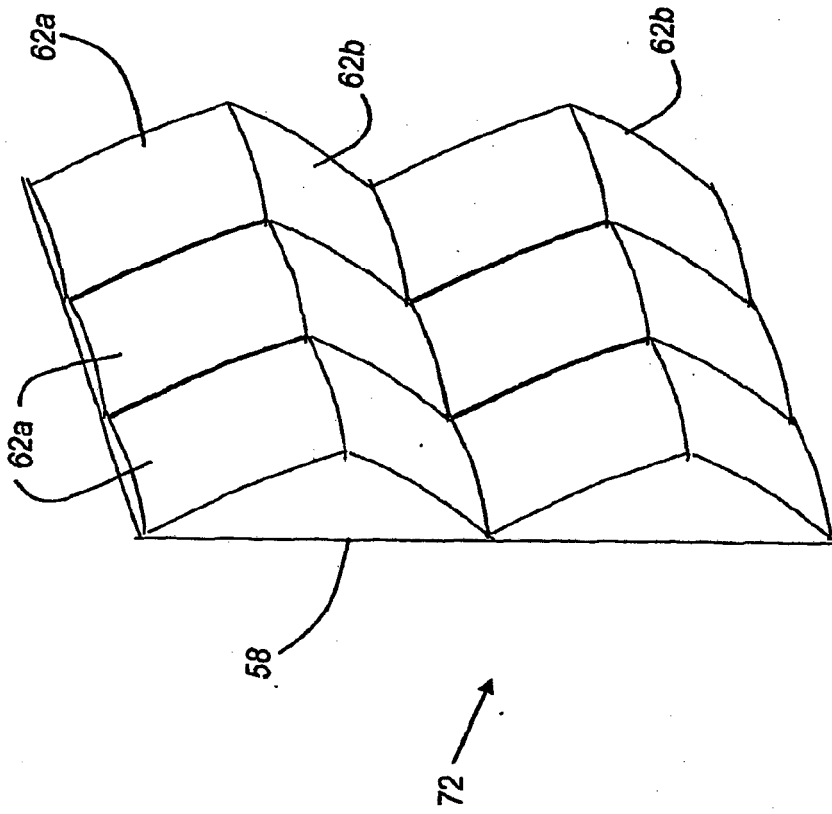


FIGURA 18

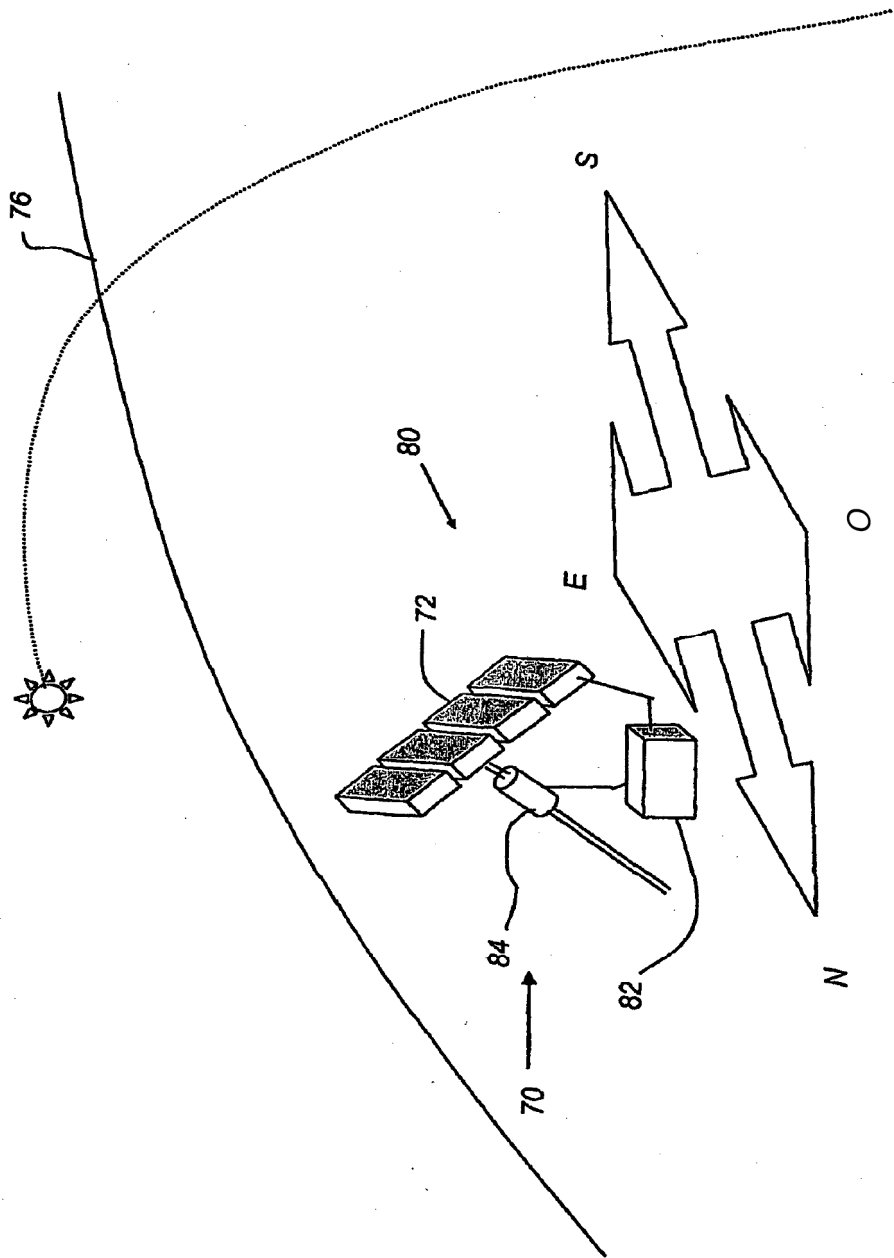


FIGURA 19