



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ Número de publicación: **2 304 987**

⑮ Int. Cl.:

B23K 26/40 (2006.01)

B23K 26/14 (2006.01)

C03B 33/09 (2006.01)

⑫

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑯ Número de solicitud europea: **00980670 .4**

⑯ Fecha de presentación : **22.11.2000**

⑯ Número de publicación de la solicitud: **1232038**

⑯ Fecha de publicación de la solicitud: **21.08.2002**

④ Título: **Método y aparato para separar materiales no metálicos.**

⑩ Prioridad: **24.11.1999 US 167285 P**

⑦ Titular/es: **Applied Photonics, Inc.**
12565 Research Parkway, Suite 300
Orlando, Florida 32826, US

⑤ Fecha de publicación de la mención BOP: **01.11.2008**

⑦ Inventor/es: **Hoekstra, Brian;**
Flannigan, Roger y
Wegerif, David

⑤ Fecha de la publicación del folleto de la patente: **01.11.2008**

⑦ Agente: **Zuazo Araluce, Alexander**

ES 2 304 987 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

Método y aparato para separar materiales no metálicos.

5 Esta invención se refiere a un método y a un aparato para separar materiales no metálicos de manera precisa en una pluralidad de fragmentos más pequeños, y más particularmente, esta invención se refiere a un método y a un aparato para dividir materiales no metálicos controlando las fuerzas internas y propagando una microfisura para separar un material a lo largo de un trayecto deseado.

10 El documento US-A-5 609 284 da a conocer un método para cortar materiales no metálicos que comprende las etapas de trazar el sustrato con un haz láser; templar la microfisura en una región de temple que sigue la estela del punto del haz láser haciendo pasar un fluido desde una boquilla de temple sobre el sustrato; y aplicar una fuerza sobre el sustrato para romper el sustrato.

15 El documento US-A-5 871 134 da a conocer un método para romper y cortar vidrio que comprende las etapas de iniciar una microfisura en el sustrato; trazar el sustrato con un haz láser; y aplicar una fuerza sobre el sustrato para romper el sustrato.

20 El documento EP-A-0 397 237 da a conocer, en un método para cortar un material frágil, las etapas de mover un punto de láser a lo largo de la línea de corte y aplicar una fuerza sobre el sustrato en una ubicación por detrás del punto de láser para romper el sustrato mientras se mantienen fuerzas residuales por debajo de una fuerza de rotura crítica por delante del punto de láser.

25 La propagación de una microfisura en un material frágil usando un láser se conoce desde hace al menos tres décadas por los expertos en la técnica. En la patente estadounidense nº 3.610.871 concedida a Lumley, se separan sustratos cerámicos reflejando un haz láser enfocado desde una superficie de espejo de modo que el punto focal del haz incide sobre la superficie inferior del sustrato de un borde de extremo. Despues de una rotura localizada, el sustrato se desplaza, con respecto al haz láser, para interceptar el haz antes de que se refleje desde la superficie de espejo. El haz láser se intercepta por la superficie superior del sustrato antes de que el haz alcance su punto focal, dando como resultado la distribución de la energía del haz sobre un área mayor. A medida que continúa el desplazamiento, la rotura localizada se propaga de manera controlable.

30 Esta técnica todavía no ha logrado ser viable desde el punto de vista comercial para muchas aplicaciones debido a velocidades lentas del proceso, modos de láser complicados, escaso entendimiento de los mecanismos de trazado por láser y procesos en dos etapas arcaicos que llevan mucho tiempo (por ejemplo trazar y romper), que generan elementos particulados y microfisuras, contrarrestando así una ventaja principal de la separación por láser.

35 Para superar estas y otras desventajas conocidas se desea una separación en una única etapa, con trazado por láser fiable y rápido y un uso eficaz de un dispositivo que sea simple aunque potente.

40 Sumario de la invención

45 Por tanto, es un objetivo de la presente invención proporcionar un método y un aparato que separe materiales no metálicos mediante una propagación muy controlada de una microfisura y una división precisa.

La presente invención es ventajosa e incluye características que permiten velocidades de proceso rápidas, una separación completa, una precisión aumentada, gradientes térmicos muy controlados, una calidad de borde mejorada, un corte transversal eficaz, efectos de borde reducidos, un diseño simple y una flexibilidad aumentada y costes reducidos.

50 La presente invención es ventajosa y proporciona un método y un aparato para dividir sustratos no metálicos tales como silicio o cerámica como ejemplo no limitativo, y comprende las etapas de iniciar una microfisura en un sustrato y trazar el sustrato con un haz láser en una zona afectada por el calor que se ha proporcionado sobre el sustrato mediante el haz láser. Se templa la microfisura en una región de temple que está contenida en una zona dentro de los límites del punto del láser haciendo pasar un fluido desde una boquilla de temple sobre el sustrato. Se aplica una fuerza sobre el sustrato en una ubicación por detrás de la región de temple para romper el sustrato mientras se mantienen fuerzas residuales por debajo de una fuerza de rotura crítica por delante de la región de temple.

55 La microfisura puede iniciarse con un iniciador mecánico. En un aspecto de la presente invención, el haz láser se dirige alrededor de la boquilla de temple a través de espejos asociados con la boquilla de temple. El fluido que se hace pasar desde la boquilla de temple puede ser un líquido y/o un gas. También puede aplicarse un vacío a través de la boquilla para eliminar cualquier líquido residual y controlar el flujo de gas. La temperatura del sustrato puede elevarse de una manera programada antes del trazado, tal como haciendo pasar luz láser a través de uno de un elemento de lente óptica o bien facetado o bien difrangente.

60 En otro aspecto más de la presente invención, se traza el sustrato con un haz láser a través de un dispositivo de fisuración integrado. La boquilla de temple es solidaria con el dispositivo de fisuración integrado. En otro aspecto más de la presente invención, el dispositivo de fisuración integrado incluye un alojamiento con la boquilla de temple montada sobre el alojamiento. Un sistema óptico está colocado dentro del alojamiento para recibir y dirigir el haz láser

sobre el sustrato. En un aspecto de la presente invención, el sistema óptico incluye un espejo y una lente de elemento único colocada dentro del alojamiento. La lente de elemento único puede comprender un elemento de lente de cilindro asimétrico doble.

5 Breve descripción de los dibujos

Otros objetivos, características y ventajas de la presente invención resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada de la invención, considerada a la luz de los dibujos adjuntos en los que:

10 La figura 1 es un dibujo ampliado del sustrato que muestra las diversas fases del proceso de división o separación por láser con iniciación de microfisura, aceleración, trazado y temple, seguido por rotura.

La figura 2 es un dibujo isométrico del aparato para dividir sustratos no metálicos de la presente invención.

15 La figura 3A es un dibujo en sección fragmentario ampliado del dispositivo de fisuración integrado de la presente invención.

La figura 3B es un dibujo fragmentario ampliado del dispositivo de aceleración del trazado por láser de la presente invención.

20 La figura 4 es una vista fragmentaria ampliada del elemento de lente de cilindro asimétrico doble que está contenido en el dispositivo de fisuración integrado de la presente invención.

La figura 5 ilustra perfiles de haz láser desarrollados por el elemento de lente de cilindro asimétrico doble de la 25 presente invención.

Las figuras 6A a 6C ilustran una configuración de haz truncado mostrando una vista lateral (figura 6A), una vista desde arriba (figura 6B) y una vista lateral (figura 6C) de la boquilla de temple y que muestran el uso de espejos ajustables.

30 Las figuras 7A a 7d muestran el uso de la bolsa de canal inflable que puede usarse con la presente invención.

La figura 8 muestra el borde de entrada y el borde de salida de un sustrato y muestra la velocidad y el control del haz con respecto a la línea de corte y cómo se controlan los efectos de borde.

35 La figura 9 ilustra posibles modos de funcionamiento y configuraciones con diversos modos tal como se ilustra.

La figura 10 es una copia de una fotografía que ilustra el funcionamiento de la invención.

40 Descripción detallada de las realizaciones preferidas

A continuación se describirá la presente invención con más detalle con referencia a los dibujos adjuntos, en los que se muestran realizaciones preferidas de la invención. Sin embargo, esta invención puede realizarse de muchas formas diferentes y no debería considerarse como limitada a las realizaciones expuestas en el presente documento. Estas realizaciones se proporcionan más bien para que esta descripción sea completa y minuciosa y transmita completamente el alcance de la invención a los expertos en la técnica. Los números de referencia similares se refieren a elementos similares en todo el documento.

50 Con fines descriptivos a continuación se da una explicación detallada de algunos de los problemas que aparecen con los sistemas existentes, los inconvenientes asociados a estos sistemas y un comentario de la tecnología básica de la técnica anterior.

55 Existe dos mecanismos principales usados para diseñar un sistema para separar materiales no metálicos: (1) el mecanismo térmico y (2) el mecanismo de esfuerzo/deformación. En el mecanismo térmico, cualquier material frágil supera su temperatura de choque térmico crítica cuando su temperatura se eleva hasta un nivel deseado y a continuación se templá rápidamente para romper sus enlaces moleculares. Esto forma una "fisura ciega" en el material. En el segundo mecanismo, se analiza la relación de campo de esfuerzo/deformación tridimensional en el material. Esta relación de campo varía debido a variaciones térmicas internas, fuerzas externas, fuerzas internas y la resistencia de borde variable del material. Un aspecto de esta invención ajusta las condiciones térmicas óptimas para una fisuración térmica controlable y consistente (por ejemplo, "trazado por láser") con condiciones de campo de esfuerzo/deformación óptimas para separar completamente un material no metálico de una manera prescrita, controlada.

60 Para propagar cualquier microfisura a través de un material frágil, el sistema debe superar la temperatura de choque térmico crítica (ΔT_{cr}) o punto en el que se rompen los enlaces moleculares en el material para formar una fisura ciega en el material. Esto se consigue normalmente calentando el material hasta una temperatura dada y templando el material usando un chorro de refrigerante para superar la temperatura de choque térmico crítica (ΔT_{cr}).

ES 2 304 987 T3

Para algunos materiales, la ΔT_{cr} es mínima y se requiere un temple reducido para propagar una microfisura con éxito. En estos casos, puede usarse un gas refrigerante solo, tal como helio, para el temple. Para otros materiales, especialmente aquéllos con coeficientes de expansión térmica bajos, se requiere un gradiente alto para superar la $\bullet T_{cr}$, y por tanto, se requiere una mezcla de gas/agua para un temple eficaz. En este caso, el calor latente liberado por la evaporation del líquido se combina con transferencia de calor convectiva y conductora y sirve para templar el material de una manera más eficaz, superando por tanto la temperatura de rotura térmica crítica.

Sin embargo, incluso con un temple optimizado se requieren condiciones límite iniciales apropiadas para conseguir con éxito un trazado por láser. Debería elevarse la temperatura del material para que el temple tenga "espacio" para superar la temperatura de rotura térmica crítica. A menudo, el margen de proceso entre la temperatura mínima y la temperatura máxima, por ejemplo la temperatura de ablandamiento para vidrio, es muy pequeño. Esto requiere un control preciso de la zona afectada por el calor tal como muestra la figura 1, que ilustra la iniciación de la microfisura en un sustrato S, la región de rotura, la región de temple, el haz de trazado y los haces de aceleración, y la energía, Q_{in} y Q_{out} , para el haz de trazado y el temple respectivos.

Las operaciones de trazado tradicionales requieren normalmente una segunda etapa de rotura después de haber formado en el material una fisura ciega o abierta inicial. Mediante el uso de métodos mecánicos tradicionales para completar la rotura se aplicaba un momento de flexión (tal como mediante el uso de un dispositivo de rotura de "guillotina"). Se aplicaba una fuerza para completar la separación del material a lo largo del área trazada. La cantidad de fuerza requerida para efectuar la separación completa se denomina fuerza de rotura crítica (F_{cr}). Cuando se traza un material fino (por ejemplo inferior a 0,5 mm), las fuerzas de tensión residuales en el material separan el vidrio. Sin embargo, para un material más grueso, las fuerzas de tensión residuales que resultan de la operación de trazado por láser normalmente no son suficientes para separar completamente el material. En otros casos, las fuerzas de tensión son excesivamente grandes y el material se separa de manera incontrolada, moviéndose muy por delante de la región de temple. La rotura no es recta porque los gradientes térmicos controlan la dinámica de separación simétrica. Algunos diseños de la técnica anterior usan haces paralelos dobles sin temple como un mecanismo de separación. Sin embargo, estos diseños tenían asimetrías y provocaban cortes irregulares. La presente invención, por otro lado, separa un sustrato de una manera controlada aplicando una fuerza lo suficientemente grande (F_{cr}) en una ubicación apropiada por detrás de la región de temple, mientras se mantienen las fuerzas residuales por debajo de la fuerza de rotura crítica (F_{cr}) por delante de la región de temple tal como se muestra esquemáticamente en la figura 1.

La fisura de entrada y de salida en cualquier material dado es una consideración importante cuando se separa un sustrato de una manera controlada. El borde de un sustrato es mucho más débil que sus partes de masa haciendo que el material sea susceptible de una fisuración incontrolada tras introducir un choque térmico. Además, cualquier microfisura puede estar presente en el material, tal como las creadas por rectificación del borde u otros procesos mecánicos. Deben tenerse en cuenta las microfisuras. El borde de material también tiende a calentarse más rápido que otras partes porque el borde sirve como límite entre regiones de transferencia de calor conductoras y convectivas. La presente invención ayuda a superar los efectos de borde, tales como intrusiones y extrusiones.

Se requiere una microfisura inicial para propagar una microfisura a través de un material. Muchos materiales ya tienen microfisuras situadas a lo largo de sus bordes como resultado de procesos de fabricación previos. Sin embargo, se ha descubierto que es más deseable introducir una microfisura de una manera controlada en una ubicación dada que basarse en microfisuras residuales. Sin embargo, las técnicas de tratamiento de borde han mejorado y, por tanto, es más difícil iniciar una microfisura a lo largo de estos nuevos tipos de bordes que se han desarrollado para resistir la fisuración. La presente invención ayuda a la iniciación de un trazado fiable a lo largo de estos bordes mejor desarrollados.

Una vez que un sustrato se ha separado completamente en una dirección, la realización de cortes en una segunda dirección (habitualmente 90 grados) resulta más desafiante. Un método de la técnica anterior para romper un sustrato en la nueva dirección se da a conocer en la patente estadounidense nº 5.826.772 concedida a Ariglio *et al.*

En a Ariglio *et al.*, se mueve un láser a través de una superficie para formar dos fisuras abiertas en lados respectivos. Un movimiento de flexión se aplica por debajo de las fisuras abiertas para romper la lámina. El sistema no trabaja de forma adecuada para límites separados.

Un sistema convencional requiere dos etapas para romper el material: (1) una etapa de trazado; y (2) una etapa de rotura mecánica. Este tipo de sistema se usa comúnmente cuando el grosor del sustrato es superior a 0,5 mm, y las fuerzas de tensión residuales en el sustrato no son suficientes para separar el sustrato.

Otro sistema convencional usa haces de rotura dobles grandes, habitualmente superiores a 8 mm, que provocan un choque térmico en el perímetro de un corte deseado. Esto debilita el vidrio y/o fisura el vidrio de manera incontrolable. A veces la separación se produce dentro de un ancho de trayecto limitado porque se sitúan dispositivos electrónicos o recubrimientos/capas en cualquiera de los lados del corte.

Los sistemas de emisión de haz láser que requieren múltiples elementos ópticos también ofrecen poca flexibilidad en sus diseños. Estos múltiples elementos ópticos absorben o reflejan una cantidad significativa de la potencia del láser, por ejemplo el 5% por cada elemento para elementos de ZnSe con revestimiento antirreflectante, dando como resultado una pérdida superior al 36%, si se usa un sistema de seis elementos. Además, los sistemas ópticos complejos son

ES 2 304 987 T3

grandes, difíciles de mover, requieren una alineación precisa y una calibración que puede desajustarse con facilidad. Finalmente, las distancias críticas que existen habitualmente entre la boquilla de temple, el haz de trazado, los haces de rotura y la iniciación del trazado son difíciles de ajustar y son intrínsecamente inestables.

5 Muchos sistemas convencionales logran un corte unidireccional sólo debido a la gran masa de un sistema de emisión de haz y el control independiente no sólo de la iniciación del trazado sino también de las boquillas de temple y elementos similares.

10 En algunos sistemas de fabricación, sólo hay espacio para un cabezal láser por cada máquina. Por tanto, no son posibles múltiples cabezales que corten simultáneamente para ahorrar tiempo en la fabricación. Algunos sistemas ópticos fijos requieren casi dos veces la superficie ocupada por los equipos convencionales debido a las ineficiencias intrínsecas que resultan de mover la pieza de trabajo bajo un haz láser, en lugar de mover el láser en relación a la pieza de trabajo.

15 La distancia entre los haces de trazado y de rotura es fija en muchos diseños de la técnica anterior y la superficie ocupada por una máquina está limitada a un ancho finito, limitando la flexibilidad de la máquina cuando se cambia de un material a otro material. Además, la potencia aparente del haz entre los haces de trazado y de rotura se regula cambiando físicamente un divisor del haz o ajustando un elemento facetado. Cuando se usa un divisor del haz, la potencia aparente es en función del revestimiento sobre el divisor del haz y es difícil de reproducir. Los diseños de 20 boquilla convencionales llevan a flujos inconsistentes y dejan agua u otro residuo líquido sobre la pieza de trabajo.

25 Ahora, con referencia a los dibujos, y más particularmente a la figura 2, los componentes principales de la presente invención forman un sistema de láser de separación de material completo y se ilustra generalmente con 20. El sistema incluye una única o múltiples fuentes de láser y opciones asociadas, que forman un sistema óptico, indicado generalmente con 21. En la realización ilustrada, el sistema 21 óptico incluye dos láseres 22, 24, que están soportados sobre un bastidor 26 de máquina. Un sistema 28 de movimiento incluye una mesa 28a de soporte que atraviesa el bastidor mediante un mecanismo 28b de transmisión por correa y mueve la pieza de trabajo con respecto al sistema 21 óptico, formado por los láseres 22, 24. Los láseres forman dos (o más) trayectos de haz. El sistema incluye un dispositivo 30 de fisuración integrado de alto gradiente (ICD), un dispositivo 32 de aceleración del trazado por láser (LSAD) y un dispositivo de rotura suplementario.

30 La fuente de láser, tenga uno o dos láseres, se elige basándose en el material que va a separarse. La fuente de láser debería ser eficaz, fiable y tener una longitud de onda de salida con un coeficiente de absorción próximo al 100%, permitiendo absorber la radiación láser principalmente en la superficie del material que va a separarse. Por ejemplo, 35 cuando se traza vidrio, es deseable una fuente de láser de CO₂ con una frecuencia de salida de 10,6 micras. Cuando se traza sílice, es deseable una fuente de láser YAG con una frecuencia de salida de 1,06 micras o inferior. El láser debería funcionar en el modo TEM⁰⁰, proporcionando así un perfil de haz con una forma predominantemente gaussiana. Si se usa un sistema óptico móvil debería conseguirse una salida colimada uniforme de modo que el perfil del haz láser 40 no cambie de manera apreciable de un punto a otro. También es recomendable proporcionar espacio suficiente entre la salida del láser y el sistema óptico móvil, dejando al haz láser tiempo para desplazarse en condiciones de “campo lejano”.

45 La selección de la frecuencia de salida del láser no tiene que corresponder necesariamente con la eficacia de absorción máxima en el trayecto del haz del LSAD 32. Puede ser deseable seleccionar una frecuencia de láser significativamente inferior al 100% para permitir un calentamiento por todo el cuerpo del material. Esto sirve para calentar de manera eficaz la masa del material en la región de interés, mientras se limitan las fuerzas de tensión y la pérdida de calor radiante en la superficie. Es importante, no obstante, conseguir los mismos criterios de colimación previamente mencionados.

50 En algunos casos, pueden mezclarse diferentes frecuencias de láser en la misma región o punto del haz. Por ejemplo, puede usarse un láser para precalentar un material a una frecuencia que se absorbe en gran medida. Entonces el material puede calentarse posteriormente mediante un láser de distinta frecuencia que normalmente no se absorbería en gran medida por el material. Esto es posible debido a la mayor absorción dependiente de la temperatura o la absorción de portador libre.

55 El sistema 28 de movimiento usa un ordenador 36 para controlar el movimiento de la pieza W de trabajo con respecto a la salida del láser. Un posible método de control genera señales de control desde el ordenador para mover la pieza de trabajo en las direcciones x, y y θ mientras el sistema óptico se mantiene estacionario. A la inversa, una pieza de trabajo puede permanecer estacionaria, mientras que el sistema óptico que lleva el láser se mueve en todas las direcciones. Un enfoque híbrido permite mover tanto el sistema óptico como la pieza de trabajo en direcciones limitadas. Mediante la rotación del sistema óptico 180 grados, es posible un corte bidireccional. Una disposición de ICD múltiple formada desde unidades de ICD 30 conectadas de manera operativa o acopladas podría aumentar la producción. Un ICD 30 múltiple puede moverse hacia el trayecto del haz en un tiempo apropiado. También es posible cortar tanto en el lado superior como en el inferior del material situando la pieza de trabajo sobre una mesa de procesamiento con ranuras por debajo de cualquier corte deseado. La mesa de procesamiento también puede facilitar la rotura cuando un dispositivo de rotura de rodillos se sitúa por debajo de la pieza de trabajo.

ES 2 304 987 T3

La figura 3A ilustra el dispositivo 30 de fisuración integrado de alto gradiente de la presente invención. Un trayecto óptico integrado se forma mediante el espejo 41 (M1), que recibe el haz láser. El ICD 30 también incluye un mecanismo 42 de temple, un obturador 44 opcional, y un mecanismo 46 para la eliminación de agua asociado con el mecanismo de temple. Este dispositivo es simple y flexible, permitiendo a un usuario conseguir los altos gradientes térmicos deseados en un material. En las figuras 6A, 6B y 6C se ilustra un mecanismo de temple reflectante triple (TRQM) en forma de una boquilla 50 de temple preferida de la presente invención y puede usarse para altos gradientes de temperatura controlados en un sustrato.

La boquilla 50 está dotada de un revestimiento 52 reflectante (figura 6B) para redirigir el haz láser alrededor de la boquilla y hacer que una parte de la radiación del haz láser incida sobre la pieza de trabajo cerca de, adyacente a, intersecando, alrededor o dentro de la región de temple. Según el método de la invención la región de temple está dentro de los límites del punto del haz láser.

En un aspecto de la presente invención, se usa una lente L1 de elemento único, a medida, mostrada generalmente con 53, en el ICD 30 para el trazado por láser. Esto consigue un diseño eficaz y flexible. Un único elemento puede reducir el tamaño y peso del cabezal láser en más del 70%. En otro aspecto más de la presente invención, la lente a medida comprende un elemento 54 de lente de cilindro asimétrico doble (DACLE) (figuras 3A y 4), que se usa en la presente invención para conseguir un perfil deseado del haz láser.

Un iniciador 60 de microfisuras (MI) está montado directamente sobre el alojamiento 30 de ICD y, en un aspecto de la invención, puede ponerse en funcionamiento mediante una rueda 62 de trazado estándar que está montada sobre un mecanismo 64 de recorrido z, de accionamiento vertical, para crear una microfisura en el borde del material que va a separarse. El MI 60 puede hacerse funcionar después de la operación del dispositivo 32 de aceleración de trazado por láser (LSAD) para reducir cualquier posibilidad de que el calor generado por el LSAD propague de forma prematura una microfisura. El sistema de la presente invención también puede incorporar una opción de iniciación de trazado por láser que usa impulsos YAG de ablación en la superficie del vidrio tal como se muestra en la foto 1 de la figura 10.

Con referencia de nuevo a la figura 3A, el dispositivo 30 de fisuración integrado incluye el alojamiento 30a formado en un aspecto de la invención como un único tubo, con una sección transversal o bien circular o bien cuadrada. El ICD 30 incluye el elemento (L1) óptico a medida único indicado generalmente con 53, en forma de un DACLE 54, en un aspecto de la invención, y el iniciador 60 de microfisuras (MI), el mecanismo 42 de temple (QI), como parte de la boquilla 50, el elemento 41 de espejo (M1), y el obturador 44.

El elemento 53 óptico único está diseñado para proporcionar una cobertura térmica óptima que, en general, es un haz elíptico no superior a 80 mm de largo y no superior a 5 mm de ancho. También es deseable que este elemento muestre un perfil superior plano en cada dirección. Esto puede conseguirse de muchas maneras usando un haz de entrada colimado. Puede usarse un elemento óptico difrangente cuando la estructura interna de la lente se modifica para proporcionar un perfil de salida previamente programado. Otra forma más económica es el uso del elemento 54 de lente cilíndrica asimétrica doble (DACLE), tal como se muestra con más detalle en la figura 4. La superficie 68 "cónica" curvada (S1) está configurada de modo que tiene una longitud focal negativa óptima para controlar la longitud (l) del haz y la distribución de energía en la dirección del corte (x). La superficie 70 "convexa" (S2) o curvada opuesta está configurada de modo que tiene una longitud focal positiva óptima y controla el ancho (w) de los haces y su distribución de energía ortogonal a la dirección (y) de corte. Las superficies curvadas están programadas para proporcionar una salida que sea óptima para el corte. Un ejemplo de un perfil óptimo se muestra en los perfiles de haz del DACLE de la figura 5 que muestra vistas con respecto al eje "x" y al eje "y" y el perfil de haz gaussiano.

Características reflectantes que se forman en la boquilla 50 de temple pueden modificar adicionalmente el perfil de salida óptimo, y permitir situar la región de temple completamente en la zona afectada por el calor, tal como muestra la figura 1. Esto ayuda a conseguir los altos gradientes deseados en la región de temple, sitúa las fuerzas de tensión por detrás de la región de temple y crea una zona calentada por detrás de la boquilla que puede usarse para evaporar cualquier líquido residual de la boquilla. Añade flexibilidad al sistema permitiendo a un usuario situar el temple prácticamente en cualquier lugar dentro de los límites del punto del haz. Esto no puede conseguirse usando los diseños de boquilla no reflectantes tradicionales porque las boquillas de la técnica anterior bloquean la forma de radiación de la pieza de trabajo, haciendo difícil, cuando no imposible, situar el temple dentro o directamente en contacto con el punto del haz. La boquilla reflectante también permite un trayecto del haz extendido, que hace que la densidad de energía sea mayor que la sección frontal del haz, creando así fuerzas de tensión superiores por detrás de la zona de temple.

La figura 6A (vista "x") ilustra la boquilla 50 de temple de un aspecto de la presente invención, y muestra los espejos 72 ajustables y el revestimiento 52 reflectante. Los espejos están situados en cierto modo equilaterales, aunque no necesariamente, y reflejan los espejos para formar un punto del haz. Según la presente invención, la región de temple está contenida dentro de las áreas afectadas por el calor mostradas en las figuras 6A-6C. Además de las características reflectantes proporcionadas por los espejos ajustables, el TQRD tiene tres sistemas de fluido distintos que proporcionan un temple eficaz, tal como muestra la figura 6B. En una configuración preferida, se canaliza un líquido, tal como agua, a través de un tubo 74 central, se dirige un gas a través de un tubo 76 exterior configurado de manera coaxial y se aplica un vacío a la región 78 más exterior (figura 6B). En esta configuración, aire a alta presión canaliza dinámicamente el líquido hacia el centro de la región de temple, mientras que el vacío elimina cualquier líquido residual y controla el flujo de aire. Un transductor piezoelectrónico de alta frecuencia opcional (no mostrado con detalle) puede situarse sobre

ES 2 304 987 T3

la boquilla para ayudar a romper y atomizar el agua para mejorar la eficacia del temple. La figura 6C ilustra la vista "y".

5 Tal como muestra la figura 3A, el obturador 44 opcional está situado entre el elemento 53 de lente a medida y la pieza W de trabajo y puede usarse para bloquear selectivamente una parte de la radiación láser para acortar de manera eficaz el punto del haz en la pieza de trabajo. El obturador 44 puede cambiar la longitud del haz durante el proceso de corte por láser y conseguir un efecto deseado. Por ejemplo, el obturador puede truncar una sección frontal del haz láser mientras el haz láser está cerca del borde de entrada o salida del sustrato para evitar el sobrecalentamiento de los bordes, tal como se muestra en el diagrama de efecto de borde de la figura 8.

10 10 El dispositivo 32 de aceleración del trazado por láser (LSAD) (figura 3B) eleva la temperatura de la pieza de trabajo de una manera programada, permitiendo velocidades de procesamiento aumentadas. Este dispositivo 32 está situado a una distancia finita por delante del ICD y ayuda a establecer las condiciones límite térmicas apropiadas para el haz de trazado. Por tanto, el ICD consigue gradientes térmicos microscópicos precisos y un trazado práctico.

15 15 En un aspecto de la presente invención tal como muestra la figura 3B, el LSAD 32 es similar al ICD en diseño y construcción. El LSAD 32 incluye un alojamiento 80, un espejo 82 M2, y un elemento 84 de lente único incorporado en un dispositivo 86 de montaje que, a su vez, está fijado en el alojamiento 80 (figura 3B). El elemento 84 de lente único puede ser un elemento facetado o un elemento difrangente. Puede usarse un haz largo único o una serie de 20 20 puntos de haz en función de la aplicación. Una ventaja de usar una serie de puntos de haz es que la potencia aparente de cada punto puede ajustarse para proporcionar un aumento gradual en la densidad de energía o calentamiento del material. Además, pueden usarse diversas longitudes de onda láser para adaptar el calentamiento en la dirección z del material. El modelado y la experimentación pueden determinar parámetros de LSAD óptimos.

25 25 El dispositivo de rotura de sustrato permite una separación completa de sustratos, usando una diversidad de técnicas, que incluyen: (1) enfriar bruscamente la superficie inferior del sustrato; (2) calentar la parte superior del sustrato usando un chorro de aire caliente, haces láser dobles, un haz láser único, o un haz láser único que funcione en el modo TEM20; (3) aplicar un esfuerzo mecánico al sustrato de la manera deseada utilizando características innovadoras incorporadas en una mesa de procesamiento; (4) un dispositivo de rotura de rodillo inverso para crear las fuerzas de compresión/tensión deseadas en el sustrato; y (5) técnicas de separación por fuerzas de cizallamiento para vidrio laminado para eliminar o reducir las microfisuras.

35 35 El enfriamiento selectivo de la superficie inferior del sustrato o proporcionar un disipador térmico directamente por debajo del corte deseado introduce fuerzas de compresión para ayudar en la separación completa. Esto puede combinarse con otras técnicas. La introducción de calor en la superficie del sustrato crea fuerzas de tensión sobre la superficie del sustrato que facilitan una separación completa. La colocación de un tubo 88 expansible en un canal de la mesa de soporte para el sustrato, tal como muestra la figura 7, aumenta las fuerzas de tensión sobre la superficie del sustrato. El tubo inflable puede desinflarse ventajosamente para devolver el sustrato a una orientación plana. Esto facilita el corte transversal. El tubo puede llenarse con agua refrigerada para enfriar el sustrato en su superficie inferior. 40 40 Adicionalmente, puede situarse un dispositivo de rotura de rodillos por debajo del sustrato y moverse a lo largo del trayecto de corte una distancia dada por detrás del área de trazado para realizar la separación completa. Esto funciona de la mejor manera si la mesa de procesamiento tiene ranuras por debajo del corte deseado. Como resultado, la fuerza se sitúa muy por detrás del área de trazado, garantizando así la rectilíneidad. También pueden usarse fuerzas de cizallamiento para separar sustratos. Estos tipos de fuerzas son especialmente útiles para materiales laminados, 45 45 y ayudarán a minimizar o reducir microfisuras en la capa media de un material laminar eliminando el momento de flexión introducido por las otras técnicas mencionadas anteriormente.

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Método para dividir sustratos no metálicos que comprende las etapas de:

5 iniciar una microfisura en el sustrato (5);

10 trazar el sustrato con un haz láser desde un dispositivo (20) de trazado por láser en una zona afectada por el calor que se proporciona sobre el sustrato mediante el láser;

15 templar la microfisura en una región de temple que está en una zona dentro de los límites del punto del láser haciendo pasar un fluido desde una boquilla (50) de temple sobre el sustrato; y

19 aplicar una fuerza sobre el sustrato en una ubicación por detrás de la región de temple para romper el sustrato mientras se mantienen fuerzas residuales por debajo de una fuerza de rotura crítica por delante de la región de temple.

20 2. Método según la reivindicación 1, en el que se eleva la temperatura del sustrato (5) usando un dispositivo (32) de aceleración del trazado por láser separado de un dispositivo de trazado por láser.

25 3. Método según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que:

29 el trazado del sustrato (5) se lleva a cabo con un haz láser a través de un dispositivo de fisuración integrado que dirige el haz láser sobre dicha zona afectada por el calor, y en el que la boquilla de temple es solidaria con el dispositivo de fisuración integrado.

30 4. Método según cualquier reivindicación anterior que comprende además la etapa de iniciar una microfisura con un iniciador mecánico.

34 5. Método según las reivindicaciones 3 y 4, en el que el iniciador (60) mecánico es solidario con el dispositivo de fisuración integrado.

38 6. Método según cualquier reivindicación anterior, que comprende además la etapa de dirigir el haz láser alrededor de la boquilla (50) de temple a través de espejos (72) asociados con la boquilla de temple.

42 7. Método según cualquier reivindicación anterior, que comprende además la etapa de dirigir un líquido y un gas desde la boquilla (50) de temple sobre el sustrato en la región de temple.

46 8. Método según la reivindicación 7, que comprende además la etapa de aplicar un vacío a través de la boquilla (50) de temple para eliminar el líquido residual y controlar el flujo de aire.

49 9. Método según cualquier reivindicación anterior, que comprende además la etapa de elevar la temperatura del sustrato de una manera programada antes del trazado.

53 10. Método según la reivindicación 9, que comprende además la etapa de elevar la temperatura haciendo pasar la luz láser a través de uno de un elemento (84) de lente óptica o bien facetado o bien difrangente.

57 11. Aparato para dividir sustratos no metálicos que comprende:

62 un láser (22 24) para generar un haz láser; y

65 **caracterizado por**

69 un dispositivo de fisuración integrado para recibir el haz láser y dirigir el haz láser sobre un sustrato no metálico y templar el sustrato en una región de temple contenida dentro de los límites del punto del láser, comprendiendo dicho dispositivo de fisuración integrado

73 un alojamiento (30);

77 un sistema óptico (M_1 , 53) colocado en el alojamiento para recibir y dirigir el haz láser sobre el sustrato; y una boquilla (50) de temple montada sobre el alojamiento para templar el sustrato en una región de temple definida en el mismo.

81 12. Aparato según la reivindicación 11, en el que dicho sistema óptico comprende un espejo (M_1) y una lente (53) de elemento único.

85 13. Aparato según la reivindicación 12, en el que dicha lente de elemento único comprende un elemento (54) de lente de cilindro asimétrico doble.

ES 2 304 987 T3

14. Aparato según una cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, que comprende además un iniciador (60) mecánico montado sobre el alojamiento para iniciar una microfisura que recibe el haz láser que se había dirigido desde el dispositivo de fisuración integrado.

5 15. Aparato según una cualquiera de las reivindicaciones 11 a 14, que comprende además espejos (72) asociados con la boquilla (50) de temple para dirigir el haz láser alrededor de la boquilla de temple.

16. Aparato según la reivindicación 15, en el que dicha boquilla de temple comprende además canales (74, 76) de fluido para hacer pasar uno de al menos líquido o gas sobre el sustrato.

10 17. Aparato según la reivindicación 16, en el que dicha boquilla de temple comprende además canales tanto de líquido (74) como de gas (76) para hacer pasar tanto líquido como gas sobre el sustrato.

15 18. Aparato según la reivindicación 17, en el que dicha boquilla (50) de temple comprende además un canal (78) de vacío para aplicar un vacío a través de la boquilla de temple para eliminar cualquier líquido residual y controlar el flujo de gas.

19. Aparato según una cualquiera de las reivindicaciones 11 a 18, que comprende además un dispositivo (32) de aceleración del trazado por láser para dirigir luz láser sobre el sustrato antes del dispositivo de fisuración integrado y 20 elevar la temperatura del sustrato.

20 20. Aparato según la reivindicación 19, en el que dicho dispositivo (32) de aceleración del trazado por láser comprende además uno de un elemento (84) de lente o bien facetado o bien difrangente.

25

30

35

40

45

50

55

60

65

Proceso de separación por láser

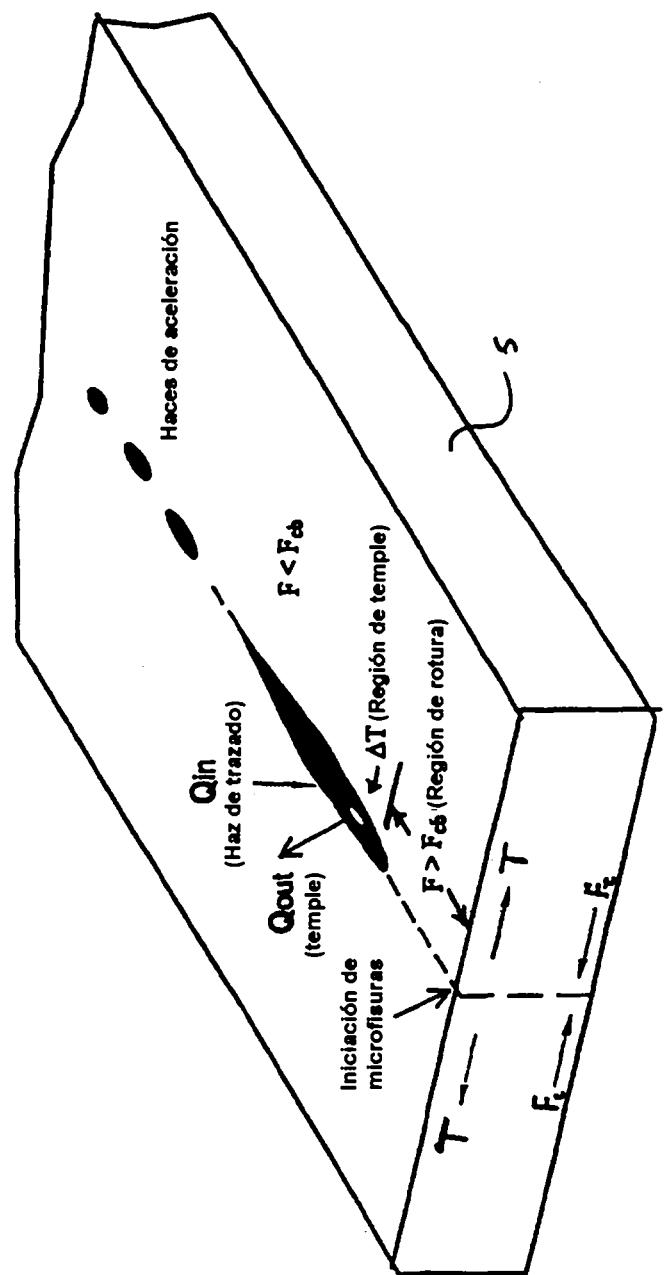
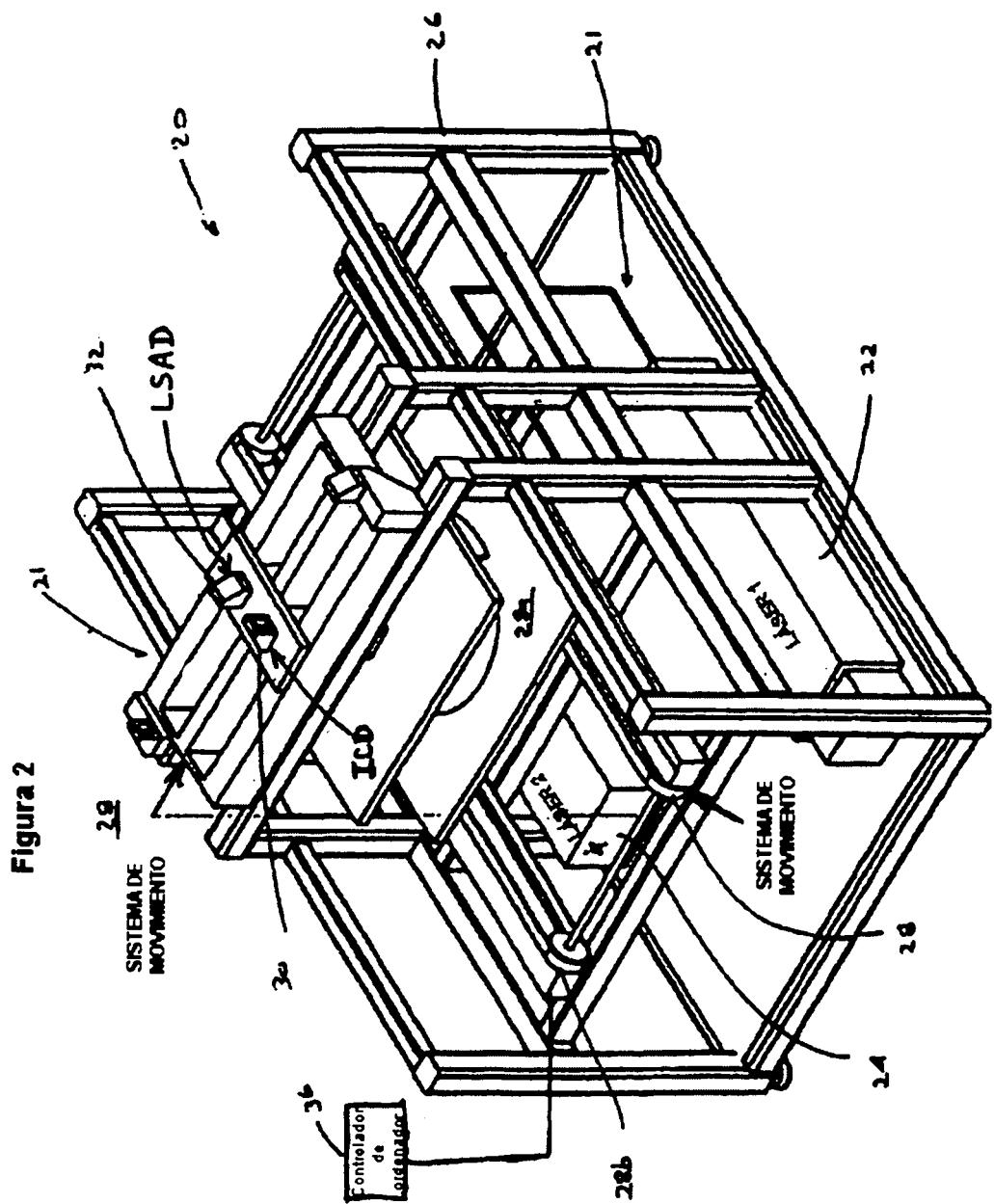


Figura 1



DISPOSITIVO DE FISURACIÓN INTEGRADO

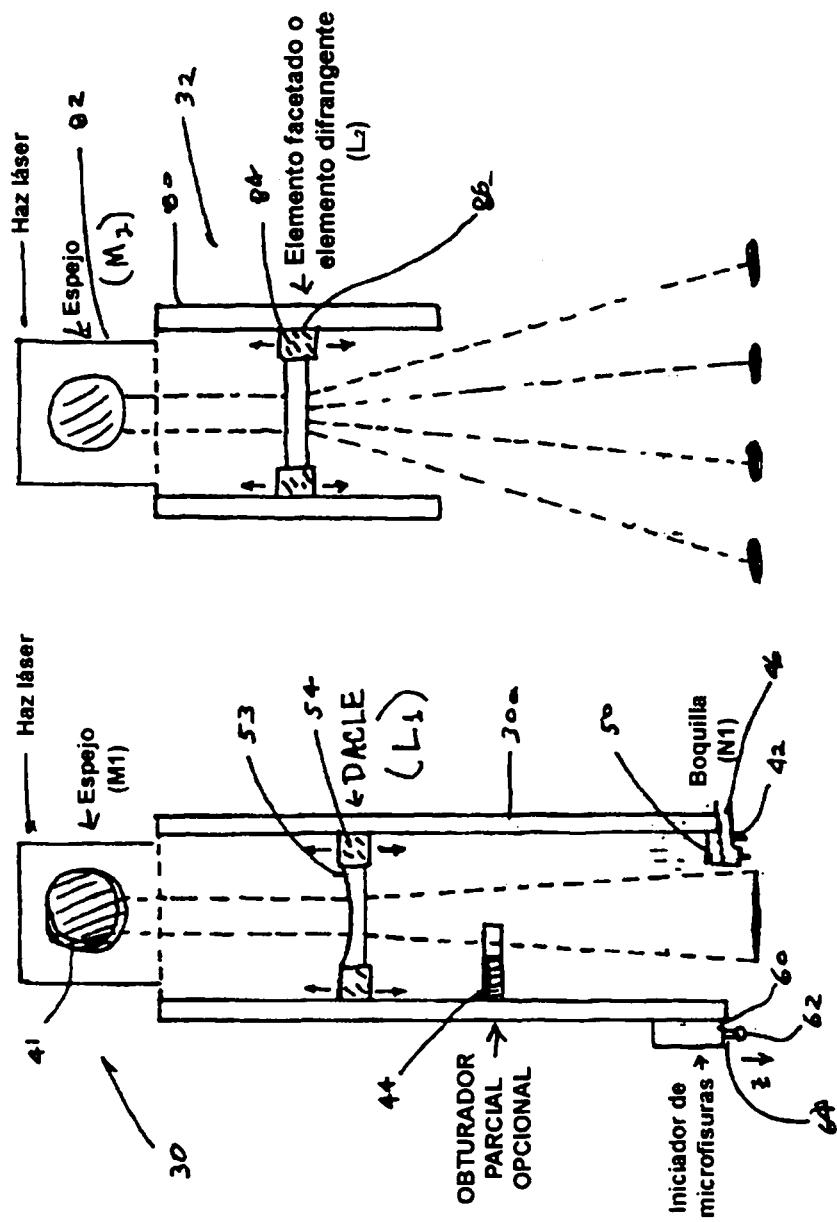


Figura 3a

DISPOSITIVO DE ACCELERACIÓN

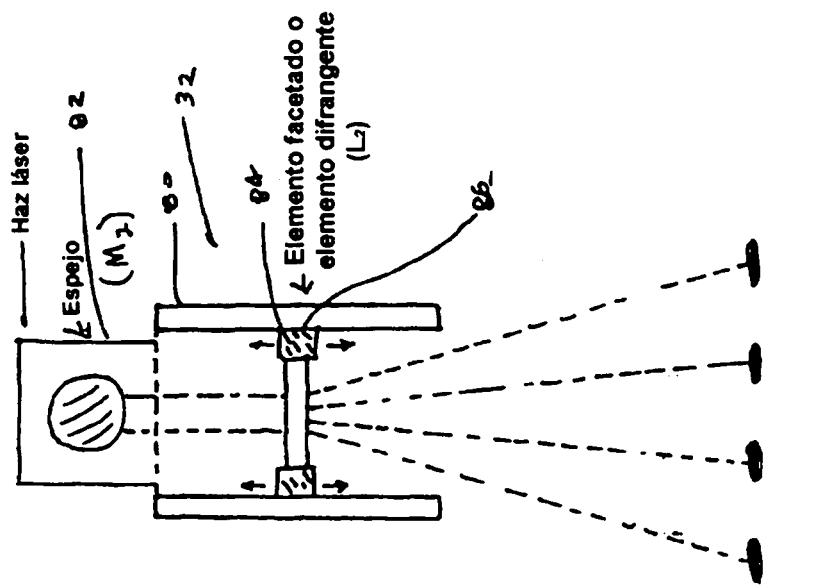
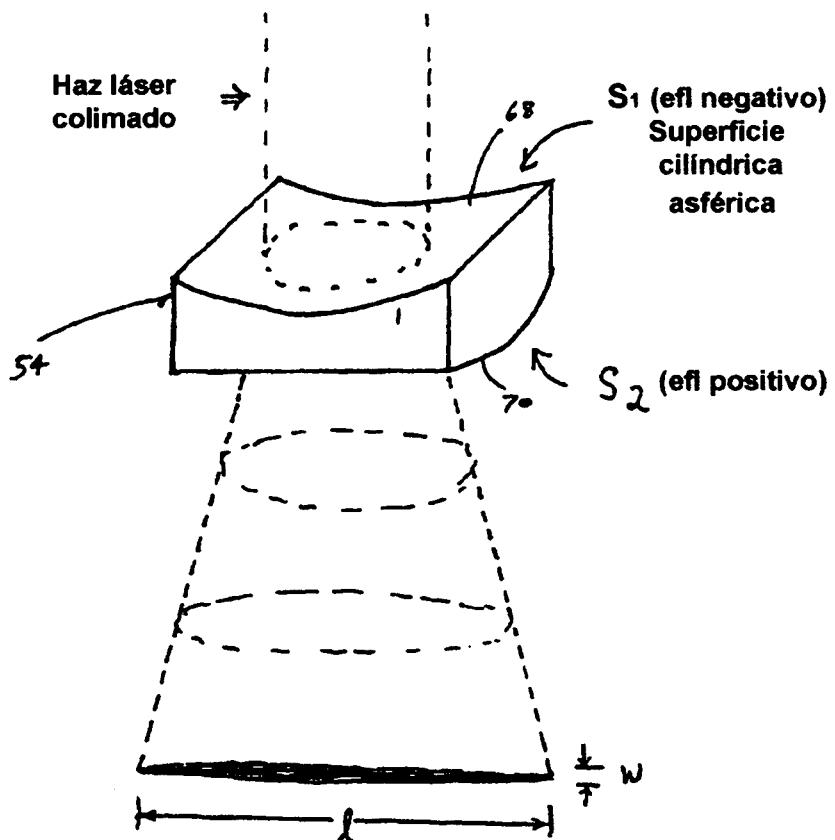


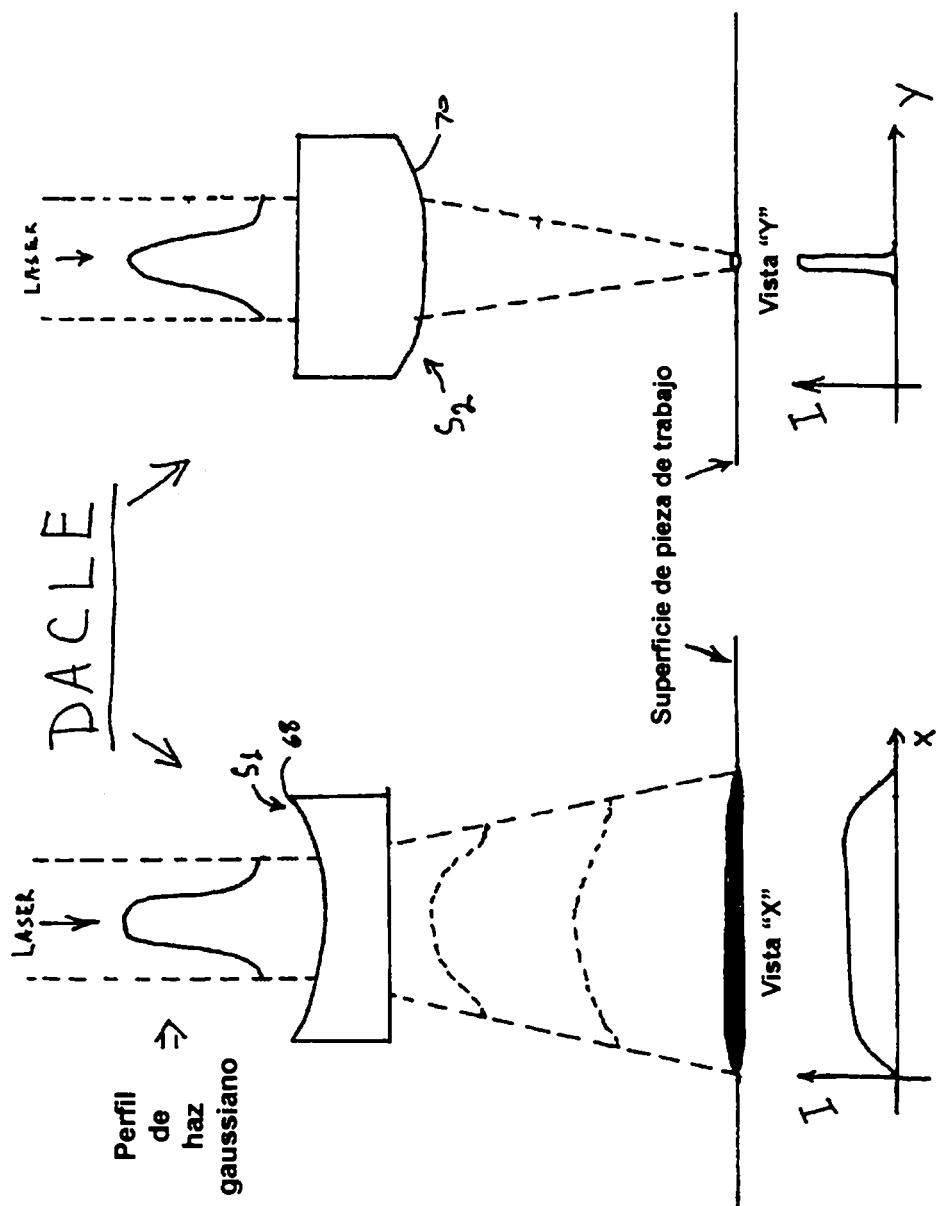
Figura 3b



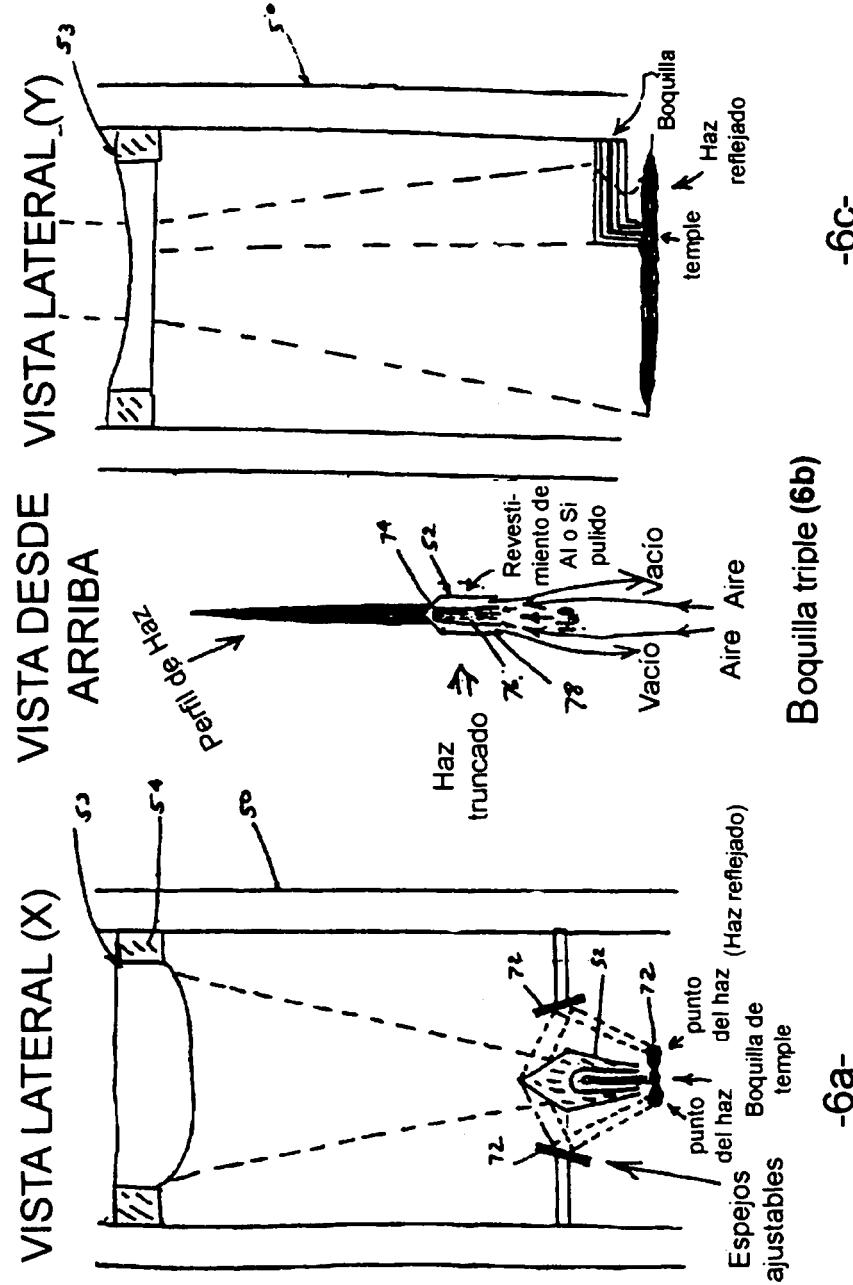
Elemento de lente de cilindro asimétrico doble

(D A C L E)

Figura 4



PERFILES DE HAZ (Figura 5)



CONFIGURACIÓN DE HAZ TRUNCADO
(Figura 6)

BOLSA DE CANAL INFLABLE

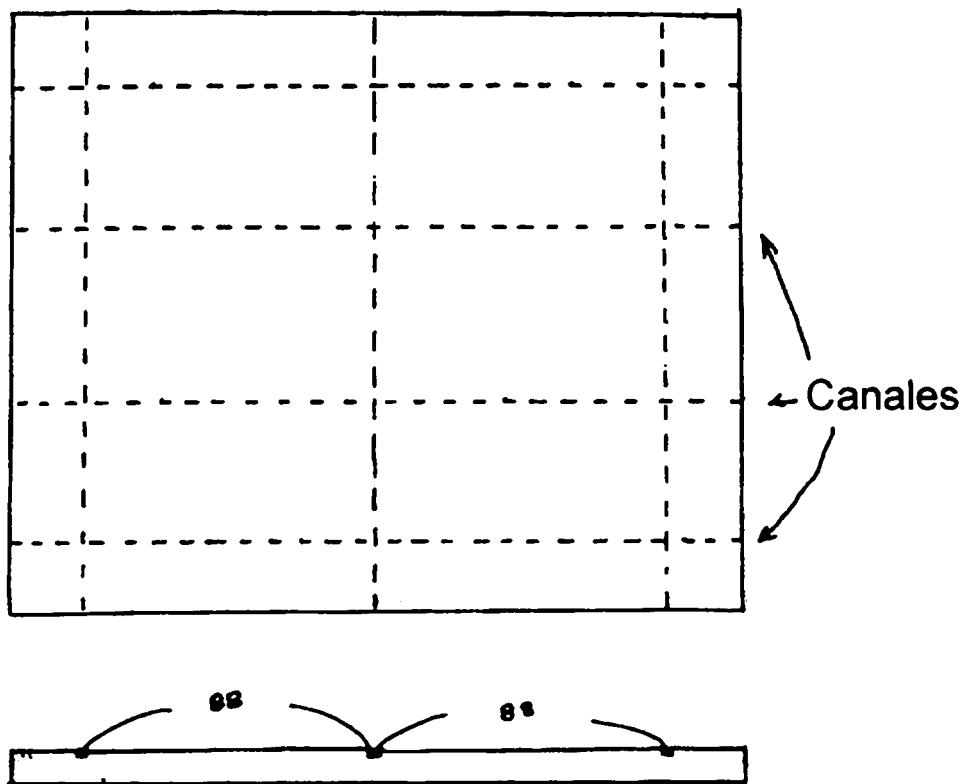


Figura 7

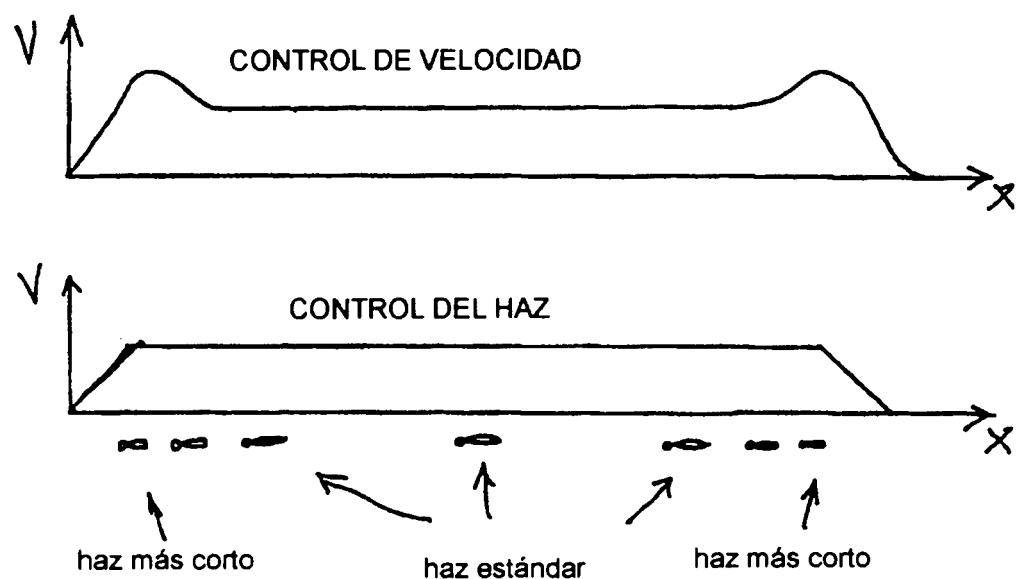
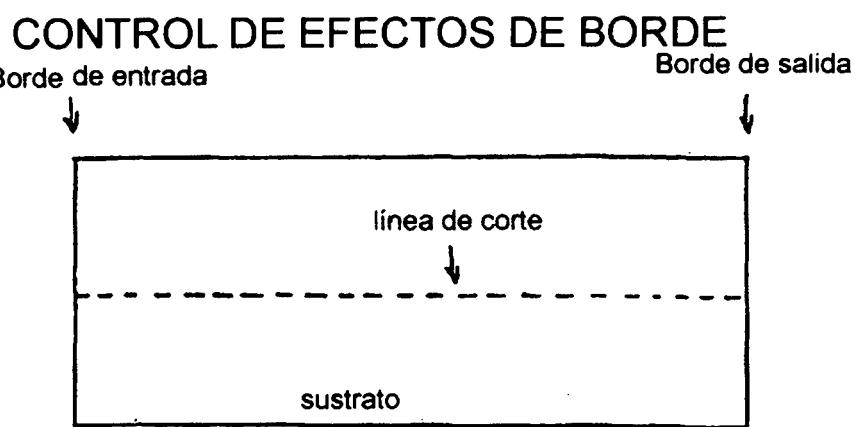


Figura 8

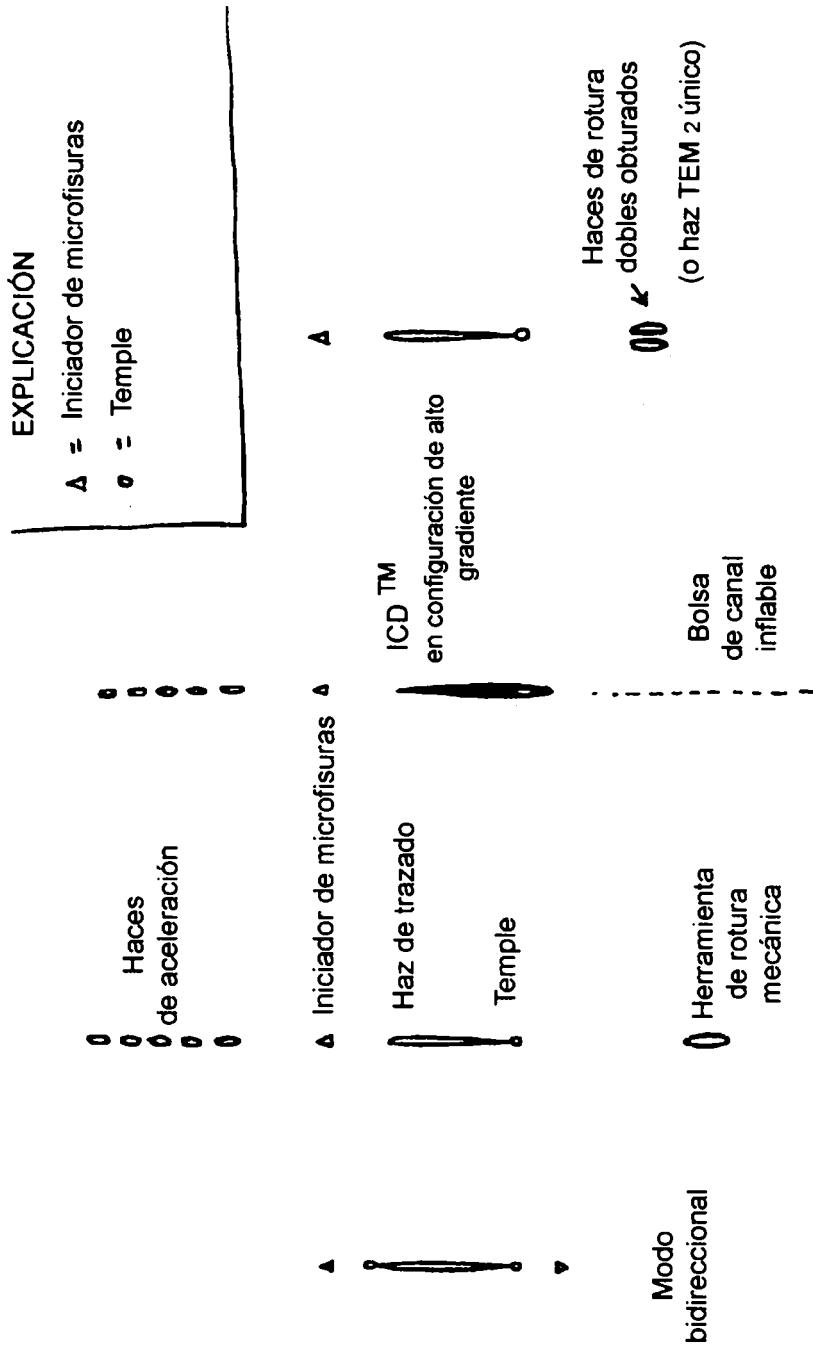


FIGURA 9
POSIBLES MODOS Y CONFIGURACIONES DE FUNCIONAMIENTO

ES 2 304 987 T3

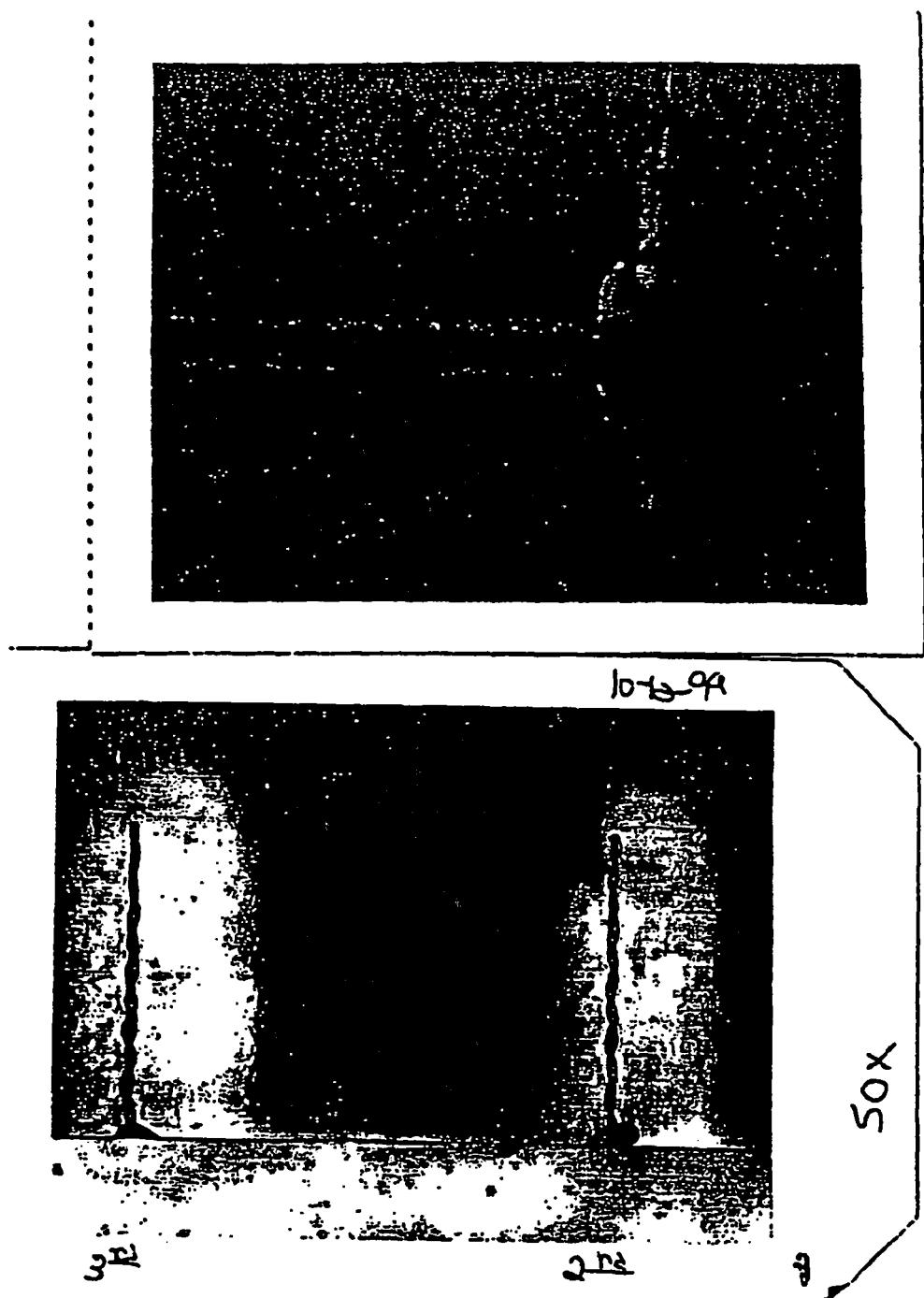


FIGURA 10