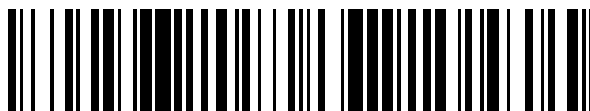


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 535 638**

51 Int. Cl.:

B23K 26/06 (2014.01)

B23K 26/38 (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.08.2009** **E 09740493 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.03.2015** **EP 2334465**

54 Título: **Procedimiento e instalación de corte por láser con modificación del factor de calidad del haz láser mediante un componente óptico difractinge**

30 Prioridad:

12.09.2008 FR 0856140

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.05.2015

73 Titular/es:

**L'AIR LIQUIDE SOCIÉTÉ ANONYME POUR
L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCÉDÉS
GEORGES CLAUDE (100.0%)
75 quai d'Orsay
75007 Paris , FR**

72 Inventor/es:

**BRIAND, FRANCIS;
BALLERINI, GAIA;
DEBECKER, ISABELLE;
MAAZAOUI, HAKIM y
VERNA, ERIC**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 535 638 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento e instalación de corte por láser con modificación del factor de calidad del haz láser mediante un componente óptico difractingo

- 5 La invención trata de un procedimiento de corte por láser y una instalación de corte por láser conforme al preámbulo de las reivindicaciones 1 y 12 (véase, por ejemplo, el documento FR-A-2897007), cuya eficacia ha sido mejorada merced a la utilización de un dispositivo óptico que permite modificar el factor de calidad del haz láser, en particular de un haz láser emergente de un dispositivo láser de fibras que contienen iterbio.

Los láseres de tipo CO₂ son empleados profusamente en la industria para cortar los materiales metálicos y no metálicos.

- 10 Los láseres de estado sólido, tales como láseres de fibras dopadas con iterbio, o de disco, también han beneficiado de avances importantes durante los últimos años y combinan potencias de varios kW con excelentes factores de calidad, contrariamente a los láseres de medio sólido masivo, es decir, los láseres de Nd:YAG.

- 15 Más allá de las características que hacen de los láseres de fibras unas fuentes láser perfectamente adaptadas para el corte industrial de materiales metálicos, en su caso una longitud de onda más corta que la de los láseres de CO₂, mejor absorbida por el metal y transportable por fibra óptica, una reducida ocupación de espacio y una mayor fiabilidad, se cuenta con que su gran luminancia mejore significativamente las prestaciones de corte.

Se asume generalmente que focalizar un haz láser de gran potencia en la pieza que se va a cortar con un diámetro de haz reducido y un escaso ángulo de divergencia puede llevar a una ganancia de velocidad y de calidad de corte, a saber, unas superficies de corte rectas y sin rebabas.

- 20 Además, la maximización de la distancia de Rayleigh del haz hace el procedimiento más tolerante en cuanto a posicionamiento del punto focal en el espesor del material.

- 25 Estas condiciones se cumplen cuando el procedimiento de corte pone en práctica fuentes láser que presentan un buen factor de calidad o BPP (por *Beam Parameter Product*). El grado de calidad de un haz láser se mide por su BPP, que se expresa como igual al producto del radio ω en la cintura del haz láser por su semi-ángulo de divergencia θ , tal y como se ilustra en las figuras 5a y 5b.

Se comprende a raíz de ello por qué muchas veces se da preferencia a la elección de un haz láser de pequeño BPP para garantizar unas buenas prestaciones de corte. Esto se comprueba en particular en el corte de materiales metálicos de escasos espesores, es decir, menos de 4 mm, donde un BPP más pequeño generalmente permite ganar velocidad de corte, merced a una mejor eficacia del procedimiento.

- 30 Sin embargo, también se cuenta con que un BPP más grande favorezca la eliminación de las rebabas que permanecen ligadas inferiormente a las superficies de corte, tras el paso del haz, particularmente en el caso de los espesores más grandes, típicamente de 4 mm y más. En efecto, en el transcurso de ensayos de corte en acero dulce y acero inoxidable, se ha obtenido una mejor eliminación de las rebabas utilizando un haz láser de mayor BPP para chapas de 8 a 10 mm de acero dulce y de 4 mm de acero inoxidable. La realidad es que el impacto de un haz
35 láser de mayor diámetro sobre la pieza que se va a cortar permite abrir una sangría de corte más ancha, lo cual favorece la penetración y la eficiencia del gas de corte.

- 40 Más allá de este fenómeno, el hecho de cambiar el BPP del haz focalizado permite modificar la distribución espacial de la energía del haz en toda la profundidad de corte. Así, cuando se utiliza un haz láser para aplicaciones de corte, la posibilidad de cambiar su BPP en función de la gama de espesores que hayan de cortarse reviste gran interés, particularmente para las aplicaciones exigentes tales como el corte de contornos pequeños, donde es un problema crucial la eliminación de las rebabas residuales.

Sin embargo, el BPP es un parámetro impuesto por las características de la fibra óptica que emite el haz láser y por las características de la fuente láser. Ahora bien, este parámetro influye sobre las prestaciones, especialmente velocidad y calidad de corte, de un procedimiento de corte mediante láser de fibras.

- 45 Una solución para optimizar las prestaciones del procedimiento sería trabajar con un lote de fibras ópticas de diámetros diferentes para disponer de varios valores de BPP. Esta solución, no obstante, no es concebible en un medio industrial, donde no se recomienda la manipulación intensiva de las fibras. Obliga esta, asimismo, a la utilización de un acoplador de fibras, elemento este que es costoso y cuyas prestaciones se rebajan con el tiempo. Es conocida, por otro lado, por el documento EP-A-1623788, una solución para modificar el factor de calidad de un
50 haz láser de CO₂ consistente en introducir, en la trayectoria del haz, una óptica asférica o varias lentes esféricas de focales cortas. No obstante, lo cierto es que esta solución utiliza dispositivos ópticos tradicionales que no permiten modificar eficazmente el BPP de un haz láser de fibras.

En este contexto, se desea poder mejorar, de manera simple, la eficacia de un procedimiento de corte mediante láser de fibras, especialmente velocidad y/o calidad de corte, sin tener que recurrir a varias fibras conducentes a

diferentes BPP, así como dimensionar el BPP del haz láser, especialmente en función del espesor del material que se va a cortar y/o de la composición de dicho material que se va a cortar, con el fin de optimizar las prestaciones de velocidad y calidad del procedimiento de corte.

5 Es entonces una solución a este problema un procedimiento de corte mediante haz láser de una pieza que ha de cortarse de acuerdo con la reivindicación 1.

Según sea el caso, el procedimiento de la invención puede comprender una o varias de las siguientes características:

- Se establece el dispositivo óptico apto y diseñado para modificar el BPP del haz láser en la trayectoria del haz láser, preferentemente entre la fibra de transporte y la óptica de focalización.
- 10 - El BPP del haz incidente, antes de su paso por el dispositivo óptico de modificación de BPP, está comprendido entre 0,33 y 25 mm.mrad, preferentemente menor o igual que 10 mm.mrad, en particular, en el caso de una fibra óptica de transporte, de diámetro menor o igual que 200 μm .
- El dispositivo óptico de modificación de BPP es apto para multiplicar el BPP del haz láser por un factor multiplicador mayor o igual que 1,5 y/o menor o igual que 3.
- 15 - El dispositivo óptico de modificación de BPP es al menos un elemento óptico difractinge transmisivo o reflexivo.
- El cabezal de focalización comprende al menos una óptica de focalización y el dispositivo óptico apto y diseñado para modificar el BPP del haz láser incidente, preferentemente el cabezal de focalización comprende además al menos una óptica de colimación de haz.
- 20 - El dispositivo óptico transmisivo está realizado en sílice fundida, en cuarzo, en vidrio especial, en sulfuro de cinc (ZnS) o en seleniuro de cinc (ZnSe), preferentemente comprende un tratamiento antirreflectante.
- El dispositivo óptico tiene un espesor comprendido entre 0,5 y 10 mm, preferiblemente entre 3 y 7 mm, y ventajosamente es de forma circular con un diámetro comprendido preferentemente entre 25 y 75 mm.
- 25 - El dispositivo óptico es de tipo reflexivo que funciona con un ángulo de incidencia (α) comprendido entre 5 y 50°, y está realizado en sílice fundida, en cuarzo, en vidrio especial, en sulfuro de cinc (ZnS), en seleniuro de cinc (ZnSe) o en material metálico, y preferentemente comprende un tratamiento reflectante.
- El dispositivo óptico está diseñado para modificar el BPP y la distribución de intensidad del haz inicial, preferiblemente de tipo gaussiano o pseudo-gaussiano, en una distribución de intensidad distinta, por ejemplo del tipo anillo, es decir, "hollow-ring" o "doughnut".
- 30 - El dispositivo óptico combina una función difractiva y una función distinta, en particular una función de focalización del haz láser.
- La longitud de onda del haz láser está comprendida entre 1,06 y 1,10 μm .
- La potencia del haz láser está comprendida entre 0,1 y 25 kW.
- Se genera un haz láser por medio de una fuente láser de fibras que contienen iterbio o erbio,
- 35 preferentemente fibras que contienen iterbio.

La invención se refiere también a una instalación de corte por láser que comprende una fuente láser de acuerdo con la reivindicación 12.

A continuación se comprenderá mejor la invención merced a la siguiente descripción, llevada a cabo con referencia a las figuras que se acompañan, de las cuales:

40 La figura 1 presenta un ejemplo de instalación de corte por láser sin puesta en práctica de la invención;

las figuras 2 a 4 presentan ejemplos de puesta en práctica de la invención;

las figuras 5a y 5b ilustran el haz láser focalizado con sus principales parámetros, radio en la cintura y divergencia del haz láser, en ausencia o en presencia de un elemento óptico difractinge según la invención en la trayectoria del haz láser, y esquematizan un ejemplo de efecto que puede tener tal elemento sobre los parámetros del haz láser focalizado;

45 la figura 6 representa una medida experimental de la evolución del radio del haz láser focalizado a lo largo del eje de propagación, antes y después de la inserción de un elemento óptico difractinge según la invención;

las figuras 7 y 8 presentan resultados de ensayos de corte efectuados sobre acero dulce y sobre acero inoxidable que permiten comparar las prestaciones obtenidas con haces láser focalizados que presentan valores diferenciados de BPP, y

la figura 9 es un esquema de principio de una forma de realización de una instalación según la invención.

- 5 Tal como se ilustra en las figuras 1 a 4 y 9, para realizar un corte mediante haz láser 10, es usual utilizar una instalación de corte por láser que comprende una fuente láser 1, también denominada generador láser o dispositivo láser, acoplada a una fibra de transporte 2 para generar un haz láser incidente 10 que se propaga hasta un cabezal de focalización 3 que incluye una boquilla láser 4 en posición enfrentada a una pieza que se va a cortar 30.

- 10 La fuente láser 1 es ventajosamente una fuente de fibras que contienen iterbio, es decir, que comprende varias fibras ópticas que comprenden, o dopadas con, iterbio (Yb), las cuales sirven para generar la radiación láser. Tales fuentes láser de fibras Yb son asequibles corrientemente en el mercado.

De manera alternativa, la fuente láser 1 puede ser también una fuente de fibras que contienen erbio.

- 15 El cabezal de focalización 3 es alimentado con gas asistente con interposición de una entrada de gas 5 acondicionada en la pared de dicho cabezal de focalización 3 y por cuya entrada 5, procedente de una fuente de gas, por ejemplo una o varias botellas para gas, un tanque de almacenamiento o también una o varias canalizaciones de gas, tal como una red de distribución de gas, se introduce, aguas arriba de la boquilla 4, un gas o mezcla gaseosa a presión y se descarga por esta boquilla 4 en dirección a la pieza 30 que se va a cortar mediante haz láser.

- 20 El gas asistente sirve para expulsar el metal fundido fuera de la sangría de corte 12 obtenida por fusión del metal por medio del haz láser 10 que está focalizado en la posición 11 con relación a la superficie de la pieza 30 que se va a cortar.

La elección del gas se lleva a cabo en función de las características del material que se va a cortar, especialmente de su composición, de su clase, de su espesor.

- 25 Por ejemplo, para el corte del acero se puede utilizar aire, oxígeno, mezclas de nitrógeno/oxígeno o helio/nitrógeno, mientras que para cortar el aluminio o el acero inoxidable, se puede utilizar nitrógeno, mezclas de nitrógeno/hidrógeno, o argón/nitrógeno.

De hecho, la pieza 30 que va a cortarse mediante láser puede estar conformada a partir de diferentes materiales metálicos, tal como el acero, el acero inoxidable, el acero dulce o las aleaciones ligeras, como es el aluminio y sus aleaciones, e incluso el titanio y sus aleaciones, y tener un espesor típicamente comprendido entre 0,1 mm y 30 mm.

- 30 A lo largo del procedimiento de corte, el haz 10 puede estar focalizado (en 11) en o cerca de la pieza 30, es decir, al exterior, es decir, unos milímetros por encima o por debajo de la superficie superior 30a o inferior 30b de la pieza 30; en el interior, es decir, en el espesor de la pieza; o también sobre la cara superior 30a o inferior 30b de la pieza 30 que se va a cortar. Preferentemente, la posición 11 del punto focal queda situada entre 5 mm por encima de la superficie superior 30a y 5 mm por debajo de la superficie inferior 30b de la pieza 30.

- 35 El haz láser 10 utilizado en el procedimiento de corte de la invención está generado preferiblemente por un láser de estado sólido, preferiblemente un láser de fibras cuya longitud de onda está comprendida preferiblemente entre 1,06 y 1,10 μm . La potencia del haz láser 10 se sitúa típicamente entre 0,1 y 25 kW, preferiblemente entre 1 y 8 kW.

- 40 El generador láser 1 puede funcionar en modo continuo, cuasi-continuo o por pulsos. El efecto láser, es decir, el fenómeno de amplificación de la luz que sirve para generar la radiación láser, se obtiene por medio de un medio amplificador, preferiblemente bombeado por diodos láser y constituido a partir de una o típicamente de varias fibras ópticas dopadas, preferiblemente de sílice dopadas con iterbio. El haz láser es emitido a continuación y transportado por una o varias fibras ópticas de transporte, preferentemente de sílice fundida cuyo diámetro está comprendido típicamente entre 50 y 200 μm ; la fibra de transporte no contiene iterbio.

- 45 Según las características de la fuente láser 1 y el diámetro de la fibra óptica de transporte 2 de haz, los valores de BPP del haz incidente 10 y del haz focalizado inicial están comprendidos entre 0,33 y 25 mm.mrad, preferiblemente menores o iguales que 10 mm.mrad en el caso de fibras de transporte de diámetro menor o igual que 200 μm .

- 50 Tal como se ve, a continuación se utilizan dispositivos ópticos 13, 14, 15 para dirigir y focalizar el haz láser 10 hacia la pieza 30 que se va a cortar y, de acuerdo con la invención, uno o unos dispositivos ópticos 16 para modificar o ajustar el BPP del haz láser incidente, en orden a obtener un haz focalizado modificado 10b (figuras 2 a 4 y 9) que presenta un BPP modificado diferente del BPP inicial del haz focalizado inicial, es decir, el haz 10a cuyo BPP no ha sido modificado, tal como según la técnica anterior (figura 1).

Más exactamente, una o unas ópticas de colimación 13, de redirección 15 y de focalización 14 permiten propagar el haz láser 10 suministrado por la fibra de transporte 2 hacia la pieza 30. Estos componentes o elementos ópticos

pueden trabajar en transmisión o en reflexión. Así, los sistemas ópticos de colimación y/o de focalización pueden estar compuestos a partir de lentes o bien de espejos de tipo esférico o esférico, por ejemplo espejos parabólicos o elípticos.

5 Estos componentes ópticos 13 a 15 se pueden seleccionar de entre los diferentes tipos de espejos y de lentes disponibles en el mercado. Pueden estar realizados en materiales del tipo sílice fundida, cuarzo, vidrios especiales, ZnS, ZnSe, o metálicos, por ejemplo cobre, o cualquier otro material susceptible de ser utilizado en un cabezal de focalización 3 de haz láser 10.

10 Según la invención, para mejorar la eficacia del procedimiento de corte mediante haz láser 10 suministrado por la fuente láser de fibras 1 y la fibra de transporte 2, en la trayectoria del haz 10 se establecen uno o varios dispositivos o componentes ópticos 16, preferentemente en el cabezal de corte por láser 3, que permiten obtener un haz láser focalizado modificado que tiene un BPP diferente del BPP inicial dado del haz láser 10, sin elevar la complejidad de la instalación.

15 Más exactamente, el dispositivo óptico 16 objeto de la invención está diseñado para modificar el BPP del haz láser focalizado, de manera que su BPP modificado sea diferente del BPP inicial dado del haz emitido por la fibra en un factor multiplicador comprendido entre 1,2 y 5, llevando así a un aumento del BPP, preferentemente de al menos 1,5.

20 Tal como se ilustra en las figuras 5a y 5b, el dispositivo óptico 16 produce un cambio del valor del BPP del haz focalizado inicial modificando los parámetros principales del haz láser focalizado 10a: el radio en la cintura ω_a y la divergencia θ_a . El dispositivo óptico 16 permite así obtener un haz focalizado 10b cuyo BPP es diferente del propio del haz focalizado 10a obtenido en ausencia de dicho dispositivo óptico 16.

El haz focalizado 10b tiene una distribución de intensidad similar a la del haz 10a no modificado, preferiblemente del tipo gaussiano o pseudo-gaussiano, o una distribución de intensidad diferente, por ejemplo del tipo anillo, es decir, "hollow-ring" o "doughnut".

25 Las figuras 2 a 4 ilustran diferentes formas de realización de la invención, a saber, un modo transmisivo y un modo reflexivo.

30 En una primera forma de realización, el dispositivo óptico 16 de la invención opera en transmisión (figuras 2 y 3). En modo transmisivo, los materiales utilizados para la fabricación del dispositivo óptico 16 pueden ser sílice fundida, cuarzo, vidrio especial, materiales del tipo ZnS, ZnSe, o cualquier otro material transparente a la longitud de onda de trabajo. Las dos superficies del componente están tratadas preferiblemente por deposición de un revestimiento "antirreflectante" o similar. No obstante, el componente óptico 16 también puede funcionar sin tratamiento "antirreflectante".

35 En este caso, las ópticas de colimación, dirección y focalización del haz integradas en el cabezal de corte 3 funcionan en transmisión (figuras 1 y 2) o comprenden al menos un componente reflexivo, que funciona a un ángulo de incidencia α comprendido entre 5 y 50°, por ejemplo un espejo plano (figura 3) o un espejo de forma esférica o esférica.

40 De un modo alternativo, el dispositivo de modificación del BPP incluye al menos un elemento óptico configurado para funcionar en reflexión, a un ángulo de incidencia α comprendido entre 5 y 50° (figura 4). En reflexión, al menos una cara del componente óptico 16 está revestida con un tratamiento reflectante. Los materiales utilizados para la fabricación del dispositivo óptico 16 pueden ser sílice fundida, cuarzo, vidrio especial, materiales del tipo ZnS, ZnSe, o metálicos, por ejemplo cobre.

Además, el dispositivo de modificación del BPP del haz focalizado 10a puede poner en práctica otras funciones ópticas del tipo focalización, corrección u homogeneización de haz. Preferentemente, el dispositivo óptico de la invención combina una función de focalización y una función de modificación del BPP del haz láser focalizado.

45 El espesor del componente 16 está comprendido típicamente entre 0,5 y 10 mm, preferentemente entre 3 y 7 mm. Estos valores de espesores son preferibles en el caso en que se hace que el dispositivo soporte intensas presiones o temperaturas, es decir, presiones que pueden llegar a 25 bares y temperaturas de más de 100 °C. El componente 16 es típicamente de forma circular y su diámetro está comprendido entre 25 y 75 mm aproximadamente, y preferiblemente igual al de los elementos ópticos de colimación y de focalización del cabezal de corte 3.

50 La siguiente descripción permitirá comprender mejor la naturaleza del dispositivo óptico en el que radica la invención.

55 El dispositivo óptico 16 utilizado para la modificación del BPP del haz láser está determinado a partir de uno o varios elementos ópticos difrangentos transmisivos o reflexivos, preferiblemente un elemento óptico difractinge transmisivo o reflexivo. El componente permite introducir una modulación espacial de la fase en el frente de ondas del haz incidente 10. Utilizando un motivo de modulación de fase, el frente de ondas del haz incidente 10 puede ser alterado,

ajustado o modificado en orden a obtener un haz focalizado 10b poseedor del BPP de valor que interese, diferente del valor de BPP del haz incidente 10.

El dispositivo óptico 16 va incorporado en el cabezal de corte por láser (3, 4) y ubicado en la trayectoria óptica del haz láser 10, tal y como se ilustra en la figura 9. Preferentemente, el dispositivo óptico 16 apto y diseñado para modificar el BPP del haz láser se halla posicionado antes de la o las ópticas de focalización 14, y en la trayectoria del haz láser 10 colimado.

De acuerdo con la invención, se utiliza un elemento óptico 16 difrangible para modificar el BPP del haz focalizado 10a, tal como se ilustra en la figura 1. La superficie de la óptica 16 difractiva presenta microestructuras que están grabadas en el sustrato del componente 16 a profundidades variables, del orden de la longitud de onda de trabajo. Estos microrrelieves conforman un mapa de fase en 2D que induce la difracción y el desfase localmente variable de la onda incidente. Típicamente, el elemento óptico 16 difrangible presenta profundidades de grabados en dos o en múltiples niveles. Así, el mapa de modulación de fase del elemento óptico 16 se constituye a partir de dos valores de desfase o más. La distribución de fase del elemento 16 puesto en práctica está diseñada para modificar el BPP del haz láser, en orden a obtener un haz focalizado 10b cuyo BPP es diferente del propio del haz focalizado 10a obtenido en ausencia del elemento óptico 16 difrangible.

Ejemplos de mapas de modulación espacial de fase que pueden ser implementados en componentes ópticos 16 de conformación de haz, así como ejemplos de técnicas utilizadas para la fabricación de tales componentes, vienen dados por los siguientes documentos, a los cuales remitimos para obtener más información sobre el particular:

- "Diffractive Optics: Design, Fabrication and Test", D. C. O'Shea et al., SPIE Press, Bellingham, Washington (2003);

- "Creation of Diffractive Optical Elements by One Step E-beam Lithography for Optoelectronics and X-ray Lithography", A. A. Aristov et al., Baltic Electronics Conference, October 7-11, 1996, p. 483-486, Tallinn, Estonia; y

- "Development of Diffractive Beam Homogenizer", T. Hirai et al., SEI Technical Review, n° 60, June 2005, p. 17-23.

Además, las ópticas difractivas 16 pueden realizar las mismas funciones ópticas que los componentes refractivos tradicionales. Consecuentemente, en un cabezal de corte 3 también puede ir incorporado un dispositivo óptico 16 que combina una función difractiva 16 y una función diferente, tal como focalización 14 del haz láser 10.

Con objeto de someter a prueba la eficiencia de la utilización de un elemento óptico 16 según la invención, se efectuaron ensayos utilizando una instalación según la figura 3 para ajustar / modificar el BPP de un haz láser 10 de una potencia de 2 kW generado por un generador láser 1 de fibras Yb y una fibra de transporte 2.

Las figuras 5a y 5b esquematizan las configuraciones probadas, respectivamente sin y con elemento óptico 16, así como el efecto que la incorporación de tal elemento puede tener sobre los principales parámetros del haz focalizado.

El BPP del haz láser se modificó con el concurso de un elemento óptico difrangible 16, tal como se ilustra en la figura 5b. El elemento 16 se montó en un cabezal de corte 3, en la trayectoria óptica del haz 10 colimado que precede al sistema de focalización 14.

A título comparativo, se utilizó la misma instalación pero sin incorporación del elemento óptico difrangible 16 aguas abajo del elemento de colimación 13, tal como se ilustra en la figura 5a.

El elemento óptico 16 utilizado es un elemento difrangible de sílice fundida. Con este elemento óptico 16, el efecto obtenido es una expansión del radio en la cintura del haz láser focalizado, así como un aumento de su divergencia, tal y como se ilustra mediante la línea discontinua (---) de la figura 5b, que esquematiza el haz focalizado modificado 10b con relación al haz focalizado 10a obtenido cuyo BPP no está modificado. El haz 10b posee un radio en la cintura ω_b y una divergencia θ_b diferentes de aquellos del haz focalizado 10a en ausencia de elemento óptico 16.

Medidas de cáusticas de haz focalizado, realizadas merced a un analizador de haz, permiten confirmar el aumento del BPP del haz focalizado tras la introducción del elemento óptico 16 en la trayectoria del haz láser 10 colimado mediante comparación con una ausencia de tal elemento óptico 16.

La figura 6 presenta los resultados de medidas experimentales de la evolución del radio del haz focalizado a lo largo del eje óptico de propagación, antes y después de la inserción del elemento óptico difrangible 16.

Estos trazados de cáusticas se realizaron midiendo el radio del haz para el cual el 86 % de la potencia del láser queda contenido en un disco de este radio, y ello en sucesivos planos de propagación que se sitúan en márgenes de 10 milímetros a ambos lados de la cintura del haz focalizado.

Tras la introducción del elemento óptico 16, se observó un aumento del BPP, resultante del aumento del radio en la

cintura del haz focalizado y de su divergencia. Con la instalación probada, el valor de BPP del haz focalizado inicial 10a es igual a 3 mm.mrad sin el elemento óptico 16 (trazo continuo en la figura 6), mientras que, con el elemento óptico 16, el BPP del haz focalizado modificado 10b es igual a 8,6 mm.mrad (trazo discontinuo en la figura 6).

- 5 Queda así demostrado que, incorporando una óptica difractiva en un dispositivo de focalización de haz láser tal como un cabezal de corte, es posible hacer llegar el BPP del haz focalizado a valores que no pueden ser obtenidos con el simple concurso de dispositivos ópticos tradicionales, tales como lentes o espejos, ya que estos elementos no son aptos para modificar significativamente el BPP de un haz láser.

- 10 En cualquier caso, integrando, en un cabezal de corte por láser (3, 4), un dispositivo óptico 16 apto para modificar el BPP del haz láser incidente, el BPP del haz focalizado 10a se puede ajustar en función de la gama de espesores cortados, en orden a optimizar las prestaciones del procedimiento en cuanto a velocidad y a calidad de corte.

Finalmente, el BPP inicial del haz láser focalizado es multiplicado por un factor comprendido entre 1,2 y 5, pudiendo ser igualmente modificado el perfil de intensidad inicial del haz, a saber, cuasi-gaussiano, anillo u otro perfil.

- 15 Con objeto de demostrar el interés del procedimiento de la invención, se efectuaron ensayos de corte sobre acero dulce y sobre acero inoxidable, con el concurso de un láser de fibras que emite una radiación de 1,07 μm de longitud de onda con una potencia de 2 kW, utilizando haces con BPP diferentes. Más exactamente, se compararon las prestaciones obtenidas en cuanto a velocidad y a calidad de corte con haces focalizados que presentaban dos valores de BPP diferenciados, a saber, 2,4 mm.mrad y 4,3 mm.mrad.

- 20 El cabezal de corte utilizado estaba constituido a partir de un colimador de una distancia focal de 55 mm, combinado con lentes de focalización de distancias focales iguales a 127 mm y 190,5 mm según el material cortado.

Se comparan, para cada material, las prestaciones obtenidas con los dos valores de BPP diferenciados e idénticas combinaciones ópticas.

- 25 En el caso del acero dulce, los ensayos se realizaron sobre espesores de entre 2 y 10 mm, para presiones de oxígeno de entre 0,5 y 1,6 bares, mientras que, en el caso del acero inoxidable, los ensayos se realizaron sobre espesores de entre 1,5 y 8 mm, para presiones de nitrógeno de entre 15 y 19 bares.

En todos los casos, el gas asistente se suministró mediante boquillas de diámetros comprendidos entre 1 y 3 mm.

La figura 7 presenta las velocidades de corte alcanzadas en función del espesor de acero dulce sometido a tratamiento y del BPP del haz focalizado puesto en práctica durante el corte.

- 30 La curva en trazo continuo (—) une los puntos obtenidos para un haz focalizado cuyo BPP es igual a 2,4 mm.mrad, mientras que la curva discontinua (- - -) une los puntos obtenidos para un haz focalizado cuyo BPP es igual a 4,3 mm.mrad.

Los símbolos rellenos corresponden a una buena calidad de corte (ausencia de rebabas, rugosidad aceptable), mientras que los símbolos vacíos significan que hay rebabas presentes y que la calidad no es industrialmente aceptable.

- 35 Los resultados obtenidos sobre acero dulce muestran que el haz focalizado de menor BPP permite cortar más deprisa los espesores finos (2 mm), en tanto que el haz focalizado de más elevado BPP permite mejorar la calidad de corte para los espesores de 8 y 10 mm.

- 40 Por lo tanto, se comprende de inmediato el interés industrial que reviste el poder modificar simplemente el BPP de un haz láser focalizado, de conformidad con la invención utilizando por ejemplo un componente de fase adaptado que permite, en el presente caso, pasar de un BPP de 2,4 mm.mrad a un BPP de 4,3 mm.mrad, en orden a tener en cuenta las características y especificidades de un material que se vaya a cortar, en particular su composición, su espesor.

- 45 Según el mismo principio, la figura 8 presenta los resultados obtenidos sobre acero inoxidable. Tal como puede verse, las chapas de 2 mm se cortan a mayor velocidad con el haz focalizado de BPP igual a 2,4 mm.mrad y la calidad de corte se ve mejorada en las chapas de 4 mm con el haz focalizado de BPP igual a 4,3 mm.mrad. Los valores de BPP son obtenidos igual que en los anteriores ensayos.

Estos resultados confirman el interés del procedimiento y del dispositivo de la invención, puesto que demuestran que una elección racional del BPP del haz láser focalizado, principalmente en función del espesor del material tratado, permite optimizar las prestaciones del procedimiento de corte por láser, en cuanto a velocidad y a calidad de corte.

- 50 La elección del valor de BPP mejor adaptado para el corte de una chapa de características dadas, especialmente en cuanto a composición o clase metalúrgicas y/o a espesor, y/o al componente de fase o similar que habrá de utilizarse para obtener dicho BPP que interesa, puede llevarse a cabo empíricamente mediante ensayos de corte

sobre muestras de la chapa que se va a cortar, con un haz láser focalizado que presente diferentes BPP o con diferentes componentes de fase que conduzcan a diferentes factores multiplicadores, y comparación de los resultados así obtenidos.

- 5 El procedimiento de la invención radica, por tanto, en la utilización de un láser de fibras de iterbio y una puesta en práctica de al menos un elemento óptico difractinge transmisivo o reflexivo que permite un cambio del factor de calidad o BPP (Beam Parameter Product) del haz láser focalizado, es decir, el haz de corte, para tener en cuenta especialmente las características del material que se va a cortar, modificando así las características de propagación y la distribución de energía del haz láser focalizado a lo largo de la sangría de corte.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de corte mediante haz láser (10) de una pieza (30) que se va a cortar, en el que:
 - a) se genera un haz láser incidente (10) que presenta una longitud de onda llamada de trabajo y un factor de calidad (BPP) inicial dado, por medio de una fuente láser (1) de fibras que contienen iterbio acoplada a al menos una fibra óptica de transporte de haz,
 - b) se hace llegar dicho haz láser incidente (10) hasta un cabezal de focalización (3, 4) que incluye al menos una óptica de focalización (14),
 - c) se focaliza el haz láser incidente (10) por medio de la óptica de focalización (14) en orden a obtener un haz láser focalizado, y
 - d) se corta la pieza (30) por medio del haz láser focalizado,caracterizado por que se ajusta o se modifica el factor de calidad (BPP) del haz láser incidente (10) por medio de un dispositivo óptico (16) apto y diseñado para modificar o actuar sobre el BPP de un haz láser, en orden a obtener un haz láser focalizado (10b) que presenta un BPP modificado que sea diferente del BPP de dicho haz láser incidente, siendo dicho dispositivo óptico (16) al menos un elemento óptico difractinge transmisivo o reflexivo y siendo apto para producir un haz láser focalizado modificado cuyo BPP es diferente del BPP inicial del haz láser incidente (10) en un factor multiplicador mayor o igual que 1,2 y menor o igual que 5, presentando la superficie del dispositivo óptico (6) unas microestructuras grabadas en el sustrato de dicho dispositivo óptico (16) a profundidades variables del orden de la longitud de onda de trabajo.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que se establece el dispositivo óptico (16) apto para modificar el BPP del haz láser en la trayectoria del haz láser incidente (10).
3. Procedimiento según una de las anteriores reivindicaciones, caracterizado por que el BPP del haz incidente está comprendido entre 0,33 y 25 mm.mrad, preferentemente menor o igual que 10 mm.mrad en el caso de una fibra óptica de transporte de diámetro menor o igual que 200 μm .
4. Procedimiento según una de las anteriores reivindicaciones, caracterizado por que el dispositivo óptico (16) es apto para producir un haz láser focalizado modificado cuyo BPP es diferente del BPP inicial del haz láser incidente (10) en un factor multiplicador mayor o igual que 1,5 y/o menor o igual que 3.
5. Procedimiento según una de las anteriores reivindicaciones, caracterizado por que el dispositivo óptico (16) produce un cambio del valor del BPP del haz focalizado inicial modificando el radio en la cintura (ω_a) y la divergencia (θ_a) del haz láser focalizado (10a).
6. Procedimiento según una de las anteriores reivindicaciones, caracterizado por que el cabezal de focalización (3, 4) comprende al menos una óptica de focalización (14) y el dispositivo óptico (16) apto y diseñado para modificar o actuar sobre el BPP inicial del haz láser incidente.
7. Procedimiento según una de las anteriores reivindicaciones, caracterizado por que el dispositivo óptico (16) está realizado en sílice fundida, en cuarzo, en vidrio especial, en ZnS, en ZnSe o en material metálico.
8. Procedimiento según una de las anteriores reivindicaciones, caracterizado por que el dispositivo óptico (16) tiene un espesor comprendido entre 0,5 y 10 mm y es de forma circular con un diámetro comprendido entre 25 y 75 mm.
9. Procedimiento según una de las anteriores reivindicaciones, caracterizado por que el dispositivo óptico (16) es de tipo reflexivo que funciona con un ángulo de incidencia (α) comprendido entre 5 y 50°.
10. Procedimiento según una de las anteriores reivindicaciones, caracterizado por que la longitud de onda del haz láser está comprendida entre 1,06 y 1,10 μm .
11. Procedimiento según una de las anteriores reivindicaciones, caracterizado por que la potencia del haz láser (10) está comprendida entre 0,1 y 25 kW.
12. Instalación de corte por láser que comprende una fuente láser (1) de fibras que contienen iterbio y una fibra de transporte de haz (2) para generar un haz láser (10) que tiene un BPP inicial dado que se propaga hasta un cabezal de focalización (3, 4) que comprende una óptica de focalización (14), caracterizada por que, en la trayectoria del haz (10) se establece al menos un dispositivo óptico (16) apto y diseñado para modificar o ajustar el BPP inicial del haz láser incidente, siendo dicho dispositivo óptico (16) al menos un elemento óptico difractinge transmisivo o reflexivo y en la que la superficie de dicho dispositivo óptico (16) presenta microestructuras grabadas en el sustrato de dicho dispositivo óptico (16) a profundidades variables del orden de la longitud de onda de trabajo, con el fin de producir un haz láser focalizado modificado cuyo BPP es diferente del BPP inicial del haz láser incidente (10) en un

factor multiplicador mayor o igual que 1,2 y menor o igual que 5.

13. Instalación según la reivindicación 12, caracterizada por que el dispositivo óptico (16) se establece entre la fibra de transporte de haz (2) y la óptica de focalización (14).

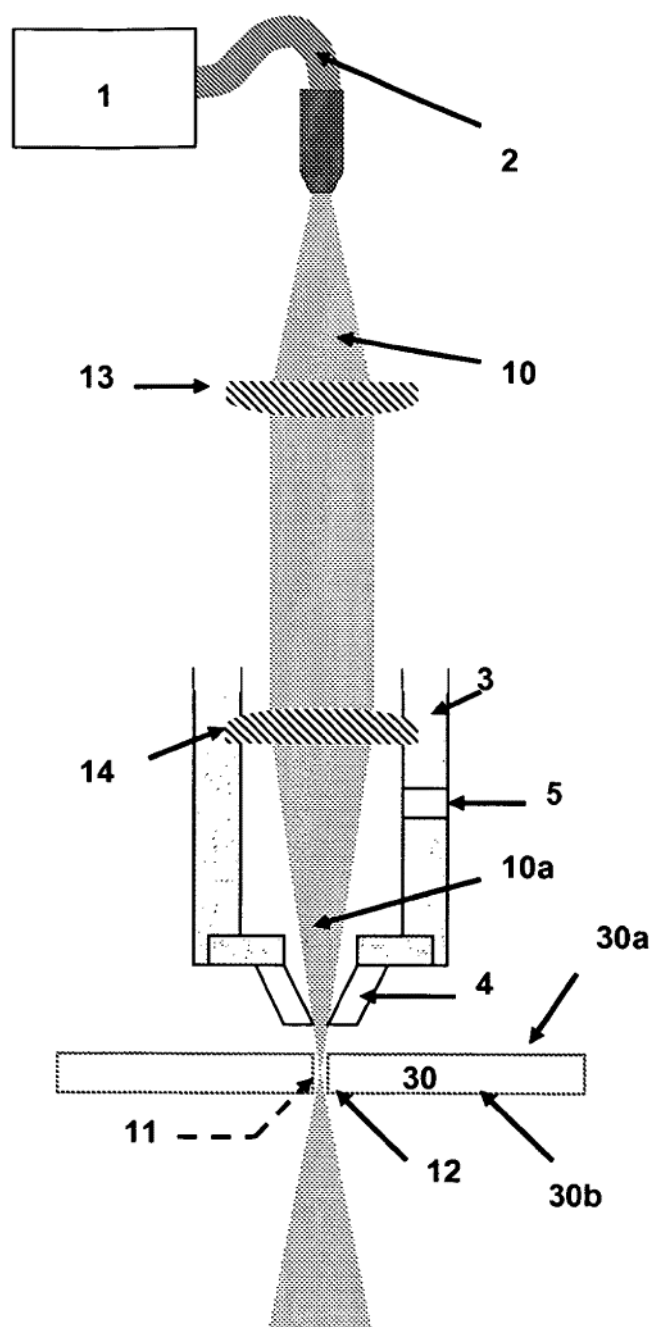


FIGURA 1

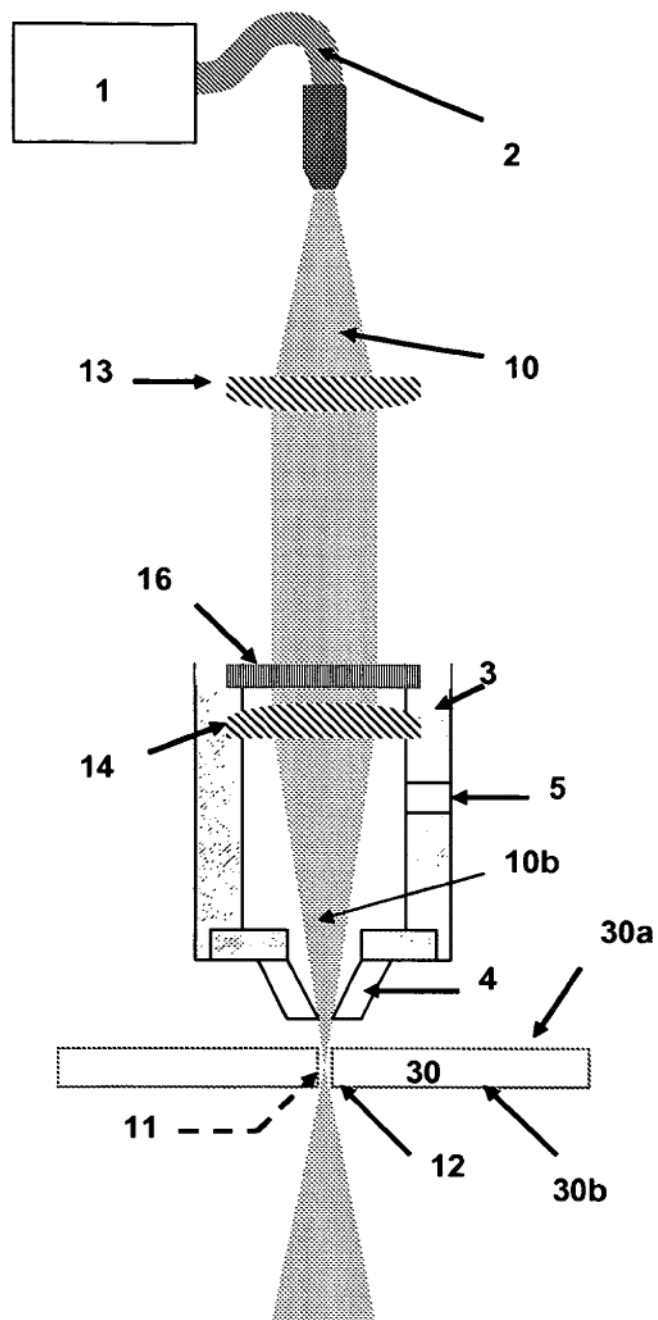


FIGURA 2

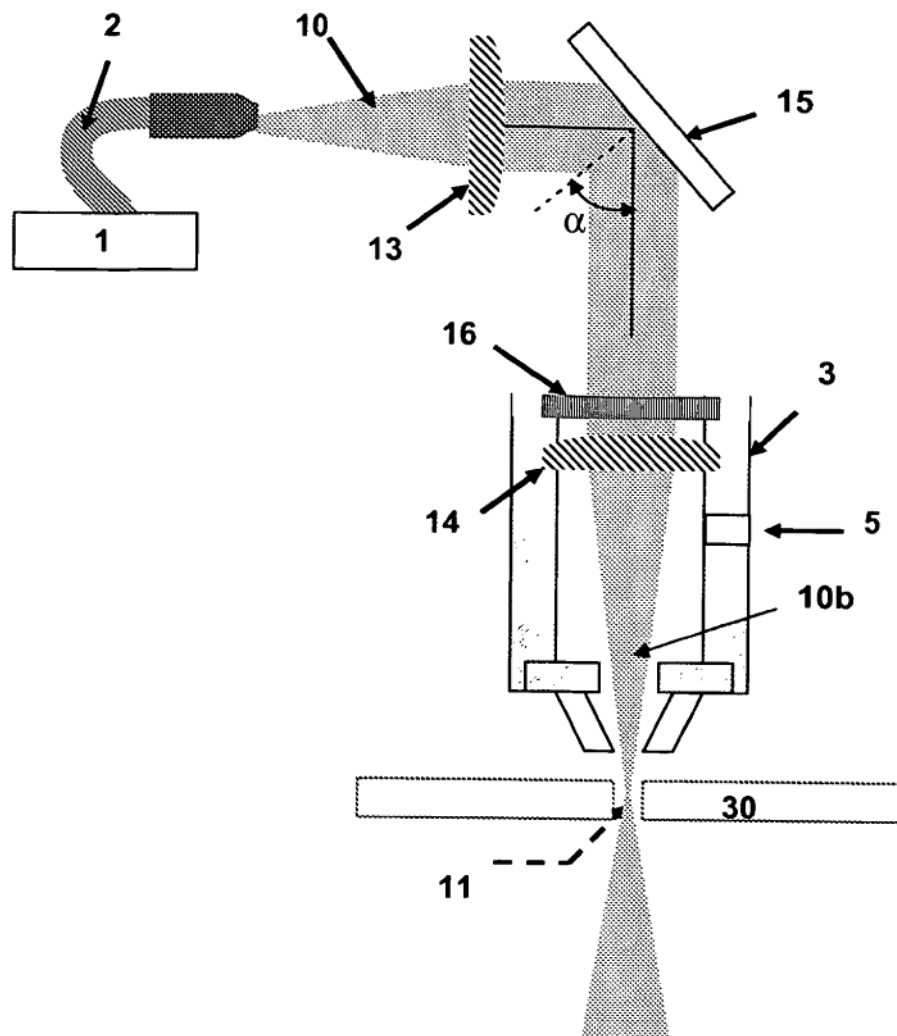


FIGURA 3

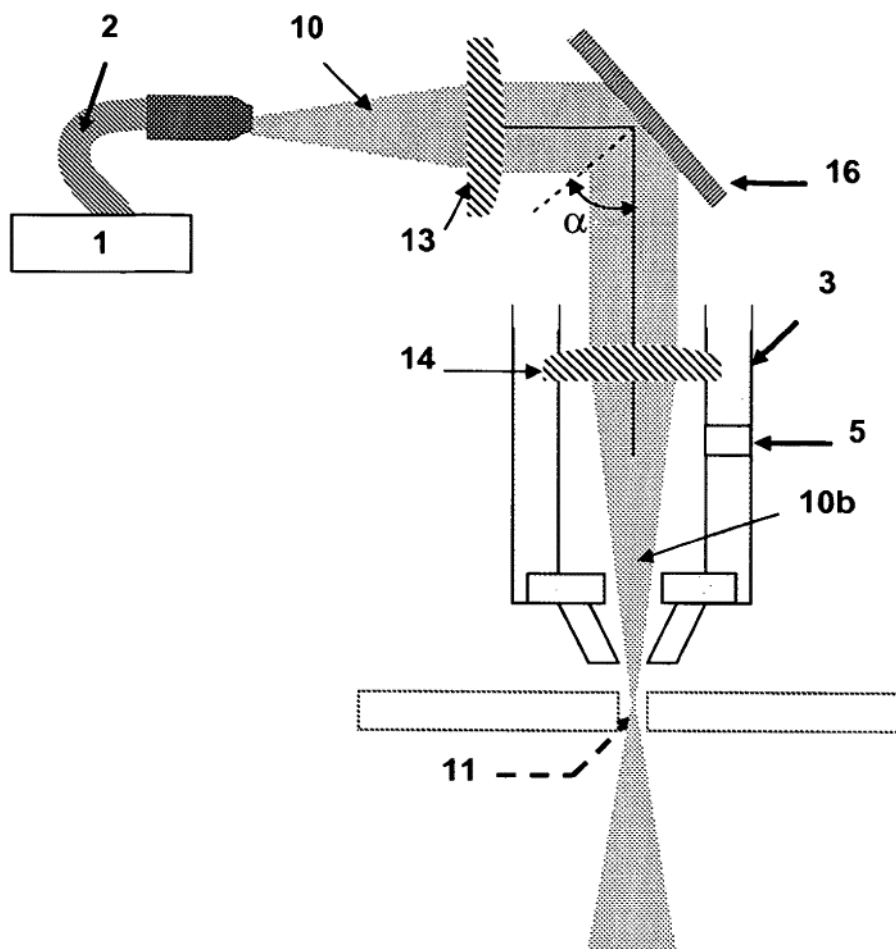


FIGURA 4

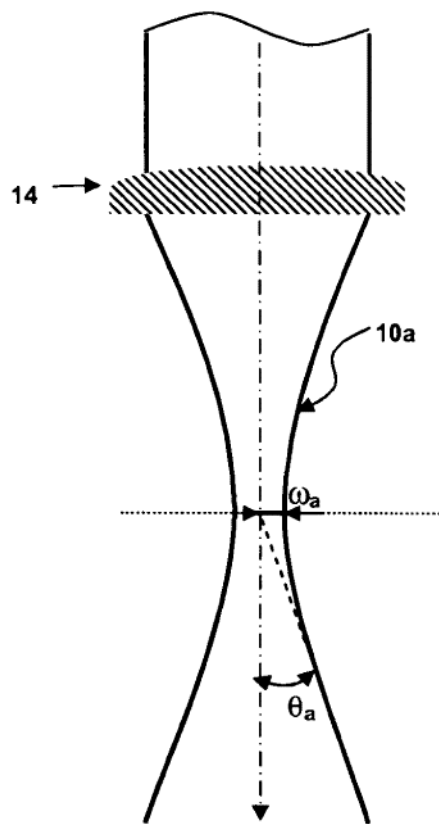


FIGURA 5a

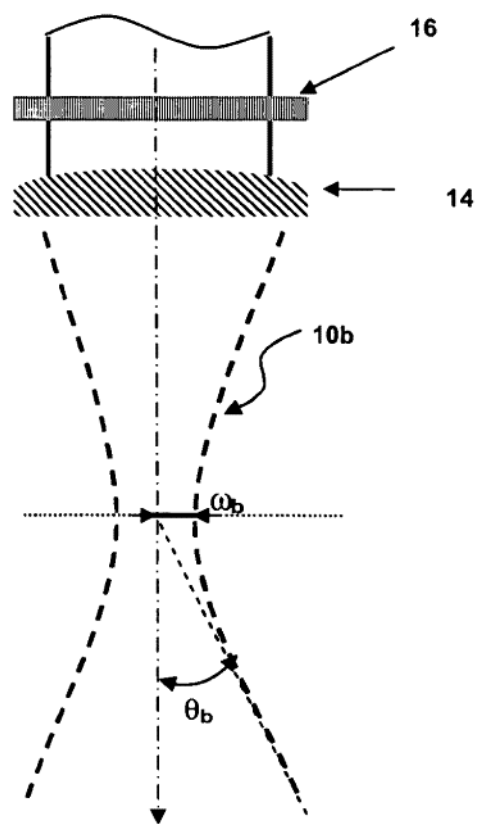


FIGURA 5b

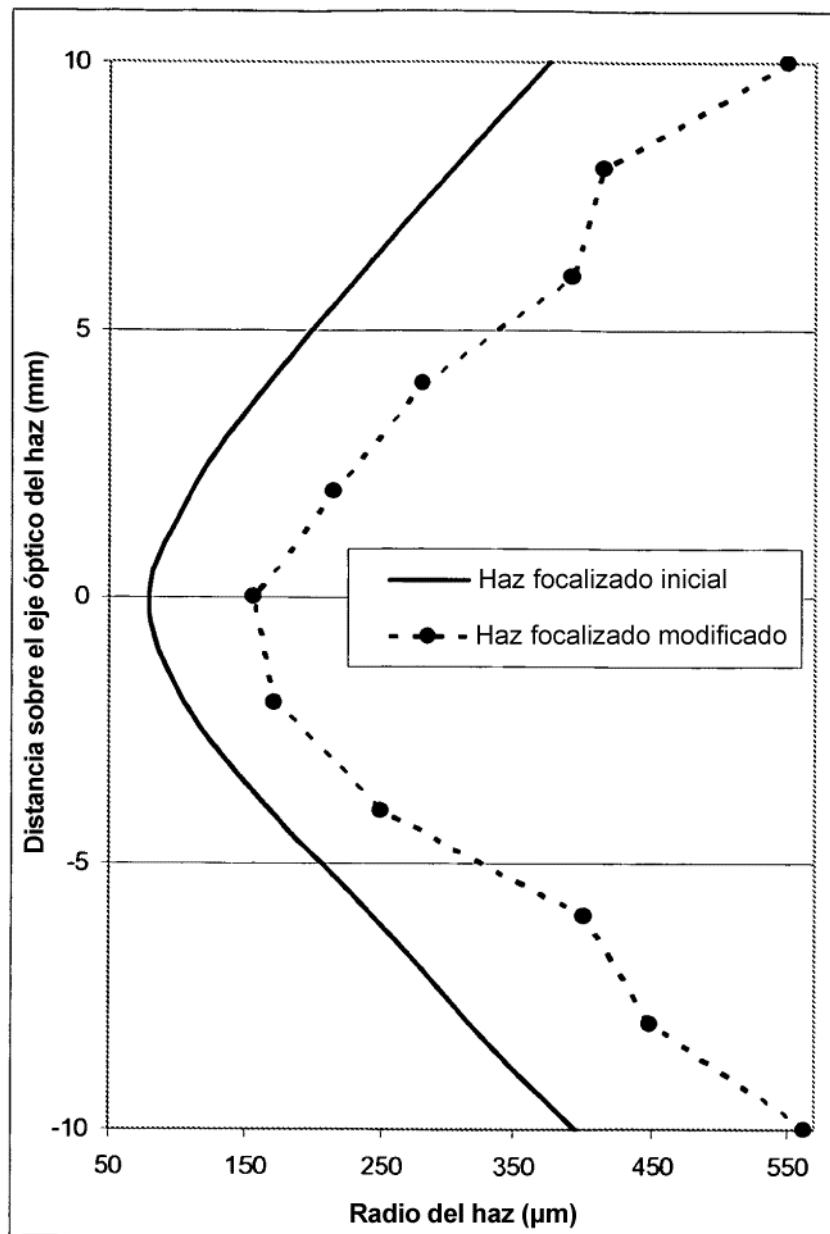


FIGURA 6

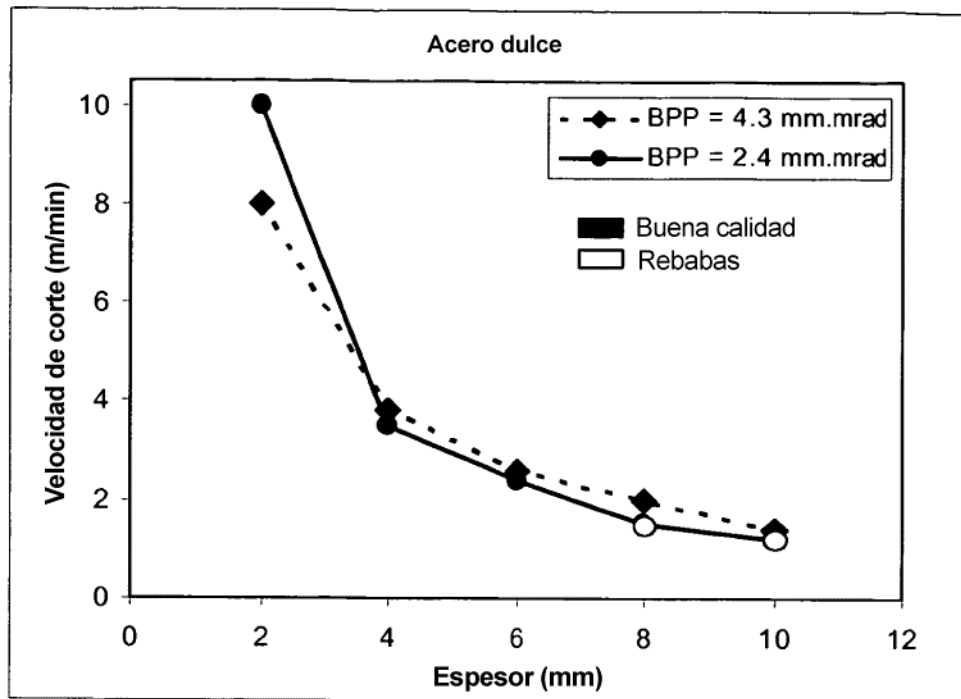


FIGURA 7

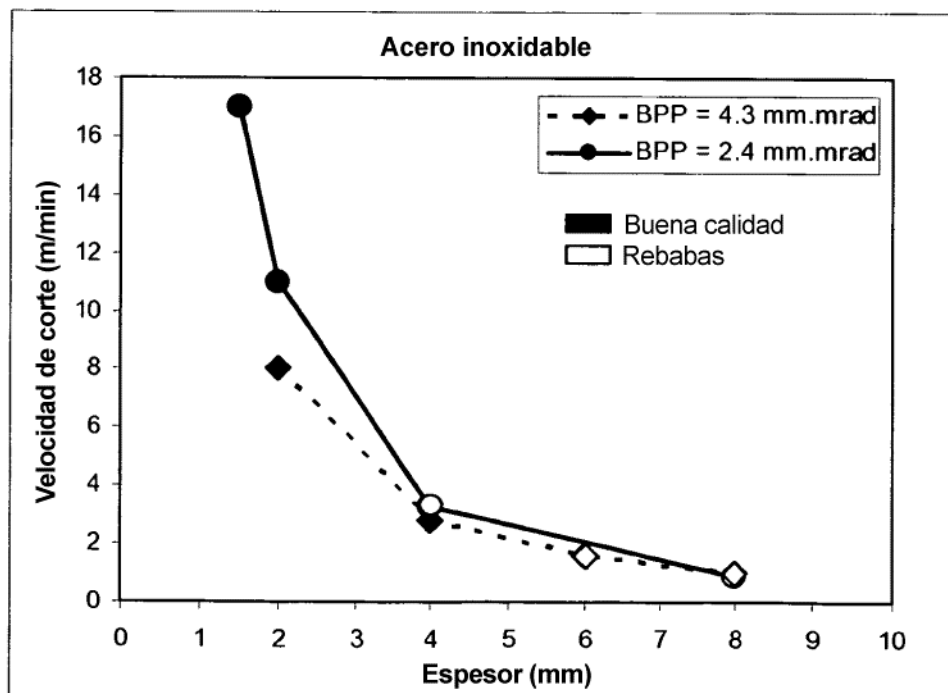


FIGURA 8

FIGURA 9

