



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 306 816**

51 Int. Cl.:
B23K 26/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **02806031 .7**

86 Fecha de presentación : **04.12.2002**

87 Número de publicación de la solicitud: **1467833**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **20.10.2004**

54 Título: **Procedimiento e instalación de soldadura láser con una mezcla gaseosa N₂/HE, en cantidades controladas en función de la potencia láser.**

30 Prioridad: **11.01.2002 FR 02 00326**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.11.2008

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.11.2008

73 Titular/es: **L'AIR LIQUIDE, Société Anonyme pour l'Etude et l'Exploitation des Procédés Georges Claude**
75, quai d'Orsay
75007 Paris, FR

72 Inventor/es: **Briand, François;**
Chouf, Karim y
Lefebvre, Philippe

74 Agente: **Justo Vázquez, Jorge Miguel de**

ES 2 306 816 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).

ES 2 306 816 T3

DESCRIPCIÓN

Procedimiento e instalación de soldadura láser con una mezcla gaseosa N₂/He, en cantidades controladas en función de la potencia láser.

5

La presente invención se relaciona con un procedimiento de soldadura por rayo láser según el preámbulo de la reivindicación 1.

10

En la industria, se conoce que el rayo láser es usado para cortar o soldar una o más piezas metálicas. Al respecto, se pueden citar los siguientes documentos: DE-A-2713904, DE-A-4034745, JP-A-01048692, JP-A-56122690, WO 97/34730, JP-A-01005692, DE-A-4123716, JP-A-02030389, US-A-4,871,897, JP-A-02030389, JP-A-62104693, JP-A-01005692, JP-A-01005693, JP-A-01005694, JP-A-02020681, JP-A-02020682, JP-A-02020683, WO-A-88/01553, WO-A-98/14302, DE-A-3619513 y DE-A-3934920.

15

De igual forma, el documento EP-A-527 229 describe un procedimiento, según el preámbulo de la reivindicación 1, relacionado con la soldadura láser de placas de acero revestidas de zinc utilizando un gas que contiene argón y oxígeno. El oxígeno se combina con el zinc para formar óxidos y mejorar la calidad de la soldadura de esta forma realizada.

20

La soldadura por rayo láser es un procedimiento de soldadura muy eficaz puesto que permite obtener, a grandes velocidades, profundidades de penetración muy importantes si se comparan con otros procedimientos más tradicionales, tales como la soldadura plasma, la soldadura MIG (Metal Inert Gas) o la soldadura TIG (Tungsten Inert Gas).

25

Esto se explica por las fuertes densidades de potencias que se manifiestan durante la focalización, ya sea por uno o varios espejos o lentes, del rayo láser al nivel del plano de unión de las piezas que se deben soldar, por ejemplo densidades de potencia que pueden sobrepasar los 10⁶ W/cm².

30

Estas fuertes densidades de potencia provocan una fuerte vaporización en la superficie de las piezas que, al distenderse en la parte exterior, induce a un ahuecamiento progresivo del baño de soldadura y conduce a la formación de un capilar de vapor estrecho y profundo, denominado "keyhole" en inglés (= "ojo de la cerradura") en el grosor de las chapas, es decir, al nivel del plano de unión.

35

Este capilar hace posible un depósito directo de la energía del rayo láser con profundidad en la chapa, contrastando con los procedimientos de soldadura más tradicionales donde el depósito de energía se localiza en la superficie.

Este capilar está constituido por una mezcla de vapores metálicos y por plasma de vapores metálicos cuya particularidad consiste en absorber el rayo láser y por consiguiente retener la energía en el seno del propio capilar.

40

Una de las problemáticas de la soldadura láser es la formación de un plasma de gas de cobertura.

En efecto, este plasma de vapores metálicos, al propagarse en electrones libres el gas de cobertura o gas de protección, puede provocar la aparición de un plasma de gas de cobertura perjudicial para la operación de soldadura.

45

El rayo láser incidente puede entonces ser fuertemente, inclusive completamente absorbido y así conducir a una reducción importante de la profundidad de la penetración, así como a una pérdida de acoplamiento entre el rayo y la materia y por lo tanto a una interrupción momentánea del proceso de soldadura.

50

El umbral de densidad de potencia a partir del cual el plasma aparece depende del potencial de ionización del gas de cobertura utilizado y es inversamente proporcional al cuadrado de la longitud de onda del rayo láser.

De este modo, resulta muy difícil soldar con argón puro con un láser de tipo CO₂, mientras que esta operación puede ser realizada con mucha menos dificultad con un láser de tipo YAG.

55

En general, en la soldadura láser con CO₂, se utiliza como gas de cobertura el helio, que es un gas con alto potencial de ionización y que permite prever la aparición del plasma del gas de cobertura, cualquiera que sea la potencia del rayo láser que se emplee.

60

Sin embargo, el helio tiene el inconveniente de ser un gas oneroso y un número importante de usuarios de láser prefieren utilizar otros gases o mezclas gaseosas menos onerosas que el helio pero que permitan así y todo limitar la aparición del plasma de gas de cobertura y por lo tanto obtener resultados de soldadura similares a los obtenidos con el helio pero a un costo menor.

65

De esta forma, existen en el plano comercial mezclas gaseosas que contienen argón y helio, por ejemplo la mezcla gaseosa que contiene un 30% en volumen de helio y el resto de argón, comercializada con el nombre de LASALTM 2045 por la sociedad L' AIR LIQUIDETM, las cuales permiten obtener sensiblemente los mismos resultados que con el helio, para potencias láser CO₂ inferiores a 5 kW y siempre que las densidades de potencia engendradas no sean tan significativas, es decir aproximadamente superiores a los 2000 kW/cm².

ES 2 306 816 T3

Ahora bien, el problema que se presenta con este tipo de mezcla Ar/He es que la misma no puede adaptarse a las densidades de potencia láser más importantes, ya que el umbral de creación del plasma de gas de protección es entonces sobrepasado.

5 El objeto de la presente invención consiste por tanto en solucionar este problema proponiendo un procedimiento de soldadura por láser mejorado que puede emplear láseres de potencia que sobrepasen los 15 a 20 kW y esto sin o minimizando la formación de un plasma en el gas de protección, cualquiera que sea la potencia o la densidad de potencia escogida.

10 La solución de la invención es entonces un procedimiento de soldadura por rayo láser que emplea una mezcla gaseosa de protección que contiene nitrógeno y helio, en la cual la proporción de nitrógeno y/o de helio es escogida o ajustada en función de la potencia o de la densidad de potencia de dicho rayo láser.

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

- la potencia láser está comprendida entre 0,5 kW y 30 kW, preferiblemente entre 5kW y 20kW.

20 - la mezcla gaseosa de protección está constituida por nitrógeno y/o helio, preferiblemente la mezcla gaseosa contiene una proporción volumétrica de helio de 30% a 80%, el resto siendo nitrógeno, y eventualmente impurezas inevitables.

- la mezcla gaseosa se realiza *in situ* mezclando cantidades determinadas de nitrógeno y helio.

25 - la mezcla gaseosa se realiza mediante un sistema mezclador de gases sujeto a la potencia láser o a la densidad de potencia empleada a fin de mezclar cantidades controladas de nitrógeno y helio.

- se aumenta la proporción de helio en la mezcla gaseosa cuando la potencia láser o la densidad de potencia aumenta.

30 - la proporción volumétrica de helio en dicha mezcla gaseosa está comprendida:

• entre 1 y 30% para una potencia de rayo láser comprendida entre 0.5 kW y 4kW,

35 • entre 30 y 50% para una potencia de rayo láser comprendida entre 4 kW y 8 kW, y/o

• entre 50 y 70% para una potencia de rayo láser comprendida entre 8 kW y 12 kW.

- la proporción volumétrica de helio en dicha mezcla gaseosa está comprendida:

40 • entre 1 y 30% para una densidad de potencia del rayo láser comprendida entre 500 kW/cm² y 2000k W/cm²,

• entre 30 y 50% para una densidad de potencia del rayo láser comprendida entre 2000 kW/cm² y 4000 kW/cm² y/o,

45 • entre 50 y 70% para una densidad de potencia del rayo láser comprendida entre 4000 kW/cm² y 10 000 kW/cm².

50 De preferencia el helio y el nitrógeno son emitidos por una fuente única de gas en la cual el helio y el nitrógeno son premezclados en proporciones deseadas a través, por ejemplo, de un mezclador de gas.

Asimismo, la invención se relaciona con una instalación de soldadura por rayo láser empleando una mezcla gaseosa de protección que contiene nitrógeno y helio que comprende:

55 - al menos una fuente de nitrógeno,

- al menos una fuente de helio,

60 - medios de mezclado de gases para mezclar el nitrógeno emitido por la fuente de nitrógeno con el helio emitido por la fuente de helio,

- un dispositivo generador láser que libera un rayo láser con una potencia láser de al menos 0,5 kW,

65 - medios de regulación que cooperan con dichos medios de mezclado de gases a fin de ajustar las proporciones de nitrógeno y/o helio en función de la potencia láser liberada del dispositivo láser, para así aumentar la proporción de helio en la mezcla gaseosa cuando la potencia láser o la densidad de potencia aumenta.

ES 2 306 816 T3

Por otra parte, según el procedimiento de la invención, la proporción volumétrica de helio (% He) en dicha mezcla gaseosa en función de la densidad de potencia es tal que:

$$28. \ln(\Phi_p) - 207 \leq \% \text{ He} \leq 32,3 \cdot \ln(\Phi_p) - 207$$

donde:

- $\ln(\Phi_p)$ representa el logaritmo neperiano de la densidad de potencia expresada en kW/cm², y
- % He: el porcentaje volumétrico de helio en el nitrógeno de la mezcla gaseosa.

De preferencia, la proporción volumétrica de helio (% He) en dicha mezcla gaseosa en función de la densidad de potencia es tal que:

$$28,5. \ln(\Phi_p) - 207 \leq \% \text{ He} \leq 31,5 \cdot \ln(\Phi_p) - 207$$

Preferentemente aún, la proporción volumétrica de helio (% He) en dicha mezcla gaseosa en función de la densidad de potencia es tal que:

$$29. \ln(\Phi_p) - 207 \leq \% \text{ He} \leq 31 \cdot \ln(\Phi_p) - 207$$

La invención ahora será mejor comprendida gracias a las explicaciones dadas a continuación con referencia a la figura anexada.

Como se explica a continuación, en soldadura por rayo láser, un problema mayor que se plantea está vinculado a la creación de un plasma de gas de cobertura nefasto en la operación de soldadura debido a la absorción fuerte, incluso total, del rayo láser que este engendra, trayendo consigo una reducción notable de la profundidad de penetración, inclusive una pérdida de acoplamiento entre el rayo láser y la materia a soldar, y por tanto, una interrupción del proceso de soldadura.

Ahora bien, los inventores de la presente invención demostraron que el umbral de aparición del plasma de gas de cobertura estaba condicionado, para una densidad de potencia láser tipo CO₂ fijada, por la proporción volumétrica de helio (en función de la del nitrógeno) en la mezcla gaseosa de helio y de nitrógeno utilizada como gas de protección durante la operación de soldadura y que esta proporción de helio debía variar en función de la densidad de potencia del láser.

De esta forma, en la figura 1, se ha representado (curva A) la evolución del umbral de aparición del plasma en función de la densidad de potencia (en abscisas) y de la proporción volumétrica del helio (en coordenadas) en la mezcla formada de nitrógeno y helio, la suma de las cantidades de nitrógeno y helio constituyen el 100% en vol. de la mezcla.

La curva A fue obtenida a partir del análisis de la profundidad de penetración de cordones de soldaduras realizadas con diferentes cantidades de helio en la mezcla, así como por examen visual de la aparición o de la no aparición del plasma de gas de protección durante el proceso de soldadura.

La densidad de potencia fue obtenida dividiendo la potencia láser sobre la pieza por el diámetro de la mancha focal obtenida con el láser considerado, previamente medida con un analizador de rayo láser.

El dominio situado por encima de la curva A representa el dominio donde, para la densidad de potencia considerada, la cantidad de helio en el nitrógeno permite efectuar un cordón de soldadura sin la aparición de un plasma de gas de protección.

En el dominio situado por debajo de la curva A, existe una distensión del gas de protección y por tanto la presencia de un plasma de gas de protección.

Para tomar en cuenta las indeterminaciones asociadas a la medida del diámetro (en micrones) de la mancha focal, a aquella asociada a la cantidad de helio en la mezcla de nitrógeno y de helio, y a la relacionada con la repartición de la energía en la mancha focal, se han representado también tres rayos de curvas (B,C), (D,E) y (F,G) en la Figura 1.

ES 2 306 816 T3

Las ecuaciones de estas curvas son del tipo:

$$\%He = \mu \cdot \ln(\Phi_p) - 207$$

donde:

- $\ln(\Phi_p)$ representa el logaritmo neperiano de la densidad de potencia expresada en kW/cm^2 ,

- % He: el porcentaje de helio en el nitrógeno, y

- μ : un valor que depende de la curva considerada con: $\mu=31$ para la curva B, $\mu=29$ para la curva C, $\mu=31,5$ para la curva D, $\mu=28,5$ para la curva E, $\mu=32,3$ para la curva F, y $\mu=28$ para la curva G.

Así, en la zona del plano comprendido entre las curvas F y G (respectivamente D y E o B y C), se puede elegir, para la densidad de potencia considerada, la mezcla N_2/He la cual permite obtener los mismos resultados que con el helio puro o con una mezcla N_2/He situada por encima de la zona comprendida entre las curvas F y G (respectivamente D y E o B y C).

En cambio, por debajo de esta zona, existe siempre una distensión en el gas de protección y de ahí la aparición de un plasma de gas de protección. La mezcla gaseosa determinada a partir de estas curvas es entonces la mezcla óptima, o sea, la que contiene la menor cantidad de helio y que sin embargo arroja los mismos resultados que con el helio puro o con una mezcla con una proporción de helio mayor.

El conjunto de estas curvas fue realizado a una velocidad de soldadura de 3 m/mn sobre piezas de acero y sobre acero inoxidable, con un espejo parabólico de foco 250 mm, 200 mm o 150 mm, y con la utilización de un láser CO_2 cuyo factor de calidad era de 4.

Como se muestra en la Figura 1, una mezcla de helio y de nitrógeno con un 50% en volumen de nitrógeno da profundidades de penetración y velocidades de soldadura considerablemente iguales a las del helio puro para una densidad de potencia láser CO_2 de $5,3 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$.

La invención puede ser también visualizada por una representación de la evolución del umbral de aparición del plasma de gas de protección en función de la cantidad de helio en el nitrógeno, y de la potencia del láser empleado, como es esquematizado en la Figura 2.

Esta otra representación, menos general que la anterior, puede obtenerse partiendo de las curvas de la Figura 1 y utilizando las relaciones siguientes:

$$(1) \quad \Phi_p = P / S$$

donde: Φ_p es la densidad de potencia, P es la potencia láser utilizada y S la superficie de la mancha focal

$$(2) \quad S = \pi W_0^2$$

donde: W_0 es el haz de la mancha focal

$$(3) \quad W_0 W_F = M^2 (\lambda f / \pi)$$

donde: W_F es el haz del rayo láser al nivel del espejo o de la lente de focalización en la potencia considerada, M^2 es el factor de calidad del rayo láser que es en general un dato constructor ($M^2=1$ para un rayo Gaussien), λ es la longitud de onda del rayo láser ($10,6 \mu\text{m}$ para un láser tipo CO_2) y f es la distancia focal del espejo o del lente de focalización.

De esta forma, se puede pasar indistintamente de una representación de densidad de potencia (Figura 1) a una representación de potencia (Figura 2), y a la inversa, con la ayuda de las relaciones de arriba, para evaluar a partir de la potencia o de la densidad de potencia utilizada, la mezcla de nitrógeno/helio correspondiente.

La figura 2 fue obtenida aquí a partir de las curvas de la Figura 1 y esto, para un factor de calidad de 4, una distancia focal de 200 mm y un diámetro de rayo al nivel del espejo de focalización de 28 mm.

ES 2 306 816 T3

De este modo, a 6 kW, con un focal de 200 mm, para un láser de factor de calidad 4 y un diámetro del rayo al nivel del espejo de focalización de 200mm, se puede utilizar una mezcla de nitrógeno/helio que contenga 50% en volumen de cada uno de estos compuestos.

5 La presente invención se basa por tanto en el hecho de adaptar o ajustar la mezcla gaseosa N₂/He en función de la potencia del láser o de la densidad de potencia utilizada de manera de obtener una soldadura de calidad y con costos reducidos, sin generación de plasma de gas de protección o con una generación de plasma lo más débil posible.

10 De acuerdo a la invención, el ajuste de las proporciones de los compuestos en la mezcla gaseosa puede realizarse sobre la base de proporciones volumétricas, molares o de masa; no obstante, se prefiere un ajuste volumétrico porque resulta más simple.

15 Partiendo de ahí, la puesta en práctica de la invención puede llevarse a cabo por la realización de una gama de mezclas de gases embotellados, es decir bajo forma acondicionada, con una cantidad de helio en el nitrógeno variable y adaptado en función de la densidad de potencia o de la potencia láser.

Por ejemplo, en la tabla que se muestra a continuación aparecen tres mezclas de N₂/He diferentes adaptadas, respectivamente, a tres gamas de densidad de potencia láser recomendada para llevar a cabo la invención.

20

25

30

35

Composición de la mezcla gaseosa N ₂ /He (expresada en % vol. de He)	Gamas de densidades de potencia láser recomendadas
N ₂ +30% He	500 a 2000 kW/cm ²
N ₂ +50% He	2000 a 4000 kW/cm ²
N ₂ +70% He	4000 a 10 000 kW/cm ²

40

Según sea el caso, la invención puede también llevarse a cabo directamente *in situ* por un operario, antes de comenzar la soldadura, por ejemplo a partir del almacenamiento de helio y nitrógeno, de la mezcla gaseosa N₂/He mejor adaptada a la densidad de potencia o a la potencia del láser utilizado y esto, siguiendo las especificaciones de la figura anexada.

45

De forma alternativa, la mezcla N₂/He deseada puede obtenerse igualmente por un mecanismo automático de un mezclador de gases en función de la densidad de potencia o de la potencia del láser utilizado y empleando la curva de la figura anexada como curva guía.

El procedimiento de soldadura láser de la invención está específicamente adaptado a la soldadura de piezas de aluminio o aleaciones de aluminio, en acero inoxidable o en acero blando.

50

El procedimiento de soldadura láser de la invención puede ser utilizado en la soldadura de piezas de grosores idénticos o diferentes comprendidos entre 0,1 mm y 300 mm.

55

60

65

ES 2 306 816 T3

REIVINDICACIONES

5 1. Procedimiento de soldadura por rayo láser empleando una mezcla gaseosa de protección que contiene nitrógeno y helio, en la cual la proporción de nitrógeno y/o helio en dicha mezcla gaseosa es escogida o ajustada en función de la potencia o de la densidad de potencia de dicho rayo láser, **caracterizado** porque la proporción de helio en la mezcla gaseosa es aumentada cuando la potencia láser o la densidad de potencia aumenta.

10 2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque la potencia láser está comprendida entre 0,5 kW y 30 kW, de preferencia entre 5 kW y 20 kW.

3. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 ó 2, **caracterizado** porque la mezcla gaseosa de protección está constituida por nitrógeno y helio.

15 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** porque la mezcla gaseosa es realizada *in situ* mezclando cantidades determinadas de nitrógeno y de helio.

20 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** porque la mezcla gaseosa es realizada por medio de un sistema mezclador de gases sometido a la potencia láser o a la densidad de potencia empleada a fin de mezclar cantidades controladas de nitrógeno y de helio.

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** porque la mezcla gaseosa contiene una proporción volumétrica de helio de 30% a 80%, el resto de nitrógeno y eventualmente de impurezas inevitables.

25 7. Procedimiento según la reivindicación 1 **caracterizado** porque la proporción volumétrica de helio en dicha mezcla gaseosa está comprendida:

- entre 1 y 30% para una potencia del rayo láser comprendida entre 0,5 kW y 4 kW,
- 30 - entre 30 y 50% para una potencia del rayo láser comprendida entre 4 kW y 8 kW, y/o
- entre 50 y 70% para una potencia del rayo láser comprendida entre 8 kW y 12 kW.

35 8. Procedimiento según la reivindicación 1 **caracterizado** porque la proporción volumétrica de helio en dicha mezcla gaseosa incluye:

- entre 1 y 30% para una densidad de potencia del rayo láser comprendida entre 500 kW/cm² y 2000 kW/cm²,
- 40 - entre 30 y 50% para una densidad de potencia del rayo láser comprendida entre los 2000 kW/cm² y 4000 kW/cm², y/o
- entre 50 y 70% para una densidad de potencia del rayo láser comprendida entre los 4000 kW/cm² y 10 000 kW/cm².

45 9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado** porque el helio y el nitrógeno son emitidos por una fuente de gas única en la cual el helio y el nitrógeno son pre-mezclados en proporciones deseadas.

10. Instalación de soldadura por rayo láser con el empleo de una mezcla gaseosa de protección que contiene nitrógeno y helio que comprende:

- 50 - al menos una fuente de nitrógeno,
- al menos una fuente de helio,
- 55 - medios de mezclado de gases para mezclar el nitrógeno emitido por la fuente de nitrógeno con el helio emitido por la fuente de helio,
- un dispositivo generador láser que libera un rayo láser con una potencia láser de al menos 0,5 kW,
- 60 - medios de regulación que cooperan con dichos medios de mezclado de gases a fin de ajustar las proporciones de nitrógeno y/o helio en función de la potencia láser liberada del dispositivo láser, para así aumentar la proporción de helio en la mezcla gaseosa cuando la potencia láser o la densidad de potencia aumenta.

65 11. Procedimiento según la reivindicación 1 **caracterizado** porque la proporción volumétrica de helio (% He) en dicha mezcla gaseosa en función de la densidad de potencia es tal que:

$$28. \ln(\Phi_p) - 207 \leq \% \text{ He} \leq 32,3 \cdot \ln(\Phi_p) - 207$$

ES 2 306 816 T3

donde:

- $\ln(\Phi_p)$ representa el logaritmo neperiano de la densidad de potencia expresada en kW/cm², y

5 - % He: el porcentaje volumétrico de helio en el nitrógeno de la mezcla gaseosa.

12. Procedimiento según la reivindicación 11, **caracterizado** porque la proporción volumétrica de helio (% He) en dicha mezcla gaseosa en función de la densidad de potencia es tal que:

10

$$28,5 \cdot \ln(\Phi_p) - 207 \leq \% \text{ He} \leq 31,5 \cdot \ln(\Phi_p) - 207$$

13. Procedimiento según una de las reivindicaciones 11 ó 12, **caracterizado** porque la proporción volumétrica de helio (% He) en dicha mezcla gaseosa en función de la densidad de potencia es tal que:

15

$$29 \cdot \ln(\Phi_p) - 207 \leq \% \text{ He} \leq 31 \cdot \ln(\Phi_p) - 207$$

20

25

30

35

40

45

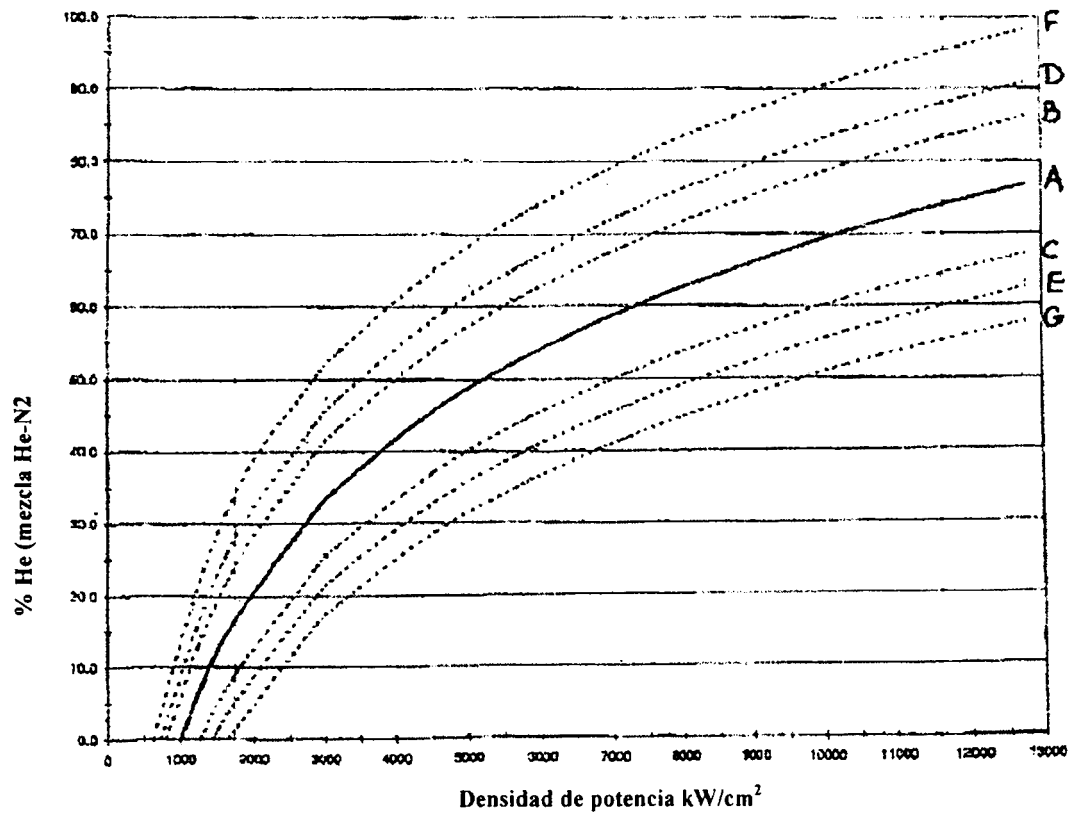
50

55

60

65

Figura 1



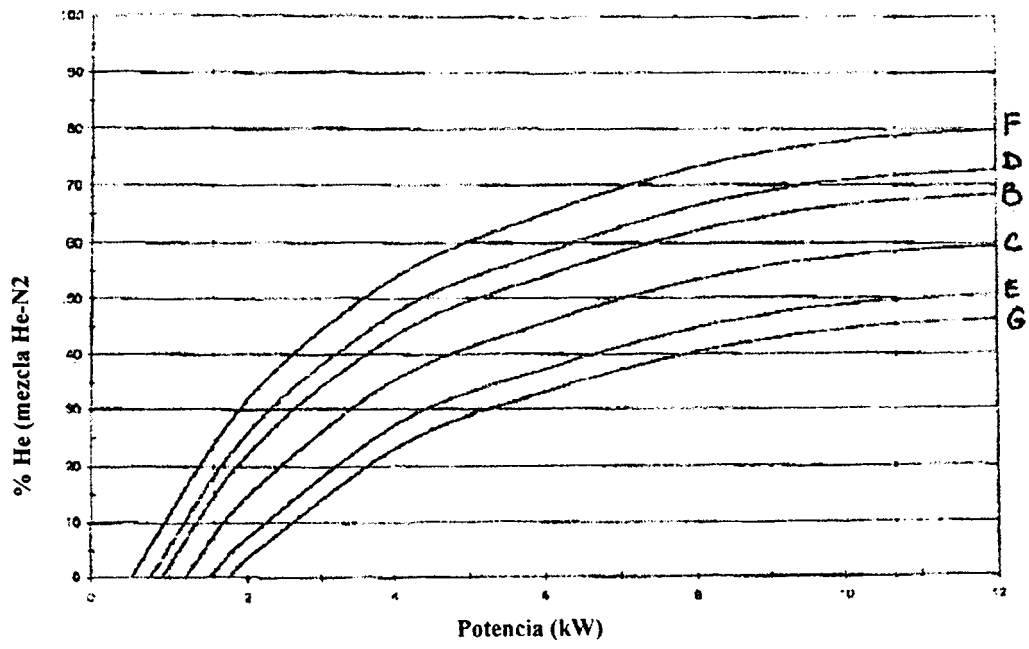


Figura 2