

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 572 942**

51 Int. Cl.:

H05H 1/34 (2006.01)

B23K 9/095 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.07.2011** **E 11760590 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.03.2016** **EP 2594119**

54 Título: **Detección de casos de fallo en un soplete de arco de plasma**

30 Prioridad:

16.07.2010 US 365095 P

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

03.06.2016

73 Titular/es:

HYPERTHERM, INC. (100.0%)
Etna Road, P.O. Box 5010
Hanover, NH 03755, US

72 Inventor/es:

LIU, QINGHUA;
DUAN, ZHENG y
YU, ZHANG

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 572 942 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

Detección de casos de fallo en un soplete de arco de plasma

SOLICITUDES RELACIONADAS

5 Esta solicitud reivindica el beneficio y la prioridad de la solicitud provisional de EE. UU. n.º 61/365.095, presentada el 16 de julio de 2010.

CAMPO DE LA INVENCIÓN

La presente invención se refiere, en general, a sopletes de arco de plasma y, más particularmente, a la identificación de casos de fallo de consumibles en un soplete de arco de plasma.

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

10 Los sopletes de arco de plasma se usan ampliamente en el calentamiento, corte, ranurado y marcado de materiales. Un soplete de plasma incluye, en general, un electrodo, una boquilla que tiene un orificio de salida central dispuesto dentro de un cuerpo de soplete, unas conexiones eléctricas, unos pasos para refrigeración y unos pasos para fluidos de control del arco (por ejemplo, gas de plasma). Opcionalmente, se emplea un anillo de turbulencia para controlar los patrones del flujo de fluido en la cámara de plasma formados entre el electrodo y la boquilla. En algunos
15 sopletes, se puede usar un casquillo de retención para mantener la boquilla y/o el anillo de turbulencia en el soplete de arco de plasma. En funcionamiento, el soplete produce un arco de plasma, que es un chorro estrechado de un gas ionizado con alta temperatura y alta cantidad de movimiento.

Los consumibles de un soplete de arco de plasma son susceptibles a fallos. La vida de los consumibles puede fluctuar de manera aleatoria dependiendo de numerosos factores controlables e incontrolables. La capacidad para
20 detectar el fin de la vida de los consumibles, o de sus fallos, puede proporcionar muchos beneficios, incluyendo la reducción de la necesidad de que el operario preste atención, al aumentar las posibilidades de automatización, la reducción del tiempo inactivo de la máquina de corte, al reducir la inspección de los consumibles, el aumento de la vida eficaz de los consumibles, al reducir la sustitución de los consumibles prematuros, el aumento de la productividad, al reducir la posibilidad de fallo de los consumibles semicortados, y la reducción de daños a otros
25 componentes causados por un fallo de los consumibles.

Un fallo a modo de ejemplo de los consumibles se presenta cuando la punta de un electrodo de un soplete de arco de plasma, incluyendo el emisor del soplete, se funde y sale desprendida como consecuencia de la erosión del hafnio sobre el electrodo. Por consiguiente, el cuerpo de electrodo ya no puede mantener la punta en su sitio. Durante este caso, la carga térmica para el soplete y los consumibles aumenta espectacularmente puesto que el
30 arco está en esta ocasión en contacto directo con el cuerpo de electrodo, la boquilla y, posiblemente, el elemento de blindaje.

Por lo tanto, si el arco no se interrumpe a tiempo, el calor puede dañar otros componentes del soplete, tales como el anillo de turbulencia, el elemento de blindaje, el casquillo de retención y, finalmente, el propio soplete de arco de plasma. Además de la ausencia de un emisor en un electrodo, otros fallos de los consumibles incluyen una gran
35 pérdida de material consumible o un arco de plasma que se emite fuera de una parte de un electrodo distinta del emisor.

Los fallos de los consumibles se pueden presentar también cuando unos consumibles incorrectos se instalan en un soplete de arco de plasma durante el funcionamiento del soplete. Un soplete de arco de plasma a modo de ejemplo se puede hacer funcionar a varios niveles de corriente diferentes, por ejemplo, 65 amperios, 85 amperios o 105
40 amperios. Cuando el soplete de arco de plasma funciona a 105 amperios, requiere un caudal mayor que durante el funcionamiento a 65 amperios. Debido al flujo de refrigeración y/o los caudales de blindaje variables que se requieren para hacer funcionar el soplete de arco de plasma a niveles de corriente diferentes, se necesitan consumibles diferentes para el funcionamiento en cada nivel de corriente. Además, puede que se necesiten consumibles diferentes cuando se ajustan otros parámetros de funcionamiento del soplete, por ejemplo, el amperaje,
45 el tipo de material o la aplicación.

El documento US-A-5756960 describe un método y un aparato para detectar el desgaste no axisimétrico del orificio de la boquilla de un soplete de arco de plasma, al medir el voltaje entre el electrodo y la pieza de trabajo durante una operación de corte. La amplitud de las oscilaciones con dicho voltaje se compara entonces con un valor umbral correspondiente a la amplitud asociada con una buena boquilla. Si la amplitud es mayor que el valor umbral,
50 entonces, la boquilla tiene erosión no axisimétrica.

El documento US-A1-2004/0182828 describe un proceso y un sistema para muestrear un parámetro de soldadura, en particular el voltaje de arco, durante al menos un intervalo de tiempo de la operación de soldadura a fin de detectar perturbaciones. La curva de medición muestreada se puede comparar con un valor umbral fijo previamente ajustado.

El documento US-A-5750957 describe un método para detectar y controlar la calidad de la soldadura en una operación de soldadura por arco, muestreando las señales de corriente y voltaje de soldadura y determinando el estado de calidad de la soldadura basándose en la información incorporada en esas señales. El método incluye determinaciones basadas en la desviación estándar de las señales eléctricas, el espectro de energía sumado de las señales eléctricas y/o el valor absoluto medio del tiempo obtenido de las señales eléctricas.

SUMARIO DE LA INVENCION

Existe una necesidad de desarrollar sistemas y métodos para diagnosticar a tiempo un caso de fallo de los consumibles y llevar a cabo acciones apropiadas para impedir daños a otros componentes del soplete. Dichos enfoques de diagnóstico y prevención son ventajosos puesto que reducen los costes de funcionamiento totales de un soplete de arco de plasma. Estos enfoques son valiosos también para hacer concordar los consumibles correctos con las operaciones del soplete deseadas. Un caso (o condición) de fallo puede hacer referencia a un fallo, un semifallo, un fallo probable o un fallo posible del consumible.

En un aspecto, se prevé un método para determinar un caso de fallo del consumible para un soplete de plasma. El método incluye supervisar, al menos, uno de un voltaje de funcionamiento o una corriente de funcionamiento durante un modo de transferencia de arco del soplete de arco de plasma. El método incluye también determinar cuándo al menos un parámetro asociado con la corriente de funcionamiento o el voltaje de funcionamiento excede un umbral de tolerancia durante un período de tiempo indicativo del posible caso de fallo. El método incluye además interrumpir, al menos, uno del voltaje de funcionamiento o la corriente de funcionamiento del soplete de arco de plasma cuando dicho al menos un parámetro excede el umbral de tolerancia durante el período de tiempo.

En otro aspecto, se prevé un método para hacer funcionar un soplete de arco de plasma. El método incluye determinar una señal de funcionamiento durante un modo de transferencia de arco del soplete de arco de plasma y calcular un nivel de ruido asociado con la señal de funcionamiento. El método incluye también determinar cuándo el nivel de ruido excede un umbral predeterminado durante un período de tiempo y proporcionar una señal de fallo cuando el nivel de ruido excede el umbral predeterminado durante el período de tiempo.

En otro aspecto, se prevé un sistema de soplete de plasma. El sistema de soplete de plasma incluye medios para determinar una señal de funcionamiento durante un modo de transferencia de arco del soplete de arco de plasma y medios para calcular un nivel de ruido asociado con la señal de funcionamiento. El sistema de soplete de plasma incluye también medios para determinar cuándo el nivel de ruido excede un umbral predeterminado durante un período de tiempo. El sistema de soplete de plasma incluye además medios para proporcionar una señal de fallo cuando el nivel de ruido excede el umbral predeterminado durante el período de tiempo. En algunas realizaciones, el sistema de soplete de plasma incluye además una fuente de alimentación acoplada a los medios para determinar cuándo el nivel de ruido excede el umbral predeterminado durante el período de tiempo de manera que la fuente de alimentación se apaga cuando el nivel de ruido excede el umbral predeterminado durante el período de tiempo.

Aún en otro aspecto, se prevé un componente que incluye un producto legible por ordenador realizado de modo tangible en un soporte de información, que se puede hacer funcionar en un controlador numérico por ordenador (CNC) para su uso en un sistema de soplete de plasma. El producto legible por ordenador incluye información para realizar una operación sobre una pieza de trabajo usando un soplete de arco de plasma. La información incluye instrucciones tales que, mientras se realiza la operación, se apaga una corriente de funcionamiento del soplete de arco de plasma si un nivel de ruido asociado con una señal de funcionamiento excede un umbral predeterminado.

Aún en otro aspecto, se prevé un método para detectar un caso de fallo del consumible de un sistema por arco de plasma. El sistema por arco de plasma tiene un controlador y un soplete de arco de plasma. El método incluye que el controlador supervise, al menos, uno de un voltaje de arco o una corriente de funcionamiento del soplete de arco de plasma para el caso de fallo. La supervisión del posible caso de fallo incluye, al menos, uno de: supervisar un primer parámetro asociado con una corriente de funcionamiento que incluye (a) amplitud de la corriente, (b) régimen de cambio de la corriente, o (c) fluctuación de la amplitud de la corriente; o supervisar un segundo parámetro asociado con un voltaje de funcionamiento que incluye (a) amplitud del voltaje de arco, (b) régimen de cambio del voltaje de arco, o (c) fluctuación de la amplitud del voltaje de arco. El método incluye además proporcionar una señal de fallo desde el controlador hasta el sistema por arco de plasma tras la detección del posible caso de fallo.

Aún en otro aspecto, se prevé un sistema para determinar un caso de fallo del consumible en un soplete de corte por plasma. El sistema incluye un soplete de plasma conectado a un sistema de plasma y genera un arco de plasma. El soplete de plasma incluye componentes consumibles. El sistema incluye también un dispositivo programable para controlar y supervisar, al menos, uno de un voltaje de arco o una corriente de funcionamiento del soplete de plasma. El dispositivo programable está adaptado para detectar el caso de fallo asociado con los componentes consumibles y cambiar una señal de funcionamiento.

En otros ejemplos, cualquiera de los aspectos anteriores puede incluir una o más de las siguientes características. El período de tiempo puede ser aproximadamente 1,5 milisegundos. El umbral de tolerancia se puede determinar basándose en una corriente de salida del soplete de plasma. En algunas realizaciones, el umbral de tolerancia es un umbral de corriente de aproximadamente 1,0 A si la corriente de salida es menor que aproximadamente 45 A. En

5 algunas realizaciones, el umbral de tolerancia es un umbral de corriente de aproximadamente 1,25 A si la corriente de salida está entre aproximadamente 45 A y aproximadamente 75 A. En algunas realizaciones, el umbral de tolerancia es un umbral de corriente de aproximadamente 1,5 A si la corriente de salida es mayor que aproximadamente 75 A. En algunas realizaciones, el umbral de tolerancia es un umbral de voltaje de aproximadamente 3 V.

10 La señal de funcionamiento puede ser un voltaje de funcionamiento o una corriente de funcionamiento. El parámetro asociado con la corriente de funcionamiento puede ser la amplitud de la corriente, el régimen de cambio de la corriente o la fluctuación de la amplitud de la corriente. El parámetro asociado con el voltaje de funcionamiento puede ser la amplitud del voltaje de arco, el régimen de cambio del voltaje de arco o la fluctuación de la amplitud del voltaje de arco.

15 El caso de fallo puede incluir la ausencia de un emisor en un electrodo, una gran pérdida de material consumible, un arco que se emite fuera de una parte del electrodo distinta del emisor, o una combinación de los mismos. Además, el caso de fallo puede incluir instalar un consumible incorrecto para un tipo de operación del soplete de plasma. El tipo de operación puede ser una operación de corte, una operación de calentamiento, una operación de ranurado o una operación de marcado.

En algunas realizaciones, para detectar el caso de fallo, tanto un primer parámetro asociado con la corriente de funcionamiento como un segundo parámetro asociado con el voltaje de funcionamiento tienen que exceder sus umbrales respectivos durante el período de tiempo predeterminado.

20 La señal de fallo puede incluir interrumpir una corriente de funcionamiento del soplete de arco de plasma, un sonido audible, una señal visual, una señal electrónica, y cambiar, al menos, un parámetro de funcionamiento del soplete de arco de plasma, o una combinación de los mismos.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

25 Las ventajas de la invención descritas anteriormente, junto con ventajas adicionales, se pueden entender mejor haciendo referencia a la siguiente descripción tomada en unión con los dibujos que se acompañan. Los dibujos no están necesariamente a escala, poniéndose en cambio énfasis, en general, en ilustrar los principios de la invención.

La figura 1 muestra un proceso a modo de ejemplo para diagnosticar e impedir un fallo de los consumibles en un soplete de arco de plasma.

La figura 2 muestra un controlador numérico por ordenador (CNC) a modo de ejemplo para diagnosticar e impedir un fallo de los consumibles en un soplete de arco de plasma.

30 Las figuras 3A y 3B muestran formas de onda a modo de ejemplo de la corriente de electrodo y del voltaje de arco de electrodo, respectivamente, de un soplete de arco de plasma.

Las figuras 4A y 4B muestran los niveles de ruido de la corriente de electrodo y el voltaje de arco en las figuras 3A y 3B, respectivamente.

35 La figura 5 muestra una señal de temporizador y una señal de indicador para diagnosticar e impedir un fallo de los consumibles en un soplete de arco de plasma.

Las figuras 6A-E muestran consumibles a modo de ejemplo cuando se usa y no se usa el sistema de detección de fallos de la presente invención.

La figura 7 muestra un circuito a modo de ejemplo para medir el voltaje entre la boquilla y el electrodo de un soplete de arco de plasma.

40 La figura 8 muestra formas de onda generadas por un sistema de detección a modo de ejemplo de pérdidas de presión de la presente invención.

La figura 9 muestra una relación a modo de ejemplo entre la profundidad de penetración del electrodo y el voltaje entre una boquilla y un electrodo (VNE).

La figura 10 muestra una relación a modo de ejemplo entre el VNE y la presión de entrada de plasma.

45 La figura 11 muestra las señales generadas durante un funcionamiento a modo de ejemplo del soplete de arco de plasma.

La figura 12 muestra una interfaz gráfica de usuario a modo de ejemplo.

La figura 13 muestra otra interfaz gráfica de usuario a modo de ejemplo.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La figura 1 muestra un proceso a modo de ejemplo para diagnosticar e impedir un caso (o condición) de fallo de los consumibles. El proceso comienza (etapa 102) con la determinación de si un soplete de arco de plasma está funcionando en un modo de transferencia de arco (etapa 104). Un soplete está en un modo de transferencia de arco cuando se usa para cortar, ranurar, marcar o calentarse materiales, por ejemplo. Si el soplete de arco de plasma no está en un modo de transferencia de arco, el proceso finaliza sin actualizar un indicador de fallos u otra indicación que notifique a un operario sobre un posible fallo de los consumibles para el soplete (etapa 114). En algunas realizaciones, antes del comienzo del proceso, el indicador de fallos se ajusta en un valor por omisión para indicar que no se detecta ningún fallo potencial de los consumibles.

Si el soplete de arco de plasma está funcionando en un modo de transferencia de arco, el proceso avanza a supervisar una o más señales de funcionamiento del soplete (etapa 106). Las señales de funcionamiento a modo de ejemplo detectadas incluyen una corriente de funcionamiento y/o un voltaje de funcionamiento del soplete de arco de plasma. En algunas realizaciones, dichas una o más señales de funcionamiento son detectadas sobre una base periódica, tal como cada 0,2 milisegundos. Las señales de funcionamiento pueden ser indicativas de una o más condiciones de funcionamiento del soplete, incluyendo un caso de fallo, como se ha descrito anteriormente.

Se determinan uno o más parámetros asociados con cada señal de funcionamiento detectada (etapa 108). Si la señal de funcionamiento es una corriente de funcionamiento, un parámetro asociado con la señal de funcionamiento puede ser la amplitud de la corriente, el régimen de cambio de la corriente o la fluctuación de la amplitud de la corriente. Si la señal de funcionamiento es un voltaje de funcionamiento, un parámetro asociado con la señal de funcionamiento puede ser la amplitud del voltaje de arco, el régimen de cambio del voltaje de arco o la fluctuación de la amplitud del voltaje de arco. En algunas realizaciones, el voltaje de funcionamiento es el voltaje de boquilla a electrodo (VNE). En algunas realizaciones, el voltaje de funcionamiento es el voltaje de boquilla a pieza de trabajo (VWE). En algunas realizaciones, el parámetro es un nivel de ruido, es decir, la magnitud del ruido de la señal de funcionamiento calculada usando un filtro digital y un procesador de señales digitales (DSP).

Después de que se determinan dichos uno o más parámetros asociados con cada señal de funcionamiento, el proceso avanza a determinar si cada parámetro excede un umbral predeterminado durante un período de tiempo predeterminado (etapa 110). Si esto es cierto, el indicador de fallos se ajusta apropiadamente para notificar a un operario sobre un posible fallo de los consumibles (etapa 114). En algunas realizaciones, si un parámetro de una señal de funcionamiento excede su umbral correspondiente durante el período de tiempo requerido, es suficiente ajustar el indicador de fallos. En algunas realizaciones, múltiples parámetros de la misma señal de funcionamiento tienen que exceder sus umbrales respectivos durante el período de tiempo requerido para activar el indicador de fallos. En algunas realizaciones, uno o más parámetros de señales de funcionamiento diferentes tienen que exceder sus umbrales respectivos durante el período de tiempo requerido para activar el indicador de fallos. Por ejemplo, tanto la magnitud del ruido de la corriente de funcionamiento como la magnitud del ruido del voltaje de funcionamiento puede que tengan que exceder sus umbrales respectivos durante un período predeterminado de tiempo para activar el indicador de fallos.

En general, el período de tiempo de detección de fallos es suficientemente largo para asegurar que no se activa un falso positivo por ruido aleatorio en las señales, pero suficientemente corto para impedir daños a otros componentes del soplete durante un caso de fallo de los consumibles. Se ha determinado que un arco de plasma tiene que funcionar, al menos, unos pocos segundos durante un caso de fallo antes de dañar a otros componentes del soplete. Por consiguiente, el período de tiempo de detección de fallos se puede ajustar en menos de 1 segundo. Por ejemplo, el período de tiempo de detección de fallos puede ser aproximadamente 1,5 milisegundos o aproximadamente 1 milisegundo.

En algunas realizaciones, el umbral de detección de fallos se determina empíricamente para asegurar que la frecuencia de éxito para captar el fallo de los consumibles es aproximadamente el 95%, o mayor, y existe una alerta de falso nulo para el fallo de los consumibles. En algunas realizaciones, el umbral depende de la corriente de salida del soplete de arco de plasma. Por ejemplo, si la corriente de salida es menor que aproximadamente 45 amperios, el umbral de la corriente de funcionamiento se ajusta en aproximadamente 1,0 amperio. Esto significa que, en el caso en que la corriente de salida de un soplete es menor que aproximadamente 45 amperios, si la magnitud del ruido de la corriente de funcionamiento del soplete es mayor de modo consistente que aproximadamente 1,0 amperio durante un período predeterminado de tiempo, se ajusta el indicador de fallos. En otro ejemplo, si la corriente de salida está entre aproximadamente 45 amperios y aproximadamente 75 amperios, el umbral de la corriente de funcionamiento se ajusta en aproximadamente 1,25 amperios. Aún en otro ejemplo, si la corriente de salida es mayor que aproximadamente 75 amperios, el umbral de la corriente de funcionamiento se ajusta en aproximadamente 1,5 amperios.

En algunas realizaciones, el umbral es un umbral de voltaje de aproximadamente 3 voltios. Por lo tanto, si la magnitud del ruido del voltaje de salida de un soplete excede de modo consistente los 3 voltios durante un período predeterminado de tiempo, se ajusta el indicador de fallos.

En algunas realizaciones, el umbral de corriente o voltaje depende de uno o más parámetros de funcionamiento del soplete. Por ejemplo, el umbral de corriente o voltaje puede depender de los parámetros asociados con uno o más filtros utilizados para procesar las señales de corriente o voltaje. Específicamente, un filtro de paso alto se puede

usar para filtrar la corriente continua (DC) y las componentes de baja frecuencia de una señal, al tiempo que conserva la componente de alta frecuencia de la señal, es decir, el ruido. Además, un filtro de paso bajo se puede usar para determinar la magnitud del ruido, es decir, el nivel de ruido, basándose en la salida del filtro de paso alto y para suavizar la señal de ruido. En tal caso, el umbral de corriente o voltaje se puede hacer que dependa de uno o más parámetros del filtro de paso alto y/o del filtro de paso bajo, tal como el ancho de banda del filtro.

El ajuste del indicador de fallos puede producir automáticamente la ejecución de una o más acciones preventivas o precautorias. Por ejemplo, tras ajustar el indicador de fallos, se puede generar una señal para alertar a un operario sobre el caso de fallo. Esta señal puede ser un sonido audible, una señal visual y/o una señal electrónica. El sistema de detección de fallos puede interrumpir también automáticamente la corriente de funcionamiento suministrada al soplete de arco de plasma o modificar otros parámetros de funcionamiento para evitar el caso de fallo.

La figura 2 muestra un CNC 200 a modo de ejemplo para diagnosticar e impedir un posible fallo de los consumibles en un soplete de arco de plasma. El sistema 200 se puede implementar usando uno o más procesadores de señales digitales. El sistema 200 incluye un detector de modos de funcionamiento 202, un monitor de señales de funcionamiento 204, un comparador 208, un indicador de fallos 206 y un generador de señales de salida 216. Basándose en una o más entradas 210 desde un soplete de arco de plasma, el detector de modos de funcionamiento 202 está configurado para determinar si el soplete de arco de plasma está funcionando en un modo de transferencia de arco. El detector de modos de funcionamiento 202 puede generar una señal de salida para indicar el resultado de dicha determinación. En algunas realizaciones, si no se ajusta el indicador de fallos 206, lo que indica que no se ha detectado ningún posible caso de fallo, el detector de modos de funcionamiento 202 está adaptado para obtener periódicamente ciertas señales desde el soplete de arco de plasma 210 a fin de determinar si el soplete sigue estando en el modo de transferencia de arco o ha entrado en el modo de transferencia de arco.

El monitor de señales de funcionamiento 204 recibe como entrada la salida del detector de modos de funcionamiento 202 y, si la salida indica que el soplete está en un modo de transferencia de arco, supervisa una o más señales de funcionamiento del soplete de plasma 210. Las señales de funcionamiento pueden ser una corriente de funcionamiento y/o un voltaje de funcionamiento del soplete de arco de plasma. En algunas realizaciones, el monitor de señales de funcionamiento 204 determina uno o más parámetros asociados con cada una de las señales de funcionamiento. Por ejemplo, el monitor de señales de funcionamiento 204 puede computarizar la amplitud de la corriente, el régimen de cambio de la corriente o la fluctuación de la amplitud de la corriente de la señal, si dicha señal es una corriente de funcionamiento. Como otro ejemplo, el monitor de señales de funcionamiento 204 puede computarizar la amplitud del voltaje de arco, el régimen de cambio del voltaje de arco o la fluctuación de la amplitud del voltaje de arco de la señal, si dicha señal es un voltaje de funcionamiento. En algunas realizaciones, el monitor de señales de funcionamiento 204 está adaptado para detectar periódicamente dichas una o más señales de funcionamiento y computarizar los parámetros asociados con las señales detectadas.

El comparador 208 compara un parámetro de una señal de funcionamiento suministrada por el monitor de señales de funcionamiento 204 con un valor umbral 212 predeterminado. El comparador 208 puede ajustar el indicador de fallos 208 para enviar una señal de un posible fallo si el parámetro excede de modo consistente el umbral 212 durante un período de tiempo 214 predeterminado. En algunas realizaciones, el comparador 208 ajusta el indicador de fallos 208 solamente si múltiples parámetros exceden sus umbrales 212 respectivos durante el período de tiempo 214 requerido.

En respuesta a que el comparador 208 ajuste el indicador de fallos 206, el generador de señales de salida 216 está configurado para generar una señal de salida que alerta del posible fallo de los consumibles. En algunas realizaciones, la señal de salida modifica ciertos parámetros de funcionamiento del soplete para minimizar los daños potenciales, tales como la interrupción de la corriente de funcionamiento suministrada al soplete.

Las figuras 3A y 3B muestran las formas de onda de la corriente de electrodo y del voltaje de arco de electrodo, respectivamente, de un soplete de arco de plasma que puede ser supervisado mediante el monitor de señales de funcionamiento 204. Cada forma de onda representa el comportamiento de la señal tanto en un estado de funcionamiento normal como en un estado de fallo de los consumibles. Como se muestra en la figura 3A, se observa un pico significativo en la corriente de electrodo cuando un caso de fallo 304 de los consumibles se presenta en un soplete de arco de plasma en comparación con la corriente generada durante un funcionamiento normal 302 del soplete. De modo similar, la figura 3B muestra que un pico significativo en el voltaje de arco se observa durante un caso de fallo 308 de los consumibles en comparación con el voltaje de arco generado durante un funcionamiento normal 306 del soplete. Los picos en las señales durante un caso de fallo de los consumibles permiten que el sistema de detección 200 detecte el caso y tome las medidas apropiadas antes de que los daños lleguen a otros componentes del soplete.

Las figuras 4A y 4B muestran los niveles de ruido de la corriente de electrodo y el voltaje de arco determinados a partir de las señales en las figuras 3A y 3B, respectivamente. El monitor de señales de funcionamiento 204 del sistema de detección de fallos 200 puede procesar dicha determinación. Un nivel de ruido representa la magnitud del ruido de una señal, que se puede calcular a partir de la señal original usando un filtro digital y un procesador de señales digitales. Como se muestra en la figura 4A, el umbral de corriente 402 se usa para identificar un fallo potencial de los consumibles al comparar con el nivel de ruido de la corriente de electrodo 404. Como se ha descrito

anteriormente, el umbral de corriente 402 puede variar dependiendo del ajuste de la corriente de salida de un soplete. Por ejemplo, si el ajuste de la corriente de salida es menor que aproximadamente 45 amperios, el umbral de corriente es aproximadamente 1,0 amperio. Si el ajuste de la corriente de salida está entre aproximadamente 45 amperios y aproximadamente 75 amperios, el umbral de corriente es aproximadamente 1,25 amperios. Si el ajuste de la corriente de salida está por encima de aproximadamente 75 amperios, el umbral de corriente es aproximadamente 1,5 amperios. En general, cuanto mayor sea el ajuste de la corriente de salida, mayor será el umbral de corriente. En el soplete de plasma utilizado para generar la forma de onda 404 de la figura 4A, el ajuste de la corriente de salida es mayor que aproximadamente 75 amperios. Por lo tanto, el umbral de corriente 402 puede ser aproximadamente 1,5 amperios. En algunas realizaciones, el umbral de corriente varía dependiendo de uno o más parámetros de los filtros utilizados para procesar las señales.

De modo similar, el umbral de voltaje 406 en la figura 4B se usa para identificar un fallo potencial de los consumibles al comparar con el nivel de ruido del voltaje de arco 408. En algunas realizaciones, el umbral de voltaje 406 puede ser aproximadamente 3 V para todos los ajustes de la corriente de salida. En algunas realizaciones, el umbral de voltaje varía dependiendo del parámetro de los filtros utilizados para procesar las señales.

En ciertas realizaciones, el sistema de detección 200 detecta un posible fallo de los consumibles basándose en el nivel de ruido de la corriente de funcionamiento. En el ejemplo mostrado en la figura 4A, la corriente de electrodo 404 excede el umbral 402 en el tiempo 405 después de 300 milisegundos de funcionamiento en modo de arco. Si las muestras de la corriente de electrodo tomadas después de ello exceden de modo consistente el umbral 402 durante una duración específica, tal como aproximadamente 1,5 milisegundos, el sistema de detección 200 está adaptado para ajustar el indicador de fallos 206 y activar la interrupción de la corriente suministrada al soplete de arco de plasma o tomar otra medida preventiva para proteger el soplete.

En ciertas realizaciones, el sistema de detección 200 detecta un posible fallo de los consumibles basándose en el nivel de ruido del voltaje de funcionamiento 408. En el ejemplo mostrado en la figura 4B, el voltaje de arco 408 excede en dos veces el umbral 406, en el tiempo 410 y el tiempo 412, que están entre 250 milisegundos y 300 milisegundos de funcionamiento. Para el primer tiempo 410, si el nivel de ruido del voltaje de arco después de ello excede de modo consistente el umbral 406 durante una duración predeterminada, el sistema de detección está adaptado para ajustar el indicador de fallos 206 a fin de activar ciertas acciones preventivas. Por otro lado, si el nivel de ruido del voltaje de arco 408 no excede el umbral 406 durante todo el período de tiempo, no se ajusta el indicador de fallos 206 y se vuelve a poner a cero el temporizador para seguir la cantidad de tiempo que el nivel de ruido 408 excede el umbral 406. Una vez que el nivel de ruido del voltaje 408 cruza el umbral 402 para el segundo tiempo 412, el temporizador comienza de nuevo.

En ciertas realizaciones, el sistema de detección de fallos detecta un posible fallo de los consumibles basándose en los niveles de ruido del voltaje de funcionamiento 408 y la corriente de funcionamiento 404. Usando los ejemplos mostrados en las figuras 4A y 4B, un temporizador para seguir el momento en el que las señales exceden sus umbrales respectivos comienza en el tiempo 405 cuando el nivel de ruido de la corriente de funcionamiento 404 excede el umbral 402. Este es también el momento en el que el nivel de ruido del voltaje 408 excede su umbral 406. Después de ello, si ambos parámetros 404 y 408 exceden de modo consistente sus umbrales respectivos durante una duración predeterminada, se ajusta el indicador de fallos 206. Por otro lado, si cualquier parámetro cae por debajo de su umbral correspondiente, no se ajusta el indicador de fallos 206. La figura 5 muestra una señal de temporizador 504 y una señal de indicador 506 para detectar e impedir un posible fallo catastrófico de los consumibles en un soplete de plasma basándose en el nivel de ruido de la corriente 404 y el nivel de ruido del voltaje 408 mostrados en las figuras 4A y 4B. Como se muestra, la señal de temporizador 502 no es activada hasta el tiempo 504, que es el momento en el que tanto el nivel de corriente 406 como el nivel de voltaje 408 exceden sus umbrales respectivos. La señal de indicador 506 se ajusta 1,5 milisegundos más tarde para indicar que ambos niveles de ruido exceden sus umbrales respectivos durante la duración predeterminada de 1,5 milisegundos.

Las figuras 6A-E muestran consumibles a modo de ejemplo cuando se usa y no se usa el sistema de detección de fallos de la presente invención. En general, las partes consumibles a la izquierda de las figuras 6A-E corresponden a operaciones del soplete sin usar el sistema de detección y cada parte consumible experimentó aproximadamente 10 segundos de un caso de fallo. En contraste a esto, las partes consumibles a la derecha de las figuras 6A-E corresponden a operaciones del soplete con el sistema de detección, que está adaptado para interrumpir la corriente suministrada a los sopletes tras detectar un caso de fallo. Específicamente, la figura 6A muestra unos casquillos de retención 620, 622 como consecuencia del soplete funcionando sin y con el sistema de detección de fallos, respectivamente. La figura 6B muestra unos elementos de blindaje 624, 626 como consecuencia del soplete funcionando sin y con el sistema de detección de fallos, respectivamente. La figura 6C muestra unas boquillas 628, 630 como consecuencia del soplete funcionando sin y con el sistema de detección de fallos, respectivamente. La figura 6D muestra unos electrodos 632, 634 como consecuencia del soplete funcionando sin y con el sistema de detección de fallos, respectivamente. La figura 6E muestra unos anillos de turbulencia 636, 638 como consecuencia del soplete funcionando sin y con el sistema de detección de fallos, respectivamente. Por lo tanto, el sistema de detección de fallos es ventajoso al menos puesto que impide daños a otros componentes del soplete en caso de un fallo de los consumibles. Por ejemplo, el sistema de detección de fallos puede detectar el momento en el que se usan consumibles incorrectos para un soplete o un proceso de funcionamiento y llevar a cabo acciones apropiadas para proteger las otras partes del soplete.

Otra ventaja del sistema de detección de fallos es que se puede integrar fácilmente en un soplete de arco de plasma sin una modificación compleja del diseño del soplete. Además, el uso del sistema de detección de fallos no requiere ningún cambio de los procesos de funcionamiento actuales. Esto se debe a que el sistema de detección ya usa señales existentes, tales como la señal de la corriente de funcionamiento y la señal del voltaje de funcionamiento, para realizar la detección de fallos. Además, la capacidad para detectar con precisión casos de fallo de los consumibles usando el sistema de detección de fallos aumenta la posibilidad de automatización de los procesos y reduce la necesidad de que el operario preste atención.

Un soplete de arco de plasma puede ser también susceptible a daños si el soplete pierde presión durante una operación de corte. Estos daños son posibles en diseños de soplete que dependen de la presión de aire para situar o desplazar los componentes en el interior del soplete (por ejemplo, un soplete “de retroceso” o “de avance”). En estos diseños, el arco de corte se puede seguir transfiriendo a la pieza de trabajo sin la presión y/o el flujo de gas apropiados para restringir y conducir el arco. El arco de corte se puede seguir también transfiriendo a la pieza de trabajo sin la presión apropiada para situar los componentes unos con relación a los otros. Esto puede producir la formación de arco en el interior del soplete, dando como resultado daños significativos al soplete y/o los consumibles. Además, puede producir un deterioro significativo de la calidad del corte. Según otro aspecto de la invención, se prevé una tecnología de detección de pérdida de presión que puede determinar la presión, o una pérdida de presión, en el soplete de arco de plasma sin el uso de sensores de presión o de flujo convencionales.

En un soplete de corte por plasma, existe una fuerte relación entre la presión del gas dentro del soplete y la energía requerida para mantener un arco de plasma. A medida que la presión aumenta, la energía requerida para mantener el arco también aumenta. Con una fuente de alimentación de corriente constante, el aumento de energía se manifiesta por sí mismo como un aumento del voltaje de arco. La tecnología de detección de pérdida de presión de la presente invención aprovecha la relación entre presión y voltaje al usar dos señales para determinar si se presenta una pérdida de presión dentro del soplete.

La primera señal, denominada VARC, es una estimación del voltaje entre el electrodo de un soplete de arco de plasma y la pieza de trabajo o boquilla. Se puede computarizar basándose en el voltaje de circuito abierto (“OCV”) y el ciclo de trabajo del inversor (es decir, la fuente de energía) ayudado por el uso de un filtro digital de paso bajo, que elimina la componente de alta frecuencia de la señal al tiempo que conserva las componentes de DC y de baja frecuencia de la señal.

La segunda señal, denominada VNE, es el voltaje entre la boquilla y el electrodo. La figura 7 muestra un circuito 600 a modo de ejemplo que puede medir la señal VNE y proporcionar una señal de salida aislada que se alimenta a un procesador de señales digitales (DSP) para procesamiento de señales. El circuito 600 incluye un divisor de voltaje 602 acoplado a un filtro de paso bajo 604, un amplificador de aislamiento 606, que puede incluir un Avago HCPL-7840, y un amplificador diferencial 608. Adicionalmente, un diodo de bloqueo 610 puede estar acoplado entre la boquilla 612 y el electrodo 614. Este diodo 610 bloquea cualquier oscilación transitoria resonante y produce una señal de bajo ruido en todas las condiciones de funcionamiento (por ejemplo, conductores largos, conductores enrollados del soplete). El filtro de paso bajo 604, que está en el lado de boquilla a electrodo (lado de entrada) del amplificador de aislamiento 606, funciona filtrando ruido de plasma de alta frecuencia en el lado de entrada.

Para determinar si se presenta una pérdida de presión en un soplete de arco de plasma, el sistema de detección de pérdida de presión puede ejecutar la siguiente secuencia de operaciones. En primer lugar, el sistema determina si la boquilla de soplete está tocando físicamente la pieza de trabajo (modo de contacto) o está retirada físicamente de la pieza de trabajo (modo de estiramiento del arco). Para hacer esto, se comparan los valores de voltaje de VARC y VNE. Si $VARC < (VNE + \text{aproximadamente } 40 \text{ V})$ o $VNE > \text{aproximadamente } 100 \text{ V}$, se supone que la boquilla está tocando la pieza de trabajo y el sistema de plasma está funcionando en el modo de contacto. De otra manera, se supone que el sistema de plasma está funcionando en el modo de estiramiento del arco.

Dependiendo del modo de funcionamiento, se determina el nivel inicial de funcionamiento de VARC o VNE. Si el sistema de plasma está en el modo de contacto, se registra el nivel inicial de funcionamiento de VARC. Si el sistema de plasma está en el modo de estiramiento del arco, se registra el nivel inicial de funcionamiento de VNE. Esto se puede hacer esperando un primer período predeterminado de tiempo y computarizando a continuación el nivel medio de funcionamiento de VARC o VNE sobre un segundo período de tiempo. Estos niveles iniciales computarizados durante el segundo período de tiempo se consideran los niveles de funcionamiento normales y se usan para calcular los umbrales correspondientes. En algunas realizaciones, el nivel umbral para VARC o VNE se ajusta multiplicando 0,625 por el nivel inicial de funcionamiento correspondiente. La fracción 0,625 se puede establecer mediante experimentación. Si la fracción se ajusta más alta, el sistema de detección es más sensible a la pérdida de presión, pero también más susceptible a una falsa activación.

El valor actual de VARC o VNE se supervisa continuamente, con un valor medio computarizado aproximadamente cada 64 ms. El promediado se usa para filtrar cualquier pico o mínimo brusco en el voltaje. Si el valor supervisado de VARC o VNE cae por debajo de su umbral correspondiente, se para el inversor del soplete y el sistema de detección 600 realiza un proceso de gestión de fallos. El procedimiento de parada puede implicar extinguir el arco de plasma para impedir que el caso a baja presión dañe el soplete. Además, el código de fallo puede ser indicado en el panel delantero del sistema de plasma.

En algunas realizaciones, un funcionamiento del soplete con una boquilla sin blindar puede alternar entre el modo de contacto de la boquilla y el modo de estiramiento del arco al tocar la pieza de trabajo con la boquilla y retirarla de dicha pieza. El sistema de detección 600 puede representar esto usando, por ejemplo, la señal apropiada, VARC o VNE, dependiendo de la condición de funcionamiento (contacto de la boquilla o estiramiento del arco).

- 5 En algunas realizaciones, la tecnología de detección de pérdida de presión usa filtros de paso bajo analógicos y/o digitales para suavizar las señales VNE y VARC a fin de impedir una falsa activación debido a ruido y puntas en el canal de muestreo ADC.

La figura 8 muestra formas de onda generadas por un enfoque a modo de ejemplo de detección de pérdida de presión. El primer trazo 710 muestra una disminución de presión en un soplete de arco de plasma debido a, por ejemplo, que sea plegado el conductor del soplete. En respuesta a la disminución de la presión 710 del soplete, disminuye también la señal VNE 720. Finalmente, cuando la señal VNE cae por debajo del umbral VNE 740, se interrumpe la corriente 730 de la fuente de alimentación.

La tecnología de detección de pérdida de presión tiene varias ventajas sobre los sensores de flujo o presión convencionales. La primera ventaja es el coste. Se puede implementar por el coste de la circuitería en la placa de potencia únicamente y no necesita ningún componente adicional. El coste de la circuitería es aproximadamente 6 \$. En contraste a esto, los conmutadores de flujo convencionales de bajo coste son aproximadamente de 18 \$ a 25 \$, sin incluir el coste de los conectores adicionales. Además, otros diseños, tales como los que usan un sensor de presión en el soplete, requieren un sensor robusto en un lugar físicamente exigente (por ejemplo, el cabezal de soplete), así como cableado para el sensor. La fiabilidad y el coste del sensor de presión en un lugar físicamente exigente es un problema, puesto que el sensor puede fallar debido al entorno extremo. Otra ventaja es que la tecnología de detección de pérdida de presión se puede ajustar dinámicamente a consumibles o parámetros del proceso diferentes. Por ejemplo, un conmutador de flujo se puede ajustar, en general, en un punto especificado de activación de flujo, que puede depender de la presión del gas entrante. Sin embargo, la tecnología de detección se puede usar a través de cualquier consumible o proceso, y puede predecir incluso qué consumible está instalado en el soplete basándose en el rastro de la señal de voltaje.

En otro aspecto, se prevé un método para predecir el final de la vida de los consumibles en un soplete basándose en el voltaje entre la boquilla y el electrodo (VNE) y la presión del plasma. La tecnología de predicción puede indicar cuánta vida, por ejemplo, la cantidad aproximada de tiempo, queda antes de que el consumible tenga que ser cambiado o el número de cortes que se pueden realizar antes de que el consumible sea cambiado. Se ha observado que el desgaste del electrodo de un soplete es proporcional a la profundidad de penetración del soplete, y el VNE está relacionado con la profundidad de penetración. Por ejemplo, en una situación ideal, el VNE aumenta proporcionalmente con un aumento de la profundidad de penetración. Por consiguiente, el VNE se puede usar para determinar el desgaste del electrodo. Sin embargo, el VNE está influido también por la presión en la cámara impelente del plasma. Además, los elevados ruidos eléctrico-magnéticos, las tolerancias del sistema y las variaciones de funcionamiento pueden reducir significativamente la precisión y la consistencia de la relación VNE-profundidad de penetración. Se prevé un algoritmo que usa el VNE y la presión de la cámara impelente (es decir, del gas de plasma) para predecir con precisión en tiempo real la vida del electrodo en un proceso de corte por plasma. Específicamente, la presión del plasma se supervisa y se usa para compensar la medición del VNE.

Se ha observado que la vida de un electrodo se puede estimar por la profundidad de penetración, que resulta de la pérdida de material debido a la erosión térmica. La figura 9 muestra una relación a modo de ejemplo entre el VNE de un soplete de arco de plasma y la profundidad de penetración del electrodo en el soplete. Por ejemplo, una profundidad de penetración de aproximadamente 0,040-0,060 pulgadas representa usualmente el final o casi el final de la vida del electrodo. Dicha profundidad de penetración puede corresponder aproximadamente a un aumento de 6 a 8 V en el VNE. Por lo tanto, se puede supervisar el VNE y se puede usar un aumento en el VNE para predecir la vida del electrodo.

Además, dado que el VNE se ve afectado fuertemente por la presión en la cámara impelente del plasma, el VNE se puede compensar por la presión del plasma como un factor de compensación. Sin embargo, debido a la dificultad para medir directamente la presión de la cámara impelente del plasma, se puede medir la presión de entrada al soplete en el lugar inmediatamente antes de que el gas de plasma entre en el cuerpo de soplete. Por ejemplo, la presión de entrada se puede medir en un conjunto de válvulas de cierre. Para computarizar el factor de compensación, nótese que, en una pequeña zona de variación, el VNE y la presión de entrada de plasma tienen una relación lineal como se muestra en la figura 10. Esta relación se puede usar para definir el factor de compensación para el VNE. En el ejemplo mostrado en la figura 10, el factor de compensación dV/dP es 0,46 voltios/psi. El dV/dP no solamente se considera para compensar las variaciones de presión del suministro de gas en un pequeño intervalo de variación, puede compensar también otras variaciones, tales como la corriente o la distancia de separación, que afecta directa o indirectamente tanto al VNE como a la presión del plasma.

En una implementación a modo de ejemplo de un método para predecir el final de la vida de un electrodo en un soplete de arco de plasma en tiempo real, se activa primero la adquisición de datos cuando comienza la ignición del arco y se transfiere con éxito, y se almacenan los datos adquiridos. Se registra también el número de arranques del arco. En los pocos arranques del principio, el VNE y la presión iniciales se calculan y se almacenan como referencia.

Cada VNE y cada presión se miden después de que el plasma alcance su régimen permanente. Después de ello, el VNE se compensa en variación de presión. El VNE compensado se promedia adicionalmente con un número de resultados anteriores para reducir las fluctuaciones asociadas con ruidos aleatorios. La diferencia entre el presente VNE compensado y el VNE de referencia inicial (aumento del VNE) se usa para estimar el uso del electrodo según una relación empírica entre el VNE y la vida. Cuando el aumento del VNE alcanza un umbral preestablecido, un aviso de "Final de vida" se genera como una salida.

Como se ha descrito anteriormente, después de que el arco de plasma de un soplete alcanza su régimen permanente, se pueden muestrear el VNE y la presión del gas. La figura 11 muestra formas de onda a modo de ejemplo del VNE 1002, el VARC 1004, la corriente 1006 y la presión 1008 de entrada al soplete para un corte de 4 segundos obtenido usando un sistema de oxígeno/aire de 200 amperios. Como se muestra, el tiempo para que la presión 1008 de entrada al soplete y el VNE 1002 alcancen un régimen permanente puede ser aproximadamente 2 segundos. Después de que el arco de plasma alcanza el régimen permanente, el algoritmo puede calcular los valores medios del VNE y la presión del gas sobre un período de tiempo dado, por ejemplo, 0,5 segundos. Estos valores medios se consideran como el VNE inicial y la presión inicial del arranque del arco actual. En algunas realizaciones, si un conjunto de nuevos consumibles se instala en el primer N_i número de arranques de arco, el algoritmo calcula el VNE y la presión promediados y los almacena como el VNE y la presión iniciales.

Los valores actuales de VNE y presión se muestrean continuamente después de que el plasma alcanza su régimen permanente. Un valor del VNE medido se puede compensar en variación de presión usando un dV/dP calculado previamente multiplicado por la diferencia entre la presión medida actual y la presión inicial:

$$V_{NE, Compensated} = V_{NE, measures} + (P_{measured} - P_{initial}) \times (dV/dP)$$

Una media móvil se puede usar para suavizar los datos en tiempo real. El VNE compensado que se obtiene para el arranque del arco actual (suponiendo el número de arranques N_s) se promedia con el número anterior de N_R arranques:

$$V_{NE, Rolling} = \frac{\left(\sum_{i=N_s-N_R+1}^{N_s} V_{NE, Compensated, i} \right)}{N_R}$$

El aumento de VNE viene dado por la diferencia entre el VNE actual sometido a media móvil y el VNE inicial:

$$V_{NE, Rise} = V_{NE, Rolling} - V_{NE, initial}$$

Cuando el aumento del VNE alcanza o excede un umbral predeterminado, se puede dar una señal de aviso al operario. Esta señal indica que el electrodo se está acercando al final de su vida y es probable que falle pronto. Además, una relación empírica entre el aumento del VNE y la vida del electrodo se puede obtener a partir de una gran base de datos de ensayos anteriores. En una realización, se promedian perfiles de VNE anteriores para desarrollar un perfil medio a fin de usarlo en tiempo real. El porcentaje de vida restante del electrodo se puede obtener de esta relación junto con el aumento del VNE.

En un ejemplo, para un proceso de oxígeno/aire de 200 amperios, los valores de los parámetros descritos anteriormente son: $N_i=10$, $N_R = 5$, Umbral de VNE = 6 V y $dV/dP = 0,46$ V/psi.

En algunas realizaciones, para usar la tecnología de predicción del final de la vida de la presente invención, un usuario puede seleccionar de una interfaz de usuario el proceso y la condición del electrodo (por ejemplo, nuevo o usado) para lo que se requiere una predicción. Un indicador de la interfaz de usuario puede informar continuamente sobre la cantidad de electrodo restante. Al final de la vida del electrodo, se puede generar una salida "Final de la vida". La tecnología de predicción puede informar sobre la condición en tiempo real del electrodo con alta precisión. Por ejemplo, con una confianza del 90%, el algoritmo puede predecir, al menos, el 75% del uso del electrodo con un proceso estándar de funcionamiento.

Una ventaja de la tecnología de predicción es que no está implicado ningún rediseño complejo cuando se integra la tecnología en un sistema existente por arco de plasma. La tecnología puede usar señales internas existentes, tales como el VNE del proceso de plasma, para realizar la detección del final de la vida de un electrodo. Solamente un sensor adicional se puede añadir al sistema de plasma. Además, no hay ningún cambio para el proceso actual de corte por plasma. Ni el sistema ni el proceso se tiene que rediseñar. La tecnología se puede integrar fácilmente en el sistema actualizado mediante una instalación a posteriori. La tecnología se puede autocalibrar usando el propio proceso de corte por plasma cuando se cambian los consumibles.

El aspecto de la compensación de presión y de la media móvil de la tecnología proporciona a dicha tecnología la capacidad para reducir los efectos de las variaciones de funcionamiento y mejora la robustez del sistema. La media móvil trabaja como un filtro de ruidos eficaz para aumentar la relación señal-ruido. La compensación de presión y el filtro digital pueden permitir predicciones de vida altamente precisas para el electrodo.

- 5 La tecnología puede usar un umbral rígido y una relación VNE-vida empírica para estimar el uso del electrodo. La capacidad para predecir con precisión que se aproxima inevitablemente el final de la vida del electrodo aumenta la posibilidad de automatización de los procesos y reduce la necesidad de que el operario preste atención.

- 10 En otro aspecto, se prevé un algoritmo que usa una señal del voltaje de boquilla a electrodo (VNE) temporalmente resuelta para indicar apariciones de doble arco durante el proceso de corte por plasma. La tecnología puede utilizar una adquisición de datos en tiempo real, un filtro eficaz y un procesamiento de señales digitales para aumentar la relación señal-ruido y captar la duración temporal cuando sucede un doble arco.

- 15 En un soplete de corte por plasma, la columna del arco funciona como un conductor eléctrico entre el electrodo (cátodo) y la pieza de trabajo (ánodo). La boquilla trabaja como un estrangulador para restringir la columna del arco y aumentar el nivel de energía cuando el gas de plasma fluye a través del orificio. Normalmente, la columna del arco permanece coaxial con el orificio de boquilla. Cuando se presenta un doble arco, sin embargo, la columna del arco hace contacto con la boquilla de manera que la trayectoria de la corriente eléctrica llega a ser electrodo-boquilla-pieza de trabajo en vez de electrodo-pieza de trabajo. Cuando se presenta un doble arco, la raíz del arco, donde el arco se une a la boquilla, tiene alta densidad de energía dando como resultado una alta temperatura. La temperatura puede aumentar más allá del punto de fusión del material de la boquilla, haciendo que se funda o se vaporice una pequeña cantidad de material de la boquilla. Dicha pérdida del material de la boquilla conduce a un cambio de la forma del orificio de boquilla y puede dar como resultado el deterioro de la calidad de corte y el acortamiento de la vida de los consumibles. En el peor de los casos, un doble arco puede destruir completamente los consumibles y arruinar las piezas de corte.

- 25 Se prevén sistemas y métodos para evaluar el daño a la boquilla causado por la formación de doble arco al detectar de modo consistente los dobles arcos durante el proceso de corte. Dicha detección y supervisión en tiempo real pueden proporcionar una posibilidad para la automatización del proceso de corte por plasma, mejorar la consistencia de la calidad del corte y reducir la dependencia de que el operario preste atención de modo ininterrumpido. Al captar de modo rápido y fiable los casos de formación de doble arco, los mismos se pueden usar para detectar el daño a la boquilla o la vida de la boquilla.

- 30 En algunas realizaciones, el voltaje de boquilla a electrodo (VNE) se usa para detectar el desgaste del electrodo dado que representa las características del plasma de un proceso con plasma. La formación de doble arco representa una variación espectacular de una columna de arco, puesto que el arco cambia su forma y la trayectoria de corriente. El VNE reflejará inevitablemente dicha variación espectacular de la condición del arco. Sin embargo, la mayoría de las condiciones de doble arco suceden de modo incontrolable durante un período muy corto de tiempo, por ejemplo, aproximadamente de 1 a 100 milisegundos. Por lo tanto, se requiere un enfoque de adquisición de datos a velocidad relativamente alta para investigar la aparición de un doble arco. Para conseguir esto, un sistema de adquisición de datos se puede hacer funcionar a una frecuencia de muestreo de aproximadamente 2.000 Hz.

- 40 En algunas realizaciones, se prevé un método para aumentar la probabilidad de un doble arco en un soplete de arco de plasma. En primer lugar, se aumenta la corriente de funcionamiento. Entonces, se disminuye el caudal del gas de plasma. El tamaño del orificio de boquilla se reduce también o la estabilidad del arco se perturba, por ejemplo, aplicando un campo magnético externo. En algunos ejemplos, se efectúan ensayos en un proceso de oxígeno/aire tanto en uno de 100 amperios como en uno de 200 amperios. Para el proceso de 100 amperios, las variaciones de corriente y el caudal de gas se pueden usar para inducir un doble arco. Para el proceso de 200 amperios, el tamaño del orificio y el flujo de gas se pueden usar para inducir un doble arco.

- 45 La figura 12 ilustra una interfaz de usuario 1210 a modo de ejemplo de un programa de adquisición de datos en tiempo real para detección y supervisión de dobles arcos. Los datos de la figura 12 se obtienen con un proceso de oxígeno/aire de 200 amperios. El orificio de la boquilla fue modificado desde aproximadamente 0,082" hasta aproximadamente 0,068" y el flujo del gas de plasma desde aproximadamente 38 litros estándar por minuto ("slm") hasta aproximadamente 25 slm. Se introdujo también una interferencia magnética. La forma de onda 1202 en el panel de trazado gráfico 1204 representa el VNE. El cambio súbito de la forma de onda 1202 de VNE desde aproximadamente 0,5 segundos hasta aproximadamente 1,2 segundos indica un doble arco. La interfaz 1210 muestra también que la duración del doble arco es aproximadamente 646 ms, como se determina por el algoritmo descrito en lo que sigue. La forma de onda 1202 representa una forma de onda típica de VNE cuando se presenta la formación de doble arco. Aunque el cambio de configuración de la forma de onda 1202 causado por el doble arco no es difícil de identificar visualmente, es muy desafiante captarlo matemáticamente para distinguirlo claramente de las fluctuaciones de arco normales.

La figura 13 ilustra un ejemplo de una interfaz gráfica de usuario 1302 de software de procesamiento de datos para detección de dobles arcos. La forma de onda superior 1304 son los datos sin procesar obtenidos de la adquisición de datos en tiempo real. La forma de onda intermedia 1306 son los datos después de un filtrado de media móvil. La

forma de onda inferior 1308 es una derivación de los datos de media móvil. Los datos se obtienen usando consumibles de oxígeno/aire de 100 amperios funcionando a 160 amperios y aproximadamente al 60% del caudal normal de plasma.

5 Se puede construir un algoritmo para calcular la duración temporal del doble arco. En este algoritmo, los datos sin procesar, tales como la forma de onda 1304, se someten primero a una media móvil sobre un gran número (N_R) de puntos de datos, lo que puede suavizar las pequeñas variaciones causadas por ruidos. La forma de onda 1306 es un resultado a modo de ejemplo de dicho filtrado de media móvil. Entonces, la derivación sobre el otros número (N_D) de puntos de datos se realiza en los datos sometidos a media móvil. La forma de onda 1308 es una derivación a modo de ejemplo de los datos de media móvil 1306.

$$V_{Rolling,i} = \frac{\sum_{n=i-N_R+1}^i V_n}{N_R}$$

$$\Delta_i = V_{rolling,i} - V_{rolling,i-N_D}$$

10 La frecuencia de muestreo se puede ajustar en 2.000 Hz. Tanto N_R como N_D se pueden ajustar en 50. Todos los dobles arcos se pueden detectar con éxito basándose en los resultados de la derivación. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 13, el par de picos 1310, 1312 opuestos en el perfil de derivación 1308 indican el principio y el fin del caso de doble arco y el tiempo entre estos dos picos es la duración del doble arco. Es perceptible también que la media móvil suaviza algunos dobles arcos muy cortos. Los dobles arcos cortos no parecen que causen daños significativos a la boquilla dado que la entrada de calor es relativamente pequeña. Esto es parcialmente debido al hecho de que la transmisión de calor al elemento de fijación del arco no es una función directa de la variación de voltaje puesto que el voltaje que cae a través de la envoltura conductora entre el plasma y la superficie maciza de la boquilla está determinado por las propiedades del gas de plasma y del material macizo adyacente. Basándose en esta teoría, la carga térmica a la boquilla durante el doble arco es una función del tiempo bajo un conjunto dado de parámetros de funcionamiento del plasma. En algunas realizaciones, el algoritmo puede filtrar todos los dobles arcos más cortos que 10 ms.

25 El algoritmo de adquisición y procesamiento de datos en tiempo real puede captar un doble arco inmediatamente después de que suceda. La capacidad de detectar un doble arco y determinar su duración proporciona una posibilidad para supervisar los daños a la boquilla y predecir la vida útil de la misma, lo que puede conducir a la automatización del proceso de corte por plasma.

30 El algoritmo puede usar la media móvil y la derivación para procesar datos altamente ruidosos. El procesamiento de datos puede aumentar significativamente la relación señal-ruido y pasar por alto automáticamente los dobles arcos no significativos. La tecnología puede usar el voltaje de boquilla a electrodo como señal principal. Ni el sistema ni los parámetros del proceso se tienen que modificar a fin de usar el algoritmo.

La señal VNE utilizada en el algoritmo se puede usar también en la indicación de desgaste del electrodo. Los dos sistemas de supervisión se pueden combinar en tándem para supervisar las condiciones tanto de la boquilla como del electrodo.

35 Se puede establecer una referencia de daños a la boquilla, de manera que los daños de la boquilla se pueden valorar para ponerlos en correlación con la duración registrada del doble arco. Se puede construir un algoritmo similar a un algoritmo de indicación del desgaste del electrodo, y la condición de la boquilla se puede dar a conocer en tiempo real al detectar y supervisar los dobles arcos.

40 Aunque se han mostrado y descrito diversos aspectos del método dado a conocer, a los expertos en la técnica se les pueden ocurrir modificaciones tras la lectura de la memoria descriptiva. La presente solicitud incluye dichas modificaciones y está limitada solamente por el alcance de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método para determinar un caso de fallo de un consumible para un soplete de plasma, comprendiendo el método:
- 5 supervisar, al menos, uno de un voltaje de funcionamiento o una corriente de funcionamiento durante un modo de transferencia de arco del soplete de arco de plasma (106);
- determinar cuándo al menos un parámetro asociado con la corriente de funcionamiento o el voltaje de funcionamiento excede un umbral de tolerancia durante un período de tiempo indicativo del caso de fallo (108, 110);
- e
- 10 interrumpir, al menos, uno del voltaje de funcionamiento o la corriente de funcionamiento del soplete de arco de plasma cuando dicho al menos un parámetro excede el umbral de tolerancia durante el periodo de tiempo (112, 114).
2. El método según la reivindicación 1, en el que se aplica uno cualquiera de los siguientes,
- a) el período de tiempo comprende aproximadamente 1,5 milisegundos;
- 15 b) dicho al menos un parámetro asociado con la corriente de funcionamiento comprende amplitud de la corriente, régimen de cambio de la corriente o fluctuación de la amplitud de la corriente;
- c) dicho al menos un parámetro asociado con el voltaje de funcionamiento comprende amplitud del voltaje de arco, régimen de cambio del voltaje de arco o fluctuación de la amplitud del voltaje de arco;
- d) el caso de fallo incluye la ausencia de un emisor en un electrodo, una gran pérdida de material consumible, un arco que se emite fuera de una parte del electrodo distinta del emisor, o una combinación de
- 20 los mismos; y
- e) el caso de fallo incluye instalar un consumible incorrecto para un tipo de operación del soplete de plasma, en el que opcionalmente el tipo de operación comprende una operación de corte, una operación de calentamiento, una operación de ranurado o una operación de marcado.
3. El método según la reivindicación 1, en el que la determinación comprende
- 25 a) determinar cuándo tanto un primer parámetro asociado con la corriente de funcionamiento como un segundo parámetro asociado con el voltaje de funcionamiento exceden sus umbrales respectivos durante el período de tiempo y/o
- b) el método comprende además determinar el umbral de tolerancia basándose en una corriente de salida del soplete de plasma, en el que opcionalmente el umbral de tolerancia comprende un umbral de corriente de
- 30 aproximadamente 1,0 A si la corriente de salida es menor que aproximadamente 45 A, un umbral de corriente de aproximadamente 1,25 A si la corriente de salida está entre aproximadamente 45 A y aproximadamente 75 A, o un umbral de corriente de aproximadamente 1,5 A si la corriente de salida es mayor que aproximadamente 75 A.
4. El método según la reivindicación 1, en el que el umbral de tolerancia comprende un umbral de voltaje de
- 35 aproximadamente 3 V.
5. Un método para hacer funcionar un soplete de arco de plasma (106), comprendiendo el método:
- determinar una señal de funcionamiento durante un modo de transferencia de arco del soplete de arco de plasma (106);
- calcular un nivel de ruido asociado con la señal de funcionamiento;
- 40 determinar cuándo el nivel de ruido excede un umbral predeterminado durante un período de tiempo (108, 110);
- proporcionar una señal de fallo cuando el nivel de ruido excede el umbral predeterminado durante el período de tiempo (112).
6. El método según la reivindicación 5, en el que el período de tiempo comprende aproximadamente 1,5 milisegundos y/o
- 45 en el que la señal de fallo incluye interrumpir una corriente de funcionamiento del soplete de arco de plasma, un sonido audible, una señal visual, una señal electrónica, y cambiar, al menos, un parámetro de funcionamiento del soplete de arco de plasma, o una combinación de los mismos.
7. Un sistema de detección de fallos (200) que comprende:

medios para determinar una señal de funcionamiento durante un modo de transferencia de arco del soplete de arco de plasma;

medios para calcular un nivel de ruido asociado con la señal de funcionamiento;

medios para determinar cuándo el nivel de ruido excede un umbral predeterminado durante un período de tiempo; y

5 medios para proporcionar una señal de fallo cuando el nivel de ruido excede el umbral predeterminado durante el período de tiempo.

8. El sistema de detección de fallos según la reivindicación 7, en el que se aplica uno cualquiera o más de los siguientes,

a) la señal de funcionamiento comprende un voltaje de funcionamiento o una corriente de funcionamiento.

10 b) el sistema comprende además medios para interrumpir una corriente de funcionamiento del sistema de soplete de plasma cuando el nivel de ruido excede el umbral predeterminado durante el período de tiempo.

15 c) el sistema comprende además una fuente de alimentación acoplada a los medios para determinar cuándo el nivel de ruido excede el umbral predeterminado durante el período de tiempo de manera que la fuente de alimentación se apaga cuando el nivel de ruido excede el umbral predeterminado durante el período de tiempo.

9. El sistema de detección de fallos según la reivindicación 7 u 8, que comprende además un componente (208) que comprende:

un producto legible por ordenador realizado de modo tangible en un soporte de información, que se puede hacer funcionar en un CNC, comprendiendo el producto legible por ordenador:

20 información para realizar una operación sobre una pieza de trabajo usando un soplete de arco de plasma, incluyendo instrucciones tales que, mientras se realiza la operación, se apaga una corriente de funcionamiento del soplete de arco de plasma si un nivel de ruido asociado con una señal de funcionamiento excede un umbral predeterminado.

25 10. El sistema de detección de fallos según la reivindicación 9, en el que el funcionamiento comprende una operación de corte, una operación de calentamiento, una operación de ranurado o una operación de marcado y/o en el que la señal de funcionamiento comprende un voltaje de funcionamiento o una corriente de funcionamiento.

11. El método según la reivindicación 1, en el que la señal de fallo comprende interrumpir la corriente de funcionamiento del soplete de plasma, el sonido audible, la señal visual, la señal electrónica, y cambiar, al menos, un parámetro de funcionamiento para proteger el soplete de arco de plasma, o una combinación de los mismos.

30 12. El sistema de detección de fallos según la reivindicación 7 ó 9, que comprende además:

una entrada desde un soplete de plasma (210) configurada para generar un arco de plasma, teniendo el soplete de plasma (210) unos componentes consumibles;

35 y el componente (208) según la reivindicación 9 para controlar y supervisar, al menos, uno de un voltaje de arco o una corriente de funcionamiento del soplete de plasma, en el que dicho componente (208) detecta el caso de fallo asociado con los componentes consumibles y cambia una señal de funcionamiento.

FIG. 1

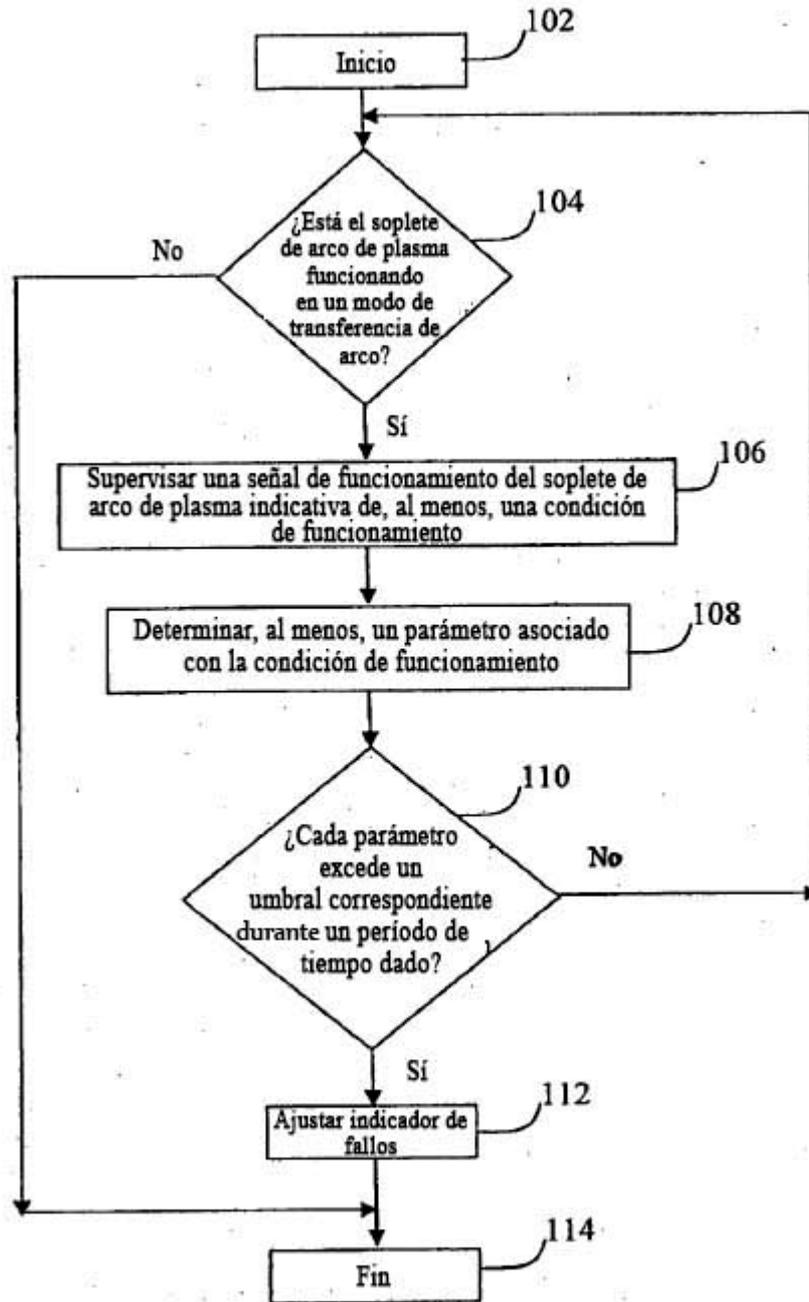


FIG. 2

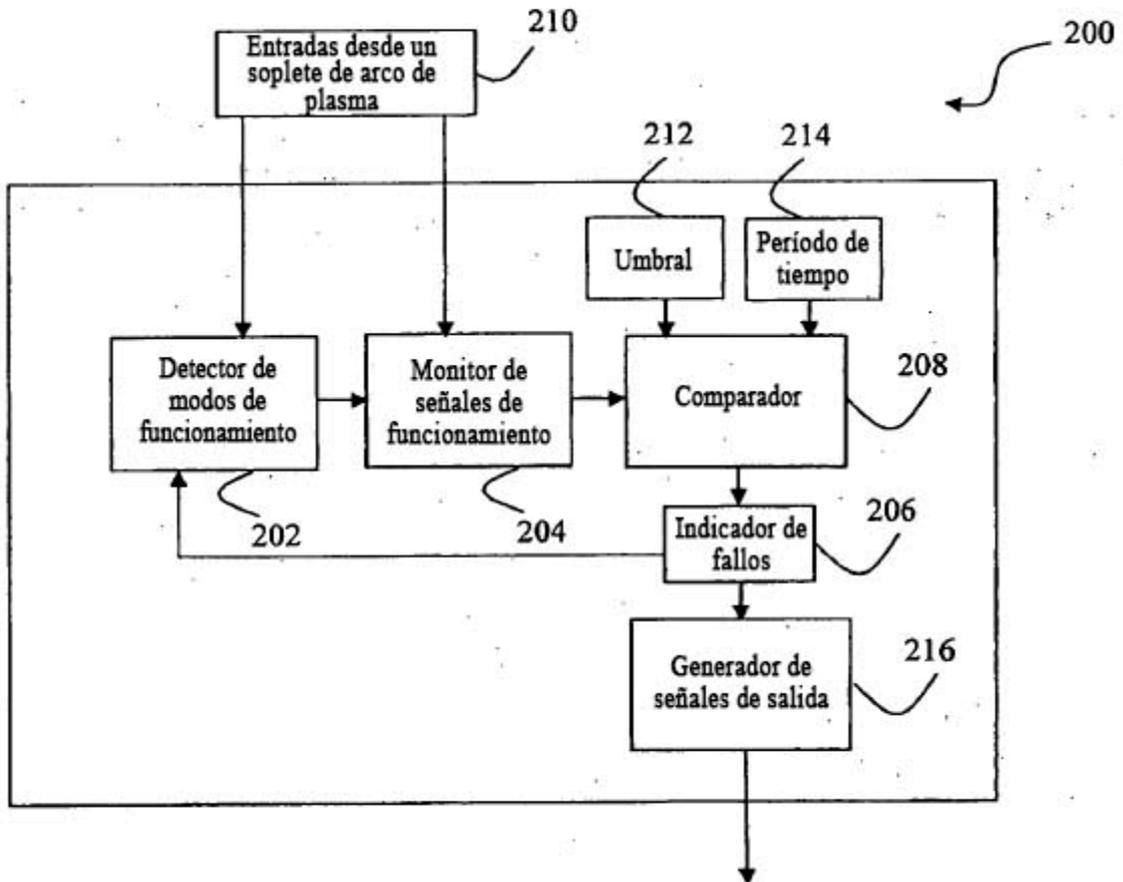


FIG. 3A

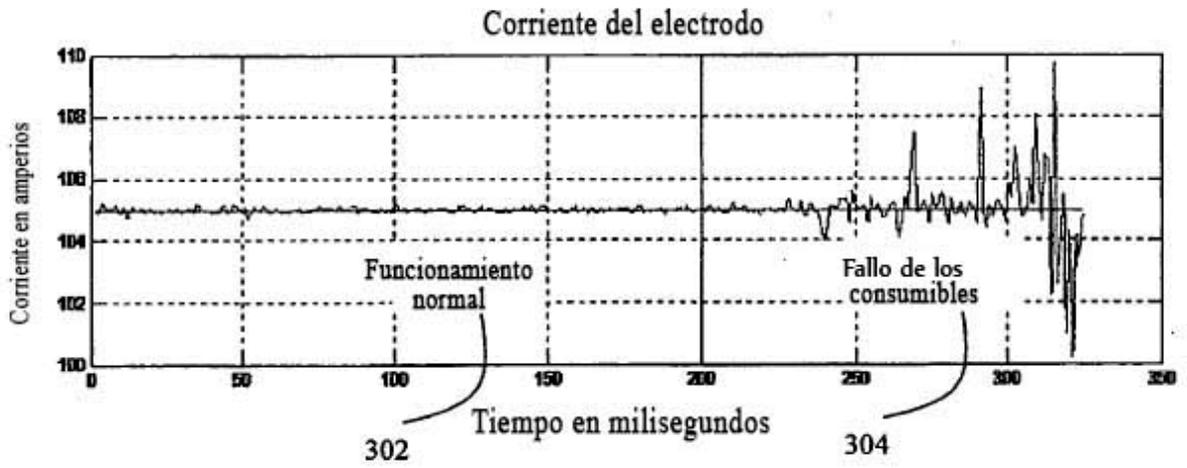


FIG. 3B

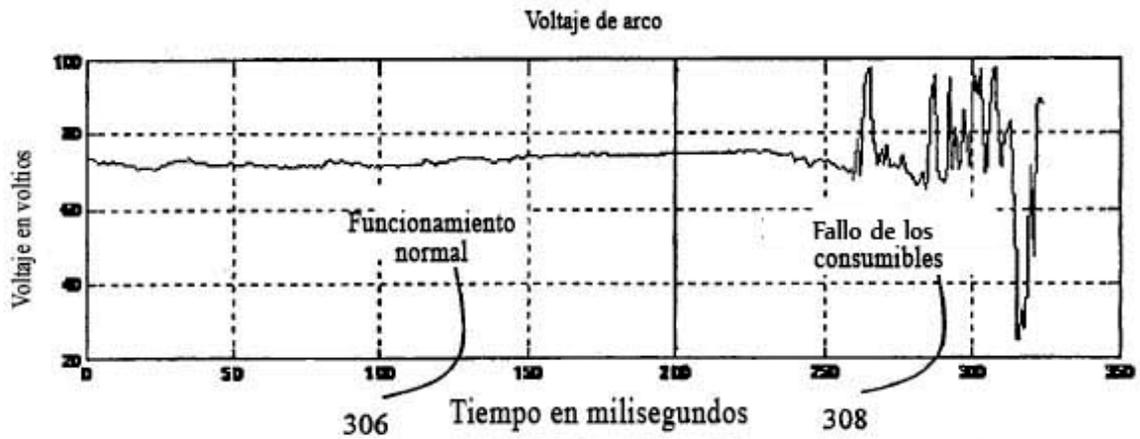


FIG. 4A



FIG. 4B

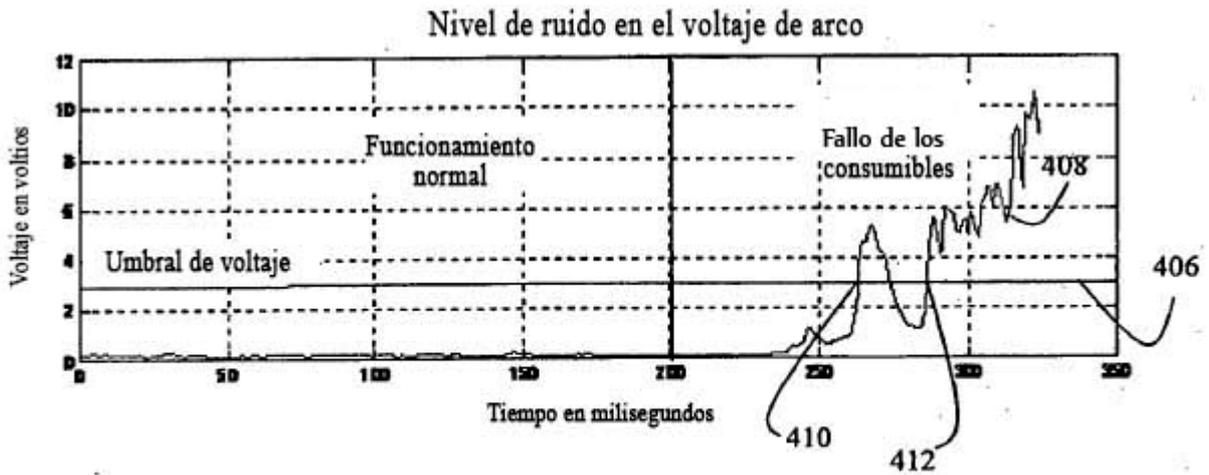
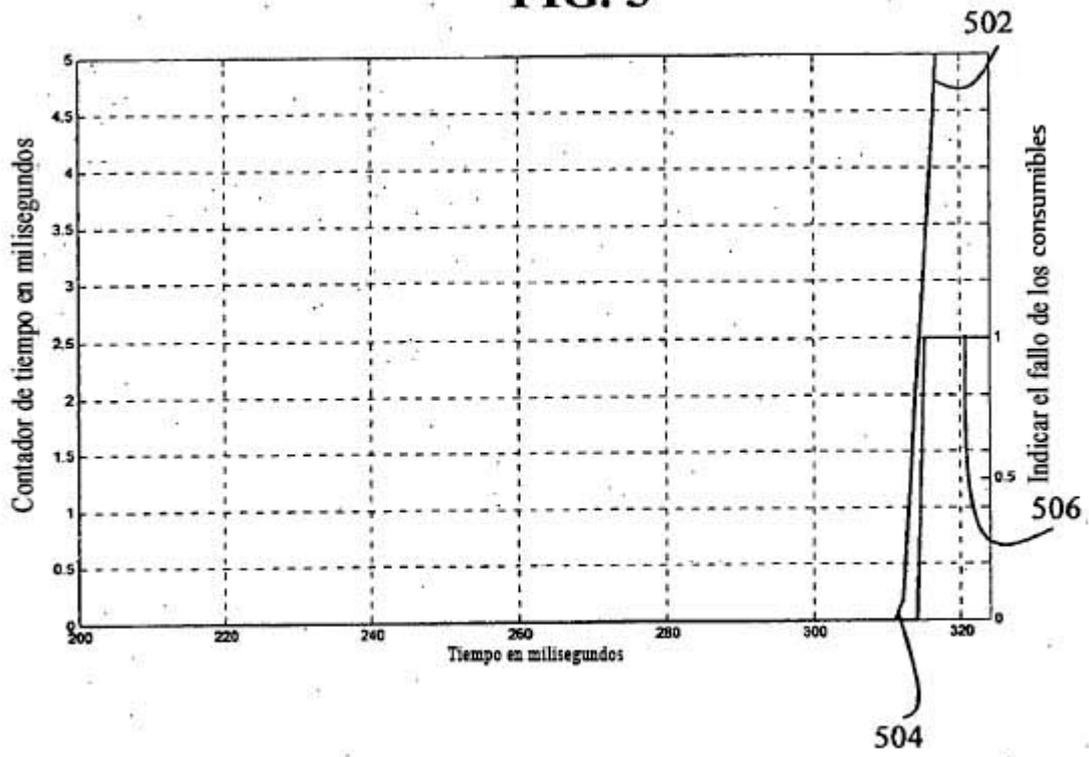


FIG. 5



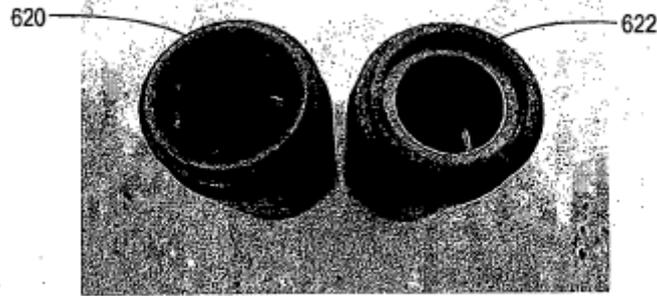


FIG. 6A

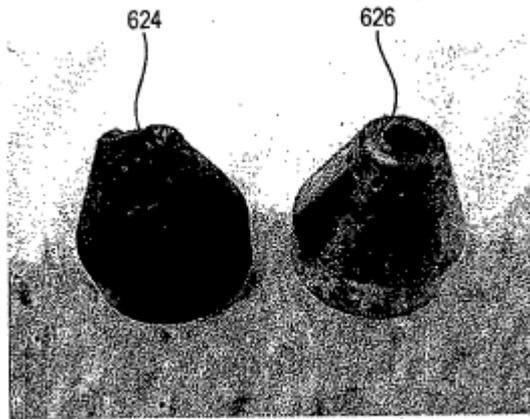


FIG. 6B

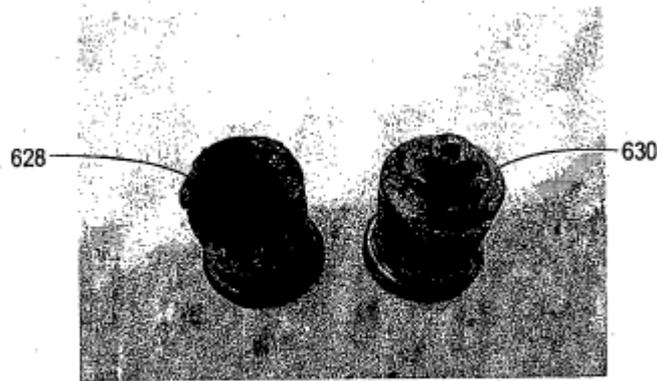


FIG. 6C

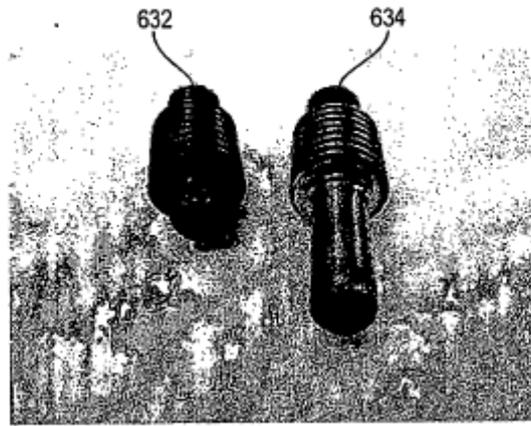


FIG. 6D

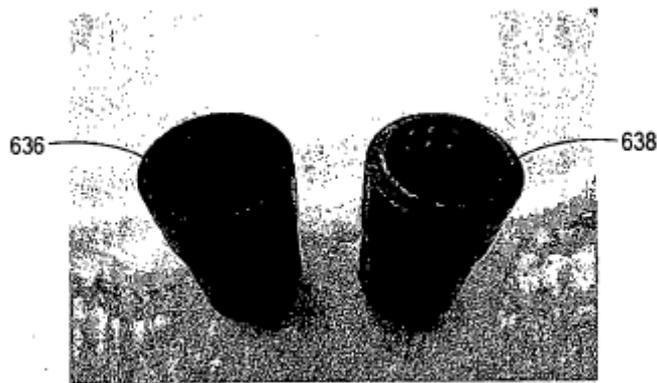


FIG. 6E

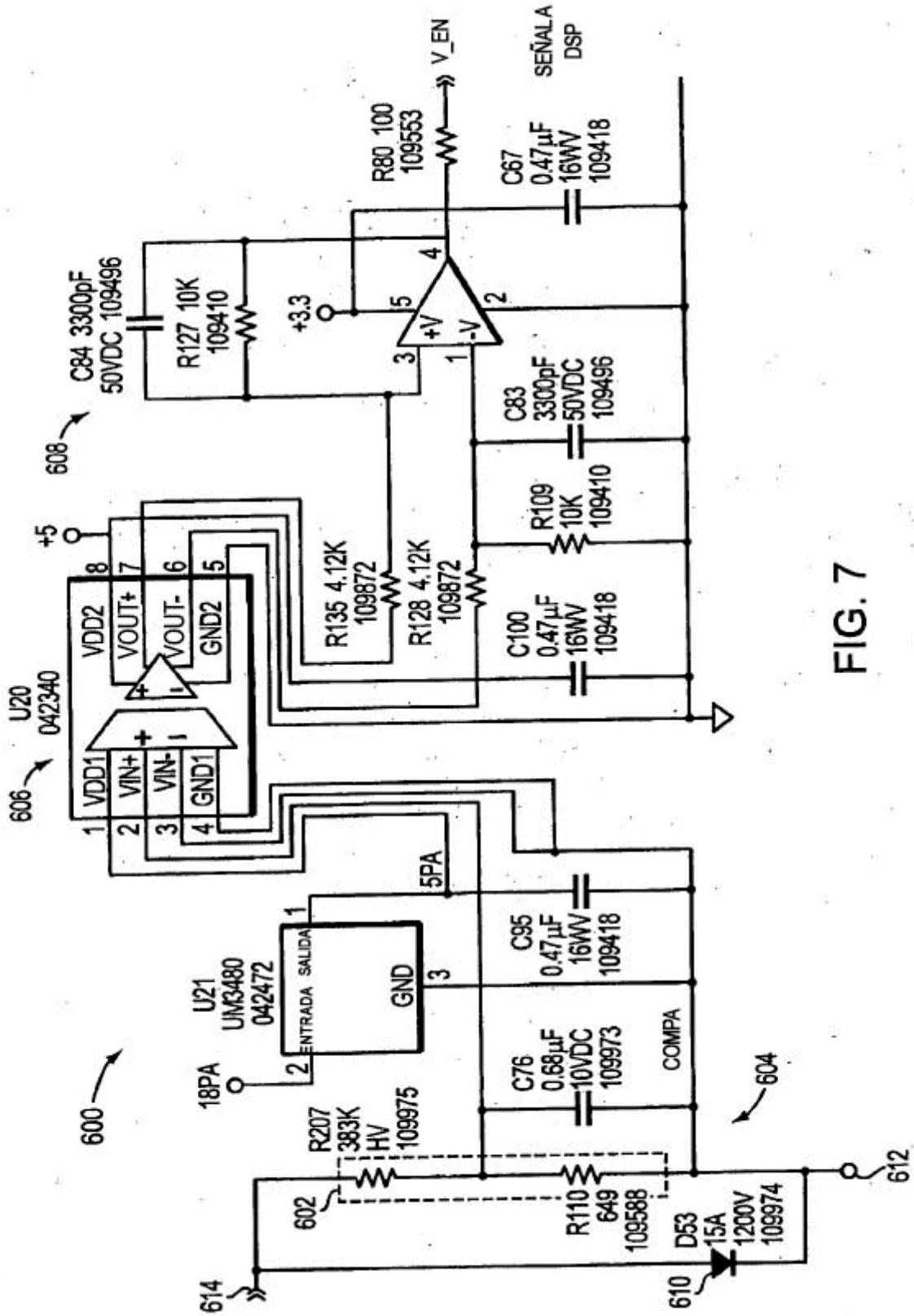


FIG. 7

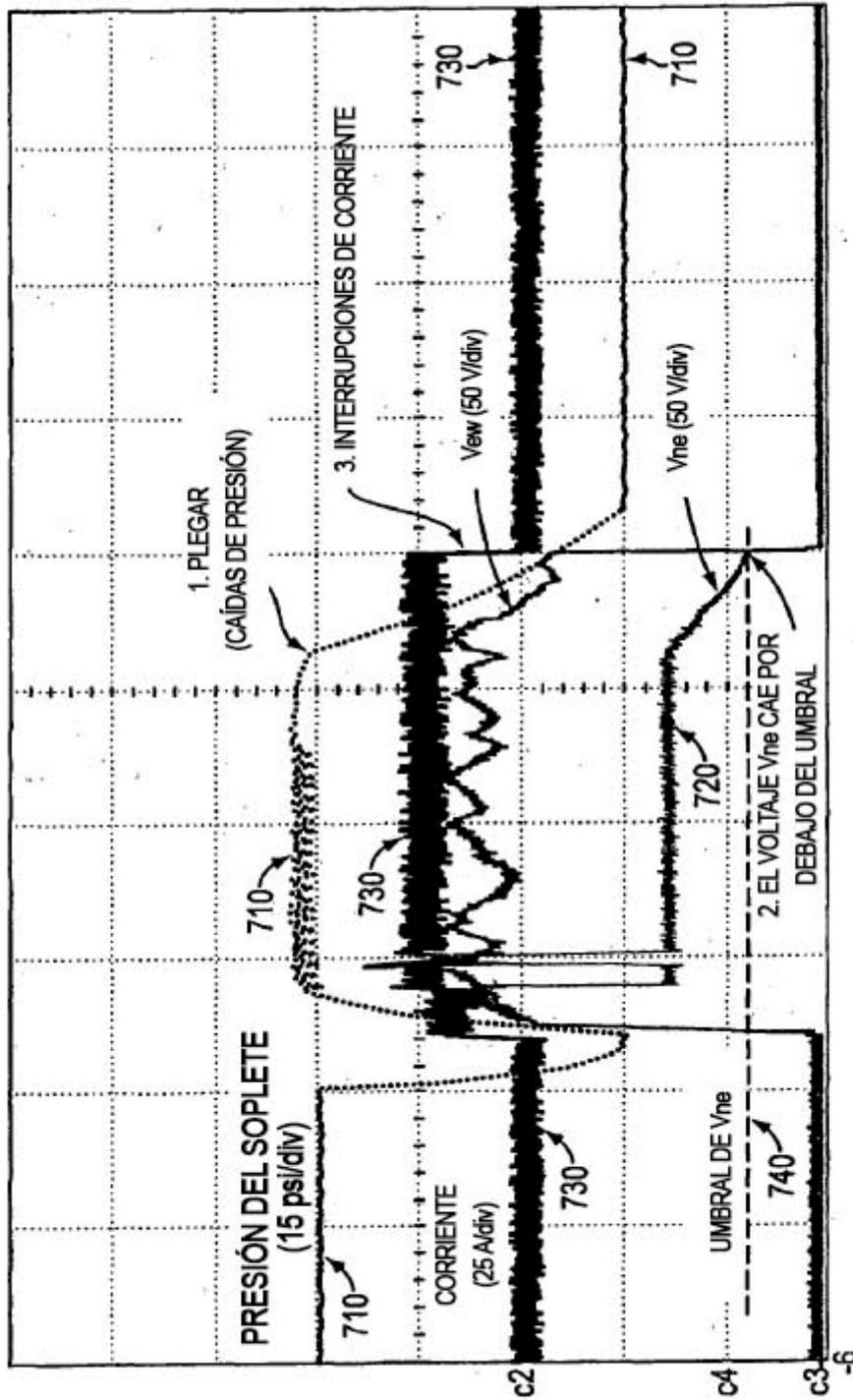


FIG. 8

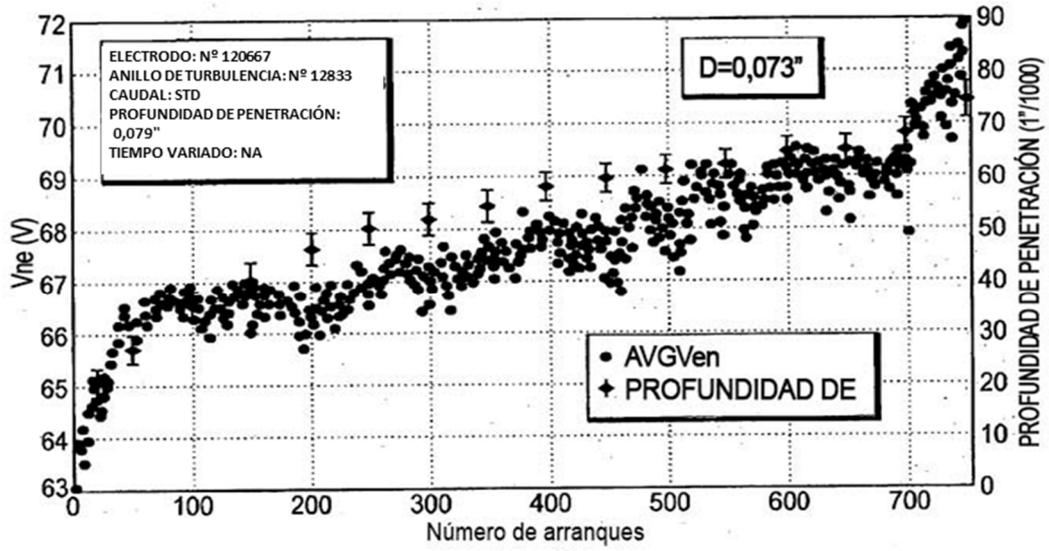


FIG. 9

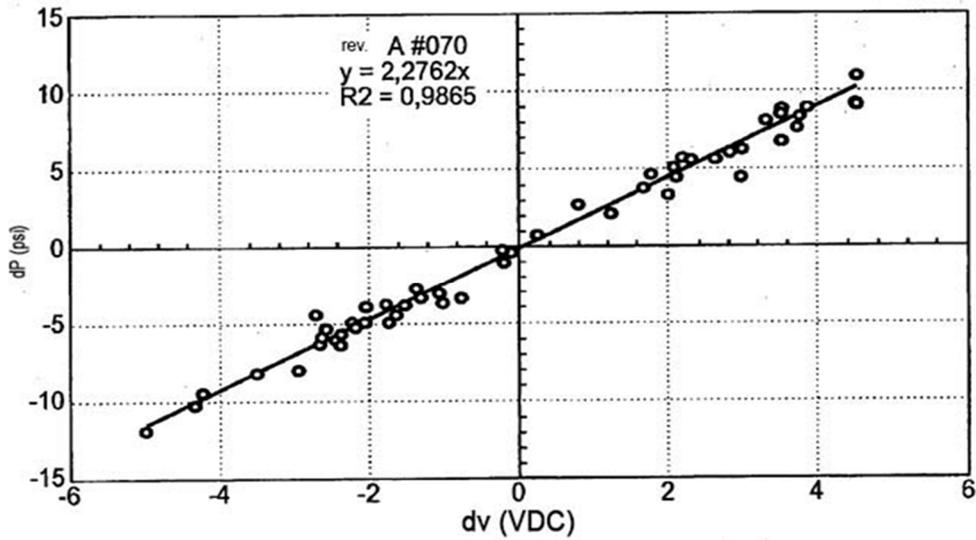


FIG. 10

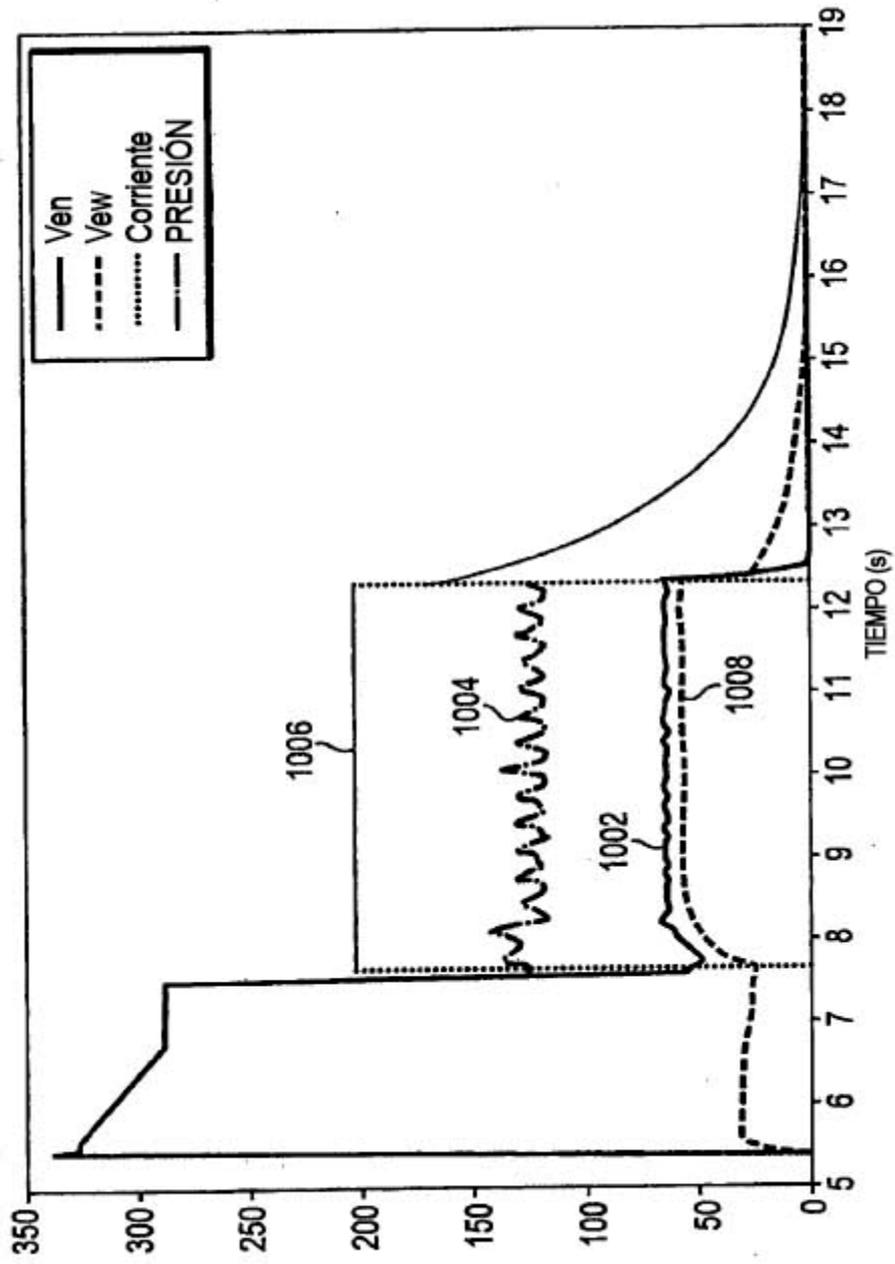


FIG. 11

1210

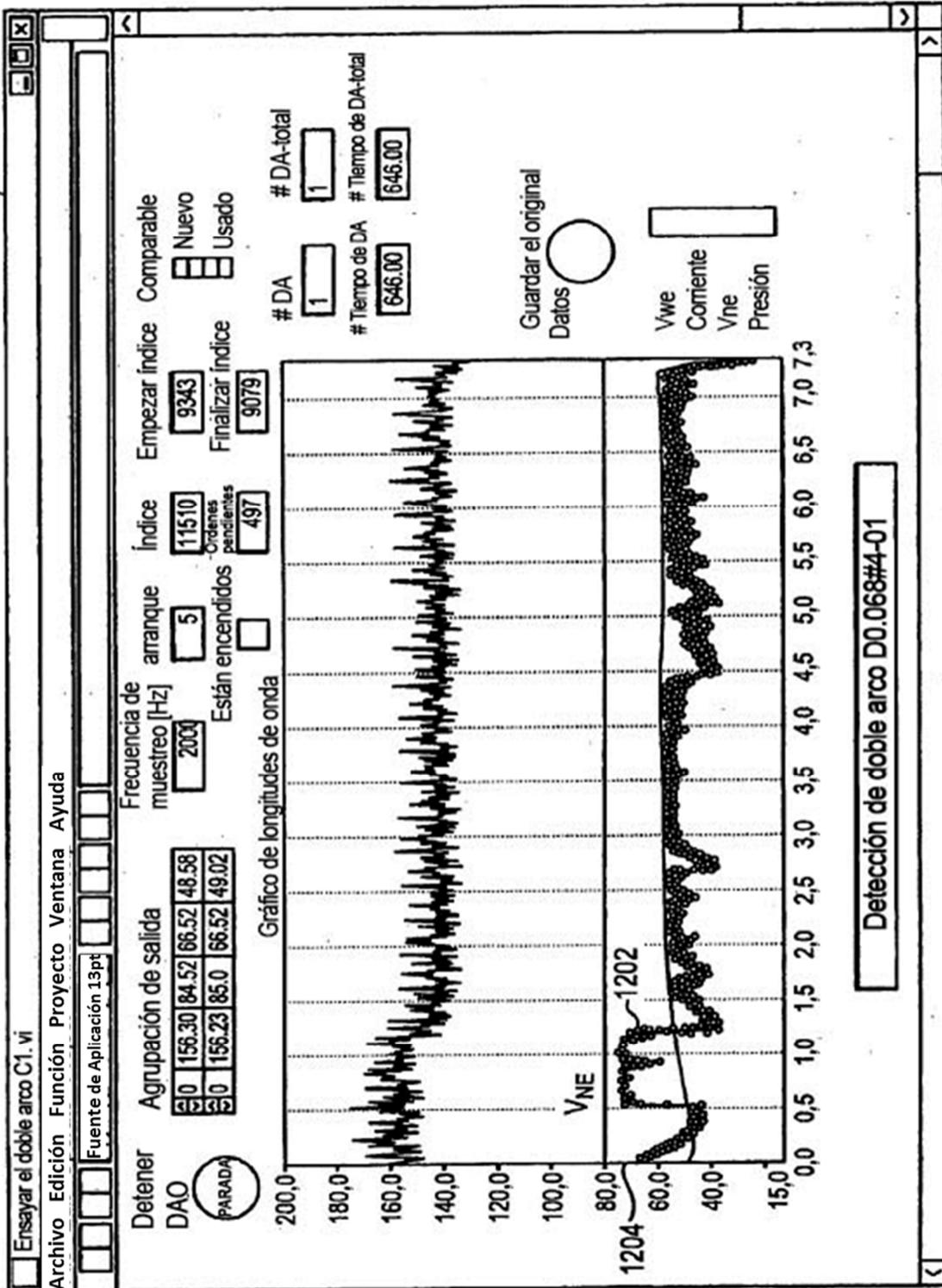


FIG. 12

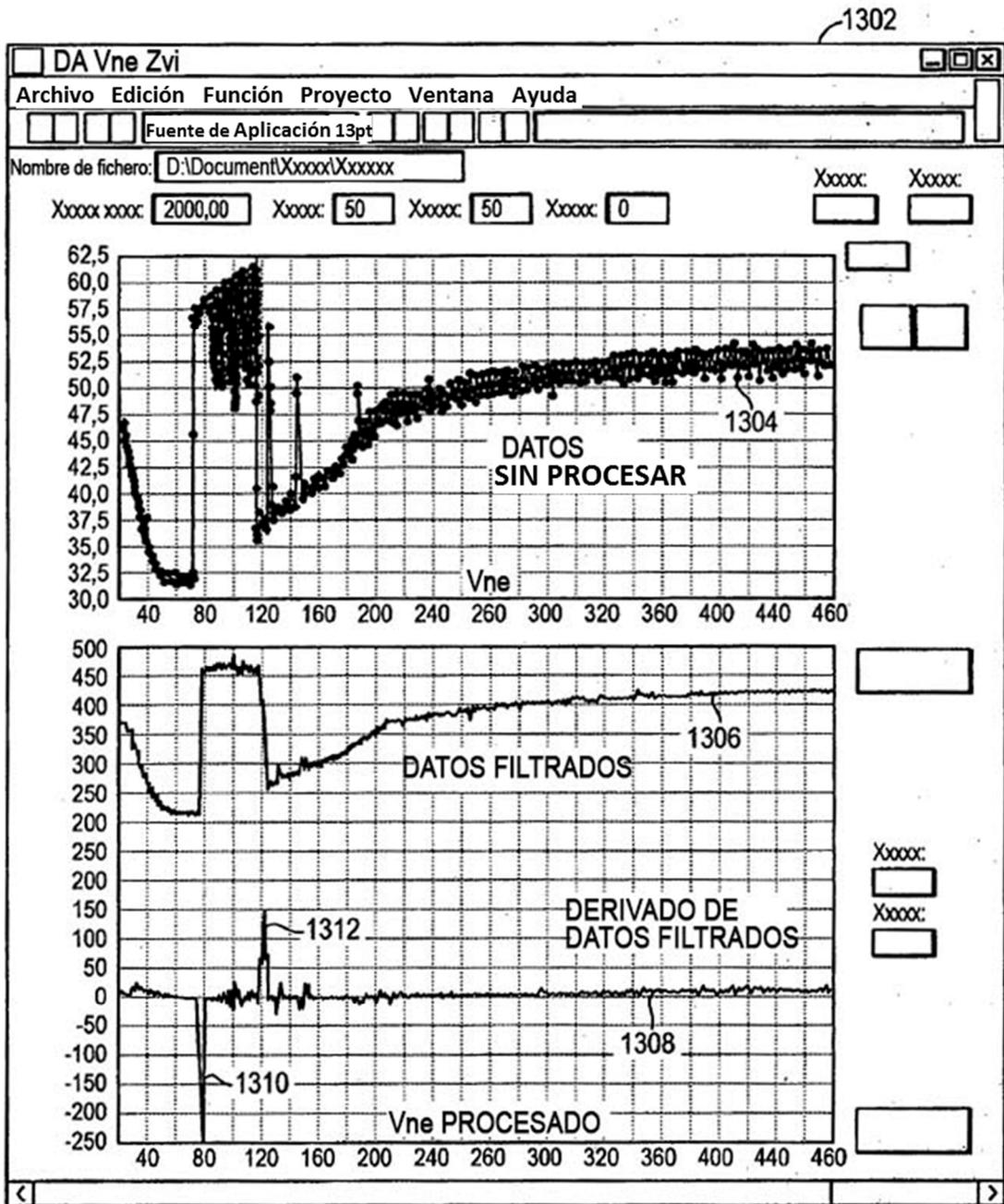


FIG. 13