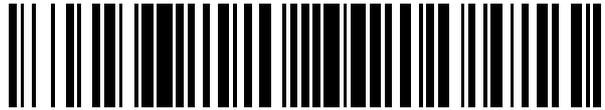


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 456 892**

51 Int. Cl.:

**B23K 10/00**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.09.2010 E 10776076 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.01.2014 EP 2483031**

54 Título: **Procedimiento para el corte por plasma de una pieza de trabajo mediante un sistema de corte por plasma y corriente pulsante**

30 Prioridad:

**01.10.2009 DE 102009043713  
25.01.2010 DE 102010005617**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**23.04.2014**

73 Titular/es:

**KJELLBERG FINSTERWALDE PLASMA UND  
MASCHINEN GMBH (100.0%)  
Oscar-Kjellberg-Strasse 20  
03238 Finsterwalde , DE**

72 Inventor/es:

**FRIEDEL, JENS;  
IRRGANG, GERHARD;  
KRINK, VOLKER y  
OLLMANN, JENS**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 2 456 892 T3**

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

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento para el corte por plasma de una pieza de trabajo mediante un sistema de corte por plasma y corriente pulsante.

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para el corte por plasma de una pieza de trabajo mediante un sistema de corte por plasma según el preámbulo de la reivindicación 1 (véase, por ejemplo, el documento US 6 274 841).

Como plasma se designa un gas térmicamente muy calentado, eléctricamente conductor que se compone de iones positivos y negativos, electrones, así como átomos y moléculas excitados y neutros.

10 Como gas de plasma se usan diferentes gases, por ejemplo, el argón monoatómico y/o los gases diatómicos hidrógeno, nitrógeno, oxígeno o aire. Estos gases se ionizan y disocian por la energía de un arco eléctrico. El arco eléctrico estrechado por una boquilla se designa luego como chorro de plasma.

El chorro de plasma se puede ver fuertemente influido en sus parámetros por la forma de la boquilla y el electrodo. Estos parámetros del chorro de plasma son, por ejemplo, el diámetro de chorro, la temperatura, densidad de energía y la velocidad del flujo del gas.

15 Durante el corte por plasma, por ejemplo, el plasma se estrecha por una boquilla que puede estar refrigerada por gas o agua. De este modo se pueden conseguir densidades de energía de hasta  $2 \times 10^6$  W/cm<sup>2</sup>. En el chorro de plasma se originan temperaturas de hasta 30.000 °C que en conexión con la elevada velocidad del flujo del gas producen velocidades de corte muy elevadas en los materiales.

Las instalaciones de corte por plasma se componen en general al menos de una fuente de corriente, una antorcha de plasma y un suministro de gas.

20 Debido a la elevada carga térmica de la boquilla, ésta se fabrica en general de un material metálico, preferentemente de cobre debido a su elevada conductividad eléctrica y conductividad térmica. Lo mismo es válido para el porta-electrodos, pero que también puede estar fabricado de plata. La boquilla se usa luego en una antorcha de plasma, cuyos componentes principales son un cabezal de la antorcha de plasma, una caperuza de boquilla, una pieza de guiado del gas de plasma, una boquilla, un soporte de boquilla, una recepción del electrodo, un porta-electrodos con inserto de electrodo y en las antorchas de plasma modernas un soporte de caperuza de protección de la boquilla y una caperuza de protección de la boquilla. El porta-electrodos fija un inserto de electrodo puntiagudo de wolframio que es apropiado para el uso de gases no oxidantes como gas de plasma, por ejemplo una mezcla de argón e hidrógeno. Un así denominado electrodo plano, cuyo inserto de electrodo está hecho, por ejemplo, de circonio o hafnio, también es apropiado para el uso de gases oxidantes como gas de plasma, por ejemplo aire u oxígeno. Para gases de plasma que contiene oxígeno se puede usar circonio. Sin embargo, debido a sus propiedades térmicas mejoradas es más apropiado el hafnio dado que su óxido es más resistente a la temperatura.

Para conseguir una elevada vida útil para la boquilla y el electrodo, se refrigera con frecuencia con un líquido, por ejemplo agua, pero también se puede refrigerar con un gas.

En este sentido se diferencia entre antorchas de plasma refrigeradas por líquido y refrigeradas por gas.

35 Para conseguir una elevada vida útil del electrodo, el material de alta temperatura se introduce como inserto de emisión en el soporte que luego se refrigera. El tipo más efectivo de refrigeración es la refrigeración por líquido. El arco eléctrico se forma entre el inserto de emisión del electrodo y la boquilla y/o la pieza de trabajo a cortar. Durante el funcionamiento el inserto de emisión se desgasta gradualmente y se perfora un agujero en el electrodo. Siempre se llega de nuevo a que el arco eléctrico también pase al porta-electrodos y lo destruya. Esto ocurre especialmente luego cuando el inserto de emisión está quemado más profundamente de 1 mm. Por consiguiente entonces se destruye todo el electrodo y se debe cambiar.

40 Las fuentes de corriente usadas para el corte por plasma son predominantemente fuentes de corriente continua con curva característica fuertemente descendente o curva característica de corriente constante. De este modo las oscilaciones de la tensión de corte provocadas de forma condicionada por el procedimiento no repercuten o sólo poco en la corriente de corte. Estas oscilaciones se provocan, por ejemplo, por diferentes distancias de la antorcha a la pieza de trabajo, por oscilaciones en el suministro de gas y por el desgaste de los componentes de la antorcha de plasma.

Ejemplos para fuentes de corriente con curva característica fuertemente descendente son transformadores de campo dispersión o de núcleo de dispersión con rectificador postconectado. Aquí se genera la característica descendente por la disposición de las bobinas del transformador.

50 En las modernas fuentes de corriente continua, la curva característica de corriente constante se realiza mediante la regulación de la corriente de corte con la ayuda de componentes electrónicos de potencia, por ejemplo, tiristores y transistores.

Básicamente se puede diferenciar aquí en fuentes de corriente conmutadas por la red y en fuentes de corriente con frecuencia aumentada.

5 Como fuentes de corriente conmutadas por la red se designan aquellas cuyo tiempo de intervención de la regulación se determina por la frecuencia de la tensión de la red de alimentación de corriente y su paso por cero. Una variante es un transformador con un rectificador postconectado controlado por tiristores. El tiempo de intervención mínimo posible de la regulación en el rectificador es según la variante de conexión entre 6,6 ms en una conexión de puente de 3 pulsos y 1,6 ms en una conexión de puente de 12 pulsos.

Las fuentes de corriente con frecuencia aumentada disponen de tiempos de intervención esencialmente menores de la regulación, dado que la frecuencia es claramente mayor que la frecuencia de la tensión de red. Aquí los tiempos de intervención se sitúan según la frecuencia de la fuente de corriente entre 100  $\mu$ s y 5  $\mu$ s.

10 Una variante se compone de un transformador, un rectificador de diodos no regulado y un interruptor de transistor postconectado, designado también como chopper, que regula la corriente. Otra variante, designada frecuentemente como inversor, se compone de un rectificador de diodos no regulado, un convertidor, un transformador y un rectificador de diodos. Como frecuencia para el chopper y el convertidor se usa una frecuencia entre 10 y 200 kHz.

15 Según el estado de la técnica se necesita, aparte de ruidos no deseados, pero inevitables, o de armónicos indeseados, una corriente continua lo más lisa posible para una buena calidad de corte y una larga vida útil de las piezas de desgaste de la antorcha de plasma. Para ello la mayoría de las veces se conectan componentes inductivos (bobinas de inductancia) en el circuito de la corriente de corte para reducir la ondulación que se provoca por la red de corriente y los procesos de conmutación de la fuente de corriente.

20 Las fuentes de corriente que trabajan con frecuencia más elevada pueden regular, al contrario que las fuentes de corriente conmutadas por la red, la ondulación de la corriente continua provocada por la frecuencia de la tensión de red, dado que la frecuencia de la fuente de corriente es claramente mayor que la frecuencia de la tensión de red. Con frecuencia tales fuentes de corriente sólo están a disposición en potencia limitada, por ejemplo 10 a 20 kW. Por ello se conectan en paralelo varias fuentes de corriente. También se pueden conectar en paralelo fuentes de corriente conmutadas por la red con fuentes de corriente con frecuencia aumentada.

La invención tiene el objetivo de aumentar la vida útil del electrodo.

25 Según la invención este objetivo se resuelve por un procedimiento para el corte por plasma de una pieza de trabajo mediante un sistema de corte por plasma según la reivindicación 1.

En el procedimiento puede estar previsto que la corriente de corte  $I_S$  pulsante oscile con al menos un valor pico  $I_{min}$  y/o  $I_{max}$  libremente seleccionables en el rango del 5% al 70%, preferentemente del 10% al 50%, alrededor de su valor medio aritmético  $I_m$ .

30 Según una forma especial de realización del procedimiento, en el procedimiento puede estar previsto que la desviación mínima de un valor pico  $I_{max}$  y/o  $I_{min}$  del valor medio aritmético  $I_m$  de la corriente de corte  $I_S$  sea de 5 A, más preferentemente 10 A y más preferentemente 20 A.

Además, puede estar previsto que la desviación máxima de un valor pico  $I_{max}$  y/o  $I_{min}$  del valor medio aritmético  $I_m$  de la corriente de corte  $I_S$  sea de 200 A, preferentemente 100 A.

35 Favorablemente la cantidad de la velocidad de variación de corriente  $di/dt$  máxima de la corriente de corte  $I_S$  es de 400 A/ms y/o la cantidad de la velocidad de variación de corriente  $di/dt$  mínima de la corriente de corte  $I_S$  es de 2 A/ms.

Según otra forma de realización especial de la invención, el factor de trabajo  $D = t_{max}/T$  de la corriente de corte  $I_S$  se sitúa entre 0,1 y 0,9, preferentemente entre 0,3 y 0,7.

40 En el procedimiento puede estar previsto de nuevo que cada pulso de corriente de corte de la corriente de corte  $I_S$  pulsante presente una duración de nivel bajo  $t_{min}$  y una duración de nivel alto  $t_{max}$ , siendo válido:

$$t_{min} + t_{max} = T$$

con duración del periodo  $T = 1/f$  y  $t_{min}$  o  $t_{max} < 25\%$  de la duración del periodo  $T$ , preferentemente  $t_{min}$  o  $t_{max} < 15\%$  de la duración del periodo  $T$ .

45 Alternativamente también se puede concebir que cada pulso de corriente de corte de la corriente de corte  $I_S$  pulsante presente una duración de nivel bajo  $t_{min}$  y una duración de nivel alto  $t_{max}$ , siendo válido:

$$t_{min} + t_{max} < T,$$

duración del periodo  $T = 1/f$  y  $t_{min} + t_{max} < 50\%$  de la duración del periodo  $T$ ,

preferentemente  $t_{min} + t_{max} < 30\%$  de la duración del periodo  $T$ .

50 Ventajosamente el valor medio aritmético de la tensión de corte presenta un valor en el rango de 90 V a 250 V, preferentemente en el rango de 120 V a 220 V.

El flujo volumétrico del gas de plasma (PG) se mantiene favorablemente contante.

En particular puede estar previsto que el electrodo sea un electrodo plano.

Además, puede estar previsto que el gas de plasma se ponga en rotación en la cámara de plasma.

Ventajosamente se usa un gas de plasma que contiene oxígeno.

- 5 Finalmente el valor medio aritmético de la corriente de corte  $I_S$  presenta favorablemente un valor en el rango de 25 A a 500 A.

10 La presente invención se basa en el conocimiento, mediante las investigaciones, de que también con una corriente continua lisa se produce la destrucción arriba descrita del porta-electrodos y por consiguiente la vida útil del electrodo no es especialmente elevada. Pero se ha constatado sorprendentemente que la superposición de la corriente de corte de corriente continua con una corriente alterna o la pulsación de la corriente de corte influye positivamente en la vida útil.

15 Especialmente en el corte por plasma con un gas de plasma que contiene oxígeno en una antorcha de plasma con un así mencionado electrodo plano, que se compone al menos de un inserto de emisión térmicamente muy cargable y un porta-electrodos, se ha conseguido más de una duplicación de la vida útil. Se mostró que el punto de inicio del arco eléctrico queda mejor sobre el inserto de emisión y no se pasa sobre el porta-electrodos. De este modo el inserto de emisión puede "arder hacia abajo" aun más y el inserto de emisión se puede usar más tiempo y mejor. Se ha supuesto que la corriente pulsada conduce a un centrado mejor del punto de inicio del arco eléctrico sobre el inserto de emisión.

La modificación de la corriente se pudo realizar mediante la especificación de un valor de consigna correspondiente y por diseño correspondiente de la fuente de corriente.

Los siguientes valores a modo de ejemplo lo deben explicar:

- 20 El corte por plasma de 15 mm de acero de construcción se puede realizar, por ejemplo, con los parámetros siguientes:

Gas de plasma:	Oxígeno
Presión del gas de plasma:	9 bares
Flujo volumétrico del gas de plasma:	1.500 l/h
Gas secundario:	Nitrógeno
25 Presión del gas secundario:	6 bares
Flujo volumétrico del gas secundario:	2.200 l/h
Velocidad de corte:	2,7 m/min
Valor medio de la tensión de corte:	135 V
Valor medio de la corriente de corte:	160 A
30 Corriente de corte mínima $I_{min}$ :	140 A
Corriente de corte máxima $I_{max}$ :	180 A
Frecuencia:	83 Hz
Diámetro del orificio de la boquilla:	1,4 mm

35 Los valores se deben seleccionar preferentemente respecto a la frecuencia y las amplitudes  $I_{max}$  (corriente de corte máxima)  $I_{min}$  (corriente de corte mínima) de manera que el factor de ondulación de la corriente no se reproduce sobre la superficie de corte en forma de estrías. La vida útil del electrodo se pudo aumentar de 3 horas a 8 horas.

También con corrientes de 360 A se pudo aumentar la vida útil de 2 horas a 6 horas.

Otras características y ventajas de la invención se deducen de la descripción siguiente en la que se describen varios ejemplos de realización de la presente invención en referencia a las figuras, en las que:

- 40 Figura 1 muestra un diagrama esquemático de un sistema de corte por plasma según el estado de la técnica;  
 Figura 2 muestra esquemáticamente el desarrollo de un procedimiento de corte por plasma según el estado de la técnica;  
 Figura 3 muestra esquemáticamente el desarrollo de un procedimiento de corte por plasma según una forma de

realización especial de la presente invención;

Figuras 4 a 9 muestran formas de realización especiales del procedimiento de corte por plasma según un primer aspecto de la presente invención;

5 Figuras 10 a 18 muestran formas de realización especiales del procedimiento de corte por plasma según un segundo aspecto de la presente invención;

Figura 19 muestra una vista en sección de una antorcha de plasma con electrodo plano; y

Figura 19a muestra la antorcha de plasma de la figura 19 adicionalmente con rotación del gas de plasma y gas secundario.

10 La fig. 1 muestra un diagrama esquemático de un sistema de corte por plasma según el estado de la técnica, que se compone de la fuente de corriente de plasma 1, cuyos componentes son la fuente de corriente 1.1, el arrancador 1.2, la resistencia 1.3 y el contacto 1.4. El polo negativo de la fuente de corriente está conectado gracias la línea 10.5 con el electrodo 4.1 de la antorcha de plasma 4 y el polo positivo está conectado gracias la línea 10.7 con la pieza de trabajo 5 y a través de la resistencia 1.3, el arrancador 1.2, así como el contacto 1.4 a través de la línea 10.6 con la boquilla 4.2 de la antorcha de plasma 4. La fuente de corriente de plasma se alimenta en general con energía eléctrica de una red de corriente alterna trifásica, por ejemplo, 400V / 50Hz. El suministro de gas de la antorcha de plasma se realiza aquí a través de la consola de gas 2, en la que se pueden situar las válvulas, por ejemplo válvulas magnéticas y/o válvulas de regulación (no representado) para la conmutación de los gases, en particular del gas de plasma PG y del gas secundario SG. El suministro de gas se realiza en este ejemplo a través de botellas de gas 2.1 para el gas de plasma y 2.2 para el gas secundario. Durante el corte de aceros no aleados o de baja aleación se usa con frecuencia oxígeno como plasma de corte, pero también se puede usar un gas que contiene oxígeno, por ejemplo aire o mezcla de gases, por ejemplo nitrógeno / oxígeno. Como gas secundario se puede usar en el mismo caso eventualmente oxígeno, pero también un gas que contiene oxígeno, por ejemplo, aire o mezcla de gases, por ejemplo, nitrógeno / oxígeno o nitrógeno. El gas de plasma PG se guía a través de la línea de gas 10.3 al espacio entre el electrodo 4.1 y la boquilla 4.2, la cámara de plasma, y el gas secundario SG se conduce a través de la línea de gas 10.4 al espacio entre la boquilla 4.2 o caperuza de boquilla 4.4 (no representado) y la caperuza de protección de boquilla 4.5.

30 Junto con la fig. 2 se describe a continuación el desarrollo en el corte por plasma según el estado de la técnica. En primer lugar la antorcha de plasma 4 se posiciona a una distancia definida de la pieza de trabajo 5 con la ayuda de un sistema de guiado, por ejemplo una máquina de guiado de coordenadas xy controlada por CNC o un robot. La señal "antorcha ON" enviada por el sistema de guiado a la fuente de corriente de plasma comienza el proceso. Luego fluyen el gas de plasma PG y gas secundario SG controlados por la consola de gas a través de la antorcha de plasma 4. Después de un tiempo determinado, por ejemplo 400 ms, el arrancador 1.2 enciende el arco eléctrico piloto con alta tensión, que se forma entre el electrodo 4.1 y la boquilla 4.2 e ioniza el tramo entre la antorcha de plasma 4 y la pieza de trabajo 5. La corriente piloto  $I_{pilot}$  se limita por la resistencia 1.3. Valores típicos para la corriente piloto son 12 a 35 A. La resistencia 1.3 genera simultáneamente una caída de tensión entre la boquilla 4.2 y la pieza de trabajo 5, lo que favorece la transferencia del punto de inicio anódico de la boquilla hacia la pieza de trabajo. Después de la transferencia de la corriente I se abre el contacto 1.4, la corriente I se aumenta durante el tiempo  $t_{up}$  (intervalo de 50 ms a 500 ms) al valor de corte necesario, se forma la corriente de corte  $I_S$  que fluye durante el tiempo  $t_S$ . Los valores para la corriente de corte  $I_S$  se sitúan según el espesor de la chapa a cortar, que puede estar habitualmente entre 1 y 200 mm, entre 20 y 1.000 A. Según el estado de la técnica la corriente que fluye durante este tiempo debe ser lo más lisa posible. La corriente I fluye hasta la desconexión de la señal "antorcha ON", luego la corriente I se reduce durante el tiempo  $t_{down}$  y desconecta. Valores habituales para este tiempo son de 50 a 500 ms, pero también se puede desconectar inmediatamente la corriente sin este tiempo. El gas de plasma y gas secundario todavía fluyen para refrigerar aun más la antorcha de plasma. El estado de la técnica se debe trabajar igualmente con diferentes gases de plasma y secundarios, así como diferentes presiones y cantidades de gas en las fases del proceso.

45 La fig. 3 muestra al contrario del estado de la técnica una corriente de corte  $I_S$  sólo representada a modo de ejemplo, que oscila de forma definida durante el tiempo  $t_S$  según una forma de realización especial de la invención. Para la realización del procedimiento de corte por plasma según una forma de realización especial de la invención también se puede usar el sistema de corte por plasma de la fig. 1.

50 Las figuras 4 a 9 muestran ejemplos de realización para desarrollos de la corriente de corte según la presente invención, refiriéndose la fig. 4 al desarrollo de la corriente de corte indicado en la figura 3.

La figura 4 muestra un detalle de la corriente  $I_S$  que fluye durante el tiempo  $t_S$ . El valor medio aritmético  $I_m$  de la corriente es aquí de 160 A, la corriente máxima  $I_{max}$  es de 180 A y la corriente mínima  $I_{min}$  es de 140 A. La desviación de los valores  $I_{max}$  e  $I_{min}$  del valor medio aritmético  $I_m$  es aquí igual y asciende a 20 A y por consiguiente 12,5%. La corriente alterna superpuesta a la corriente continua está configurada de forma trapezoidal.

55 Las velocidades de variación de corriente  $dI/dt$ , es decir, las cantidades de variaciones de corriente en un tiempo que se necesita para llegar:

- del valor medio aritmético  $I_m$  a la corriente de corte máxima  $I_{max}$

$$dl/dt_1 = |(I_{max} - I_m)/t_1$$

- de la corriente de corte máxima  $I_{max}$  al valor medio aritmético  $I_m$

$$dl/dt_2 = |(I_{max} - I_m)/t_2$$

. - del valor medio aritmético  $I_m$  a la corriente de corte mínima  $I_{min}$

5 
$$dl/dt_3 = |(I_{max} - I_m)/t_3$$

- de la corriente de corte mínima  $I_{min}$  al valor medio aritmético  $I_m$

$$dl/dt_4 = |(I_{min} - I_m)/t_4$$

10 son aquí constantes, dado que las cantidades de las diferencias entre la corriente de corte máxima y el valor medio aritmético de la corriente de corte y la corriente de corte mínima y el valor medio aritmético de la corriente de corte son respectivamente de 20 A y los tiempos correspondientes  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_4$  tienen el mismo valor y son respectivamente de 0,5 ms. Es 40 A/ms.

$$dl/dt = (I_{max} - I_m) / t_1 = (180 \text{ A} - 160 \text{ A}) / 0,5 \text{ ms} = 40 \text{ A/ms}$$

15 La duración del período  $T$  es de 12 ms y la frecuencia  $f$  por consiguiente 83 Hz. Con esta curva de corriente se ha conseguido más de una duplicación de la vida útil (véase ejemplo anterior del corte por plasma de 15 mm de acero de construcción).

La figura 5 muestra una curva de corriente triangular, siendo idénticas la duración del periodo, frecuencia, corriente de corte máxima y mínima, así como el valor medio aritmético de la corriente de corte a la figura 4. Las velocidades de variación de corriente son con 6,6 A/ms menores y tienen el mismo valor.

20 La figura 6 muestra una curva de corriente sinusoidal con una duración del periodo de 6 ms y una frecuencia de 166 Hz. El valor medio aritmético  $I_m$  de la corriente es aquí de 300 A, la corriente máxima  $I_{max}$  es de 350 A y la corriente mínima  $I_{min}$  es de 250 A. La desviación de los valores  $I_{max}$  y  $I_{min}$  del valor medio aritmético  $I_m$  tiene el mismo valor y es de 50 A y por consiguiente el 16%. Las velocidades de variación de corriente ascienden a 33 A/ms y tienen el mismo valor.

25 La figura 7 muestra una curva de corriente que es similar a una función exponencial. La duración del periodo es de 4 ms y la frecuencia 250 Hz. El valor medio aritmético  $I_m$  de la corriente es aquí de 300 A, la corriente máxima  $I_{max}$  es de 400 A y la corriente mínima  $I_{min}$  es de 200 A. La desviación de los valores  $I_{max}$  y  $I_{min}$  del valor medio aritmético  $I_m$  tienen el mismo valor y es de 100 A y por consiguiente el 33%. Las velocidades de variación de corriente son diferentes en este ejemplo tienen los valores siguientes:

$$dl/dt_1 = dl/dt_3 = 100 \text{ A} / 1,7 \text{ ms} = 59 \text{ A/ms}$$

$$dl/dt_2 = dl/dt_4 = 100 \text{ A} / 0,3 \text{ ms} = 333 \text{ A/ms}$$

30 La figura 8 muestra una curva de corriente trapezoidal, teniendo distinto valor esta vez las diferencias entre la corriente de corte máxima  $I_{max}$  y el valor medio aritmético  $I_m$  de la corriente de corte  $I_S$ , así como entre la corriente de corte mínima  $I_{min}$  y el valor medio aritmético  $I_m$  de la corriente de corte  $I_S$  y los tiempos  $t_{lmax}$  (2 ms) y  $t_{lmin}$  (4 ms):

$$| I_{max} - I_m | = | 260 \text{ A} - 160 \text{ A} | = 100 \text{ A}$$

$$| I_{min} - I_m | = | 110 \text{ A} - 160 \text{ A} | = 50 \text{ A}$$

35 La duración del periodo  $T$  es de 6 ms y la frecuencia de 166 Hz. Las velocidades de variación de corriente tienen el mismo valor en este ejemplo y son de 200 A/ms.

$$dl/dt_1 = dl/dt_2 = 100 \text{ A} / 0,5 \text{ ms} = 200 \text{ A/ms}$$

$$dl/dt_3 = dl/dt_4 = 50 \text{ A} / 0,25 \text{ ms} = 200 \text{ A/ms}$$

40 La figura 9 muestra igualmente un curva de corriente trapezoidal, teniendo distinto valor las diferencias entre la corriente de corte máxima  $I_{max}$  y el valor medio aritmético  $I_m$  de la corriente de corte  $I_S$ , así como entre la corriente de corte mínima  $I_{min}$  y el valor medio aritmético  $I_m$  de la corriente de corte  $I_S$  y los tiempos  $t_{lmax}$  (2 ms) y  $t_{lmin}$  (3 ms) y estando la corriente de corte un tiempo en su valor medio aritmético  $I_m$ :

$$| I_{max} - I_m | = | 235 \text{ A} - 160 \text{ A} | = 75 \text{ A}$$

$$| I_{min} - I_m | = | 110 \text{ A} - 160 \text{ A} | = 50 \text{ A}$$

45 La duración del periodo  $T$  es de 6 ms y la frecuencia de 166 Hz. Las velocidades de variación de corriente tienen el mismo valor en este ejemplo y son de aproximadamente 200 A/ms.

$$dl/dt_1 = dl/dt_2 = 100 \text{ A} / 0,37 \text{ ms} = 200 \text{ A/ms}$$

$$dl/dt_3 = dl/dt_4 = 50 \text{ A} / 0,25 \text{ ms} = 200 \text{ A/ms}$$

Las figuras 10 a 13 muestran formas de realización especiales del procedimiento de corte por plasma según el segundo aspecto de la presente invención. En lugar de una superposición de una corriente continua con una corriente alterna, en estos casos la corriente de corte se puede describir como secuencia de pulsos que se repiten periódicamente. En las figuras 10 y 11 la forma de señal con la duración del periodo ( $T = 1/f$ ) contiene un pulso rectangular hacia abajo (figura 10) o un pulso rectangular hacia arriba (figura 11), partiendo de un valor base. En las figuras 12 y 13 la forma de señal comprende por el contrario tanto un pulso rectangular hacia arriba, como también hacia abajo, diferenciándose las formas de señal en las figuras 12 y 13 sólo en el intervalo temporal entre los pulsos rectangulares hacia arriba y hacia abajo.

En la figura 14 está representado un ejemplo numérico concreto para la forma de realización según la figura 10, mientras que en la figura 15 está representado un ejemplo de realización concreto para la forma de realización según la figura 11. En ambos casos es válido para la suma de  $t_{\text{max}}$ , es decir la duración del nivel alto, y de  $t_{\text{min}}$ , es decir la duración de nivel bajo, y el periodo  $T$ :

$$t_{\text{min}} + t_{\text{max}} = T$$

en el que  $T$  es de 500 ms,  $t_{\text{max}}$  470 ms y  $t_{\text{min}}$  30 ms. Para  $I_{\text{max}}$  (nivel alto) = 300 A e  $I_{\text{min}}$  (nivel bajo) = 220 A se produce un valor medio aritmético  $I_m$  de la corriente de corte a la altura de 295 A.

En el caso mostrado en la figura 15 la duración del periodo  $T (= 1/f)$  es de igualmente 500 ms, pero  $t_{\text{max}}$  es de 30 ms y  $t_{\text{min}}$  470 ms. Con  $I_{\text{max}} = 400 \text{ A}$  e  $I_{\text{min}} = 300 \text{ A}$  se produce un valor medio aritmético  $I_m$  de la corriente de corte  $I_s$  de 306 A.

Las figuras 16 y 17 muestran casos en los que para los pulsos de la corriente de corte  $I_s$  es válido:

$$t_{\text{min}} + t_{\text{max}} < T.$$

La figura 16 representa un ejemplo numérico para la forma de realización según la figura 13, mientras que la figura 17 representa un ejemplo numérico para la forma de realización según la figura 14. En la figura 16 la duración del periodo  $T$  es de 500 ms, mientras que tanto  $t_{\text{max}}$  como también  $t_{\text{min}}$  son claramente menores, a saber, son respectivamente de 25 ms. Para  $I_{\text{max}} = 400 \text{ A}$  y  $I_{\text{min}} = 200 \text{ A}$  se produce por consiguiente un valor medio aritmético  $I_m$  de la corriente de corte  $I_s$  de 300 A.

En la figura 17 la duración del periodo  $T$  es de 650 ms y  $t_{\text{max}}$  así como  $t_{\text{min}}$  son claramente menores, a saber respectivamente 50 ms. Con una corriente máxima  $I_{\text{max}}$  de 450 A y una corriente mínima  $I_{\text{min}}$  de 250 A se produce por consiguiente un valor medio aritmético  $I_m$  de 350 A.

El desarrollo de señal mostrado en la figura 18 de la corriente de corte  $I_s$  es de nuevo una secuencia de pulsos con una duración del periodo  $T (= 400 \text{ ms}) = t_{\text{min}} + t_{\text{max}}$ , siendo  $t_{\text{max}}$  300 ms y  $t_{\text{min}}$  100 ms. No obstante, la forma de señal periódica no presenta un pulso rectangular, sino un desarrollo similar a dientes o ganchos.  $t_{\text{min}}$  se corresponde con el tiempo durante el que la corriente de corte  $I_s$  se desvía de  $I_{\text{max}} (= 300 \text{ A})$ . Con una corriente mínima  $I_{\text{min}}$  de 200 A se produce por consiguiente un valor medio aritmético  $I_m$  de la corriente de corte  $I_s$  de 290 A.

Finalmente la figura 19 muestra una sección a través de una vista lateral de una antorcha de plasma 4 con un electrodo plano 4.2, en el que el procedimiento según la invención se puede usar de forma especialmente ventajosa.

Los componentes esenciales representados de la antorcha de plasma 4 (de la que sólo está representado un cabezal de la antorcha de plasma) son un electrodo 4.1 en forma de un electrodo plano, que comprende un porta-electrodos 4.1.1 y un inserto de emisión 4.1.2, una boquilla 4.2 con un orificio de boquilla 4.2.1, formando la boquilla 4.2 y el electrodo 4.1 entre sí una cámara de plasma 4.7. Un gas de plasma PG se conduce a través de un guiado del gas de plasma 4.3, que pone en rotación el gas de plasma mediante orificios dispuestos de forma apropiada, a la cámara de plasma 4.7, donde se ioniza por un arco eléctrico de plasma y se configura un chorro de plasma 6 (no representado, pero véase la figura 1). La boquilla 4.2 se fija mediante una caperuza de boquilla 4.4. En el espacio encerrado por las dos fluye un medio refrigerante de una alimentación del medio refrigerante WV2 a un retorno del medio refrigerante WR2 y refrigera la boquilla 4.2 y la caperuza de boquilla 4.4. El electrodo 4.1 configurado hueco interiormente, en el que sobresale un tubo de refrigeración 4.8, se refrigera igualmente mediante un medio refrigerante. Éste fluye de una alimentación del medio refrigerante WV1 a través del tubo de refrigeración 4.8 en la cavidad del electrodo 4.1 hacia la punta del electrodo y luego vuelve entre el tubo de refrigeración 4.8 y el electrodo 4.1 hacia un retorno del medio refrigerante WR1. Como medio refrigerante se usa aquí agua destilada que puede estar provista de aditivo anticongelante. Es ventajosa una refrigeración por circulación de agua (no representada) que enfría el medio refrigerante mediante un intercambiador de calor (no mostrado) o una máquina frigorífica (no mostrada) y se le suministra de nuevo a la antorcha de plasma a través de una bomba (no mostrada). En este caso se pueden supervisar y/o controlar el flujo volumétrico y temperatura del medio refrigerante.

El gas secundario SG fluye a un espacio entre la capucha de boquilla 4.4 y una capucha de protección de boquilla 4.5 y

se pone en rotación mediante un guiado del gas secundario 4.6 a través de orificios apropiados y luego se le suministra al chorro de plasma 6. El gas secundario SG protege, en combinación con la caperuza de protección de boquilla 4.5, en particular la boquilla 4.2 y la caperuza de boquilla 4.4 durante el punzado en una pieza de trabajo 5 (véase la figura 1) frente al deterioro debido al material que salpica.

- 5 La figura 19a muestra adicionalmente de forma esquemática la rotación del gas de plasma PG y del gas secundario SG generada por un guiado de gas correspondiente.

La invención define que la corriente I, sólo al menos 1 s tras alcanzar el valor medio aritmético predeterminado para el corte, oscila alrededor de ésta.

Otros aspectos pueden ser:

- 10 - que la corriente I oscila de forma periódica, es decir con frecuencia constante;
- que la frecuencia es independiente de la tensión de corte y/o se mantiene constante;
- que la densidad de corriente media de la superficie del orificio de boquilla 4.2.1 se sitúa entre 30 y 150 A/mm<sup>2</sup>;
- que la densidad de corriente media de la superficie del orificio de boquilla 4.2.1 se sitúa entre 60 y 150 A/mm<sup>2</sup>;
- 15 - que el gas de plasma PG se pone en rotación mediante un guiado del gas en el espacio entre el electrodo 4.1 y la boquilla 4.2;
- que el flujo volumétrico del gas de plasma PG se sitúa en el rango de 700 l/h a 7.000 l/h;
- que la presión del gas de plasma PG en el espacio entre el electrodo 4.1 y la boquilla 4.2 se sitúa entre 2,5 y 8 bares;
- que el gas de plasma PG es oxígeno, un gas que contiene oxígeno o mezcla de gases;
- 20 - que el gas de plasma PG se compone al menos de un gas molecular, como oxígeno, nitrógeno, hidrógeno;
- que el gas de plasma PG se compone al menos al 30% en volumen de un gas molecular, como oxígeno, nitrógeno, hidrógeno;
- que pone a disposición una refrigeración por agua para la antorcha de plasma 4;
- que dispone de una base de datos, en la que como parámetros de corte están definidos al menos material, corriente de corte, velocidad de corte y gas de plasma;
- 25 - electrodo 4.1 para una antorcha de plasma 4, que el porta-electrodos 4.1.1 está hueco interiormente y forma una superficie interior;
- que el electrodo 4.1 está configurado como electrodo plano;
- que el electrodo 4.1 está refrigerado por agua;
- 30 - que el inserto de emisión 4.1.2 tiene un diámetro de 0,9 a 8 mm;
- que el orificio de boquilla 4.2.1 tiene un diámetro de 0,4 a 7 mm;
- que la boquilla 4.2 está refrigerada por agua;
- que en el espacio entre el electrodo 4.1 y la boquilla 4.2 está presente una pieza de guiado de gas;
- que está presente una caperuza de protección de boquilla 4.5;
- 35 - que entre la caperuza de protección de boquilla 4.5 y la caperuza de boquilla 4.4 o boquilla 4.2 está presente un anillo de guiado de gas;
- que el anillo de guiado de gas pone en rotación el gas secundario SG.

**Lista de referencias**

- 1 Fuente de corriente de corte por plasma
- 1.1 Fuente de corriente
- 1.2 Arrancador ZG
- 5 1.3 Resistencia
- 1.4 Contacto de conmutación
- 2 Consola de gas
- 2.1 Botella de gas con gas de plasma
- 2.2 Botella de gas con gas secundario
- 10 4 Antorcha de plasma
- 4.1 Electrodo
- 4.1.1 Inserto de emisión
- 4.1.2 Porta-electrodos
- 4.2 Boquilla
- 15 4.2.1 Orificio de boquilla
- 4.3 Guiado del gas de plasma
- 4.4 Caperuza de boquilla
- 4.5 Caperuza de protección de boquilla
- 4.6 Guiado del gas secundario
- 20 4.7 Cámara de plasma
- 4.8 Tubo de refrigeración
- 5 Pieza de trabajo
- 6 Chorro de plasma
- 10.1 Línea de alimentación del medio refrigerante
- 25 10.2 Línea de retorno del medio refrigerante
- 10.3 Línea del gas de plasma
- 10.4 Línea del gas secundario
- 10.5 Línea de corriente para el electrodo
- 10.6 Línea de corriente para la boquilla
- 30 10.7 Línea de corriente para la pieza de trabajo
  
- D Factor de trabajo  $D = t_{\text{max}} / T$
- f Frecuencia
- dl/dt Velocidad de variación de corriente
- 35 I Corriente
- $I_m$  Valor medio aritmético de la corriente de corte
- $I_s$  Corriente de corte

	$I_{\min}$	Corriente de corte mínima
	$I_{\max}$	Corriente de corte máxima
	T	Duración del periodo
	$t_m$	Tiempo $I_m$
5	$t_{\min}$	Tiempo $I_{\min}$
	$t_{\max}$	Tiempo $I_{\max}$
	$t_s$	Tiempo de corte
	$t_{\text{piloto}}$	Tiempo del arco eléctrico piloto
	$t_{\text{up}}$	Tiempo de aumento de corriente
10	$t_{\text{down}}$	Tiempo de descenso de corriente
	t1	Tiempo 1 ( $I_m$ a $I_{\max}$ )
	t2	Tiempo 2 ( $I_{\max}$ a $I_m$ )
	t3	Tiempo 3 ( $I_m$ a $I_{\min}$ )
	t4	Tiempo 4 ( $I_{\min}$ a $I_m$ )
15	WV1	Alimentación del medio refrigerante 1
	WV2	Alimentación del medio refrigerante 2
	WR1	Retorno del medio refrigerante 1
	WR2	Retorno del medio refrigerante 2

## REIVINDICACIONES

5 1.- Procedimiento para el corte por plasma de una pieza de trabajo (5) mediante un sistema de corte por plasma, que comprende una fuente de corriente de plasma (1) y una antorcha de plasma (4), que presenta un electrodo (4.1) y una boquilla (4.2), que tiene una pequeña distancia del electrodo (4.1) a un extremo inferior de la antorcha de plasma (4) a fin de formar en medio una cámara de plasma (4.7),

**caracterizado porque**

10 una corriente  $I$  generada por la fuente de corriente de plasma (1) y que fluye a través de la antorcha de plasma (4), sólo al menos 1 s tras alcanzar un valor medio aritmético predeterminado para el corte por plasma, de forma orientada o controlada, oscila alrededor de este valor medio para la pulsación con una frecuencia  $f$  libremente seleccionable en el rango de 0,1 Hz a 500 Hz.

2.- Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la frecuencia  $f$  libremente seleccionable se sitúa en el rango de 30 Hz a 500 Hz, preferentemente de 35 Hz a 500 Hz, especialmente preferentemente de 55 Hz a 400 Hz.

15 3.- Procedimiento según la reivindicación 2, **caracterizado porque** la corriente de corte pulsante  $I_S$  oscila con al menos un valor pico  $I_{\min}$  y/o  $I_{\max}$  libremente seleccionables en el rango del 5% al 70%, preferentemente del 10% al 50%, alrededor de su valor medio aritmético  $I_m$ .

4.- Procedimiento según la reivindicación 2 o 3, **caracterizado porque** la desviación mínima de un valor pico  $I_{\max}$  y/o  $I_{\min}$  del valor medio aritmético  $I_m$  de la corriente de corte  $I_S$  es de 5 A, preferentemente 10 A y más preferentemente 20 A.

5.- Procedimiento según una de las reivindicaciones 2 a 4, **caracterizado porque** la desviación máxima de un valor pico  $I_{\max}$  y/o  $I_{\min}$  del valor medio aritmético  $I_m$  de la corriente de corte  $I_S$  es de 200 A, preferentemente 100 A.

20 6.- Procedimiento según una de las reivindicaciones 2 a 5, **caracterizado porque** la cantidad de la velocidad de variación de corriente  $dI/dt$  máxima de la corriente de corte  $I_S$  es de 400 A/ms y/o la cantidad de la velocidad de variación de corriente  $dI/dt$  mínima de la corriente de corte  $I_S$  es de 2 A/ms.

7.- Procedimiento según una de las reivindicaciones 2 a 5, **caracterizado porque** el factor de trabajo  $D = t_{\max}/T$  de la corriente de corte  $I_S$  se sitúa entre 0,1 y 0,9, preferentemente entre 0,3 y 0,7.

25 8.- Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la frecuencia  $f$  libremente seleccionable se sitúa en el rango de 0,1 Hz a 30 Hz, preferentemente de 0,1 Hz a 29 Hz, especialmente preferentemente de 0,1 Hz a 20 Hz.

9.- Procedimiento según la reivindicación 8, **caracterizado porque** cada pulso de corriente de corte de la corriente de corte  $I_S$  pulsante presenta una duración de nivel bajo  $t_{\min}$  y una duración de nivel alto  $t_{\max}$ , siendo válido:

$$t_{\min} + t_{\max} = T,$$

30 con

duración del periodo  $T = 1/f$

y  $t_{\min}$  o  $t_{\max} < 25\%$  de la duración del periodo  $T$ ,

preferentemente  $t_{\min}$  o  $t_{\max} < 15\%$  de la duración del periodo  $T$ .

35 10.- Procedimiento según la reivindicación 8, **caracterizado porque** cada pulso de corriente de corte de la corriente de corte  $I_S$  pulsante presenta una duración de nivel bajo  $t_{\min}$  y una duración de nivel alto  $t_{\max}$ , siendo válido:

$$t_{\min} + t_{\max} < T,$$

duración del periodo  $T = 1/f$

y

$t_{\min} + t_{\max} < 50\%$  de la duración del periodo  $T$ ,

40 preferentemente  $t_{\min} + t_{\max} < 30\%$  de la duración del periodo  $T$ .

11.- Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el valor medio aritmético de la tensión de corte presenta un valor en el rango de 90 V a 250 V, preferentemente en el rango de 120 V a 220 V.

12.- Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el flujo volumétrico del gas de plasma (PG) se mantiene constante.

45 13.- Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el electrodo (4.1) es un

electrodo plano.

14.- Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el gas de plasma (PG) se pone en rotación en la cámara de plasma (4.7).

5 15.- Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** se usa un gas de plasma (PG) que contiene oxígeno.

16.- Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el valor medio aritmético de la corriente de corte  $I_s$  presenta un valor en el rango de 25 A a 500 A.

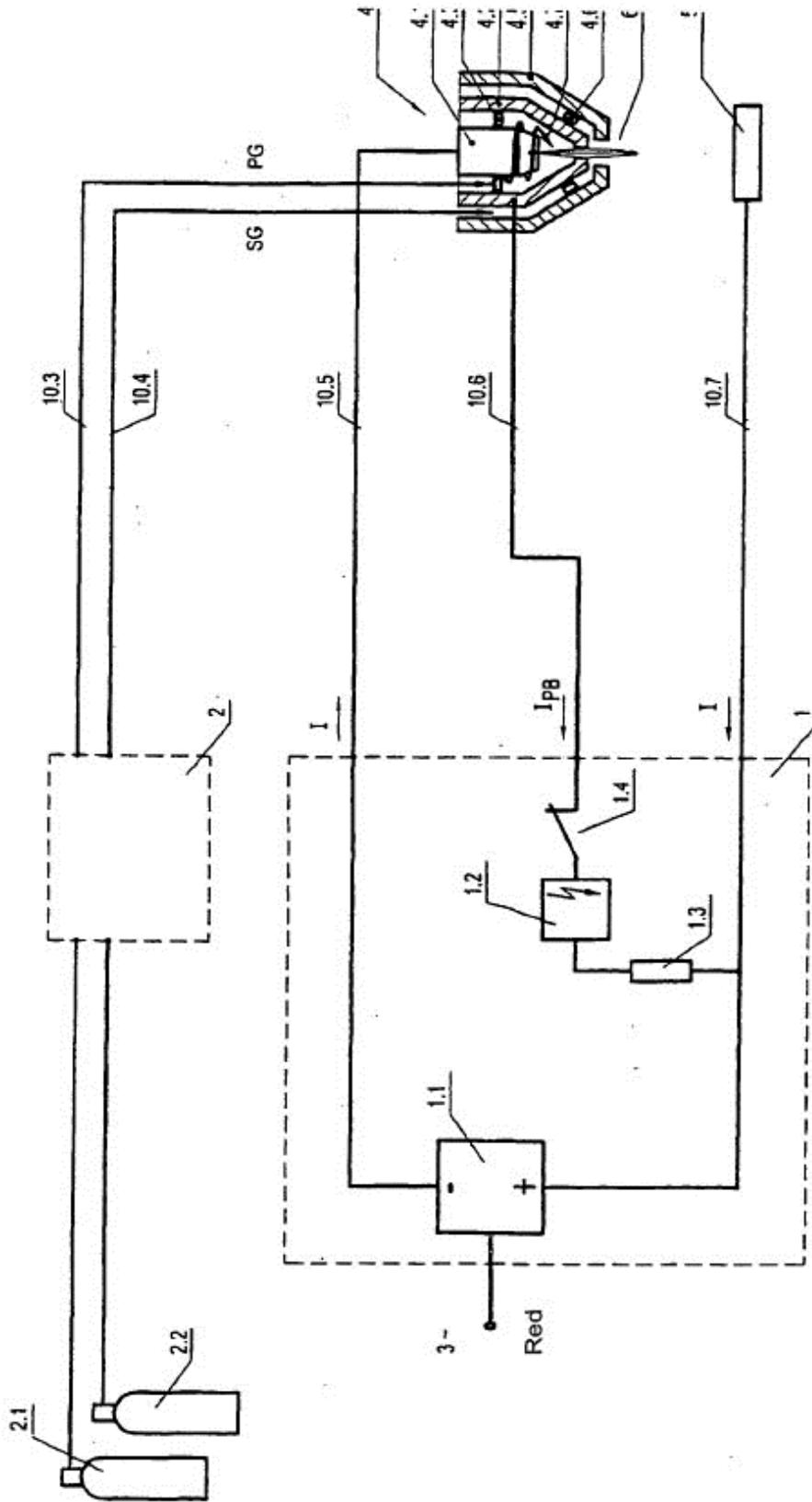


Figura 1

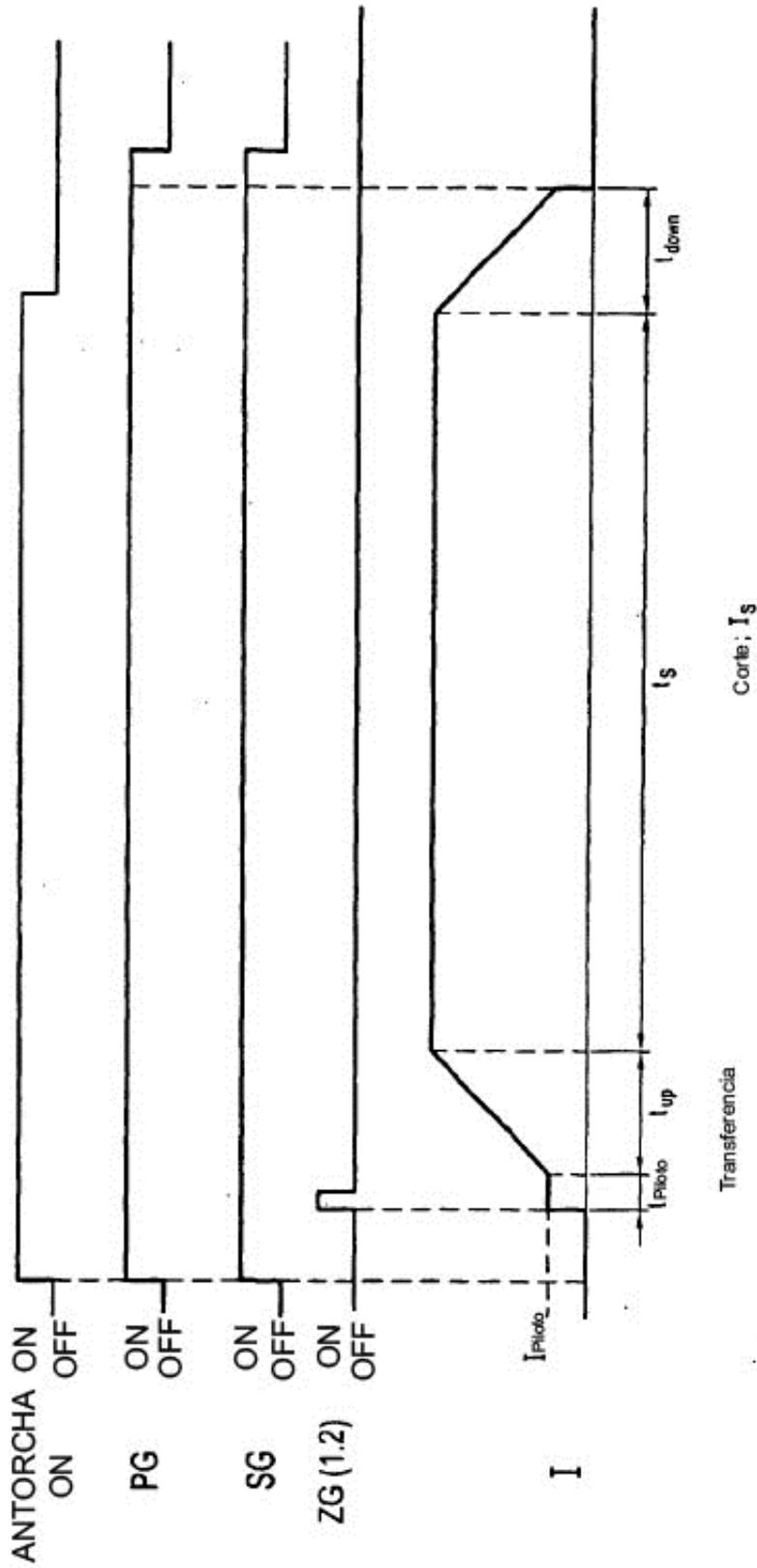


Figura 2

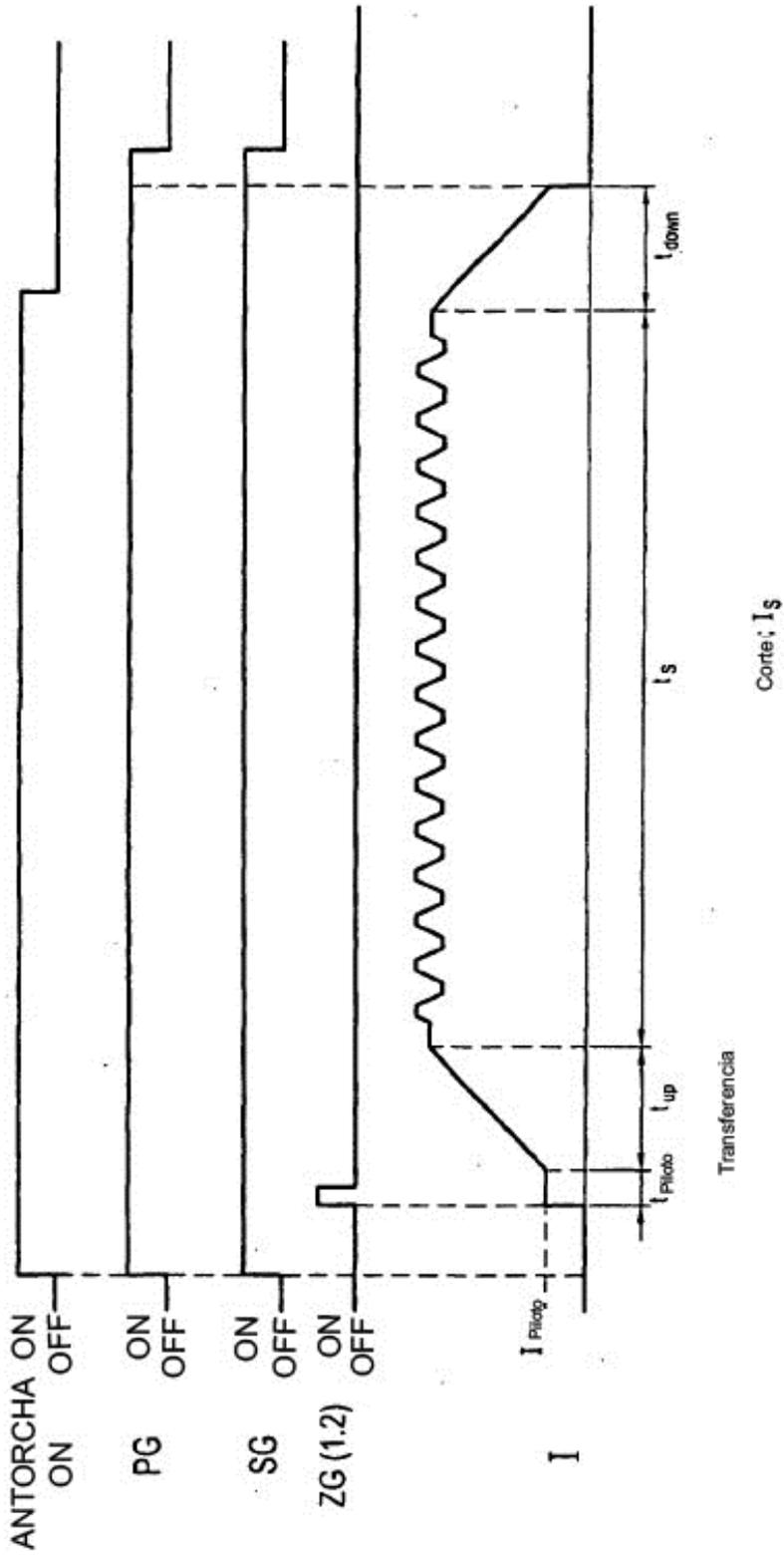


Figura 3

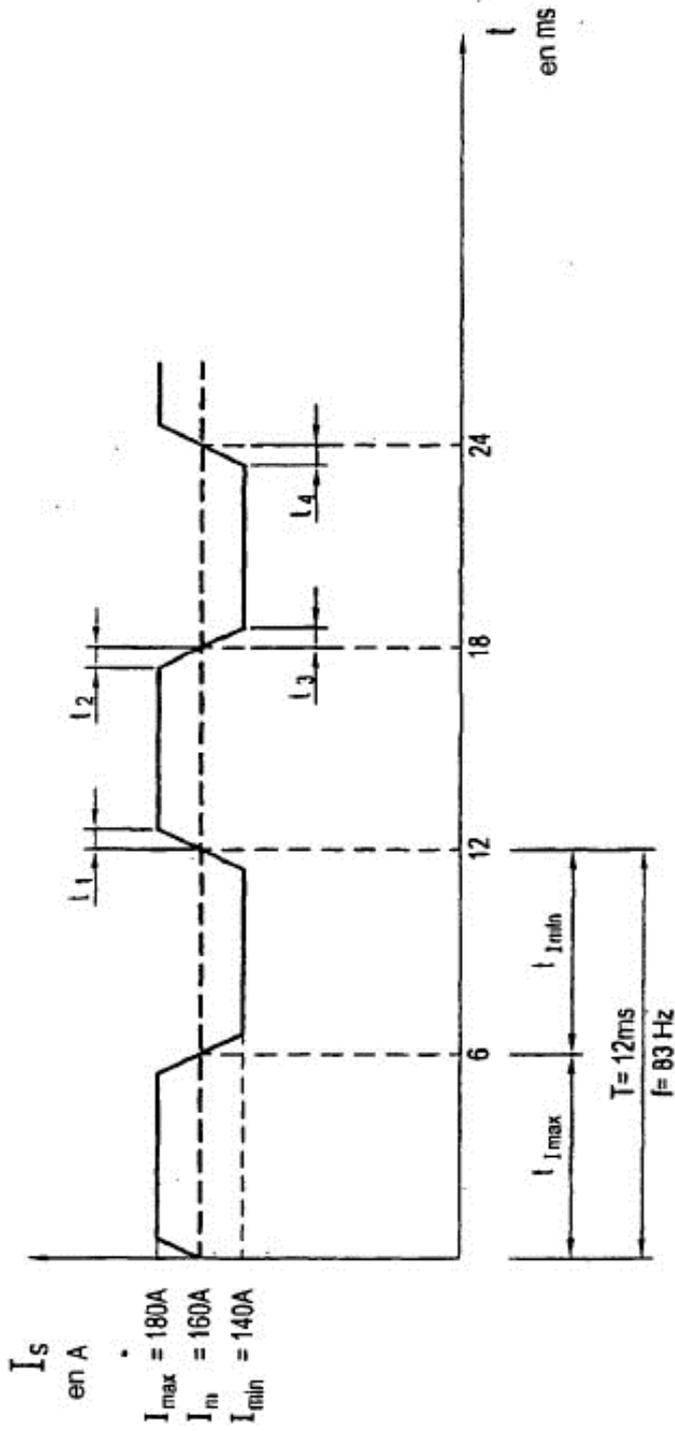
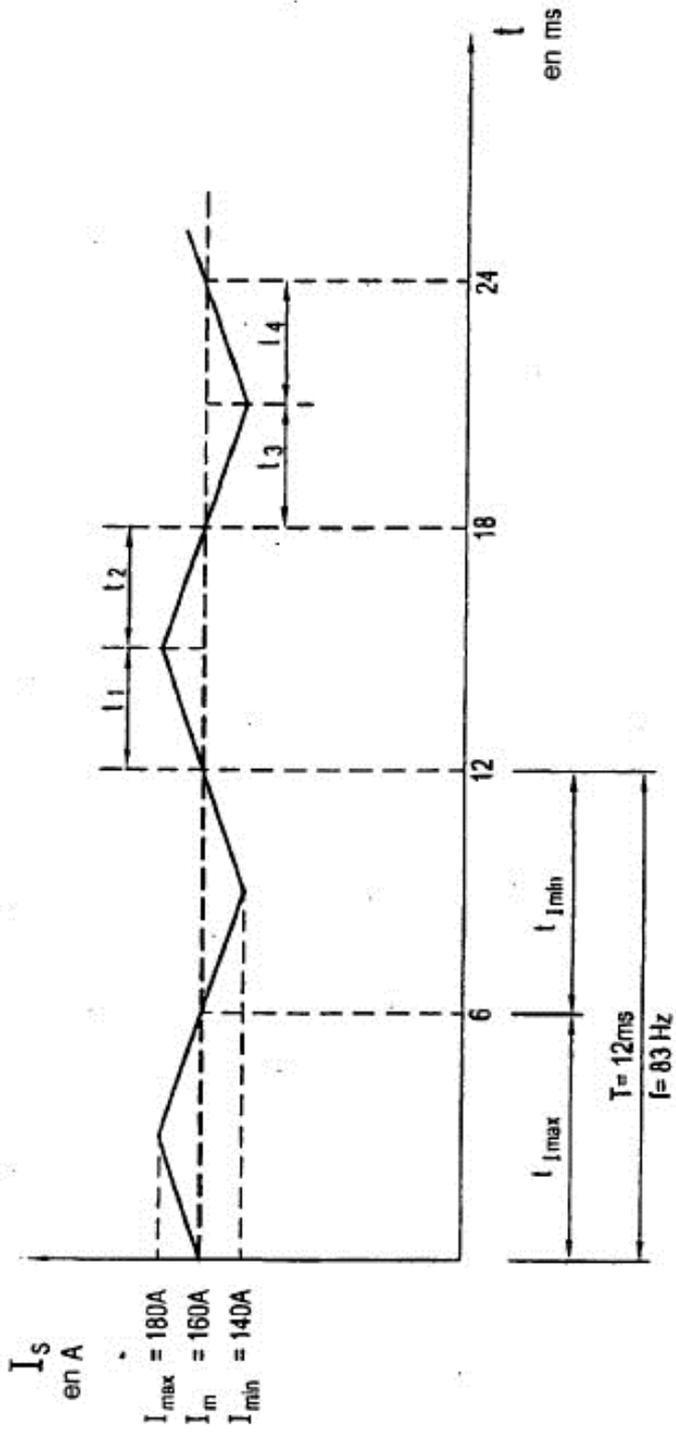


Figura 4



$$t_1 = t_2 = t_3 = t_4 = 3ms$$

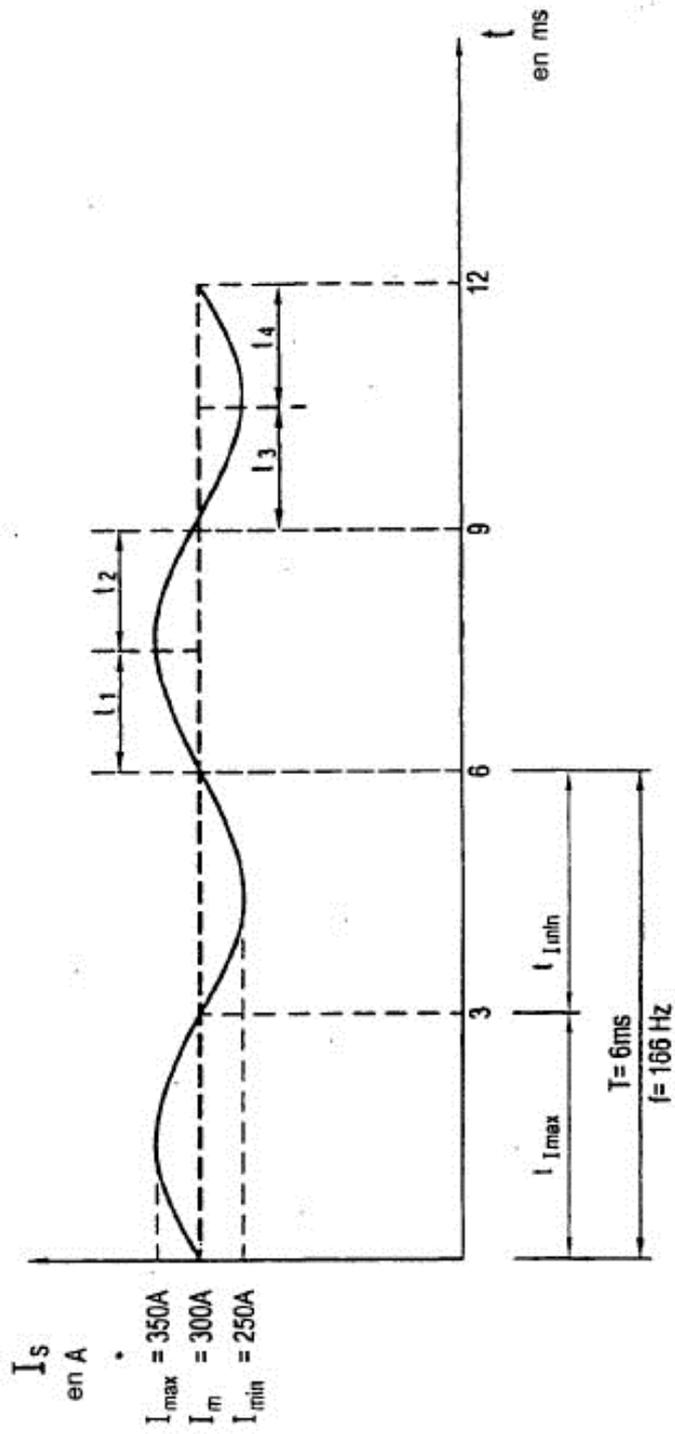
$$t_{I_{max}} = 6ms$$

$$t_{I_{min}} = 6ms$$

$$D = t_{I_{max}} / T = 0,5$$

$$dI/dt_1 = |(I_{max} - I_{min})| / t_1 = 6,6A/ms$$

Figura 5



$$t_1 = t_2 = t_3 = t_4 = 1,5ms$$

$$t_{I_{max}} = 3ms$$

$$t_{I_{min}} = 3ms$$

$$D = t_{I_{max}} / T = 0,5$$

$$dI/dt_1 = |(I_{max} - I_{min})| / t_1 = 33A/ms$$

Figura 6

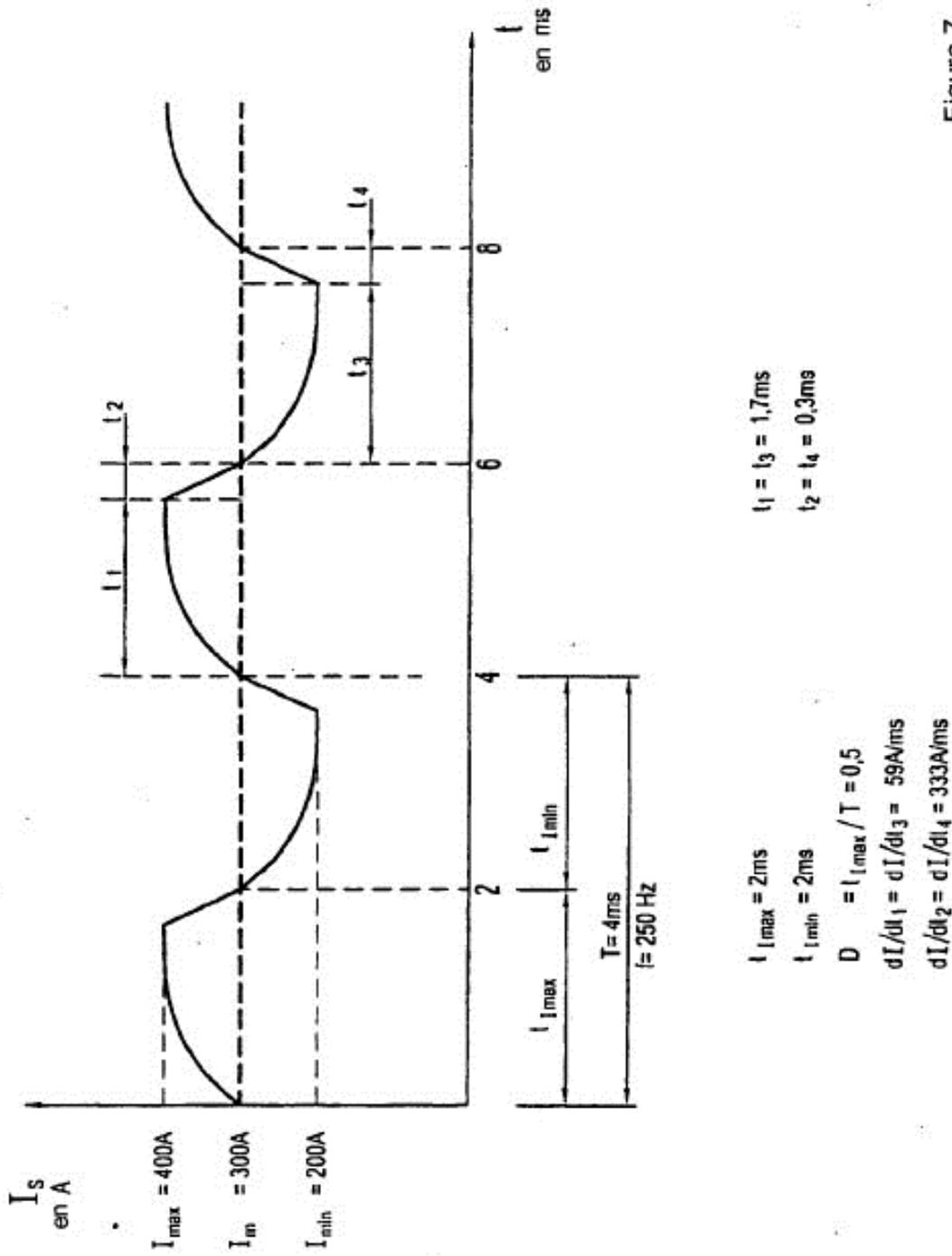
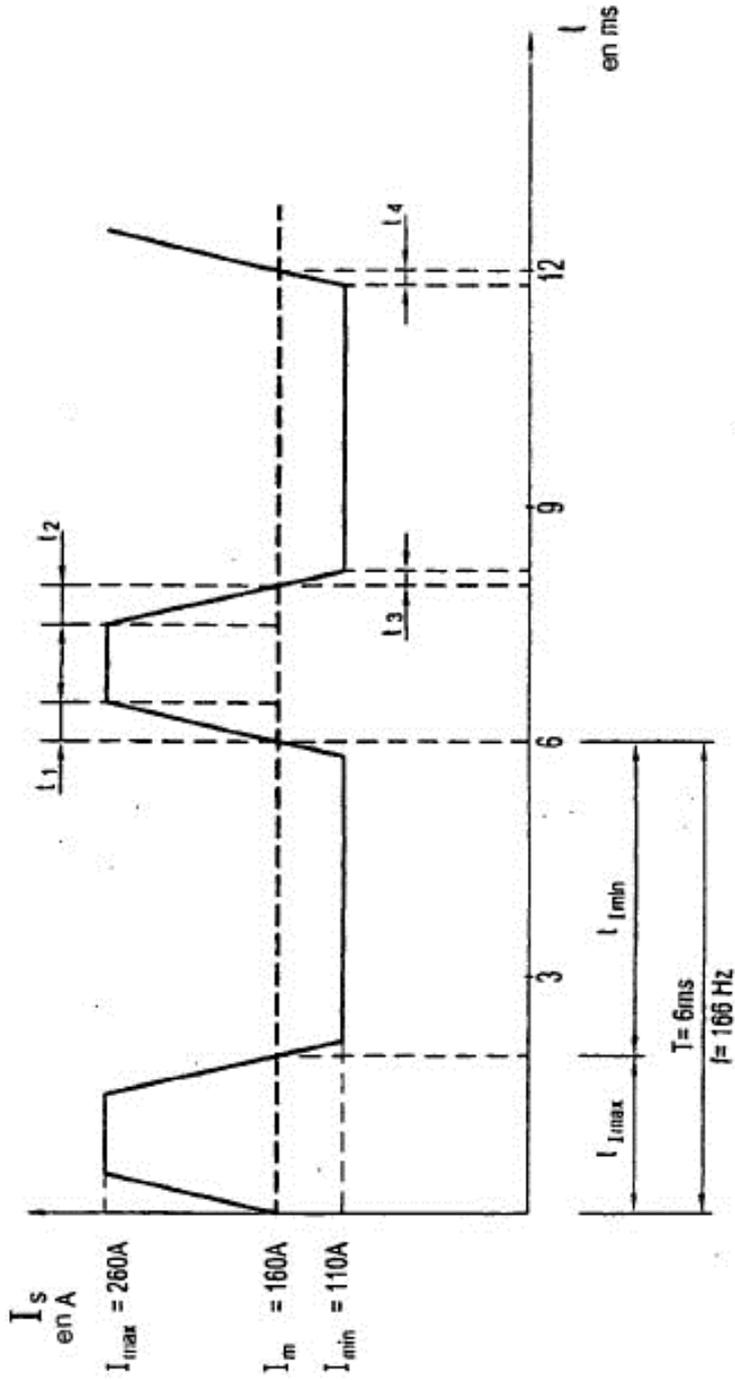


Figura 7



$t_1 = t_3 = 0,5ms$   
 $t_2 = t_4 = 0,25ms$

$D = t_{imax} / T = 0,33$

$dI/dt_1 = dI/dt_2 = 100A/0,5ms = 200A/ms$

$dI/dt_3 = dI/dt_4 = 50A/0,25ms = 200A/ms$

Figura 8

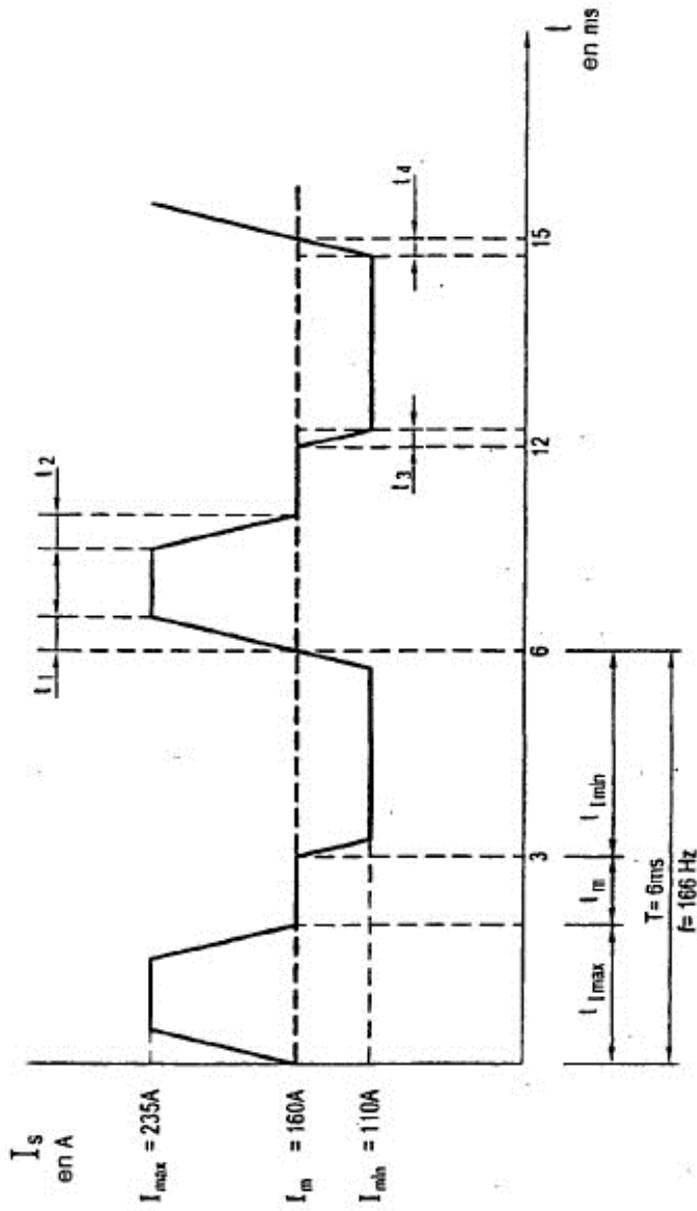


Figura 9

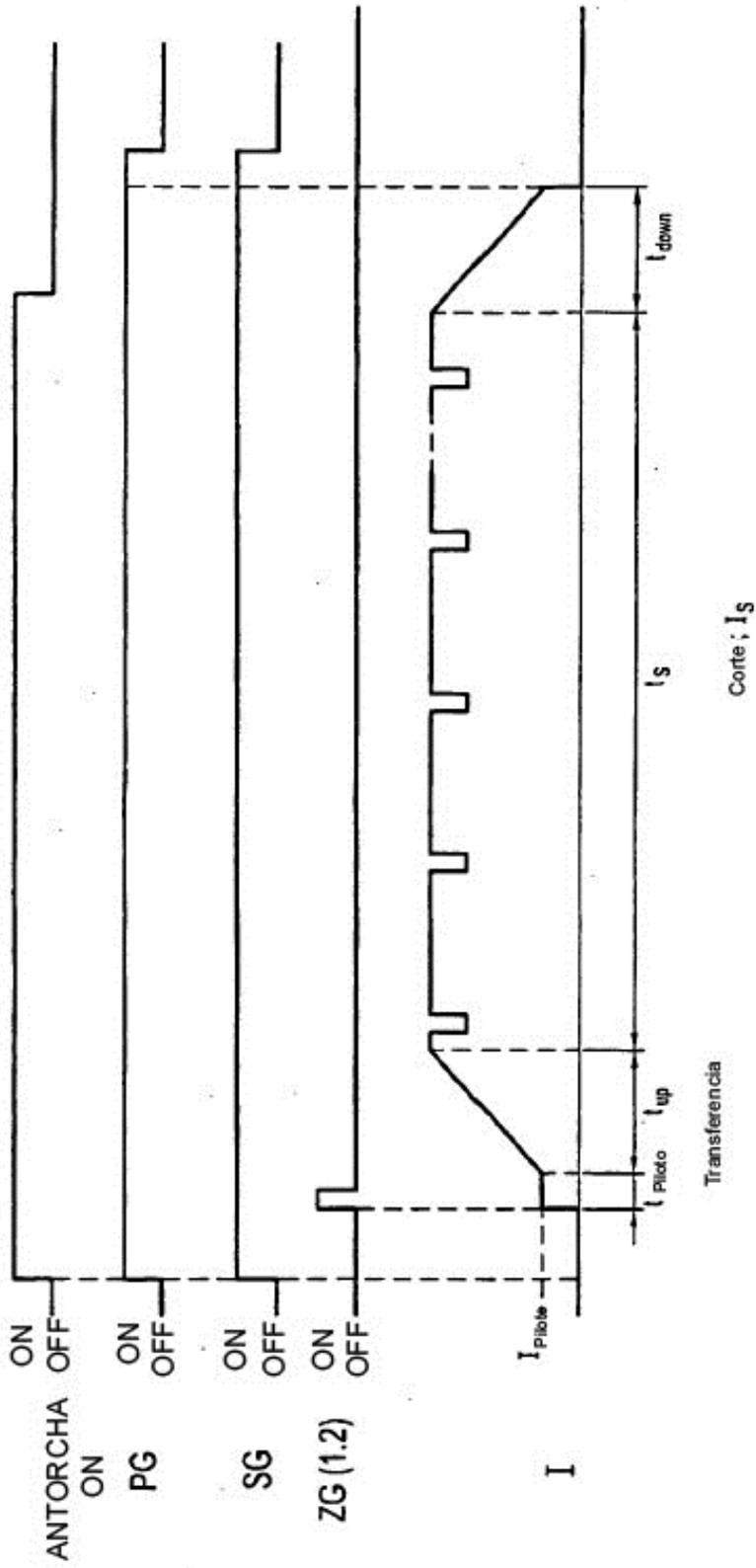


Figura 10

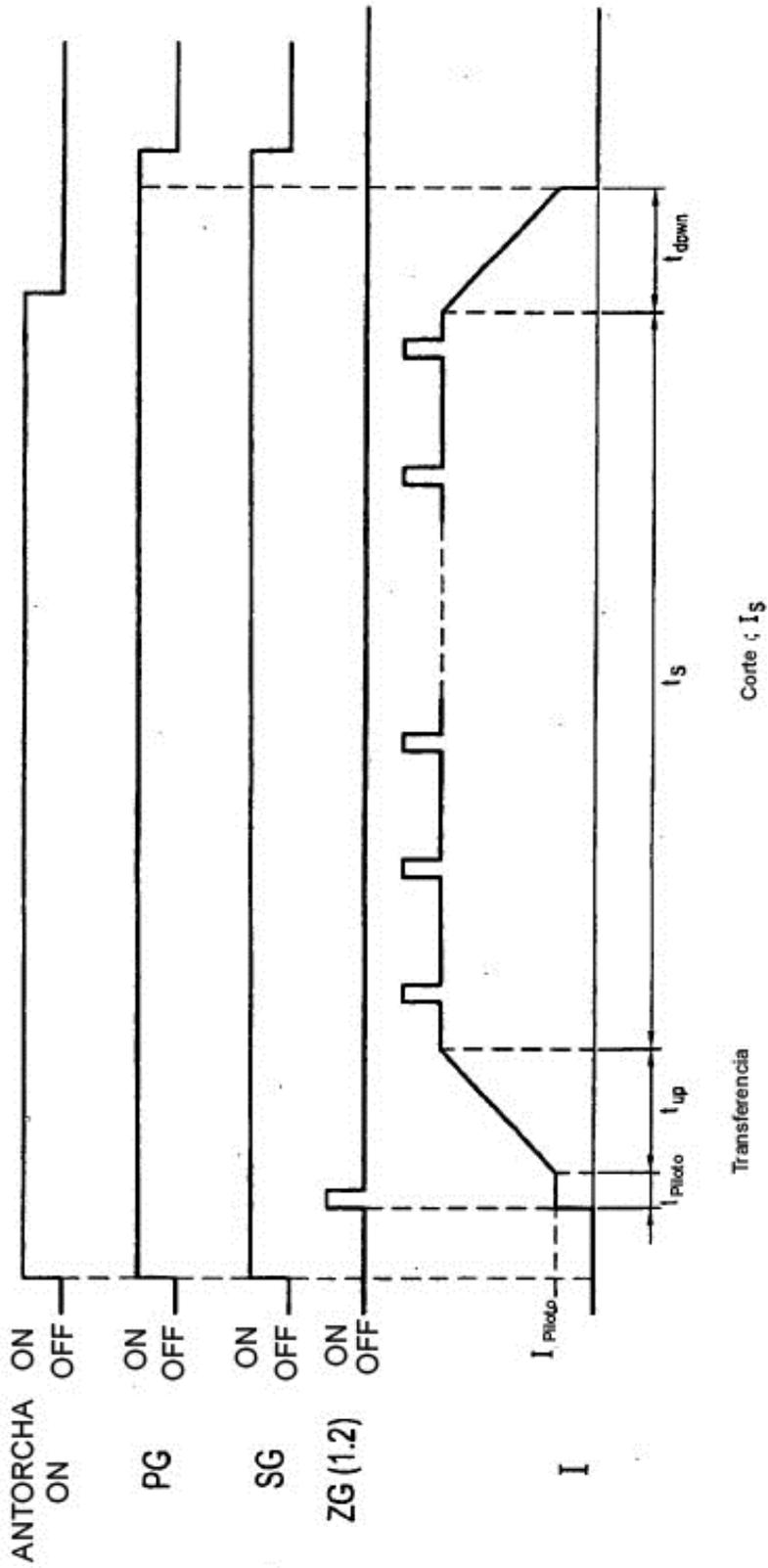


Figura 11

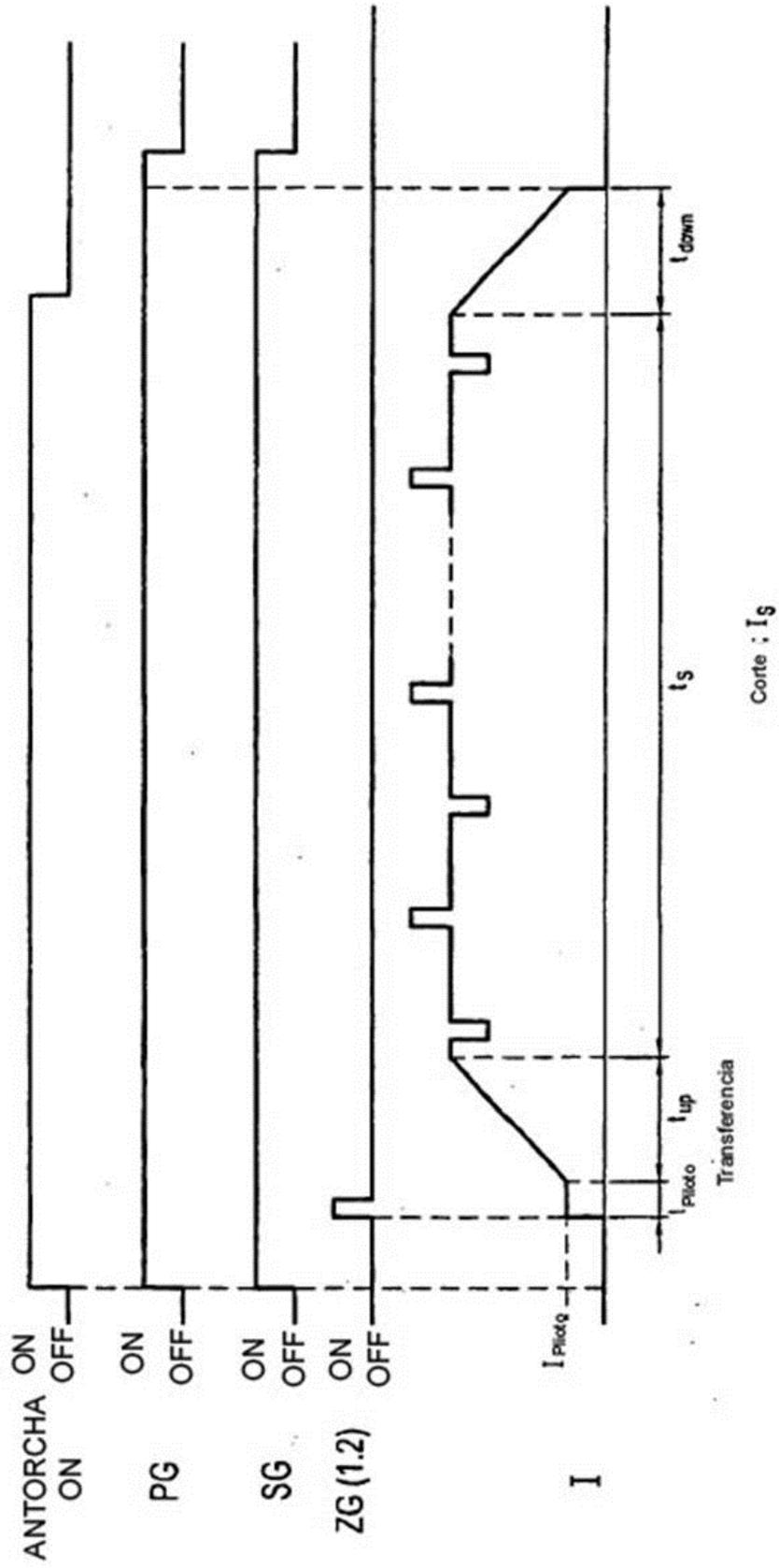


Figura 12

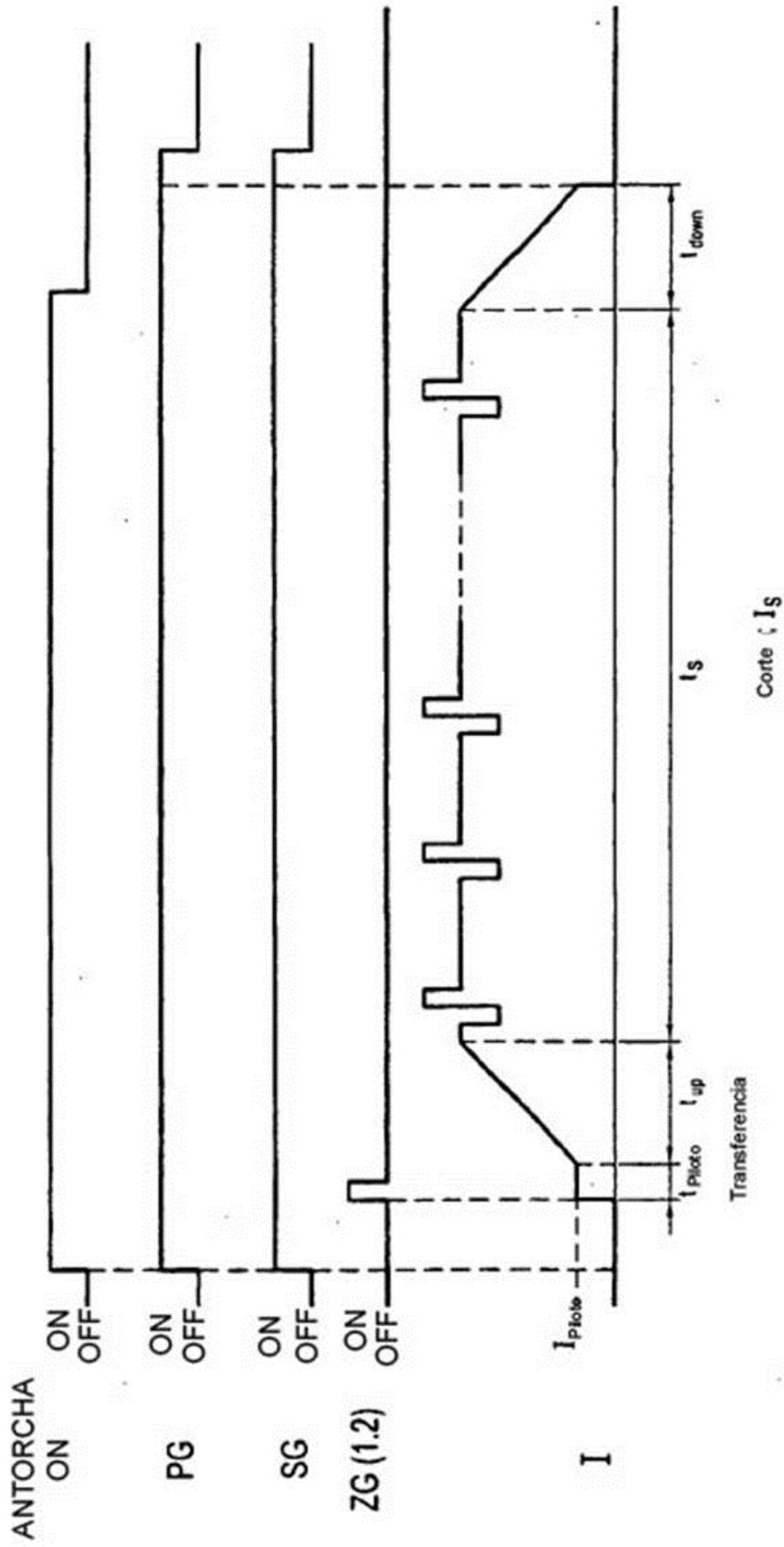


Figura 13

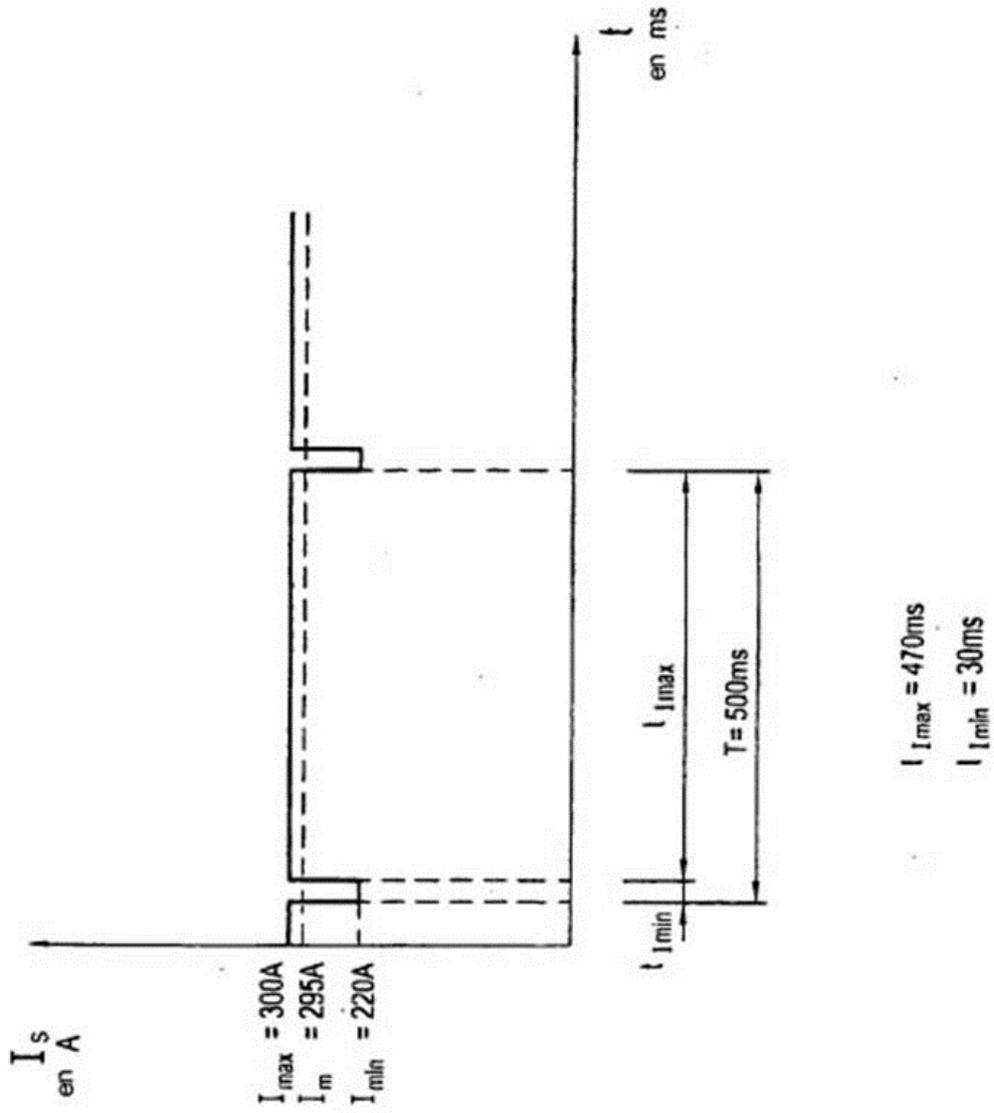


Figura 14

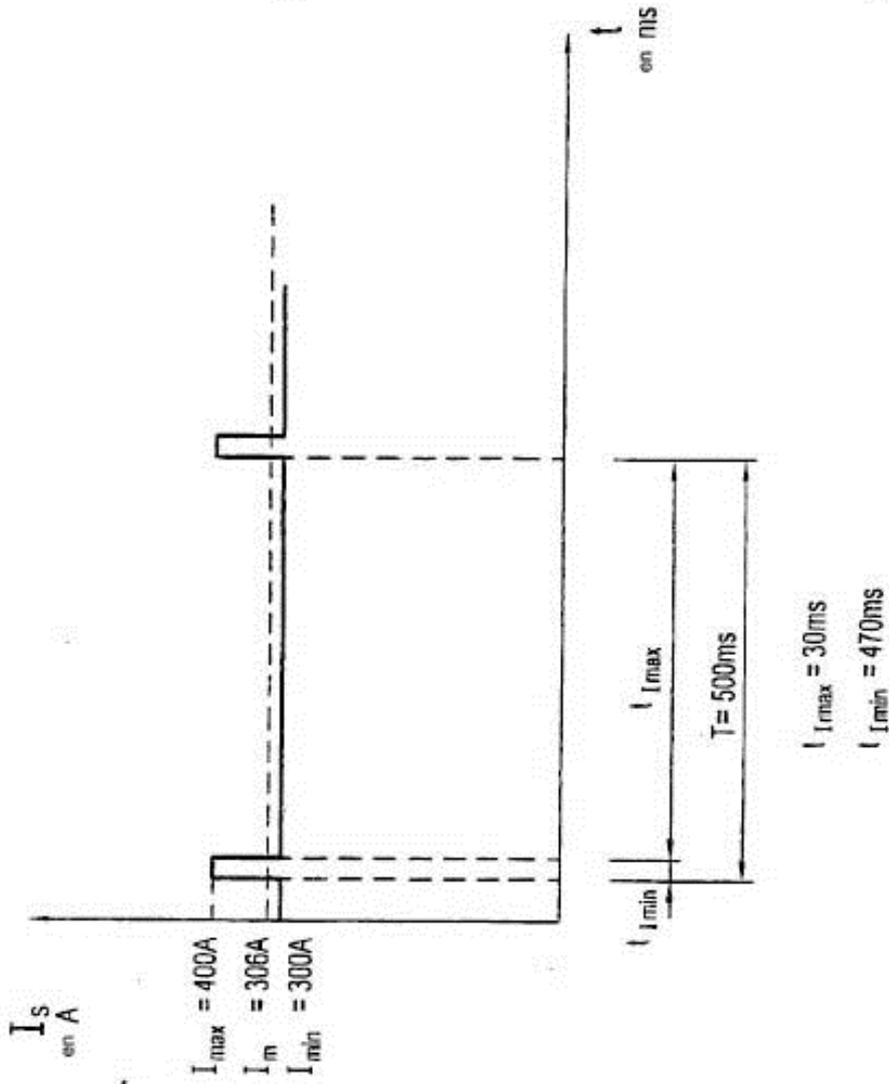
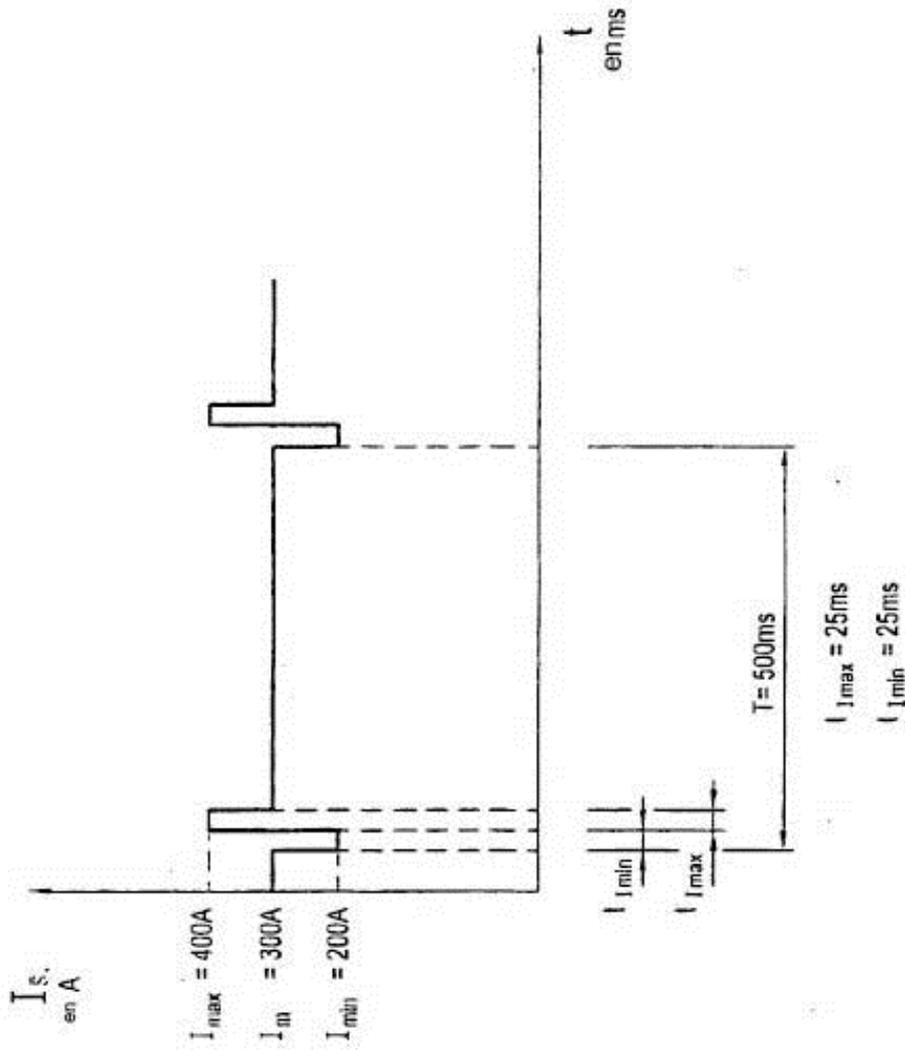


Figura 15



Caso:  $t_{min} + t_{max} < T$

Figura 16

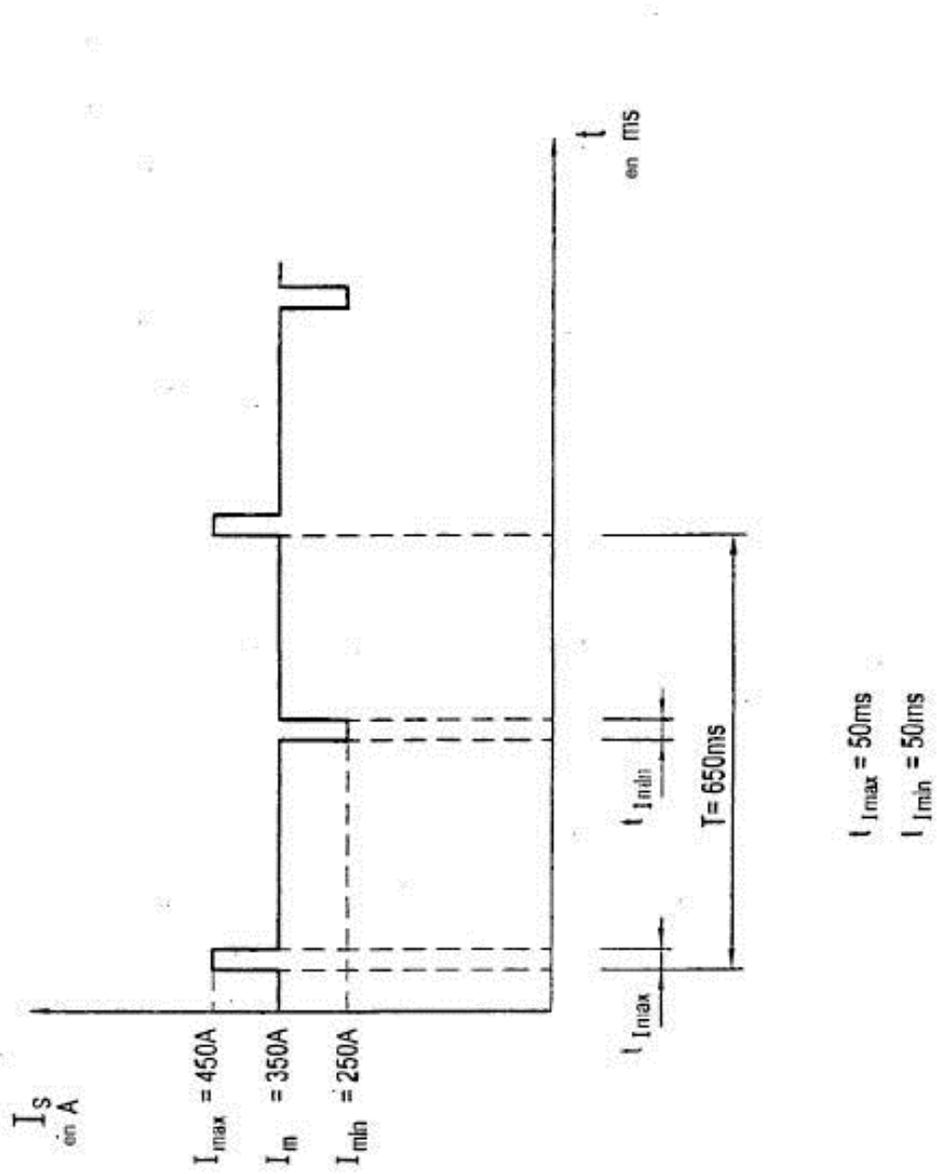
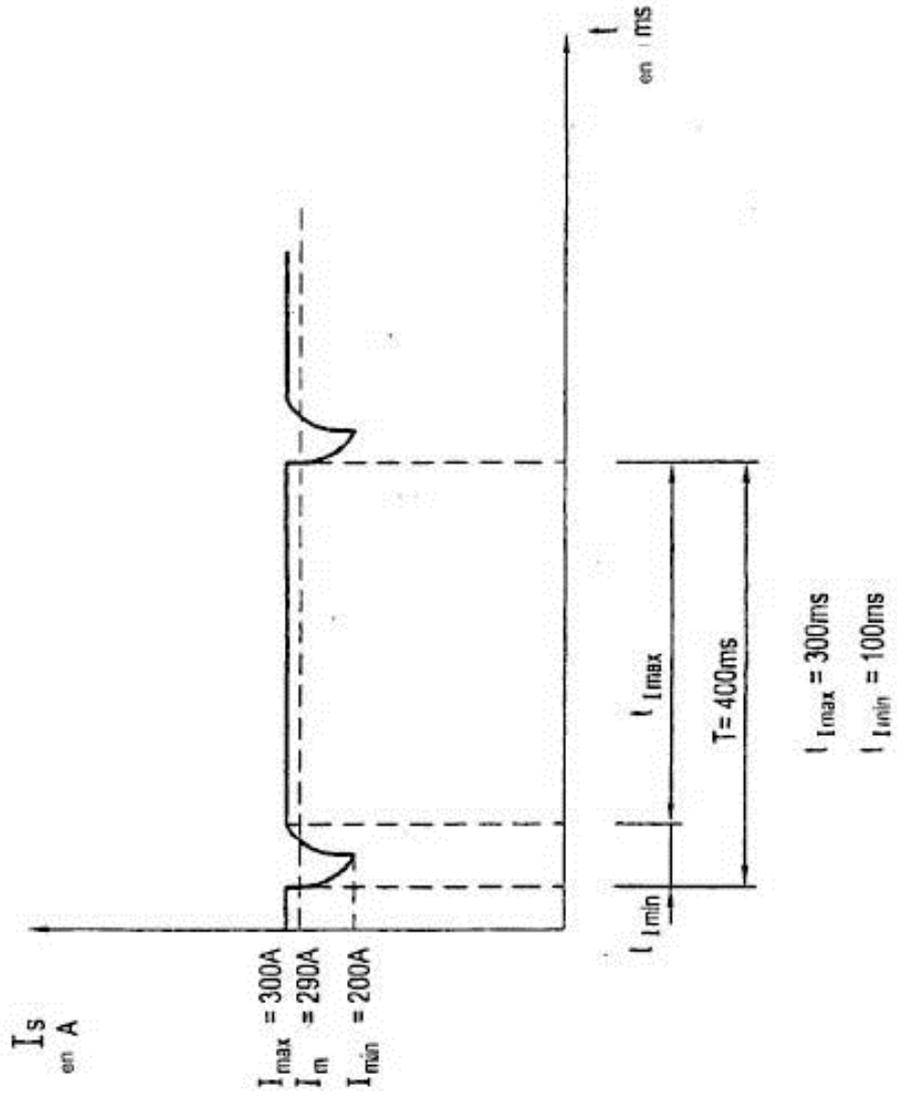


Figura 17

Caso:  $t_{I_{min}} + t_{I_{max}} < T$



Caso:  $t_{min} + t_{max} = T$

Figura 18

Figura 19

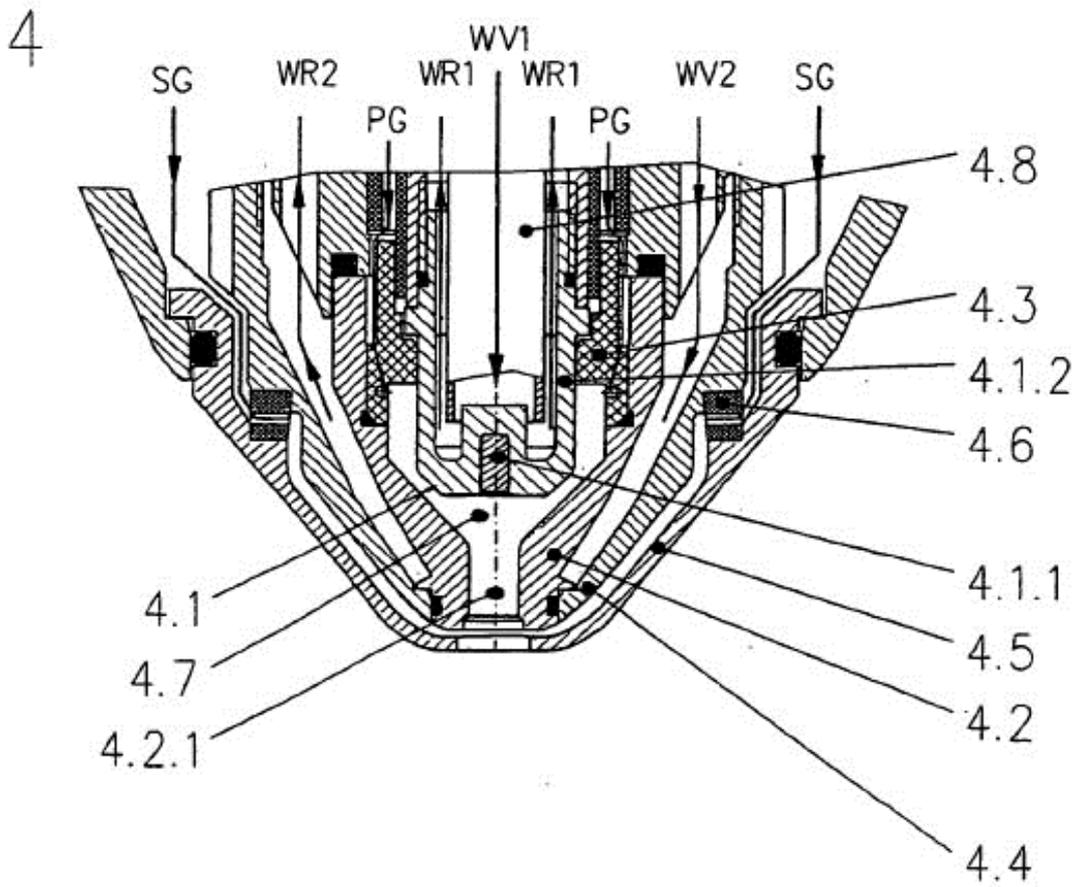


Figura 19a

