



TECNOLOGÍA EN SOLDADURA

Polígono Industrial Can Sedó

08292 Esparreguera

Tel: (34) 93 7774162

Fax: (34) 93 7774203

www.sunarc.com

SOLDADURA
MIG/MAG CON ARCO
PULSADO

INDICE

1. Introducción	3
2. Principio de funcionamiento del arco pulsado	4
3. Transferencia del metal	7
4. Variables que intervienen en el proceso	8
4.1. Tiempo de pico	8
4.2. Intensidad de pico	9
4.3. Intensidad de base	10
4.4. Frecuencia	10
5. Influencia de la elección de parámetros de pulsación	10
6. Principio de los equipos de arco pulsado	11
6.1. Utilización en fuentes de corriente de soldadura	12
6.1.1. Equipos funcionando en amplificación lineal	12
6.1.2. Equipos funcionando por modulación	13
6.1.3. Equipos funcionando en modo inversor	14
7. Filosofías de regulación	15
7.1. Generadores pulsados simples	15
7.2. Generadores pulsados sinérgicos	15
8. Curva característica de un equipo de arco pulsado	17
9. Ventajas en el empleo de equipos de arco pulsado	18
9.1. Ventajas referidas al empleo de electrónica de potencia	18
9.2. Ventajas referidas al procedimiento	19
10. calificación del método operativo de soldadura	19
10.1. Características del modo de transferencia pulsada	19
10.2. Información aportada per U e I	19

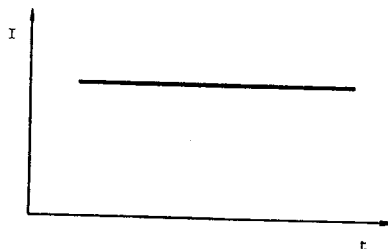
1. INTRODUCCIÓN.

Uno de los principales problemas del empleo del procedimiento MIG clásico en la soldadura de pequeños espesores es la elevada tasa de proyecciones generada, debido precisamente a que el modo de transferencia debe ser por cortocircuito.

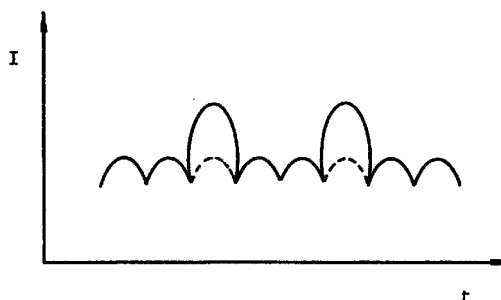
Para evitar estos inconvenientes, se ha introducido en los últimos años la electrónica de potencia para producir unos parámetros eléctricos pulsados, en general la intensidad de soldadura.

En los últimos años, el MIG pulsado ha dado mucho de qué hablar, aunque el principio de funcionamiento, su concepto, existe desde hace ya bastante tiempo. ¿Qué ha ocurrido, pues, para que sea ahora tan importante?

No se trata del principio de introducción de las corrientes pulsadas; es la tecnología de los equipos lo que permite la producción de pulsaciones. En efecto, los generadores MIG clásicos producen una corriente constante en función del tiempo.



Más tarde, aparecieron los generadores a tiristores. Los tiristores son componentes semiconductores cuyo comportamiento es similar al de los diodos, solo que en ellos, el paso de la corriente está subordinado al envío de un impulso sobre un terminal de comando. Esta posibilidad de comando es la que se utiliza para producir los impulsos de corriente dejando pasar una sobreintensidad en ciertas alternancias de la corriente primaria. La corriente pulsada tendrá, pues, la forma que se observa a continuación:

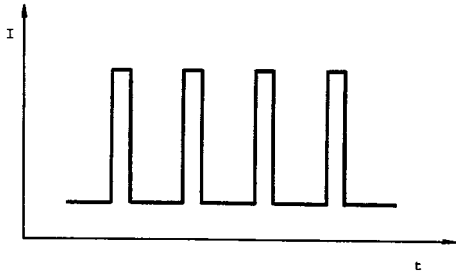


Pero este tipo de generadores presenta el inconveniente de que no es posible crear impulsos mas que sobre una alternancia de corriente. La frecuencia de los impulsos será, pues, impuesta por la frecuencia de la red primaria. Por ejemplo, suponiendo tensión trifásica, con rectificación de todos los semiperiodos, se podrá trabajar a 300Hz si se toman todos los semiperiodos, 150Hz si se toma un semiperiodo de cada dos, 100Hz si se toma un semiperiodo de cada tres,...

La frecuencia de los impulsos no puede, pues, variarse más que de manera discontinua en escalas que son múltiplos de la frecuencia de línea. En la práctica, este tipo de generadores está constituido por una fuente de corriente clásica a la que se le añade un módulo adicional encargado de generar las pulsaciones. El usuario ajusta una determinada frecuencia de manera empírica, ensayando con las frecuencias disponibles, pero no se puede esperar que optimice de manera absoluta la pulsación de la corriente.

Después de los tiristores aparecieron los transistores. Es cierto que el transistor no es una nueva tecnología, puesto que sus principios son de los alrededores de 1945; lo que es realmente nuevo son los transistores de potencia capaces de dejar pasar la corriente de soldadura.

Con un equipo a transistores se pueden crear pulsaciones de corriente de cualquier forma:



La producción de una corriente pulsada a medida constituye, de hecho, la gran novedad, lo que permite explotar completamente la técnica del MIG pulsado.

2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL ARCO PULSADO.

En el procedimiento MIG/MAG pulsado se consigue un transporte por pulverización axial utilizando una intensidad media de corriente mucho más baja que la necesaria para obtener este tipo de transporte.

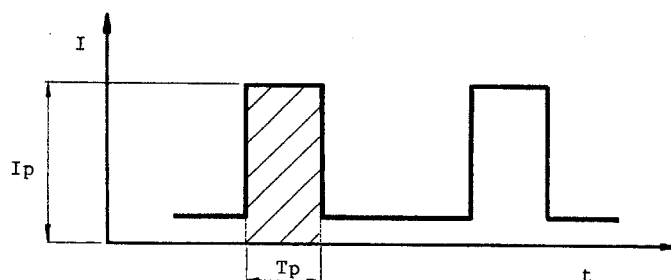
Para ello es necesario que la intensidad conmute entre dos niveles, uno bajo y otro alto. En el nivel bajo, denominado Intensidad de Base (I_b), se aporta una intensidad del orden de la necesaria para que se produzca un transporte globular. Es un tiempo durante el cual la energía que se aporta debe ser lo suficientemente baja como para que no funda material, pero suficientemente alta como para que el arco no se extinga. Durante el nivel alto, denominado Intensidad de pico o de pulso (I_p), se proporciona una intensidad suficiente para lograr el transporte por pulverización axial.

La aplicación de corrientes pulsadas permite adaptar la aportación de calor a las exigencias de la soldadura, definidas por la posición, tipo de junta y espesor, conservando las ventajas del transporte por pulverización. Por ejemplo, cuando se suelda en posiciones difíciles, la intensidad necesaria para conseguir un transporte continuo por pulverización suele ser excesiva, y da lugar a la formación de baños muy grandes y de difícil control. Un problema similar se encuentra en el soldeo de espesores finos, en los que el empleo de intensidades superiores a la de transición puede producir perforaciones en las piezas. Aunque los hilos de pequeño diámetro tienen corrientes de transición más bajas, siempre existirá una limitación, por lo que el transporte continuo por pulverización resulta de difícil aplicación en el soldeo de espesores finos y en posiciones distintas de la horizontal.

El empleo de corrientes pulsadas, que oscilen entre valores inferiores y superiores al nivel de transición, permite obtener un transporte por pulverización pulsada. Los tiempos de circulación de la corriente más baja, correspondiente a un transporte globular, se limitan para que no se produzca este tipo de transporte. Por el contrario, los impulsos de elevada intensidad son de duración suficiente para que durante los mismos se produzca el transporte por pulverización.

La continua investigación de los fenómenos que se producen en el desprendimiento de las gotas, ha permitido establecer dos condiciones para asegurar la ausencia total de proyecciones:

- a) Sólo se debe desprender una gota por impulso y en el momento en que se desprenda el arco debe tener un valor de intensidad de base. Para cumplir esta condición es preciso que la energía aportada a la gota sea la justa y necesaria. Esta energía se representa en el siguiente gráfico:



Como puede verse, la energía aportada al hilo para desprender la gota viene determinada por los valores de la intensidad de pico I_p y el tiempo durante el cual esta intensidad está presente, denominado Tiempo de pico o pulso (T_p). En todo momento, debe cumplirse que

$$I_p^2 \cdot T_p = K$$

donde K depende del material a soldar, del diámetro del hilo y de la composición del gas. La intensidad del impulso debe ser superior a la mínima correspondiente al régimen de transferencia por pulverización axial. Para cumplir esta relación, los valores de I_p y T_p sólo se pueden variar dentro de estrechos márgenes, por lo que se prefiere dejarlos fijos una vez definido el gas, material y diámetro de hilo.

b) El volumen de la gota no ha de superar el equivalente al diámetro del hilo utilizado. El tamaño de la gota depende de la relación velocidad de avance de hilo y frecuencia de los impulsos. Para conseguir el tamaño de gota adecuado, es necesario que la frecuencia sea variable de forma continua y proporcional a la velocidad de hilo. En efecto, en un determinado tiempo, el volumen de material depositado en el metal base será el producto del volumen de la gota por su frecuencia (es decir, por el número de gotas depositadas), o, lo que es lo mismo, el producto de la sección de hilo por su velocidad de avance. Es decir:

$$V \cdot f = s \cdot v$$

Suponiendo esférica la gota desprendida, su volumen viene definido por la expresión

$$V = (4/3) \cdot \pi \cdot r^3$$

Por otra parte, la sección del hilo es $s = \pi \cdot r^2$
Sustituyendo:

$$(4/3) \cdot \pi \cdot r^3 \cdot f = \pi \cdot r^2 \cdot v$$

Colocando el radio en función del diámetro d:

$$V = (2/3) \cdot d \cdot f$$

expresión que proporciona el valor de la velocidad de avance de hilo en función de su diámetro y la frecuencia de la pulsación.

Así, pues, para que se cumplan las dos condiciones necesarias para la transferencia óptima, será preciso que las gotas se desprendan en total sincronismo con la frecuencia. Es por esta razón que en la mayoría de equipos de arco pulsado se ajusta por medio de un solo botón la velocidad de hilo y la frecuencia de impulsos.

Para variarse la frecuencia, se ajusta el tiempo de base (T_b) que, al ser independiente del material a soldar puede variarse en un amplio campo. Dado que la frecuencia es:

$$f = 1000 / (T_p - T_b)$$

donde f se expresa en Hz y T_p y T_b en milisegundos, basta reducir el tiempo de base para aumentar la frecuencia y viceversa.

Para evitar las molestias fisiológicas que se producen al trabajar a frecuencias inferiores a 30Hz, se limitan los equipos a estos valores, lo que, a su vez, limita la intensidad de soldadura a unos 40-45 A. Por esta razón, los equipos de arco pulsado no deben emplearse para espesores inferiores a 1 mm.

Una relación aproximadamente lineal se observa entre la intensidad de soldadura I_m medida en su valor medio y la velocidad de fusión W :

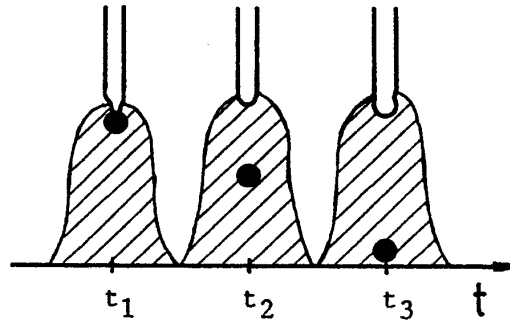
$$I_m = k \cdot W$$

donde el coeficiente k de fusión depende, para un hilo determinado, de la longitud terminal, esto es, de la distancia entre tubo de contacto y metal base menos la longitud efectiva de arco.

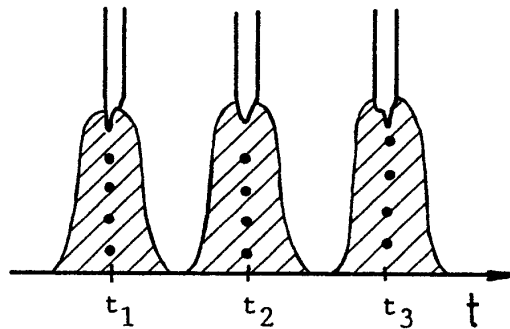
3. TRANSFERENCIA DEL METAL.

Como ya se ha comentado anteriormente, la transferencia del metal en arco pulsado es similar a la pulverización axial. Las dos derivan de un mismo proceso energético de transferencia en vuelo libre:

ARCO PULSADO:
El desprendimiento de una gota se produce después de la precedente en el baño de soldadura (I_m baja)



FUSION PULVERIZADA:
En todo instante, muchas gotas atraviesan la zona del arco (I_m elevada)



Las diferencias son, únicamente, de orden mecánico: frecuencia, masa y velocidad de las gotas.

4. VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO.

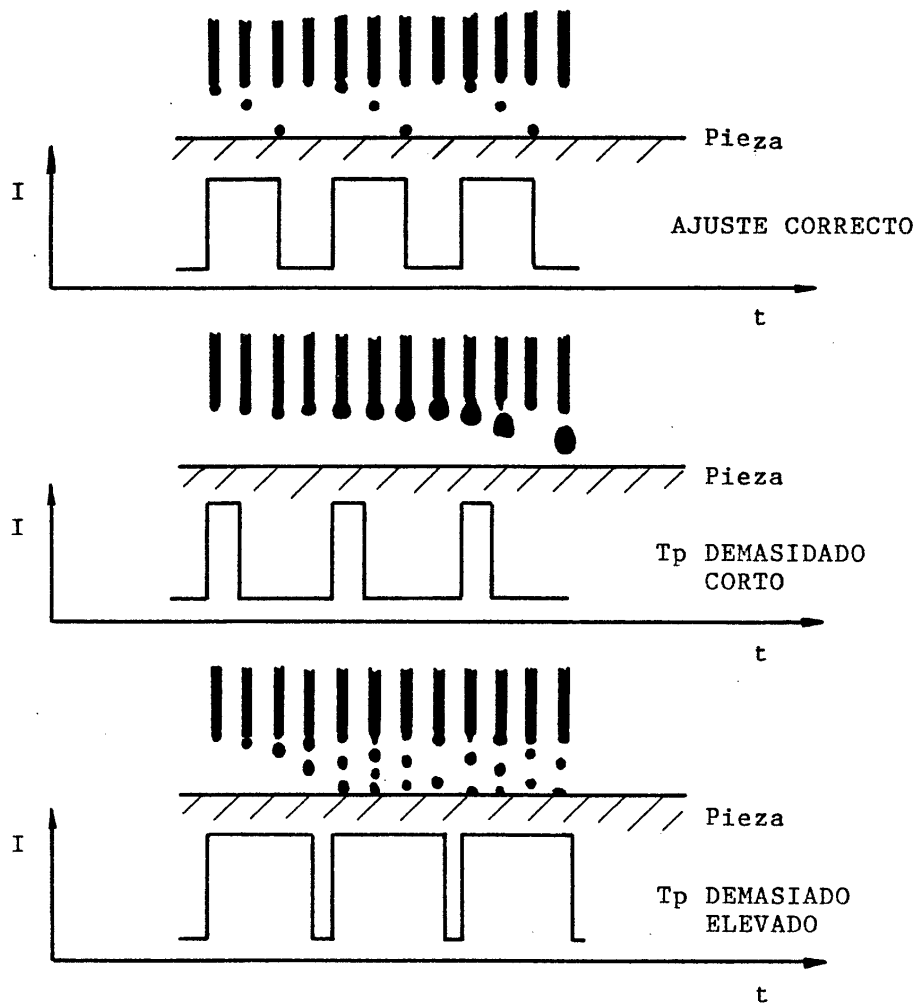
Una soldadura se efectuará después de haber escogido la naturaleza y el diámetro del hilo-electrodo, el modo de transferencia, el gas de protección y, en el caso de un trabajo en automático, de la distancia antorcha-pieza.

Estos parámetros intervienen unos sobre otros y determinan los ajustes necesarios para obtener los resultados buscados.

4.1. TIEMPO DE PICO.

Los siguientes gráficos evidencian el efecto de una variación en el tiempo de pico:

El primer ajuste, que puede clasificarse de óptimo, corresponde a la transferencia de una gota por impulso.



Si se disminuye el tiempo de pico (segundo gráfico) la energía de la pulsación será insuficiente para formar y desprender una gota de metal. El extremo del hilo se empieza a fundir en una primera pulsación. En la siguiente, la gota que se estaba formando continúa aumentando de tamaño, y así varias pulsaciones. Finalmente, cuando la gota ha adquirido un tamaño suficiente, se desprende bajo los efectos de la gravedad y la presión del gas. Se tiene, pues, una transferencia de tipo globular que forma grandes gotas y que no convendrá para soldar en posición puesto que las gotas no se dirigen hacia el baño con precisión. La pulsación de la corriente, pues, no tiene efecto en un tiempo de pico demasiado corto.

A la inversa, si se aumenta el tiempo de pico (tercer gráfico) se empieza a formar y desprender una gota de metal como en el primer caso. Como la intensidad de pico se mantiene demasiado tiempo, una segunda gota se forma detrás de la primera. El aumento del tiempo de pico produce, pues, una transferencia de varias gotas por pulsación.

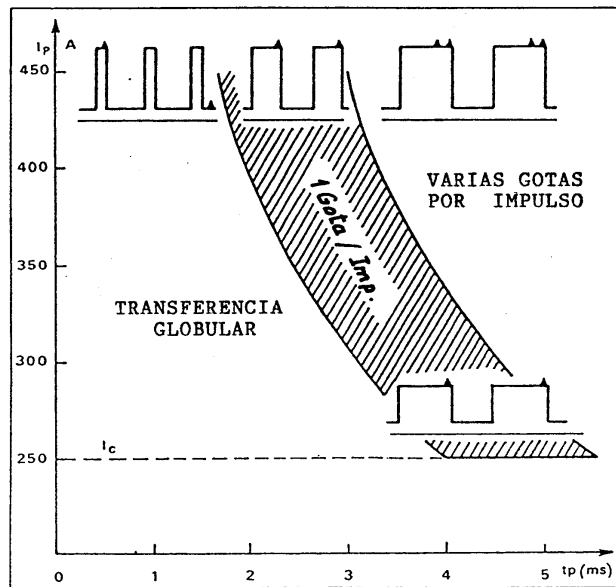
4.2. INTENSIDAD DE PICO.

El efecto de la intensidad de pico aparece en el dibujo de la página siguiente.

A una intensidad de, por ejemplo, 450 A, a medida que se aumenta el tiempo de pico suceden los tres regímenes antes descritos: transferencia globular por pulsaciones demasiado cortas,

transferencia de una gota por impulso para el caso de pulsación ideal, y transferencia de varias gotas por pulsaciones demasiado largas.

Si ahora se disminuye la intensidad de pico, los mismos regímenes se desplazan hacia la derecha. ¿Por qué? Si, por ejemplo, a 450A se necesitan 2ms para formar y desprender una gota, con una intensidad de pico de 300A, se necesitará más tiempo, quizá 4ms para obtener los mismos resultados. El ajuste óptimo está, pues, más lejos, en función de la intensidad de pico.



Este diagrama muestra que existen varios puntos de ajuste para los parámetros I_p y T_p que corresponden a los tres regímenes: un régimen ideal (una gota por impulso), un régimen donde la transferencia no es satisfactoria (globular) y un régimen que no es ideal pero que puede convenir antes que una desestabilización del arco.

Lógicamente, este ábaco es sólo válido para un gas, un material y un diámetro de hilo determinados, ya que si una de estas condiciones cambia, los regímenes se decaían.

4.3. INTENSIDAD DE BASE.

La intensidad de base no es un parámetro muy crítico. Si es demasiado baja, se observa una extinción del arco a cada final de impulso, lo que se traduce todo ello en una desestabilización del arco.

Si, por contra, se aumenta en demasía la intensidad de base, no será posible mantener una intensidad media baja.

De todas maneras, el margen de ajuste es bastante amplio. Por ejemplo, para un hilo de 1,2mm de acero dulce, se puede regular entre 30 y 100A.

4.4. FRECUENCIA.

La elección del tiempo de base o, lo que es lo mismo, de la frecuencia, determina la intensidad media, es decir, la velocidad de fusión del hilo. Así, pues, la frecuencia deberá ser ajustada para equilibrar la velocidad de avance del hilo.

5. INFLUENCIA DE LA ELECCIÓN DE PARÁMETROS DE PULSACIÓN.

Para obtener una intensidad media determinada, por ejemplo, de 150A, existe una infinidad de soluciones en cuanto a la elección de los parámetros de pulsación. Se puede, efectivamente, emplear 250A durante 4ms seguido de 50A durante otros 4ms, o bien emplear 400A durante 2ms seguido de 50A durante otros 5ms.

Sin embargo, la cuestión que se puede plantear es si la elección de los parámetros de pulsación es la óptima. Para ello es conveniente conocer lo que depende de cada parámetro, es decir, lo

que se puede optimizar a través de los parámetros de pulsación y lo que dependerá de otros parámetros como la intensidad media, la velocidad de avance,...

Las consecuencias que dependen directamente de los parámetros de pulsación son las siguientes:

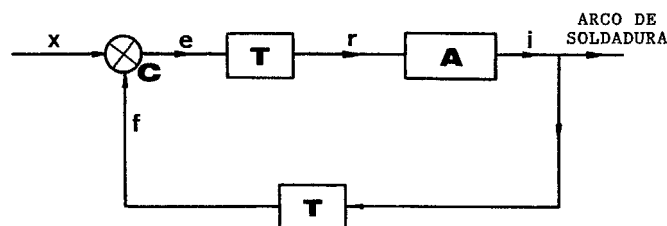
- Modo de transferencia: en efecto, un tiempo de pico demasiado corto conducirá a un régimen globular, por ejemplo.
- Estabilidad del arco: depende esencialmente de la intensidad de base.
- Rigidez del arco: la pulsación del arco permite mantener un arco estable permanente y de baja intensidad. Será menos rígido que los arcos que se puedan tener en pulverización axial y se podrá fácilmente desviar.

Existen otras consecuencias que son independientes de los parámetros de pulsación, y que dependen más de posición de la antorcha, velocidad de fusión,.... En este sentido cabe citar:

- Forma del cordón.- en MIG pulsado el cordón presenta una forma de "dedo de guante" bastante marcada.
- Penetración: es mucho más estrecha y puntiaguda que en MIG clásico utilizando, por ejemplo, gas dióxido de carbono. Esta característica puede ser una ventaja (profundidad de penetración) o un inconveniente (precisión en el posicionamiento de la antorcha).
- Características mecánicas: dependen solo de la energía de aportación, y no de la manera en que el metal es depositado sobre el baño de fusión.

6. PRINCIPIO DE LOS EQUIPOS DE ARCO PULSADO.

En su más simple expresión, los esquemas de generadores de arco pulsado que emplean la tecnología de los transistores, se reducen a un regulador de corriente tal que una señal de comando aplicada a su entrada determina una corriente de salida dentro de la gama de intensidades de soldadura. En la página siguiente se muestra la representación simbólica de un sistema servocontrolado de este tipo:



Donde: A: Fuente de corriente a transistores

T: Transductor

C: Comparador

i: Intensidad a regular

x: Valor de referencia

f: Valor de reacción

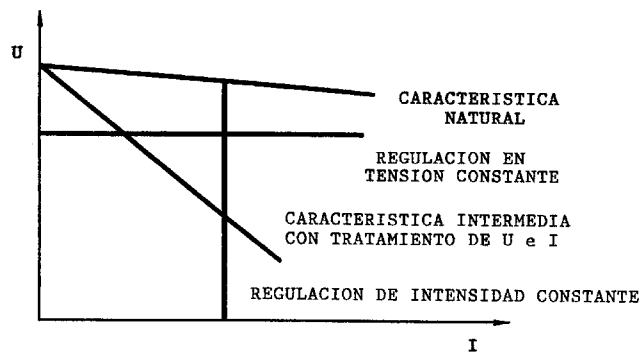
e: Valor de error

r: Señal de comando

Estando el equipo de soldadura trabajando a una intensidad de salida "i", el servocontrol recoge una parte de esta intensidad y genera el valor de reacción "f", el cual, comparado con el valor de referencia "x", provoca un valor de error que será transformado en señal de comando "r". Este valor, inyectado a la fuente de corriente, permitirá volver a traer "i" a su valor regulado.

Este circuito aporta al soldador dos posibilidades importantes y nuevas:

- 1a) La obtención de una característica externa estática cualquiera:
- Curva de característica vertical a intensidad constante.
 - Curva de característica horizontal a tensión constante.
 - Característica intermedia.



2a) Inyectando una señal de entrada "x" modulada, se puede obtener una corriente de soldadura de cualquier forma.

Utilizando transistores en conmutación será posible jugar sobre los tiempos de conmutación para obtener impulsos de corriente media variable. Estas características son utilizadas para producir ondas de corriente pulsada.

Teniendo en cuenta todas estas características, se puede observar que un mismo bloque de potencia puede ser utilizado de maneras muy diferentes modificando el circuito de comando. Este aspecto ha sido aprovechado por los fabricantes para la construcción de fuentes de corriente polivalentes con posibilidades muy variadas.

El sistema de regulación puede integrar al nivel de señal de referencia "x" constantes del tipo diámetro de hilo, gas de protección, velocidad de hilo,...

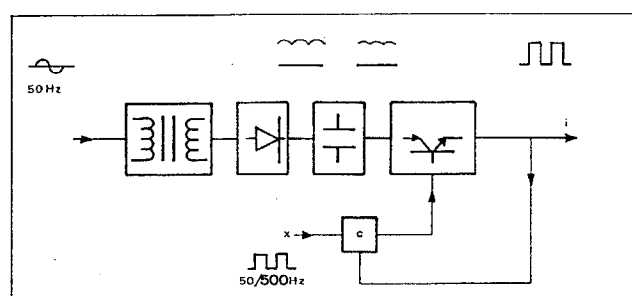
6.1. UTILIZACIÓN EN FUENTES DE CORRIENTE DE SOLDADURA.

Existen diversos tipos de configuraciones de fuentes de corriente de soldadura, a saber:

- Generadores a transistores funcionando en amplificación lineal.
- Generadores a transistores controlados por modulación.
- Generadores a transistores del tipo ondulator.

6.1.1. EQUIPOS FUNCIONANDO EN AMPLIFICACIÓN LINEAL.

El diagrama de bloques de funcionamiento se indica a continuación:



Los transistores están colocados en serie después de un transformador-rectificador clásico. Funcionan como una resistencia óhmica variable, en amplificadores de corriente.

En esta configuración, se trata de introducir como señal "x" de referencia una onda pulsada de forma y frecuencia como la deseada para obtener una corriente de soldadura de igual forma y frecuencia y de manera que los niveles altos y bajos de la señal de comando sean proporcionales a los niveles altos y bajos de la señal de referencia.

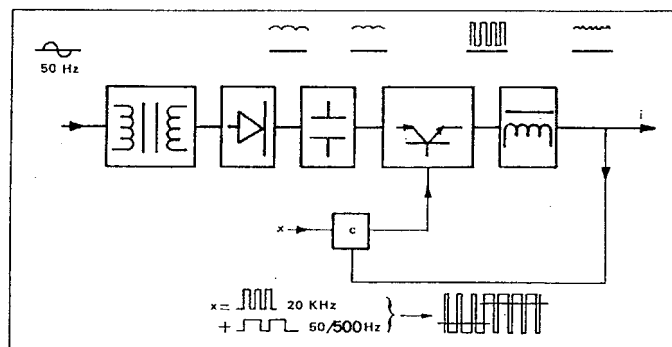
Las ventajas de esta configuración son:

- Tiempos de respuesta de los transistores del orden de 10%, lo que permite conmutaciones casi verticales.
- La forma de onda, al ser directamente proporcional a la forma de onda de la señal de entrada, la onda pulsada obtenida es continua.

Como inconveniente cabe destacar la necesidad de disipar una potencia importante, por lo que deben ser refrigerados enérgicamente. A menudo, constructivamente, se emplean baterías de transistores en paralelo con un sistema de refrigeración por agua.

6.1.2. EQUIPOS FUNCIONANDO POR MODULACIÓN.

El principio de funcionamiento se indica en el siguiente diagrama de bloques:



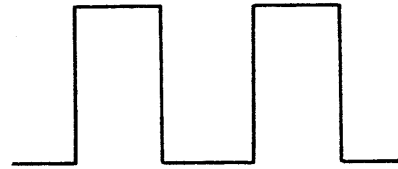
Como puede verse, los transistores funcionan en conmutación, generalmente a frecuencias de algunas decenas.

Así, pues, la señal de referencia contiene una señal de, por ejemplo, 20 kHz, de manera que, variando los tiempos de saturación-bloqueo, se obtengan trenes de impulsos de duraciones variables que proporcionen valores medios de corriente correspondientes a los valores altos y bajos de la pulsación.

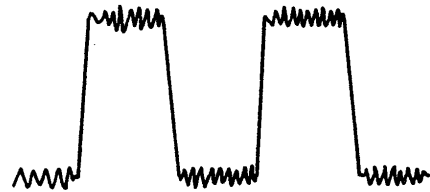
Con este sistema se consigue un calentamiento de los transistores bastante inferior.

Como inconvenientes cabe destacar que el tiempo de respuesta de los transistores aumenta a valores aproximados a $1\mu\text{s}$, con lo cual, los cambios de estado conducción-bloqueo no son tan abruptos. Además, como los diferentes niveles de la pulsación están constituidos por impulsos a frecuencia elevada, la forma de onda es menos continua que en generadores en funcionamiento de amplificador lineal:

Onda obtenida con
amplificador lineal

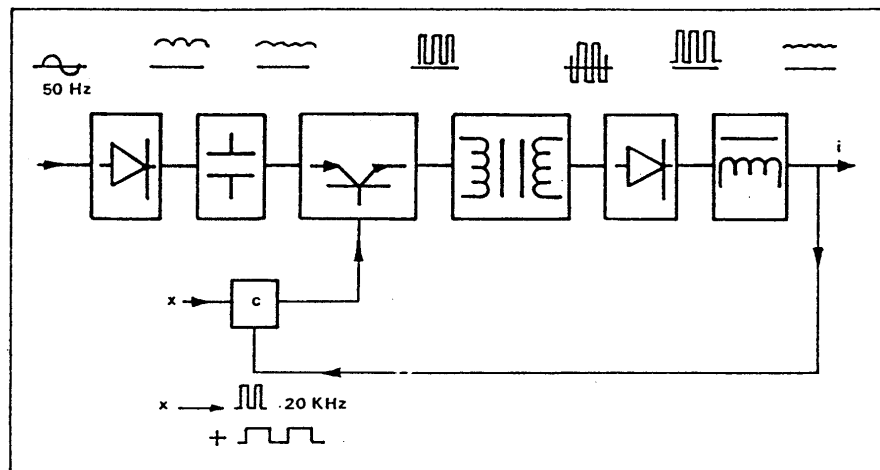


Onda obtenida por
modulación



6.1.3. EQUIPOS FUNCIONANDO EN MODO INVERSOR.

El diagrama de bloques siguiente muestra el principio de funcionamiento de este tipo de generadores:



Los transistores, al igual que en equipos funcionando por modulación, son utilizados en conmutación, tal y como puede verse. En este caso, la tensión de red es rectificadas directamente y alisada para obtener una tensión continua que será "troceada" por los transistores. Esta corriente de alta frecuencia se transforma, se rectifica nuevamente y se alisa para proporcionar corriente continua. Las diferentes fases de las ondas de corriente son obtenidas por variaciones de la relación conducción—bloqueo de los transistores, sin, en ningún momento variar la frecuencia.

Las principales ventajas de este método son el débil calentamiento de los transistores y el reducido peso del transformador debido a que debe trabajar a elevada frecuencia.

Como inconvenientes, conviene mencionar que la forma de onda obtenida es similar al funcionamiento por modulación, que se precisan dos grupos rectificadores (con lo cual el precio aumenta) y que se transfiere a la red parásitos que en algunos casos pueden ser importantes (a no ser que se dote al equipo de filtros que pueden aumentar mucho más su costo).

7. FILOSOFÍAS DE REGULACIÓN.

Existen diversos equipos en el mercado, cada uno de los cuales está basado en un modelo diferente de regulación.

7.1. GENERADORES PULSADOS SIMPLES.

En estos equipos, el operador regula por una parte la velocidad de avance de hilo, y, por otra, los parámetros de pulsación I_P , T_p , I_b y f .

El principal inconveniente de este tipo de generadores estriba en el hecho de que un cambio en la velocidad de hilo necesita una nueva búsqueda de los parámetros de pulsación. De todas las maneras, como modificando la frecuencia se obtiene la velocidad de fusión adecuada, es posible una optimización fina de los ajustes.

7.2. GENERADORES PULSADOS SINERGICOS.

En este caso, los parámetros de pulsación son automáticamente ajustados por el generador en función de la velocidad de hilo. Estos equipos son comunmente denominados "monobotón".

Según el grado de automatización, se pueden distinguir tres subgrupos:

a) **GENERADORES TOTALMENTE PREPROGRAMADOS:** El operador escoge un programa en función de la naturaleza del hilo de aportación, de su diámetro y del gas de protección. A continuación se escoge la velocidad de hilo deseada y el generador determina, a través de su lógica interna, los parámetros de pulsación. Los ajustes son muy simples, puesto que la máquina los toma en carga.

El mayor inconveniente que presentan es el número limitado de programas, lo que no permite una adaptación fina del ajuste a la composición particular del hilo o gas. Por esta razón, ciertos materiales disponen de un potenciómetro de ajuste de la intensidad que puede variar ligeramente los ajustes proporcionados por la máquina.

Por otra parte, la mayoría de los fabricantes proponen la introducción de programas específicos para la aplicación a un determinado cliente, e incluso, él mismo es el que puede programar sus propios parámetros y dejarlos grabados en la memoria interna del equipo.

b) **GENERADORES CON LÓGICA DE VARIACIÓN PREPROGRAMADA:** El operador regula los parámetros de pulsación para una velocidad de hilo determinada, como en el caso de un generador pulsado simple, pero, a diferencia de éste, cuando la velocidad de hilo varía, los parámetros escogidos anteriormente, son variados por la máquina automáticamente. Esta solución permite una mejor optimización de los parámetros que en el caso anterior.

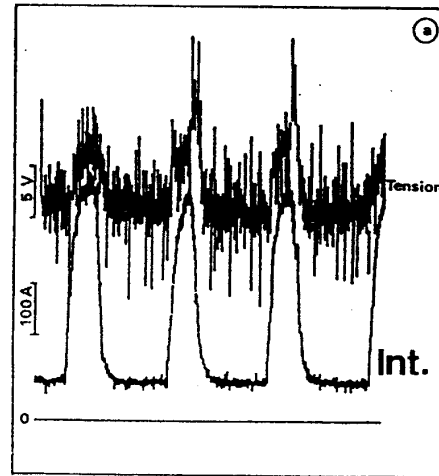
c) **GENERADORES TOTALMENTE PROGRAMABLES:** El operador escoge, por una parte, los parámetros de pulsación básicos, y, por otra, la ley de variación en función de la velocidad de hilo. De esta manera se consigue un generador monobotón totalmente optimizado para cada caso en concreto.

La elección de uno u otro tipo de equipo depende en gran medida del modo de utilización considerado, y, en particular, del número de aplicaciones diferentes, de la calificación de los operadores y del grado de libertad que se les desea acordar.

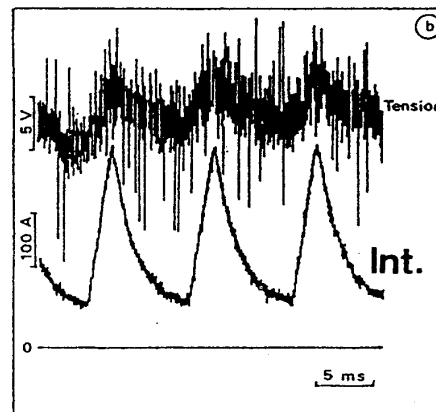
Para los generadores sinérgicos existen varias lógicas de adaptación automática de los parámetros de pulsación en función de la velocidad de hilo. La más corriente y simple es la modificación de la frecuencia que supone, a la vez, la síncrona modificación de la velocidad de hilo correspondiente. Esto está de acuerdo con la metodología de regulación definida anteriormente, y proporciona resultados satisfactorios en la práctica.

Otras sofisticaciones, basadas en una teoría más fina, no han ofrecido mejores resultados desde el punto de vista de estabilidad de arco y del mantenimiento de las condiciones óptimas de transferencia para velocidades de hilo extremas.

Por otra parte, la perfección en la consecución de una forma de onda totalmente cuadrada no parece tener una influencia determinante. En los siguientes oscilogramas se presentan dos casos extremos en los que la forma de onda es bastante diferente y cuyos resultados son muy comparables. Se trata de una soldadura de aluminio en posición cornisa



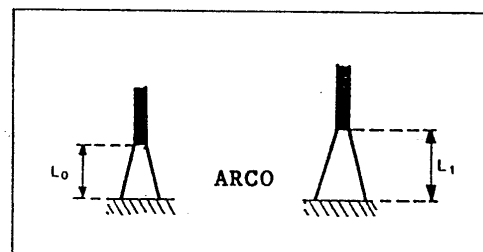
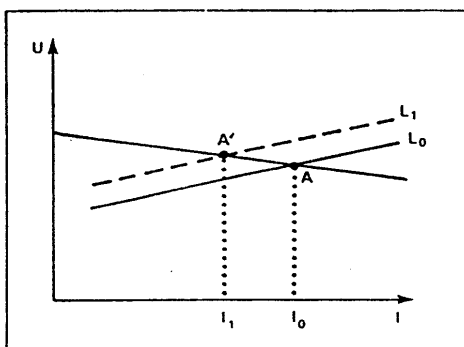
La única diferencia que se puede observar prácticamente es que solo una forma casi rectangular permite definir sin ambigüedad los cuatro parámetros de pulsación.



8. CURVA CARACTERÍSTICA DE UN EQUIPO DE ARCO PULSADO.

Los ensayos prácticos evidencian la necesidad de una autorregulación de la longitud de arco para una buena estabilidad de los ajustes y para poder tolerar variaciones importantes de la distancia antorcha-pieza.

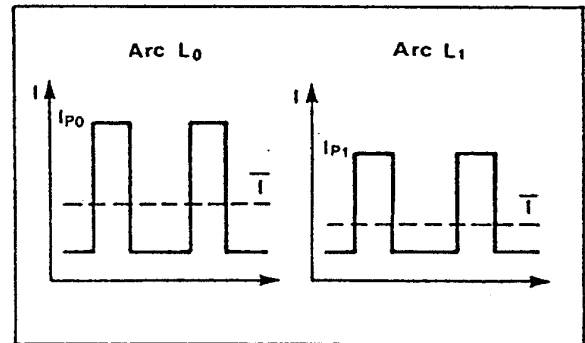
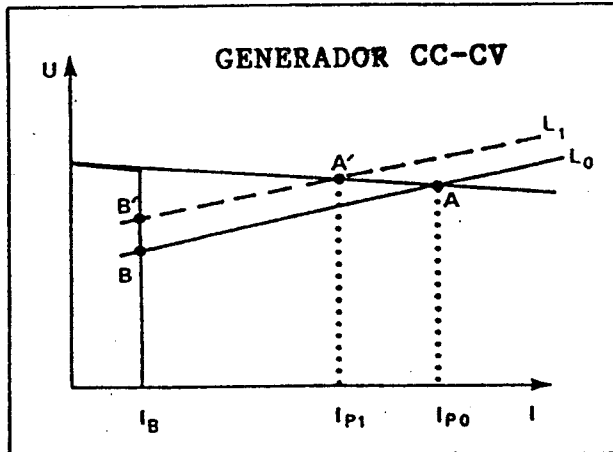
En MIG clásico a tensión constante, esta autorregulación se obtiene naturalmente gracias a la característica horizontal del generador.



En MIG pulsado, el generador posee dos características, y la pulsación de corriente corresponde a una alternancia periódica entre la característica baja durante el tiempo de base y la

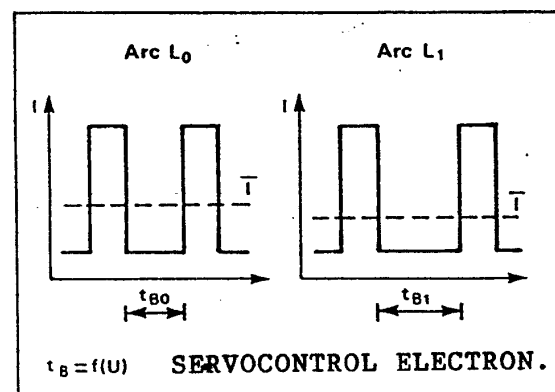
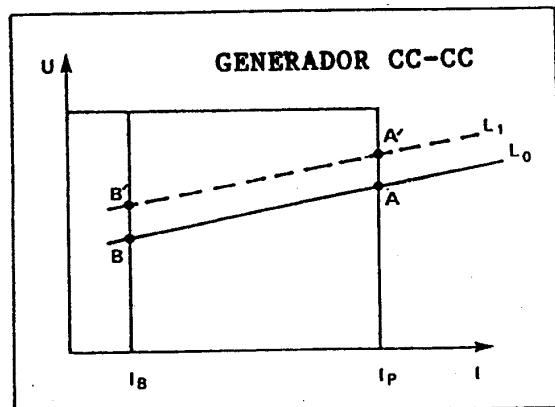
característica alta durante los tiempos de pico. La autorregulación puede obtenerse de dos maneras diferentes, según el tipo de característica:

1) CORRIENTE CONSTANTE-TENSIÓN CONSTANTE (CC-CV): en este caso, la característica alta es a tensión constante, mientras que la baja es a intensidad constante. En la página siguiente se muestra este tipo de característica:



Si la longitud de arco aumenta, el punto de funcionamiento A se desplaza. I_p , por tanto, disminuye y, consecuentemente, la intensidad media también. La velocidad de fusión, proporcional a la intensidad media, decrece de igual manera, y la longitud de arco se restablece, ya que la velocidad de hilo se mantiene constante.

2) CORRIENTE CONSTANTE-TENSIÓN CONSTANTE (CC-CC): ahora, tanto la característica de alta como la de baja son de corriente constante, con lo que el desplazamiento de los puntos A y B no modifica apenas los valores de I_p e I_b . Es, por tanto, necesario introducir un servocontrol electrónico adicional que actúe generalmente sobre el tiempo de base a partir de una medida que caracterice la longitud de arco (tensión media, por ejemplo).



9. VENTAJAS EN EL EMPLEO DE EQUIPOS DE ARCO PULSADO.

9.1. VENTAJAS REFERIDAS AL EMPLEO DE ELECTRÓNICA DE POTENCIA.

a) Los parámetros regulados permanecen independientes de las fluctuaciones de la tensión de alimentación y del calentamiento de los bobinados. La fijación de una intensidad determinada garantiza la constancia de su valor. De esta manera, para una fijación de parámetros concreta en el equipo de soldadura, será posible trabajar en diferentes posiciones sin que el soldador deba modificar los parámetros iniciales.

b) Como no hay adaptación a las condiciones iniciales "locales", es posible pre-programar las condiciones de soldadura para cada aplicación y luego liberar del riesgo de desajuste al soldador.

c) Existe la posibilidad de adaptar la forma de la pulsación a un problema concreto y llegar a las condiciones de transferencia óptimas.

9.2. VENTAJAS REFERIDAS AL PROCEDIMIENTO.

a) Se pueden utilizar hilos de soldadura de mayor diámetro que en MIG convencional, por lo que se disminuyen los costes, ya que las densidades de corriente pueden ser más débiles.

b) Se suprimen casi al 100% las proyecciones.

10. CALIFICACIÓN DEL MÉTODO OPERATIVO DE SOLDADURA.

Es evidente que en este tipo de equipos de arco pulsado surja la cuestión de cuáles deben ser las informaciones a tener en cuenta que describan el método operativo para que el controlador pueda verificar si el soldador trabaja siempre dentro de las condiciones óptimas. Además, ¿se puede pasar de trabajar de un generador a otro sin que las especificaciones cambien?

10.1. CARACTERÍSTICAS DEL MODO DE TRANSFERENCIA PULSADA.

Tal como se ha dicho ya anteriormente, en la soldadura por arco pulsado la transferencia del metal es de una gota por pulsación, pero que esta condición se puede conseguir con infinidad de valores de I_p y T_p .

¿Cómo se puede controlar esta transferencia, por parte de los inspectores de uniones soldadas, y saber que la soldadura no perderá eficacia? ¿Es preciso equiparlos de un osciloscopio para visualizar las formas de onda?

Conviene comentar que para una persona experimentada, resulta fácil, a través de los sentidos como la vista y el oído, determinar cuál es la transferencia óptima o aquella que, no siéndolo, aporta características totalmente satisfactorias.

10.2. INFORMACIÓN APORTADA POR U E I.

Resulta evidente que los valores medios de tensión e intensidad no reflejan de ninguna manera la forma de onda de la corriente.

En el apartado 7.2. se mostraban dos ajustes diferentes para la soldadura del aluminio que proporcionaban resultados equivalentes tanto en aspecto como en dimensiones del cordón de soldadura, siendo la velocidad de hilo la misma en las dos ondas. El valor medio de la intensidad en "a" es de 168A, y en "b" de 169A, es decir, prácticamente iguales.

Sobre este caso, se observa que para una misma velocidad de hilo, las potencias medias resultantes del producto tensión media por intensidad media son diferentes:

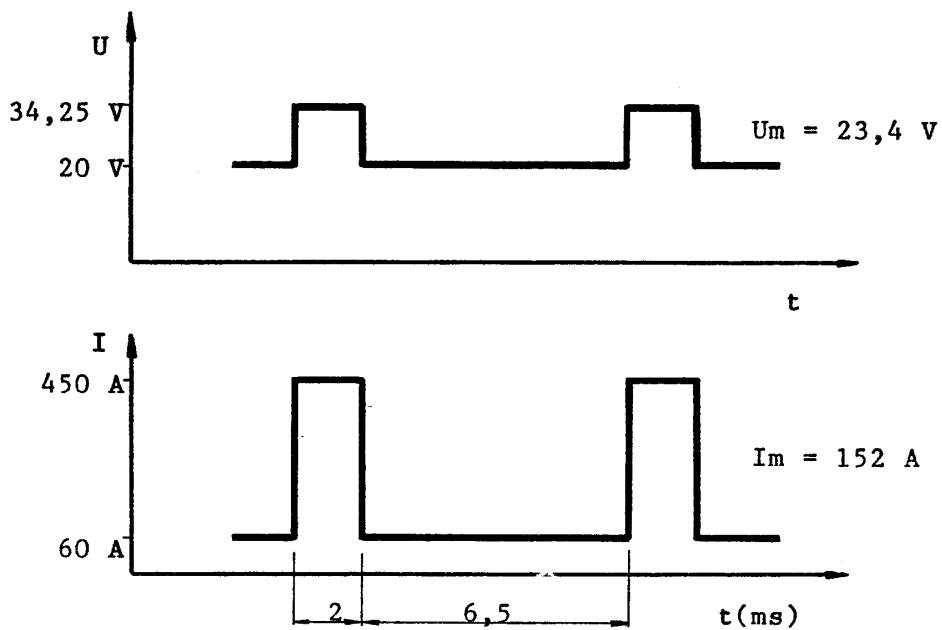
* Caso "a": $I_m = 168A$
 $\rightarrow I_m \cdot U_m = 3393W$
 $U_m = 20,2 V$

* Caso "b": $I_m = 169A$
 $\rightarrow I_m \cdot U_m = 3599A$
 $U_m = 21,3 V$

Esto pone en evidencia una segunda característica de la corriente pulsada, que es la diferencia notable y variable entre el valor aproximado de la potencia media obtenida por el producto $U_m \cdot I_m$ y el valor real de esta misma potencia obtenida por la integración:

$$P_m = \frac{1}{T} \int_0^T u \cdot i \cdot dt$$

Se muestra a continuación un ejemplo para poder observar esta diferencia:



$$U_m \cdot I_m = 152 A \cdot 23,4 V = 3557 W$$

$$P_m = \frac{1}{T} \int_0^T u \cdot i \cdot dt = 4544 W$$

La diferencia representa 987 W, esto es, un 28%.

Puede verse, pues, que existe ciertamente una diferencia entre el producto $U_m \cdot I_m$ y el cálculo de la potencia media P_m . Si esta diferencia se mantuviera constante, esto no supondría ningún problema, pero no es así.

En este punto, cabe preguntarse dos cuestiones importantes:

1a) La forma de onda, ¿es una variable esencial, es decir, presenta repercusiones sobre las características mecánicas y la calidad de la unión?

Observando las formas de onda presentadas en el apartado 7.2. se tendría tendencia a decir que a modo de transferencia equivalente, la forma de onda no tiene influencia sobre la calidad de la unión; no existe información suficiente para determinar si tendría sobre las características mecánicas del metal depositado, en particular interviniendo sobre el valor de la energía real de soldadura.

2a) Para una velocidad de soldadura determinada, los datos de la tensión y la intensidad, ¿ofrecen una buena indicación sobre la energía de soldadura puesta en juego?

Si se trata de comparar dos procedimientos de soldadura, se tendría tendencia a responder que no en la medida que la energía real debe ser calculada a partir de la potencia media P_m y no del producto $U_m \cdot I_m$. Por contra, si es para comparar dos ajustes de MIG pulsado, haría falta estudiar más precisamente esta diferencia de valores a fin de determinar si se encuentra dentro de valores de energía generalmente admitidos por los códigos (15% en general). Si no, sería interesante introducir nuevas variables que aporten más información, tales como la velocidad de avance de hilo, ya que ésta es representativa de la potencia puesta en juego y podría servir con más precisión al control de las variaciones de energía.