

SERRATRON MFC-3000

CONTROL ADAPTIVO WISE

Ensayos límite – Casos reales

Versión 1.3 - 2013/10

IMPORTANTE

En este documento, por un lado, se muestran algunos ensayos realizados para comprobar el comportamiento del control adaptivo WISE ante situaciones límite y por otro lado se recogen experiencias prácticas reales que pueden servir como punto de partida en puestas en marcha

La información de este documento puede ser cambiada sin previo aviso.

Ninguna parte de este documento puede ser reproducida o transmitida de ninguna forma ni bajo ningún medio electrónico o mecánico, sin el oportuno permiso por escrito de **SERRA soldadura, S.A.**

© 2013 SERRA soldadura, S.A.

Versión 1.3 (1a. Edición) - Barcelona (España), Octubre 2013

CONTENIDO

Capítulo 1	1-1
INTRODUCCIÓN	1-1
Capítulo 2	2-1
ENSAYOS AL LÍMITE DEL CONTROL ADAPTIVO	2-1
Objeto	2-1
Test 1. Soldadura con adhesivo intermedio y mal asentamiento	2-2
Condiciones de ensayo	2-2
Selección del patrón de soldadura	2-3
Parametrización del control de soldadura	2-3
Resultados	2-3
Resumen	2-5
Test 2. Soldadura con electrodos nuevos-viejos y mal asentamiento	2-6
Condiciones de ensayo	2-6
Selección del patrón de soldadura	2-7
Parametrización del control de soldadura	2-7
Resultados	2-7
Resumen	2-9
Test 3. Soldadura con Electrodo Gastado y recién Fresado	2-10
Condiciones de ensayo	2-10
Selección del patrón de soldadura	2-11
Parametrización del control de soldadura	2-11
Resultados	2-11
Resumen	2-13
Test 4. Soldadura con derivación de corriente por puntos próximos	2-14
Condiciones de ensayo	2-14
Selección del patrón de soldadura	2-15
Parametrización del control de soldadura	2-15
Resultados	2-15
Resumen	2-17
Test 5. Derivación de corriente por contacto brazo-otra estructura	2-18
Condiciones de ensayo	2-18
Selección del patrón de soldadura	2-19
Parametrización del control de soldadura	2-19
Resultados	2-19
Resumen	2-21
Test 6. Soldadura con mal asentamiento	2-22
Condiciones de ensayo	2-22
Selección del patrón de soldadura	2-23
Parametrización del control de soldadura	2-23
Resultados	2-23
Resumen	2-25
Capítulo 3	3-1
CASOS REALES	3-1
Tipos de aceros. Introducción	3-1
Propiedades de los aceros al Boro	3-1
Propiedades de los aceros galvanizados en caliente	3-2
Aceros de alto límite elástico y baja aleación (HSLA)	3-2
Grados de aceros utilizados en automoción	3-4
Ejemplo nº 1: Soldadura de aceros galvanizados I	3-5
Ejemplo nº 2: Soldadura de aceros galvanizados II	3-6
Ejemplo nº 3: Soldadura de aceros galvanizados III	3-7
Ejemplo nº 4: Soldadura de acero al boro + galvanizado	3-8
Ejemplo nº 5: Soldadura de aceros al boro	3-9

Revisión de ediciones

3-10

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

Cuando el proceso de soldadura se encuentra perturbaciones relativamente pequeñas, un regulador convencional en Corriente Constante resulta aceptablemente eficiente. Sin embargo, cuando las perturbaciones pueden llegar a ser considerables, esto es, el punto de funcionamiento es altamente cambiante, la soldadura puede resultar inestable o, simplemente, no cumplir con los requisitos de calidad necesarios. La regulación de la soldadura por control adaptivo supone un salto cualitativo considerable en la calidad de la soldadura.

El sistema de control adaptivo mide de manera continua y automática las características dinámicas de la soldadura, las compara con las características deseadas y utiliza la diferencia para variar parámetros ajustables del sistema o para generar una señal de accionamiento de modo que se pueda mantener el funcionamiento óptimo con independencia de otros cambios.

SERRA lleva muchos años investigando la soldadura por resistencia y dedicando esfuerzos importantes en lograr que su calidad sea la máxima alcanzable. Las técnicas de regulación de control adaptivo aplicadas a la soldadura en media frecuencia fueron bautizadas en SERRA como regulación WISE®.

Este documento NO es un manual de instrucciones de funcionamiento del sistema WISE. El documento pretende compartir el conocimiento con todos aquellos técnicos y usuarios expertos que utilicen la regulación WISE de manera habitual, con objeto de profundizar en el funcionamiento del sistema y observar hasta qué punto puede responder con resultados satisfactorios.





Capítulo 2

ENSAYOS AL LÍMITE DEL CONTROL ADAPTIVO

Objeto

En producción, son múltiples las perturbaciones que pueden afectar la calidad del punto de soldadura. Un control adaptivo trata de medirlas dinámicamente durante la secuencia de soldadura, y adaptarse inteligentemente para conseguir que la calidad del punto no se vea afectada, para así permanecer lo más invariable posible respecto del patrón que se estableció en su momento.

A continuación se presentan diferentes ensayos realizados en Laboratorio con probetas de diferentes materiales, que tienen como objeto mostrar la bondad del control adaptivo frente a perturbaciones realmente agresivas y condiciones extremas.

Como indicador de calidad, se utilizará un criterio bastante utilizado en la industria de automoción, como es el diámetro del punto una vez desbotonado (ensayo destructivo de 'Peeling'), de acuerdo con la norma ISO 10447. Normalmente, en este tipo de industria, se considera un buen objetivo que el diámetro del punto desbotonado sea como mínimo 5.5 veces la raíz cuadrada del grosor de la chapa más fina. Esto es:

$$\text{Objetivo diámetro punto desbotonado: } dp = 5.5 * \sqrt{t}$$

siendo t el diámetro de la chapa más fina.

Por otro lado, se establece un diámetro mínimo por debajo del cual no debe haber ningún punto de soldadura, ya que se comprometen sus características mecánicas, que son, en definitiva, su indicativo de calidad. Este diámetro ha sido consensuado por la industria de la automoción en 4 veces la raíz cuadrada del grosor de la chapa más fina. Por tanto:

$$\text{Diámetro punto mínimo: } dp_{min} = 4 * \sqrt{t}$$

Para cada serie de ensayos, y para cada perturbación provocada, se han efectuado 10 probetas de soldadura. Los diámetros de todas las soldaduras efectuadas han sido evaluados de acuerdo con la norma ISO 14329. Las anotaciones efectuadas en los cuadrantes correspondientes a cada uno de los ensayos, son los valores medios de la totalidad de las 10 soldaduras.

En las páginas siguientes se describe cada uno de estos ensayos, alguno de ellos de muy laboriosa ejecución, pero que tienen como objetivo reflejar el excelente comportamiento del control adaptivo WISE y demostrar el elevado nivel de mejora que supone trabajar con este tipo de regulación frente a la regulación convencional con Corriente Constante.

Test 1. Soldadura con adhesivo intermedio y mal asentamiento

Es usual que en la industria del automóvil se utilicen adhesivos para incrementar la rigidez de los diferentes subconjuntos que forman el vehículo. Lógicamente, estos adhesivos no son conductores de la electricidad, por lo que, dependiendo del espesor del material depositado, un control de soldadura convencional puede presentar dificultades considerables para conseguir una soldadura de calidad aceptable.

Por otro lado, en el mundo real también es frecuente que las piezas a soldar no asienten bien entre ellas debido a tolerancias en su producción, lo cual dificulta aún más la consecución de buenos resultados.

Un control adaptivo deberá de poder vencer este tipo de adversidades, para seguir ofreciendo un punto de soldadura con una óptima calidad.

Este test en cuestión pretende combinar las dos perturbaciones para analizar el comportamiento del control adaptivo WISE ante estas situaciones.

Condiciones de ensayo

Probetas de soldadura	Chapas de 55 x 120 mm de 1.2 mm de espesor, y material DX54D+Z100
Adhesivo	BETAMATE 1480, basado en resina epóxica, de viscosidad media y aplicación en caliente, de la firma Dow-Chemicals
Mal asentamiento	Para la simulación del mal asentamiento entre chapas, se ha provisto de un utillaje capaz de insertar unos espaciadores de cobre de 3 mm, uno a cada lado de los electrodos, y separados entre ellos a una distancia de 25 mm:

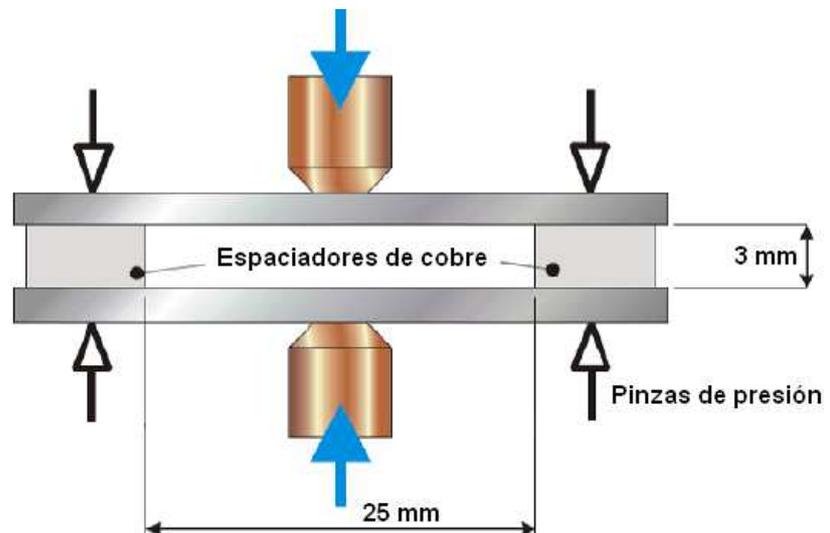


Fig. 2-1: Utillaje para simulación asentamiento defectuoso entre chapas

Tipo electrodos	ISO5821-F16/5.5 AFL6
Diámetros punto	Partiendo de que el grosor de chapas es de 1.2 mm: <ul style="list-style-type: none"> • Objetivo diámetro punto desbotonado: $dp = 5.5 * \sqrt{1.2} = 6.0 \text{ mm}$ • Diámetro punto mínimo: $dp_{min} = 4 * \sqrt{1.2} = 4.4 \text{ mm}$
Perturbaciones	El punto de partida del ensayo será con electrodos nuevos recién fresados. Se provocarán dos tipos de perturbaciones: <ul style="list-style-type: none"> • Mal asentamiento chapas (espaciadores Cu) SIN adhesivo • Mal asentamiento chapas (espaciadores Cu) CON adhesivo

Selección del patrón de soldadura

La selección del patrón de soldadura siempre debe hacerse en las condiciones de funcionamiento más habituales, es decir, sin que se sucedan perturbaciones considerables que puedan dar lugar a toma de decisiones erróneas. Por supuesto, deben escogerse unos parámetros que no provoquen proyecciones de soldadura, ya que esto supondría una reducción de las características mecánicas del punto.

La parametrización básica que se ha escogido para la soldadura de estas dos chapas de material DX54D+Z100 y espesor 1.2 mm ha sido la siguiente:



Parametrización del control de soldadura

Una vez seleccionado el patrón de soldadura con el que se obtiene un punto de soldadura considerado como óptimo, es el momento de conmutar el Modo de Trabajo a WISE. Para este ensayo, los parámetros WISE relevantes que se han escogido son los siguientes:

- Modo de Regulación: **WISE Synergic**
- Material: **15**
- Rel TI: **5**
- Tolerancia +: **99**

Resultados

A continuación se muestra una comparativa de los resultados obtenidos tanto en Corriente Constante como con regulación adaptiva WISE Synergic. Los valores indicados se refieren a la media de los diez valores obtenidos en cada conjunto de 10 ensayos para cada uno de los tres tests (Sin Perturbación – Con espaciadores de Cu – Con espaciadores de Cu y Adhesivo):

		Media de los diámetros punto (mm)	Media corrientes soldadura (kA)	Media tiempos soldadura (ms)
CC	SOLDADURA 1 (sin perturbación)	7.3	12.00	320
	SOLDADURA 2 (espaciador Cu)	4.9	12.00	320
	SOLDADURA 3 (adhesivo+espaciador Cu)	4.3	12.00	320

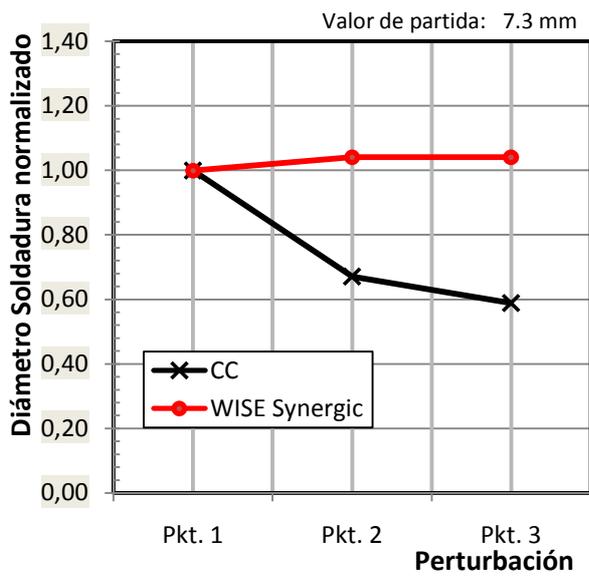
		Media de los diámetros punto (mm)	Media corrientes soldadura (kA)	Media tiempos soldadura (ms)
WISE Synergic	SOLDADURA 1 (sin perturbación)	7.3	11.94	325
	SOLDADURA 2 (espaciador Cu)	7.6	13.24	415
	SOLDADURA 3 (adhesivo+espaciador Cu)	7.6	13.87	561

Tab 2-1: Media de los valores de las 3 soldaduras del Test nº 1

NOTA: Ninguna de las probetas presenta proyección de soldadura.

Test: 1

Perturbación: Soldadura con adhesivo intermedio y mal asentamiento entre piezas



Electrodos: ISO5821-F16/5.5 AFL6
 Esfuerzo electrodos: 2800 N

Material 1: DX54D+Z100 / 1,2 mm
 Material 2: DX54D+Z100 / 1,2 mm

NOTA: Pkt1 = Sin Perturbación
 Pkt2 = Espaciadores Cu
 Pkt3 = Adhesivo + Espaciadores Cu

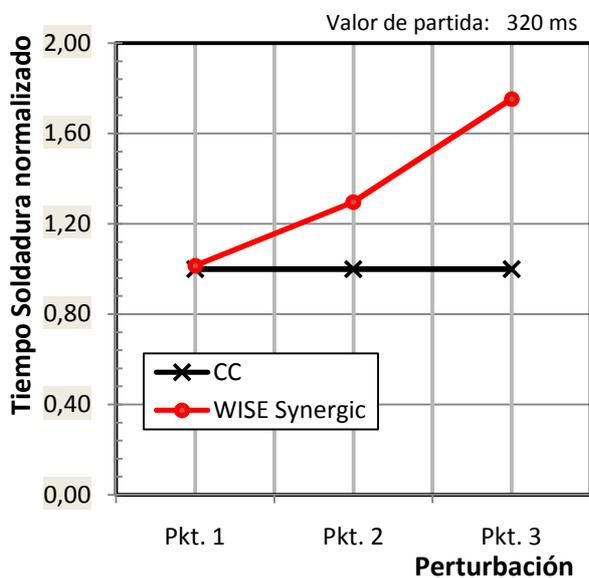
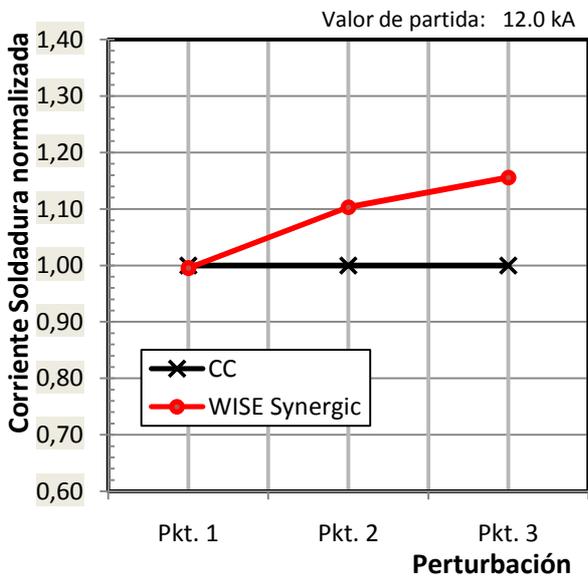


Fig. 2-2: Resultados del Test nº 1
 Reacción ante soldadura con adhesivo y espaciadores de Cu

Resumen

En modo de regulación en Corriente Constante, y con la perturbación de los espaciadores de Cu, el diámetro del punto de soldadura cae por debajo del 67%, mientras que con el control adaptivo WISE Synergic el diámetro del punto permanece prácticamente invariable.

Más aún, cuando se efectúa el último conjunto de ensayos en condiciones más desfavorables, es decir, con la perturbación de los espaciadores de Cu, y al mismo tiempo la aplicación del adhesivo, el diámetro del punto cae al 60%.

En las imágenes siguientes, se muestra un ejemplo de las probetas más representativas de los tres conjuntos de ensayos y con modo de regulación en WISE Synergic:



Sin perturbación



Espaciadores Cu



Adhesivo + Espaciadores Cu

Fig. 2-3: Ejemplo de resultados en modo WISE Synergic

En ambos ensayos, el modo de regulación WISE Synergic consigue unos óptimos resultados. Para ello, y tal y como se puede observar en las gráficas anteriores, el control de soldadura ha precisado de aumentar tanto las intensidades como los tiempos de soldadura, en función de las variaciones de resistencia medidos.

Test 2. Soldadura con electrodos nuevos-viejos y mal asentamiento

En el momento del fresado de los electrodos, varían ambos parámetros eléctricos y térmicos porque se modifica su superficie, y por tanto, influye directamente sobre la resistencia dinámica. Por tanto, parece lógico suponer que un control en Corriente Constante no sea suficientemente satisfactorio para la obtención de óptimos resultados.

La realización de este test tiene como objetivo comparar los resultados entre funcionamiento en Corriente Constante y control adaptivo en estas condiciones. Un control adaptivo deberá de poder vencer este tipo de adversidades, para seguir ofreciendo un punto de soldadura con una óptima calidad.

Condiciones de ensayo

Probetas de soldadura Chapas de 55 x 120 mm de 0.8 mm de espesor, y material acero con recubrimiento orgánico DC06+OC (Granocoat®)

Mal asentamiento Para la simulación del mal asentamiento entre chapas, se ha provisto de un utillaje capaz de insertar unos espaciadores de cobre de 3 mm, uno a cada lado de los electrodos, y separados entre ellos a una distancia de 25 mm:

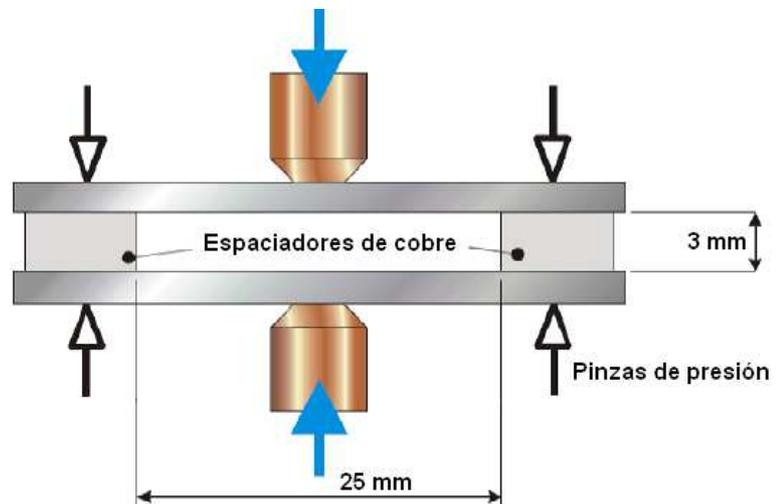


Fig. 2-4: Utillaje para simulación asentamiento defectuoso entre chapas

Tipo electrodos ISO5821-F16/5.5 AFL6

Diámetros punto Partiendo de que el grosor de chapas es de 0.8 mm:

- Objetivo diámetro punto desbotonado: $dp = 5.5 * \sqrt{0.8} = 4.9 \text{ mm}$
- Diámetro punto mínimo: $dpmin = 4 * \sqrt{0.8} = 3.6 \text{ mm}$

Perturbaciones

El punto de partida del ensayo será con electrodos nuevos recién fresados. Se provocarán tres tipos de perturbaciones:

- Mal asentamiento chapas (espaciadores Cu) y electrodos a 20 mm
- Electrodos a 15 mm
- Mal asentamiento chapas (espaciadores Cu) y electrodos a 15 mm



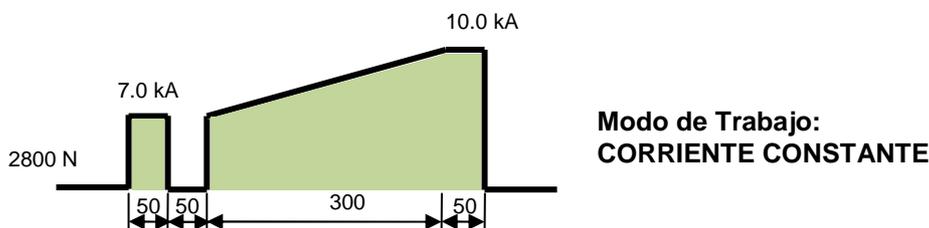
Long. inicial aprox. 20 mm (fresado) Long. Final aprox. 15 mm (fresado)

Fig. 2-5: Electrodos ISO5821-F16-5,5 en 'Inicial' y 'Final' condiciones de fresado

Selección del patrón de soldadura

En este caso, la selección del patrón de soldadura se realiza con electrodos nuevos (longitud 20 mm), recién fresados, y en las condiciones de funcionamiento más habituales, es decir, sin que se sucedan perturbaciones considerables que puedan dar lugar a toma de decisiones erróneas. Por supuesto, deben escogerse unos parámetros que no provoquen proyecciones de soldadura, ya que esto supondría una reducción de las características mecánicas del punto.

La parametrización básica que se ha escogido para la soldadura de estas dos chapas de material DC06+OC (Granocoat®) y espesor 0.8 mm ha sido la siguiente:



Parametrización del control de soldadura

Una vez seleccionado el patrón de soldadura con el que se obtiene un punto de soldadura considerado como óptimo, es el momento de conmutar el Modo de Trabajo a WISE. Para este ensayo, los parámetros WISE relevantes que se han escogido son los siguientes:

- Modo de Regulación: **WISE Synergic**
- Material: **15**
- Rel TI: **5**
- Tolerancia +: **99**

Resultados

A continuación se muestra una comparativa de los resultados obtenidos tanto en Corriente Constante como con regulación adaptiva WISE Synergic. Los valores indicados se refieren a la media de los diez valores obtenidos en cada conjunto de 10 ensayos para cada uno de los cuatro tests (Sin Perturbación – Con espaciadores de Cu y electrodo de 20 mm – Con electrodo de 15 mm – Con espaciadores de Cu y electrodo de 15 mm):

		Media de los diámetros punto (mm)	Media corrientes soldadura (kA)	Media tiempos soldadura (ms)
CC	SOLDADURA 1 (sin perturbación)	5.9	10.02	350
	SOLDADURA 2 (espaciador Cu + elect. 20 mm)	3.8	10.02	350
	SOLDADURA 3 (sin perturbación + elect. 15 mm)	4.2	10.02	350
	SOLDADURA 4 (espaciador Cu + elect. 15 mm)	3.5	10.02	350

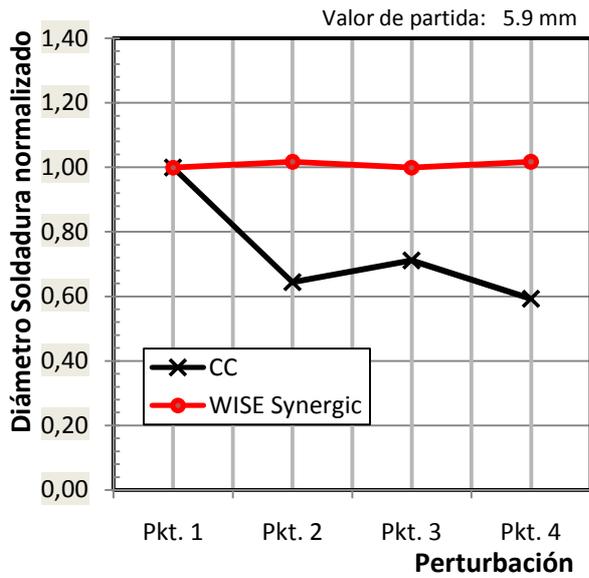
		Media de los diámetros punto (mm)	Media corrientes soldadura (kA)	Media tiempos soldadura (ms)
WISE Synergic	SOLDADURA 1 (sin perturbación)	5.9	10.08	354
	SOLDADURA 2 (espaciador Cu + elect. 20 mm)	6.0	10.33	366
	SOLDADURA 3 (sin perturbación + elect. 15 mm)	5.9	10.58	431
	SOLDADURA 4 (espaciador Cu + elect. 15 mm)	6.0	10.68	452

Tab 2-2: Media de los valores de las 4 soldaduras del Test nº 2

NOTA: En ningún caso, ha ocurrido proyección de soldadura.

Test: 2

Perturbación: Soldadura con electrodos nuevos- viejos y mal asentamiento chapas



Electrodos: ISO5821-F16/5.5 A16
Esfuerzo electrodos: 2800 N

Material 1: DC06+OC / 0,8 mm
Material 2: DC06+OC / 0,8 mm

NOTA: Pkt1 = Sin Perturbación
Pkt2 = Espaciadores Cu + elect. 20 mm
Pkt3 = Sin Perturbación + elect. 15 mm
Pkt4 = Espaciadores Cu + elect. 15 mm

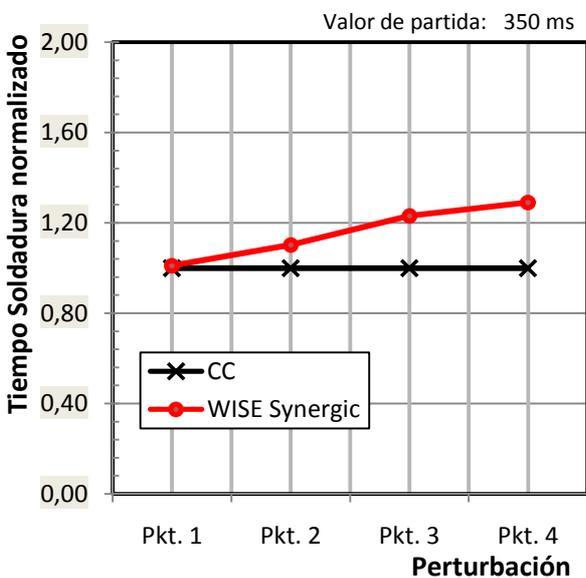
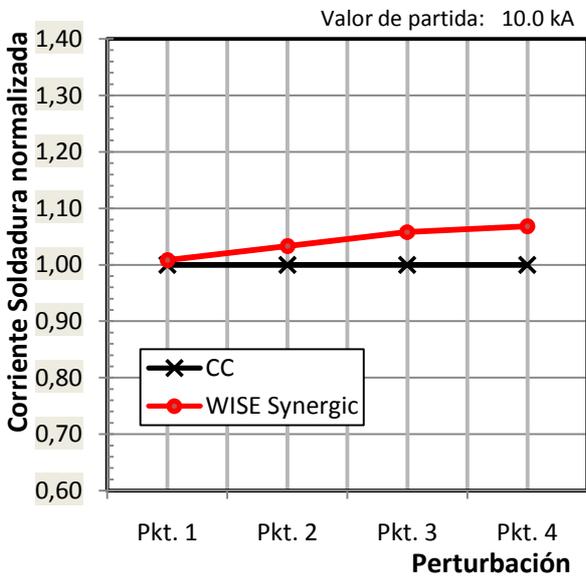


Fig. 2-6: Resultados del Test nº 2
Reacción ante variación longitud electrodo y mal asentamiento entre chapas

Resumen

La reducción del diámetro del punto de soldadura en modo de regulación en Corriente Constante es porcentualmente considerable, puesto que estas reducciones se situán en torno al 60-70% del diámetro sin perturbación. Los diámetros conseguidos casi salvan la situación debido a que la parametrización del equipo, para esta soldadura, se hizo con valores que ya generaban puntos de soldadura superiores al diámetro objetivo de 4.9 mm (el diámetro de partida fue de 5.9 mm). Aún así, para la perturbación más agresiva, el diámetro medio del punto fue de 3.5 mm, por debajo del diámetro mínimo.

En regulación con control adaptivo, los diámetros de los puntos de soldadura se mantienen casi invariables, lo que significa que la regulación en WISE Synergic mejora totalmente los resultados en caso de diferentes longitudes de los electrodos debido al propio desgaste de electrodos sumada a una perturbación del tipo de mal asentamiento entre piezas.

Como puede observarse en las gráficas correspondientes, para conseguir el mantenimiento del diámetro del punto, el control adaptivo WISE Synergic ha modificado inteligentemente a la alza tanto los parámetros de corriente como de tiempo de soldadura.

Test 3. Soldadura con Electrodo Gastado y recién Fresado

Cuando los electrodos llegan a la fresa que debe devolverlos a sus condiciones iniciales, su superficie de contacto puede encontrarse muy alterada por diversos motivos, tales como proyecciones de material, deformado del propio electrodo por insuficiente refrigeración, incrustación de materiales que forman parte del tratamiento superficial de las piezas a soldar,...

Por tanto, la resistencia de contacto puede ser muy diferente entre electrodos desgastados o electrodos recién fresados, lo cual puede repercutir directa y negativamente sobre la calidad de la soldadura.

La realización de este test tiene como objetivo comparar los resultados entre funcionamiento en Corriente Constante y control adaptivo en estas condiciones. Un control adaptivo deberá de poder vencer este tipo de adversidades, para seguir ofreciendo un punto de soldadura con una óptima calidad.

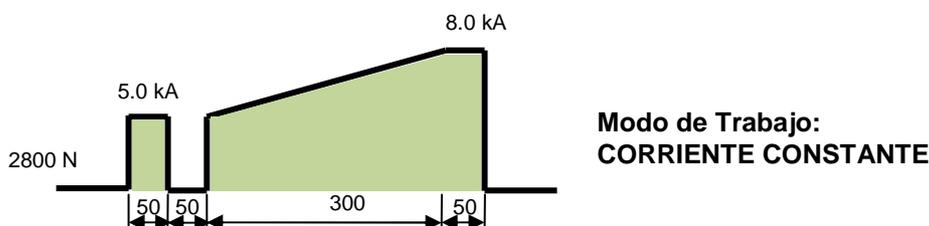
Condiciones de ensayo

- Probetas de soldadura** Chapas de 55 x 120 mm de 0.8 mm de espesor, y material acero con recubrimiento orgánico DC06+OC (Granocoat®)
- Tipo electrodos** ISO5821-F16/5.5 AFL6
- Diámetros punto** Partiendo de que el grosor de chapas es de 0.8 mm:
- Objetivo diámetro punto desbotonado: $dp = 5.5 * \sqrt{0.8} = 4.9 \text{ mm}$
 - Diámetro punto mínimo: $dpmin = 4 * \sqrt{0.8} = 3.6 \text{ mm}$
- Metodología ensayo** El punto de partida del ensayo será con electrodos nuevos recién fresados. A partir de aquí, la metodología de ensayo será la siguiente:
- Se efectuarán 300 soldaduras con objeto de alterar significativamente la superficie del electrodos, por desgaste y por contaminación (este tipo de material en cuestión provoca un depósito rápido de micropartículas procedentes del recubrimiento superficial). La siguiente soldadura será la probeta a analizar
 - Se procederá al fresado de los electrodos para devolverlos a sus condiciones iniciales. El primer punto después de este fresado, será la siguiente muestra a analizar
 - Se efectuarán 20 puntos adicionales más, con la finalidad de acondicionar los electrodos, y se procederá con una soldadura más que será también analizada y formará parte de los resultados

Selección del patrón de soldadura

En este caso, la selección del patrón de soldadura se realiza con electrodos nuevos, recién fresados, y en las condiciones de funcionamiento más habituales, es decir, sin que se sucedan perturbaciones considerables que puedan dar lugar a toma de decisiones erróneas. Por supuesto, deben escogerse unos parámetros que no provoquen proyecciones de soldadura, ya que esto supondría una reducción de las características mecánicas del punto.

La parametrización básica que se ha escogido para la soldadura de estas dos chapas de material DC06+OC (Granocoat®) y espesor 0.8 mm ha sido la siguiente:



Con el fin de obtener resultados más divergentes, se han escogido corrientes más bajas que en el Test nº 2, a pesar de que el material utilizado es el mismo.

Parametrización del control de soldadura

Una vez seleccionado el patrón de soldadura con el que se obtiene un punto de soldadura considerado como óptimo, es el momento de conmutar el Modo de Trabajo a WISE. Para este ensayo, los parámetros WISE relevantes que se han escogido son los siguientes:

- Modo de Regulación: **WISE Synergic**
- Material: **15**
- Rel TI: **5**
- Tolerancia +: **99**

Resultados

A continuación se muestra una comparativa de los resultados obtenidos tanto en Corriente Constante como con regulación adaptiva WISE Synergic. Los valores indicados se refieren a cuatro únicas probetas ensayadas, que corresponden a la primera con electrodos recién fresados, a una segunda que es la número 301, antes de fresar, a una tercera que es la 302 después de fresar, y una última que es la 322, después de acondicionar los electrodos con veinte soldaduras posteriores al fresado:

		Diámetro punto (mm)	Corriente soldadura (kA)	Tiempo soldadura (ms)
CC	SOLDADURA 1 (recién fresado)	5.4	8.00	350
	SOLDADURA 2 (después 300 sold., antes fresar)	2.2	8.00	350
	SOLDADURA 3 (después 300 sold., ya fresado)	4.2	8.00	350
	SOLDADURA 4 (+20 sold. para acondicionar elec.)	3.9	8.00	350

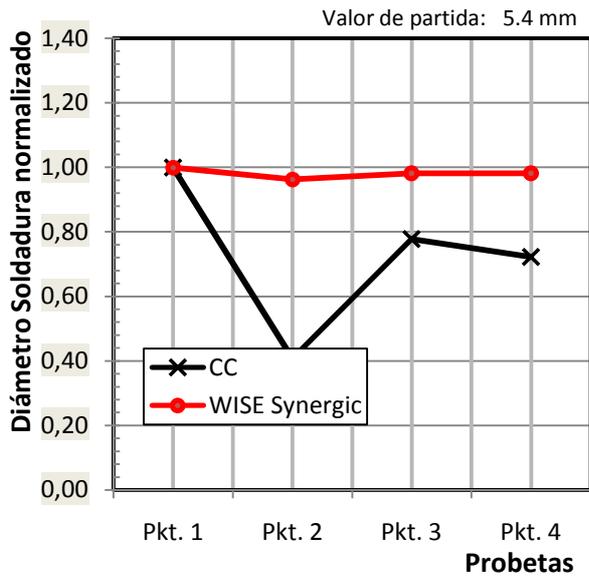
		Diámetro punto (mm)	Corriente soldadura (kA)	Tiempo soldadura (ms)
WISE Synergic	SOLDADURA 1 (recién fresado)	5.4	8.11	359
	SOLDADURA 2 (después 300 sold., antes fresar)	5.2	8.57	411
	SOLDADURA 3 (después 300 sold., ya fresado)	5.3	8.25	376
	SOLDADURA 4 (+20 sold. para acondicionar elec.)	5.3	8.30	379

Tab 2-3: Valores de las 4 soldaduras correspondientes al Test nº 3

NOTA: En ningún caso, han ocurrido proyecciones de soldadura.

Test: 3

Perturbación: Soldadura con Electrodo gastado y recién fresado



Electrodos: ISO5821-F16/5.5 A16
Esfuerzo electrodos: 2800 N

Material 1: DC06+OC / 0,8 mm
Material 2: DC06+OC / 0,8 mm

NOTA: Pkt1 = Probeta 1, soldadura nº1
Pkt2 = Probeta 2, soldadura nº 301
Pkt3 = Probeta 3, soldadura nº 302
Pkt4 = Probeta 4, soldadura nº 322

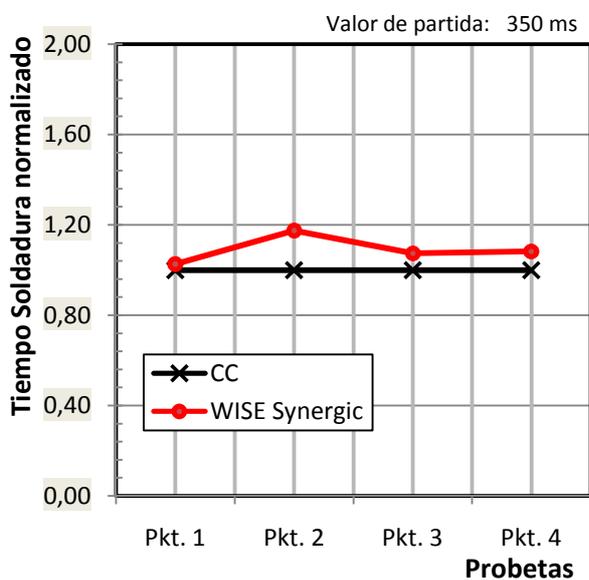
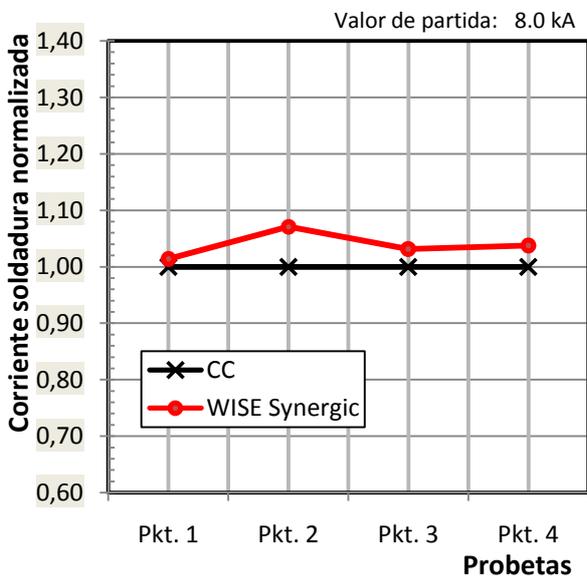


Fig. 2-7: Resultados del Test nº 3
Reacción adaptiva Antes-Después del fresado electrodos

Resumen

Para este ensayo, se han escogido unos valores de corriente de partida inferiores a los del Test nº 2, a pesar de que el material utilizado es idéntico. De esta manera, el diámetro del punto de partida se sitúa también en un valor más bajo, esto es, de 5.4 mm

Después de 300 puntos de soldadura, ambos modos de regulación presentan resultados muy divergentes entre sí. Mientras que en regulación en Corriente Constante el diámetro del punto cae a un 41%, en WISE Synergic el diámetro del punto se mantiene al 96%. Para ello, el control adaptivo aumenta los valores de corriente y tiempo de soldadura. Estos espectaculares datos permiten asegurar que el control adaptivo WISE Synergic cumple excelentemente bien el requisito de mantenimiento del diámetro del punto, criterio establecido como de aseguramiento de la calidad de la soldadura.

Una vez fresado el electrodo, en Corriente Constante el diámetro cae un 78%, que es un valor considerable comparando con el 96% obtenido en WISE Synergic, pero que no es una reducción suficientemente baja como para que el punto supere su valor mínimo. En la cuarta probeta, en Corriente Constante el diámetro del punto ya desciende a 3.9 mm, lo cual ya se sitúa en su valor más mínimo, mientras que en WISE Synergic el diámetro del punto permanece prácticamente invariable.

En las imágenes siguientes, se muestran dos ejemplos de la probeta nº 2, correspondientes a los dos tipos de regulación diferentes.



Corriente Constante



WISE Synergic

Fig. 2-8: Diámetro del punto en la soldadura nº 301 en los dos Modos de Regulación

En definitiva, pues, el control adaptivo WISE Synergic compensa automáticamente la variaciones en la superficie de contacto de los electrodos, logrando mantener el diámetro del punto original y, por tanto, asegurando la calidad de la soldadura.

Test 4. Soldadura con derivación de corriente por puntos próximos

Suele ser bastante habitual en la industria, la soldadura de puntos próximos entre sí, lo que provoca el fenómeno denominado de 'derivación de corriente'. Cuando la posición de un punto que se va a soldar está muy próxima a otros ya soldados, ocurre que parte de la corriente que se ha programado, circula de manera indeseada por las otras uniones soldadas, puesto que ofrecen un paso 'fácil' debido a que la resistencia eléctrica es baja. Es decir, se produce una derivación de corriente por los otros puntos, lo que provoca que la 'densidad de corriente' por el punto a soldar pueda descender a valores significativos desde el punto de la calidad de la soldadura.

El objetivo de este ensayo es analizar cómo se comporta el control adaptivo frente a la regulación convencional en Corriente Constante, y comprobar si puede ofrecer ventajas sobre éste último.

Condiciones de ensayo

Probetas de soldadura Chapas de 55 x 120 mm de 2.0 mm de espesor, y material acero sin recubrimiento superficial DC04

Tipo electrodos ISO5821-F16/5.5 AFL6

Diámetros punto Partiendo de que el grosor de chapas es de 2.0 mm:

- Objetivo diámetro punto desbotonado: $dp = 5.5 * \sqrt{2.0} = 7.8 \text{ mm}$
- Diámetro punto mínimo: $dpmin = 4 * \sqrt{2.0} = 5.7 \text{ mm}$

Metodología ensayo El punto de partida del ensayo será con electrodos nuevos recién fresados. En cada probeta, se efectuarán tres soldaduras. La metodología de ensayo será la siguiente:

- Se realizará un primer punto de soldadura (Pkt. 1) en un extremo de la probeta, según puede verse en diagrama siguiente. Lógicamente, este punto no se verá afectado por el fenómeno de derivación de corriente, puesto que es el primero. La elección del patrón de soldadura, se efectuará a partir de este punto, cuando se considere que presenta unas características óptimas.
- Se efectuará un segundo punto a 30 mm del primero (Pkt. 2). Lógicamente, este segundo punto ya se verá afectado por la derivación de corriente, puesto que parte de ella circulará por la unión soldada del primero.
- Se efectuará un tercer punto situado entremedio de los dos anteriores (Pkt. 3), que ya se verá afectado por las derivaciones de corriente de estos:

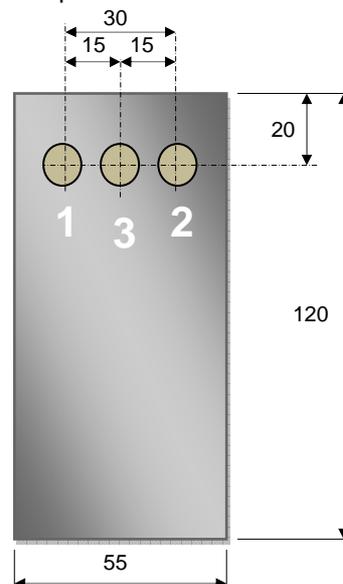
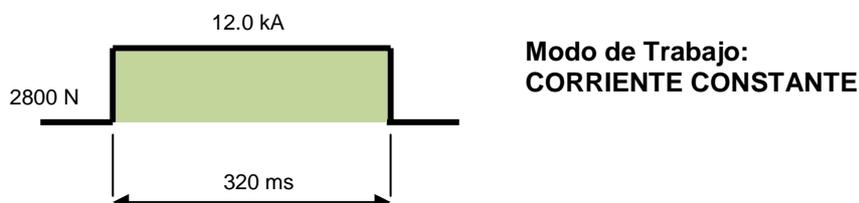


Fig. 2-9: Situación de los puntos de soldadura

Selección del patrón de soldadura

La selección del patrón de soldadura siempre debe hacerse en las condiciones de funcionamiento más habituales, es decir, sin que se sucedan perturbaciones considerables que puedan dar lugar a toma de decisiones erróneas. Por supuesto, deben escogerse unos parámetros que no provoquen proyecciones de soldadura, ya que esto supondría una reducción de las características mecánicas del punto.

La parametrización básica que se ha escogido para la soldadura de estas dos chapas de material DC04 sin recubrimiento superficial y espesor 2.0 mm ha sido la siguiente:



Parametrización del control de soldadura

Una vez seleccionado el patrón de soldadura con el que se obtiene un punto de soldadura considerado como óptimo, es el momento de conmutar el Modo de Trabajo a WISE. Para este ensayo, los parámetros WISE relevantes que se han escogido son los siguientes:

- Modo de Regulación: **WISE Synergic**
- Material: **11**
- Rel TI: **5**
- Tolerancia +: **99**

Resultados

A continuación se muestra una comparativa de los resultados obtenidos tanto en Corriente Constante como con regulación adaptiva WISE Synergic. Los valores indicados se refieren a la media de los diez valores obtenidos en cada conjunto de 10 ensayos para cada una de las tres soldaduras (Sin Perturbación – Con una derivación– Con dos derivaciones):

		Media de los diámetros punto (mm)	Media corrientes soldadura (kA)	Media tiempos soldadura (ms)
CC	SOLDADURA 1 (Pkt. 1)	7.3	12.00	320
	SOLDADURA 2 (Pkt. 2)	6.4	12.00	320
	SOLDADURA 3 (Pkt. 3)	4.7	12.00	320

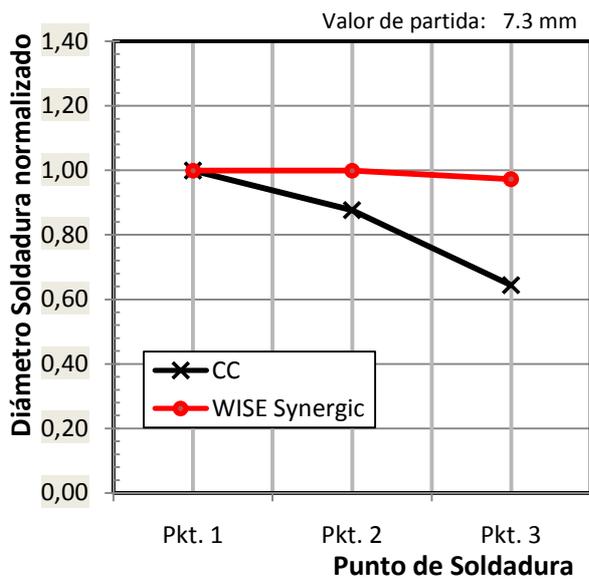
		Media de los diámetros punto (mm)	Media corrientes soldadura (kA)	Media tiempos soldadura (ms)
WISE Synergic	SOLDADURA 1 (Pkt. 1)	7.3	11.86	332
	SOLDADURA 2 (Pkt. 2)	7.3	12.34	345
	SOLDADURA 3 (Pkt. 3)	7.1	12.79	385

Tab 2-4: Media de los valores de las 3 soldaduras del Test nº 4

NOTA: Ninguna de las probetas presenta proyección de soldadura.

Test: 4

Perturbación: Soldadura con derivación de corriente por puntos próximos



Electrodos: ISO5821-F16/5.5 A16
Esfuerzo electrodos: 2800 N

Material 1: DC04 / 2,0 mm
Material 2: DC04 / 2,0 mm

NOTA: Pkt1 = Soldadura nº1
Pkt2 = Soldadura nº2
Pkt3 = Soldadura nº3

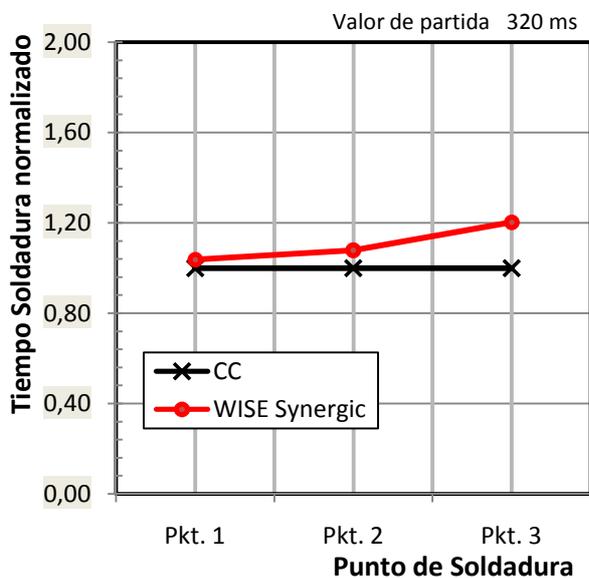
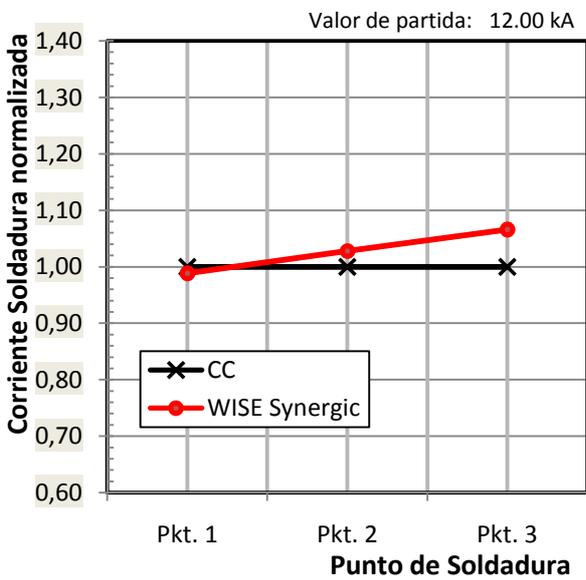


Fig. 2-10: Resultados del Test nº 4
Reacción con derivación de corriente (3 soldaduras en probeta)

Resumen

Con el modo de regulación en Corriente Constante, el diámetro del punto en la primera derivación (Pkt. 2) cae a un 88%, y en el tercer punto, donde la derivación de corriente es mayor, el diámetro se queda a un 64% del diámetro original, lo que lo sitúa por debajo del diámetro mínimo de 5.7 mm y, por tanto, no es aceptable.

Con regulación en WISE Synergic, la mejora es notable a simple vista, puesto que el diámetro de los puntos se mantiene en las tres soldaduras. El control adaptivo lo consigue aumentando proporcionalmente los parámetros de corriente y tiempo de soldadura:

En las imágenes siguientes, se muestran ejemplos de los dos modos de regulación:

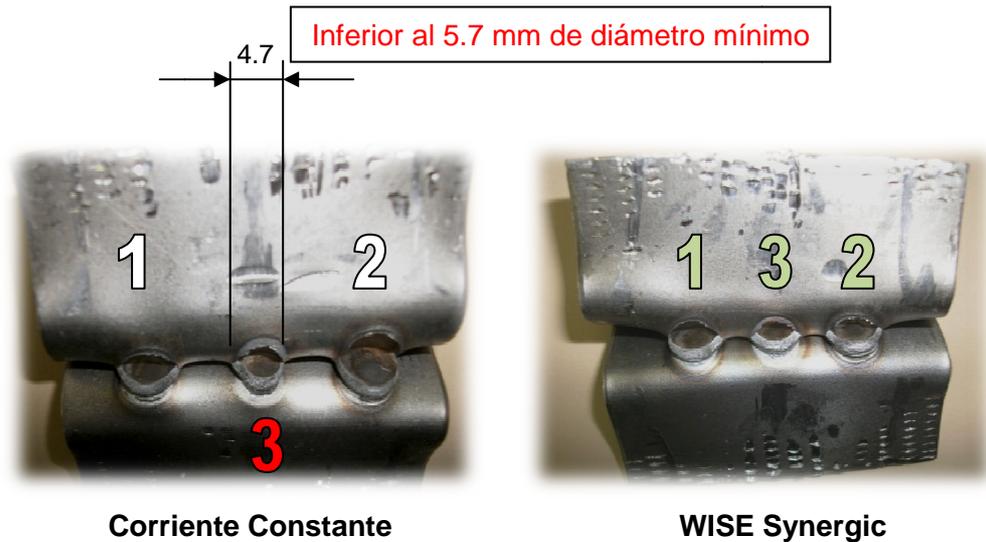


Fig. 2-11: Derivación Corriente. Resultados en los dos modos de regulación

En definitiva, pues, el control adaptivo WISE Synergic compensa automáticamente las derivaciones de corriente que suelen producirse habitualmente debido a puntos próximos, logrando mantener el diámetro del punto original y, por tanto, asegurando la calidad de la soldadura.

Test 5. Derivación de corriente por contacto brazo-otra estructura

Otro caso frecuente dentro de la tipología de anomalías en la industria de la soldadura, es cuando el brazo secundario toca alguna parte de las piezas a soldar, o a alguna otra parte de la estructura del utillaje, que normalmente se encuentra conectado al tierra de protección.

El objetivo de este ensayo es analizar cómo se comporta el control adaptivo frente a la regulación convencional en Corriente Constante, y demostrar cómo es posible mantener la calidad de la soldadura con un equipo que se adapta dinámicamente a esta anomalías que se suceden con más frecuencia de la deseada en cualquier instalación.

Condiciones de ensayo

Probetas de soldadura Chapas de 55 x 120 mm de 1.2 mm de espesor, y material acero DX54D+Z100

Tipo electrodos ISO5821-F16/5.5 AFL6

Diámetros punto Partiendo de que el grosor de chapas es de 1.2 mm:

- Objetivo diámetro punto desbotonado: $dp = 5.5 * \sqrt{1.2} = 6.0 \text{ mm}$
- Diámetro punto mínimo: $dpmin = 4 * \sqrt{1.2} = 4.4 \text{ mm}$

Simulación

La instalación de ensayos se ha modificado para poder proceder a la simulación de la derivación de corriente mediante un cable de potencia 'HELU-Technik 400² x 450' que une probeta y brazo:

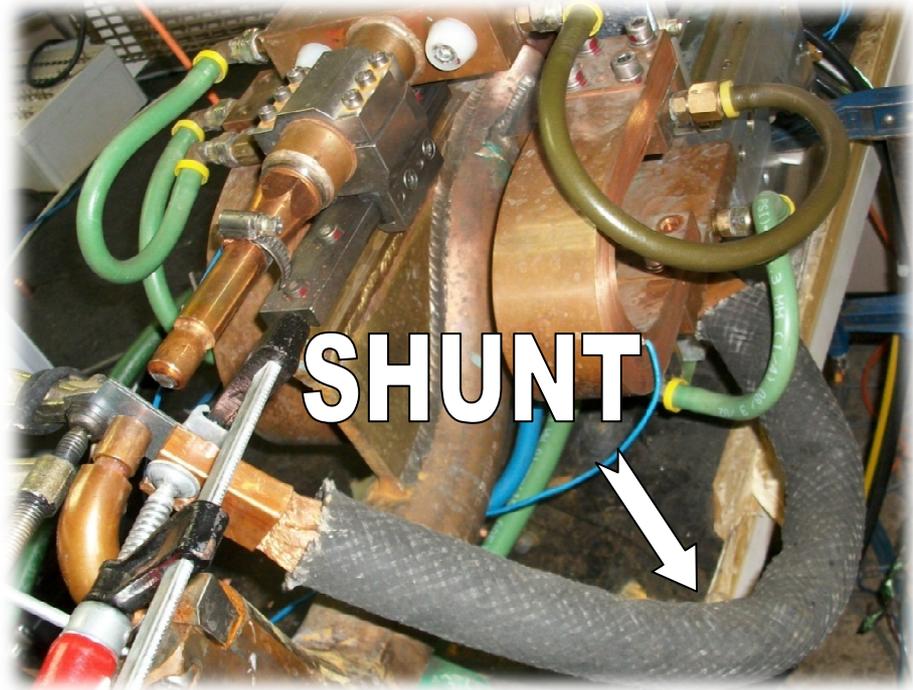


Fig. 2-12: Configuración de la instalación para la simulación de la derivación

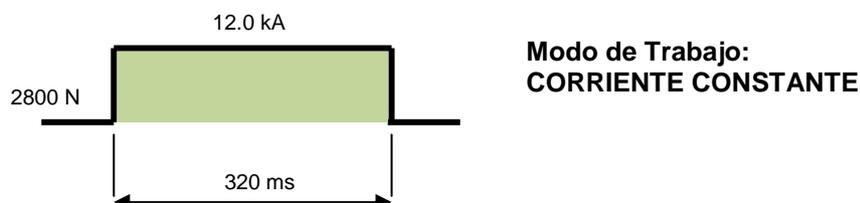
Metodología ensayo

Se realizará una probeta en las condiciones iniciales, y para cada modo de regulación. Después, se provocará la derivación de corriente brazo-probeta y se analizará el comportamiento también en los dos modos.

Selección del patrón de soldadura

La selección del patrón de soldadura siempre debe hacerse en las condiciones de funcionamiento más habituales, es decir, sin que se sucedan perturbaciones considerables que puedan dar lugar a toma de decisiones erróneas. Por supuesto, deben escogerse unos parámetros que no provoquen proyecciones de soldadura, ya que esto supondría una reducción de las características mecánicas del punto.

La parametrización básica que se ha escogido para la soldadura de estas dos chapas de acero DX54D+Z100 y espesor 1.2 mm ha sido la siguiente:



Parametrización del control de soldadura

Una vez seleccionado el patrón de soldadura con el que se obtiene un punto de soldadura considerado como óptimo, se cambia el Modo de Trabajo a WISE. Para este ensayo, los parámetros WISE relevantes que se han escogido son los siguientes:

- Modo de Regulación: **WISE Synergic**
- Material: **11**
- Rel TI: **5**
- Tolerancia +: **99**

Resultados

A continuación se muestra una comparativa de los resultados obtenidos tanto en Corriente Constante como con regulación adaptiva WISE Synergic. Los valores indicados se refieren a la media de los diez valores obtenidos en cada conjunto de 10 ensayos para cada uno de los dos tests (Sin Perturbación – Con derivación Brazo-Probeta):

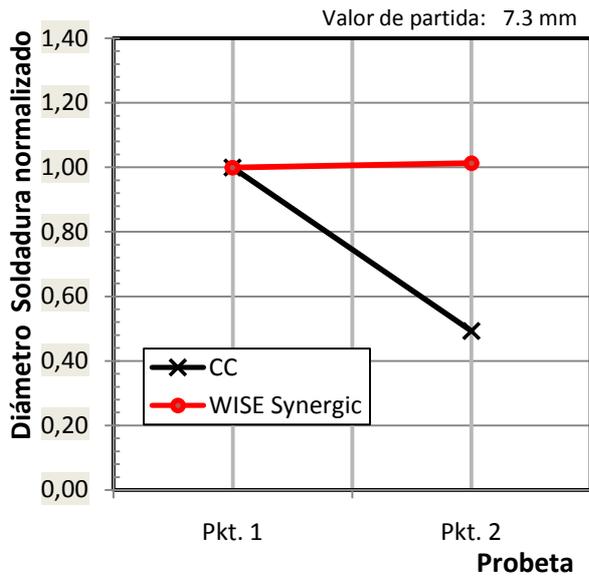
		Media de los diámetros punto (mm)	Media corrientes soldadura (kA)	Media tiempos soldadura (ms)
CC	SOLDADURA 1 (Pkt. 1)	7.3	12.00	320
	SOLDADURA 2 (Pkt. 2)	3.6	12.00	320
		Media de los diámetros punto (mm)	Media corrientes soldadura (kA)	Media tiempos soldadura (ms)
WISE Synergic	SOLDADURA 1 (Pkt. 1)	7.3	11.86	320
	SOLDADURA 2 (Pkt. 2)	7.4	13.03	598

Tab 2-5: Media de los valores de las 2 soldaduras del Test nº 5

NOTA: Ninguna de las probetas presenta proyección de soldadura.

Test: 5

Perturbación: Derivación de corriente por contacto brazo-otra estructura



Electrodos: ISO5821-F16/5.5 A16
Esfuerzo electrodos: 2800 N

Material 1: DX54D+Z100 / 1,2 mm
Material 2: DX54D+Z100 / 1,2 mm

NOTA: Pkt1 = Soldadura nº1 (Sin perturbación)
Pkt2 = Soldadura nº2 (Con derivación)

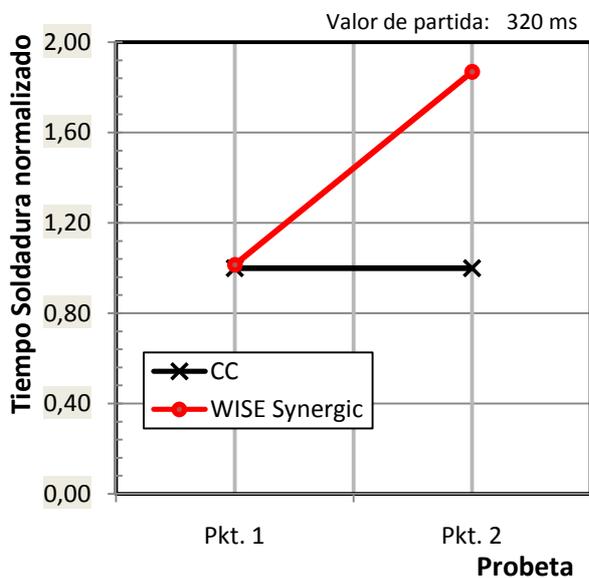
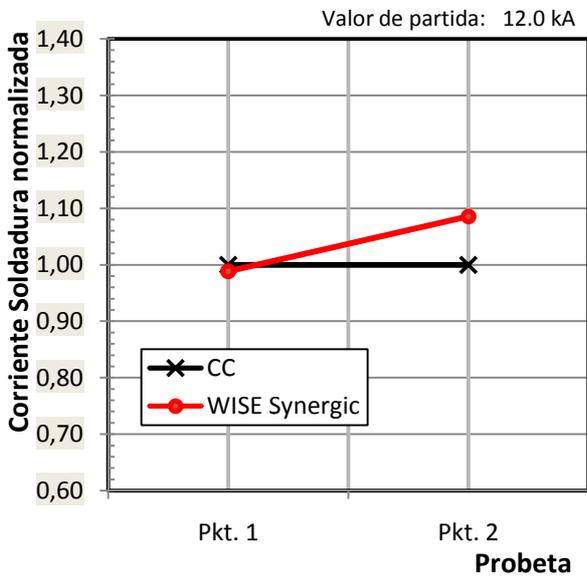


Fig. 2-13: Resultados del Test nº 5
Reacción con derivación de corriente brazo-probeta

Resumen

Se observa claramente cómo la derivación provocada en este ensayo es superior a la que se presenta con la derivación provocada por puntos próximos. Tanto es así, que con el modo de regulación en Corriente Constante, el diámetro del punto con la derivación (Pkt. 2) cae a un 49%, es decir, un diámetro de punto de 3.6 mm, lo cual es del todo inaceptable. Una vez más, el control adaptivo WISE Synergic mantiene el diámetro del punto a su valor de partida, lo cual demuestra su excelente comportamiento incluso ante perturbaciones tan agresivas como la ensayada en este test.

Estas imágenes muestran el diámetro del punto en los dos modos de regulación. Las conclusiones resultan más que evidentes:



Derivación en Corriente Constante



Derivación en WISE Synergic

*Fig. 2-14: Derivación Corriente por contacto brazo-otra estructura.
Resultados en los dos modos de regulación*

Test 6. Soldadura con mal asentamiento

Este ensayo pretende comparar el comportamiento de los dos diferentes modos de regulación (Corriente Constante y WISE Synergic) cuando a las piezas a soldar se les provoca un mal asentamiento entre ellas por medio de dos espaciadores de cobre de 3 mm equidistantes a los electrodos. La prueba contempla dos diferentes distancias entre espaciadores, esto es 40 mm y 25 mm. Al final del ensayo, se podrá determinar que el control adaptivo compensa muy adecuadamente este tipo de perturbaciones.

Condiciones de ensayo

Probetas de soldadura Chapas de 55 x 120 mm de 1.2 mm de espesor, y material DX54D+Z100

Mal asentamiento Para la simulación del mal asentamiento entre chapas, se ha provisto de un utillaje capaz de insertar unos espaciadores de cobre de 3 mm, uno a cada lado de los electrodos, y separados entre ellos a las distancias de 40 mm y 25 mm:

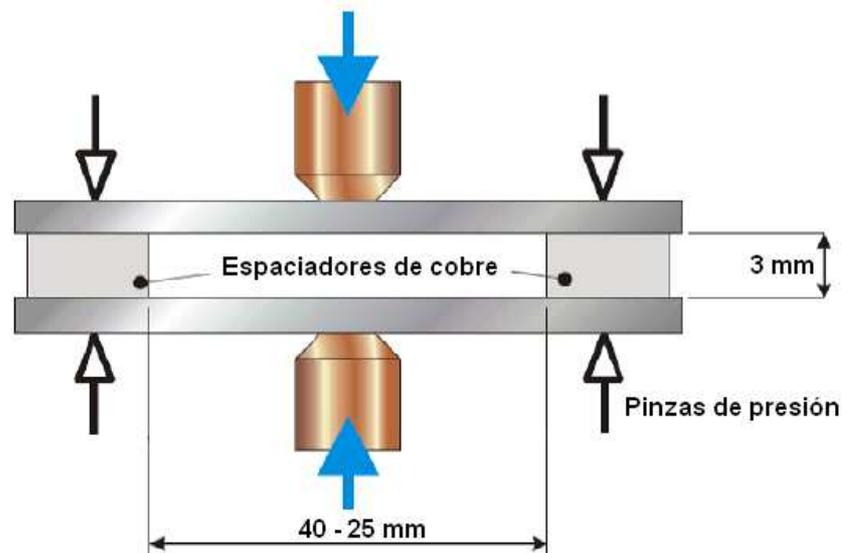


Fig. 2-15: Utillaje para simulación asentamiento defectuoso entre chapas

Tipo electrodos ISO5821-F16/5.5 AFL6

Diámetros punto Partiendo de que el grosor de chapas es de 1.2 mm:

- Objetivo diámetro punto desbotonado: $dp = 5.5 * \sqrt{1.2} = 6.0 \text{ mm}$
- Diámetro punto mínimo: $dpmin = 4 * \sqrt{1.2} = 4.4 \text{ mm}$

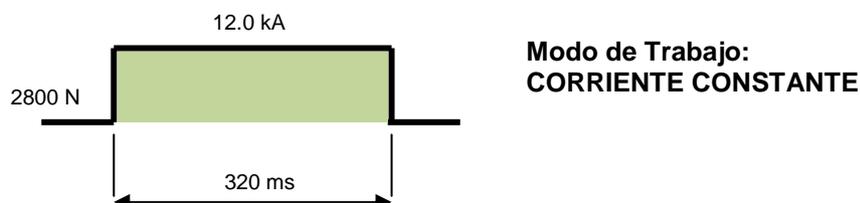
Perturbaciones El punto de partida del ensayo será con electrodos nuevos recién fresados. Se provocarán dos tipos de perturbaciones:

- Mal asentamiento chapas. Espaciadores Cu a 40 mm
- Mal asentamiento chapas. Espaciadores Cu a 25 mm

Selección del patrón de soldadura

La selección del patrón de soldadura siempre debe hacerse en las condiciones de funcionamiento más habituales, es decir, sin que se sucedan perturbaciones considerables que puedan dar lugar a toma de decisiones erróneas. Por supuesto, deben escogerse unos parámetros que no provoquen proyecciones de soldadura, ya que esto supondría una reducción de las características mecánicas del punto.

Para esta combinación de dos chapas de acero DX54D+Z100 y espesor 1.2 mm, la parametrización básica que se ha escogido para su soldadura ha sido la siguiente:



Parametrización del control de soldadura

Una vez seleccionado el patrón de soldadura con el que se obtiene un punto de soldadura considerado como óptimo, se cambia el Modo de Trabajo a WISE. Para este ensayo, los parámetros WISE relevantes que se han escogido son los siguientes:

- Modo de Regulación: **WISE Synergic**
- Material: **11**
- Rel TI: **5**
- Tolerancia +: **99**

Resultados

A continuación se muestra una comparativa de los resultados obtenidos tanto en Corriente Constante como con regulación adaptiva WISE Synergic. Los valores indicados se refieren a la media de los diez valores obtenidos en cada conjunto de 10 ensayos para cada uno de los dos tests (Sin Perturbación – Con derivación Brazo-Probeta):

		Media de los diámetros punto (mm)	Media corrientes soldadura (kA)	Media tiempos soldadura (ms)
CC	Pkt. 1 (Sin perturbación)	7.3	12.00	320
	Pkt. 2 (Espaciadores Cu a 40 mm)	6.2	12.00	320
	Pkt. 2 (Espaciadores Cu a 25 mm)	4.9	12.00	320

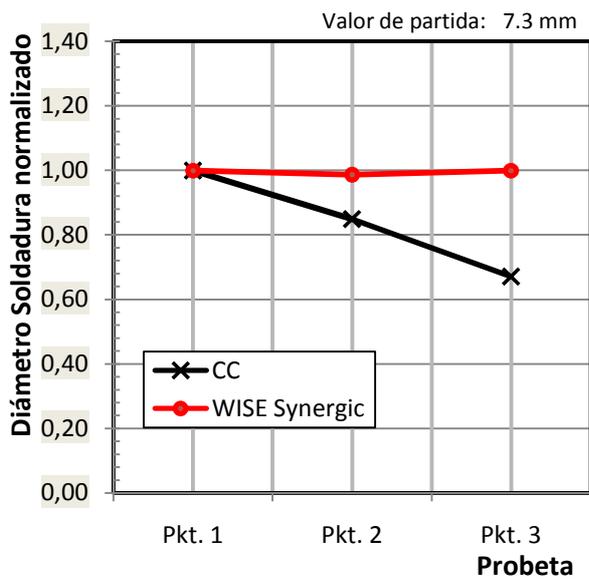
		Media de los diámetros punto (mm)	Media corrientes soldadura (kA)	Media tiempos soldadura (ms)
WISE Synergic	Pkt. 1 (Sin perturbación)	7.3	11.94	322
	Pkt. 2 (Espaciadores Cu a 40 mm)	7.2	12.22	341
	Pkt. 2 (Espaciadores Cu a 25 mm)	7.4	13.13	409

Tab 2-6: Media de los valores de las 3 soldaduras del Test nº 6

NOTA: Ninguna de las probetas presenta proyección de soldadura.

Test: 6

Perturbación: Soldadura con mal asentamiento (espaciadores de Cu)



Electrodos: ISO5821-F16/5.5 A16
Esfuerzo electrodos: 2800 N

Material 1: DX54D+Z100 / 1,2 mm
Material 2: DX54D+Z100 / 1,2 mm

NOTA: Pkt1 = Sin Perturbación
Pkt2 = Espaciadores Cu a 40 mm
Pkt3 = Espaciadores Cu a 25 mm

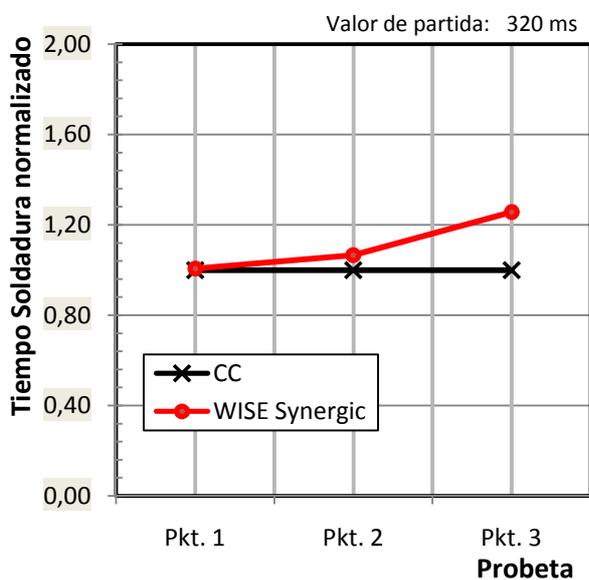
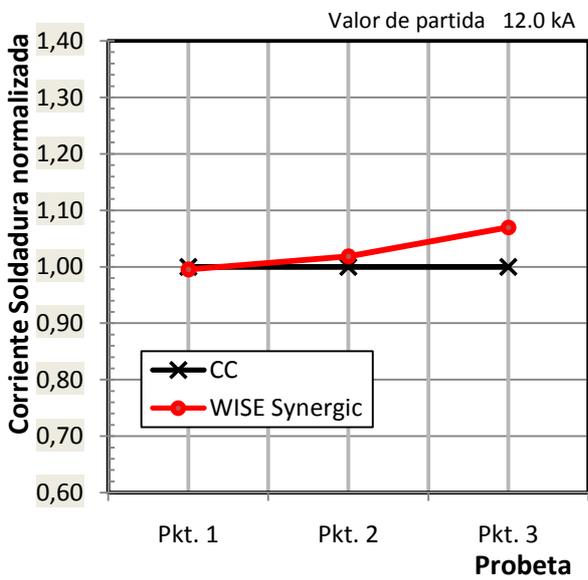


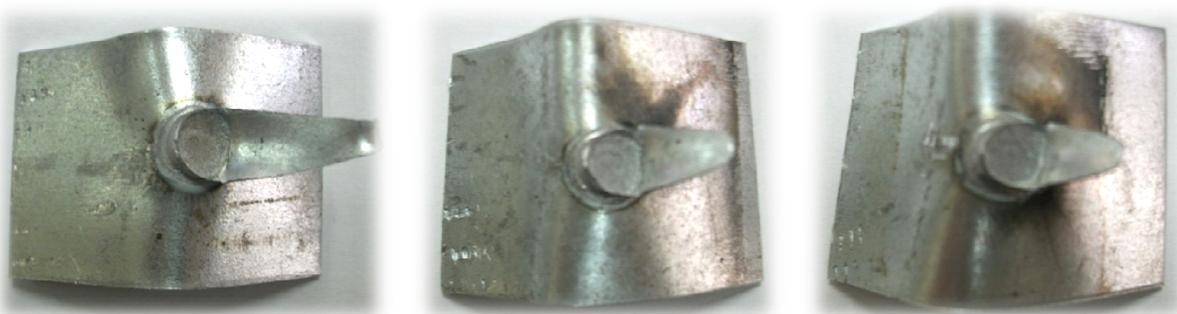
Fig. 2-16: Resultados del Test nº 6
Reacción con mal asentamiento de piezas

Resumen

Como resultado de que el diámetro del punto de partida se ha escogido a 7.3 mm, superior al nominal de 6 mm para este tipo de chapas, la reducción de diámetro que se experimenta en Corriente Constante no es suficiente para estar por debajo del límite mínimo. Así es, el diámetro mínimo es de 4.4 mm, mientras que con los espaciadores a 25 mm el diámetro se sitúa a 4.9 mm, es decir que el diámetro se queda a un 67% de su tamaño original.

En cambio, en control adaptivo WISE Synergic, la totalidad de los diámetros de punto se mantiene. Para ello, como va siendo habitual en los otros ensayos, aumenta inteligentemente los parámetros de corriente y tiempo.

A continuación se muestra un ejemplo de cada una de las probetas efectuadas:



*Sin Perturbación
Diámetro: 7.3 mm*

*Espaciadores a 40 mm
Diámetro: 6.2 mm*

*Espaciadores a 25 mm
Diámetro: 4.9 mm*

Fig. 2-17a: Ejemplo de resultados en Corriente Constante



*Sin Perturbación
Diámetro: 7.3 mm*

*Espaciadores a 40 mm
Diámetro: 7.2 mm*

*Espaciadores a 25 mm
Diámetro: 7.3 mm*

Fig. 2-17b: Ejemplo de resultados en control adaptivo WISE Synergic



Capítulo 3

CASOS REALES

Tipos de aceros. Introducción

En este capítulo se presentan algunos casos reales de parámetros y curvas de resistencia dinámica, recogidos en diferentes plantas de soldadura del sector del automóvil, donde es bien conocido que la consecución de la máxima calidad en esta área es uno de sus objetivos primordiales.

En numerosas aplicaciones de soldadura por resistencia, se utilizan aceros de alto límite elástico y baja aleación, lo que le confiere elevadas características mecánicas y buena conformabilidad. En el sector de la automoción, en los últimos años se ha incorporado aceros aleados al Boro que confieren al vehículo gran resistencia y aligeramiento del peso

Se conoce como límite elástico a la tensión máxima que un material puede soportar sin sufrir deformaciones permanentes. Un material sometido a tensiones inferiores a su límite elástico se deforma temporalmente, pero tiene la capacidad de volver a su estado original. Por tanto, un material con alto límite elástico, permitirá que ese material admita un considerable nivel de deformación sin producirle un daño irreversible.

Por otro lado, la denominación de baja aleación, se suele utilizar para referirse a un bajo nivel de carbono en su aleación.

Los aceros utilizados en las carrocerías de los automóviles suelen denominarse así:

- **UHSS** (Ultra High Strength Steel): acero al boro (UsiBor), con límite de elasticidad superior a 800 Mpa (megapascal).
- **EHSS** (Extra High Strength Steel): límite de elasticidad entre 380 y 800 Mpa.
- **VHSS** (Very High Strength Steel): límite de elasticidad entre 280 y 380 Mpa.
- **HSS** (High Strength Steel): límite de elasticidad entre 180 y 280 Mpa.

Propiedades de los aceros al Boro

Los aceros al Boro se posicionan dentro de la gama de aceros de ultra alta resistencia desarrollados para responder a las exigencias de aligeración de los vehículos, y poseen unas elevadas prestaciones mecánicas tras estampación en caliente. Son aceros destinados a piezas estructurales y de seguridad para el automóvil.

Están diseñados para ser sometidos a un tratamiento térmico seguido de temple durante la operación de estampación en caliente. Las características mecánicas finales obtenidas en las piezas permiten un aligeramiento significativo (hasta un 50% con respecto a un acero de alto límite elástico estándar). Por su elevado límite de elasticidad tras el tratamiento térmico y la estampación en caliente, son excelentes para las funciones antiintrusión del vehículo (vigas de parachoques, refuerzo de puerta, refuerzo central, montante de vano,...).

Algunas denominaciones usuales son el Usibor® 1500P y el 22MnB5 (ambos de AcelorMittal), y su característica principal es su enorme resistencia a los choques y a la fatiga.

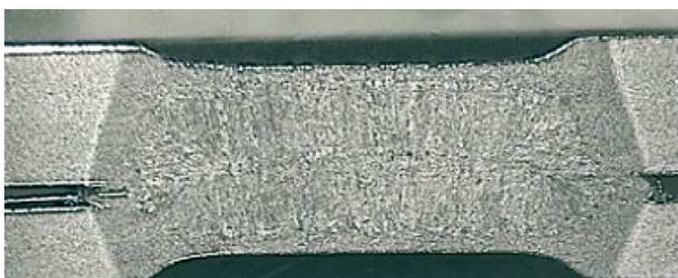


Fig. 3-1: Soldadura homogénea Usibor® + Usibor®

Propiedades de los aceros galvanizados en caliente

Los aceros galvanizados en caliente están formados por un sustrato sobre el que se aplica un recubrimiento de zinc mediante un proceso continuo de galvanización por inmersión en baño caliente. Los diferentes grados de acero permiten obtener aceros que van desde aceros para aplicaciones de plegado y embutición profunda y aceros estructurales hasta aceros de alto límite elástico, estos últimos ampliamente utilizados en el sector de la automoción.

Los aceros galvanizados en caliente ofrecen una excelente resistencia a la corrosión, así como una muy buena aptitud al conformado. El tipo de proceso empleado para su recubrimiento permite depositar espesores de cinc que pueden alcanzar los 725 g/m² entre las dos caras, o, lo que es lo mismo, una deposición de zinc de 51 µm por cara.

Aceros de alto límite elástico y baja aleación (HSLA)

Los aceros de alto límite elástico y baja aleación (High Strength Low Alloy, abreviado HSLA), son aceros microaleados de grado fino con un bajo contenido en carbono con adición de niobio, titanio y/o vanadio como elementos microaleantes para conseguir el endurecimiento estructural y el afinamiento de grano. Estos aceros muestran una buena soldabilidad como resultado de un bajo contenido en carbono equivalente. El bajo contenido en azufre, la gran pureza interna y la estructura de grado fino, garantizan una mejor ductilidad, mayor tenacidad y mayor resistencia a la fatiga.

La demanda de este tipo de aceros crece día a día, frecuentemente como sustitución de aceros estructurales, ya que debido a su alto límite elástico, suponen un gran ahorro de peso con respecto a estos. Por tanto, tienen una gran demanda en el sector de la automoción, donde contribuyen en gran medida en el ahorro de peso en las carrocerías.

La norma EN10346 utiliza la nomenclatura HX***LAD + Z... para referirse a las diferentes aleaciones de acero (Grados) y su contenido en carbono y manganeso.

El carbono es el elemento que tiene más influencia en el comportamiento del acero. Un aumento en el porcentaje de carbono, mejora la resistencia mecánica, la templabilidad y disminuye la ductilidad (pero empeora la soldabilidad).

El manganeso es un elemento básico en todos los aceros comerciales. Actúa como desoxidante y también neutraliza los efectos nocivos del azufre, facilitando la laminación, moldeo y otras operaciones de trabajo en caliente. Contribuye también a su resistencia y dureza, y aumenta la penetración del temple (proceso mecánico por el cual las aleaciones de acero y el hierro fundido se fortalecen y endurecen).

Dependiendo de la norma que se utilice, el carácter 'X' después de la 'H', puede cambiar por la letra 'C':

GRADOS ACERO		C(%)	Mn(%)
HX260LAD + Z...	HC260LAD + Z...	≤0.11	≤0.60
HX300LAD + Z...	HC300LAD + Z...	≤0.11	≤1.00
HX340LAD + Z...	HC340LAD + Z...	≤0.11	≤1.00
HX380LAD + Z...	HC380LAD + Z...	≤0.11	≤1.40
HX420LAD + Z...	HC420LAD + Z...	≤0.11	≤1.40
HX460LAD + Z...	HC460LAD + Z...	≤0.15	≤1.70
HX500LAD + Z...	HC500LAD + Z...	≤0.15	≤1.70

Algunos fabricantes utilizan nomenclaturas algo distintas, pero en todas ellas, el valor numérico coincide con el límite elástico **mínimo** del material.

Los otros elementos que formarían parte de su composición, serían el Fósforo ($P \leq 0.030\%$), el Azufre ($S \leq 0.025\%$), el Silicio ($Si \leq 0.50\%$), el Aluminio ($Al \geq 0.015\%$), el Niobio ($Nb \leq 0.090\%$) y el Titanio ($Ti \leq 0.150\%$), todos ellos combinados de tal manera para aumentar las propiedades mecánicas aún habiendo una baja presencia de carbono (es decir, gran resistencia a pesar de poco contenido en carbono).

Los dígitos que siguen a los valores numéricos que corresponden al límite elástico (en la tabla anterior, las siglas LAD), se refieren al método utilizado para incrementar las características mecánicas. Así, por ejemplo, pueden encontrarse las siguientes siglas:

- **B:** se trata de aceros endurecidos al horno, cuyo incremento del límite elástico es debido a un calentamiento a $170^{\circ} C$ durante 20 minutos.
- **P:** son aceros refosforados, es decir, que incrementan su límite elástico a base de aumentar su contenido en Fósforo, en hasta un 0.12%.
- **LA:** son los aceros de los que precisamente trata esta sección, o sea, aceros aleados con Niobio, Titanio o Vanadio (uno o varios de ellos) que aumentan las propiedades mecánicas a pesar del bajo contenido en carbono

El número que sigue a la letra Z, se refiere al espesor de cinc para formar el recubrimiento. En términos generales, el cinc y otros revestimientos protegen el acero de los efectos de un ambiente corrosivo, gracias a dos mecanismos diferentes:

- **Efecto barrera:** el recubrimiento aísla el producto de acero del entorno corrosivo. Además, los productos de la corrosión del recubrimiento metálico crean una capa protectora que retrasa la aparición de la corrosión y protege las zonas sin recubrimiento.
- **Protección catódica:** el acero expuesto en las zonas sin recubrimiento (arañazos, bordes cortados, agujeros,...) se protege de la corrosión gracias a la disolución sacrificial del revestimiento adyacente.

Del mismo modo, la norma EN10346 define la siguiente nomenclatura para describir las características de espesor del recubrimiento superficial:

EN10326	Peso del recubrimiento ambas caras (g/m^2)	Espesor del recubrimiento (μm por cara)
Z80	80	5.5
Z100	100	7.0
Z140	140	10.0
Z200	200	14.0
Z225	225	16.0
Z275	275	20.0
Z350	350	25.0
Z450	450	31.0
Z600	600	42.0
Z725	725	51.0

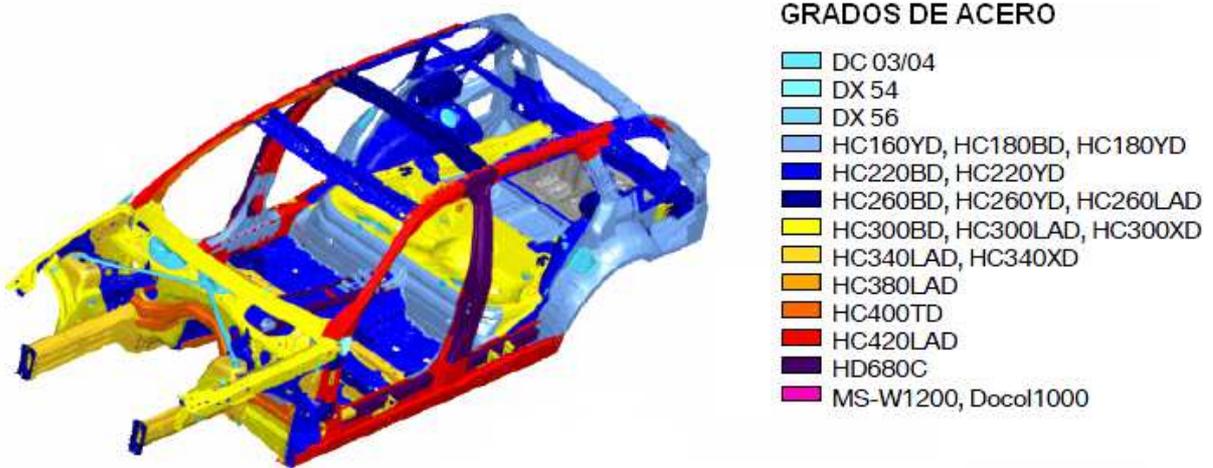
NOTA: En sombreado, los valores más usuales

La sustitución de la letra Z por las letras ZA, hace referencia a que el recubrimiento no es solo de cinc, sino de una aleación de cinc-aluminio (95% de cinc y 5% de aluminio, y recibe el nombre comercial de Galfan). Otras siglas para indicar otros componentes para el recubrimiento serían:

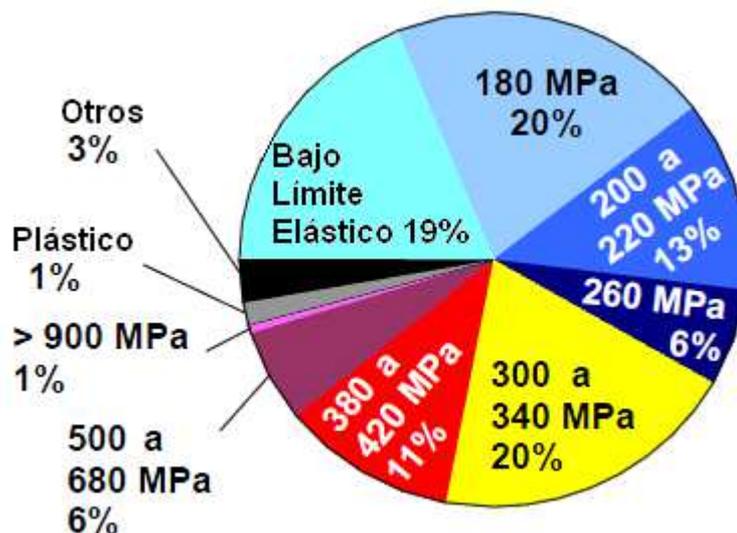
- ZM: cinc-aluminio-magnesio, con nombre comercial Magnelis
- AS: aluminio-silicio, con nombre comercial Alusi
- AZ: aluminio-cinc-silicio, con nombre comercial Aluzinc
- AL: recubrimiento de aluminio puro, con nombre comercial Alupur

Grados de aceros utilizados en automoción

En los últimos años, las compañías de automoción han dedicado grandes recursos en investigación para conseguir aumentar la seguridad de los vehículos a la vez que aligerar su peso. Actualmente, la utilización de aceros de alto límite elástico y baja aleación ocupa un porcentaje muy elevado en la carrocería del vehículo:



Por este motivo, los aceros de bajo límite elástico han pasado a formar parte de un porcentaje considerablemente reducido respecto a los vehículos de generaciones anteriores, mientras que los aceros de alto límite elástico ya están incluidos en el vehículo hasta en un 70%. El gráfico siguiente muestra la distribución de aceros en la carrocería de un vehículo, en función de su límite elástico:



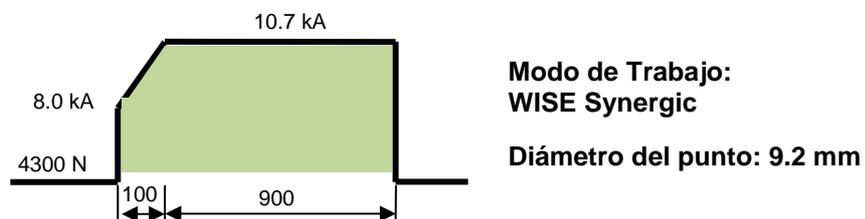
Ejemplo nº 1: Soldadura de aceros galvanizados I

Este ejemplo muestra el caso de soldadura de aceros galvanizados de espesor considerable, ambos de límite elástico parecido (260 MPa y 300 Mpa) y recubrimiento superficial de 7 µm.

Electrodos: ISO5821-F16/5.5 AFL6
Esfuerzo electrodos: 4300 N

Material 1: HX260LAD+Z100MB / 3.0 mm
Material 2: HX300LAD+Z100MB / 2.8 mm

Con estos espesores, los parámetros de soldadura escogidos, a partir de los cuales se guardó la curva patrón, fueron los siguientes:



A continuación, en azul, se muestra la curva de resistencia dinámica que presenta esta combinación de materiales, con todas las condiciones de soldadura indicadas (parámetros, tipo de electrodos,...).

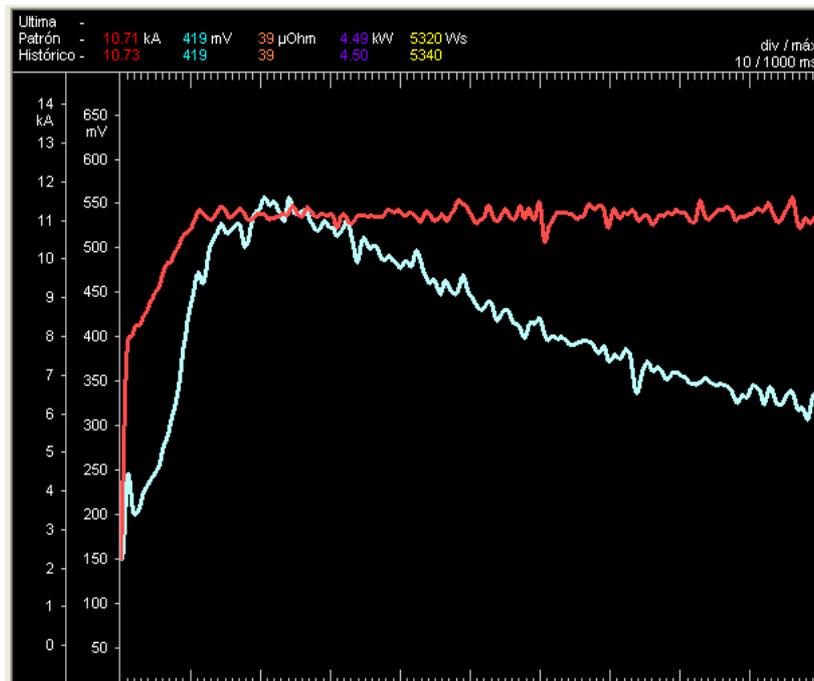


Fig. 3-2: HX260LAD+Z100MB (3 mm) + HX300LAD+Z100MB (2.8 mm)

(NOTA: Con objeto de mejorar la interpretación de los resultados, en todos los ejemplos, en lugar de la resistencia se muestra la curva de tensión de soldadura, puesto que presenta la misma forma que la resistencia, pero más acusada).

Con esta curva patrón, el modo de regulación WISE Synergic se adapta inteligentemente a las variaciones dinámicas que se presentan, ofreciendo resultados óptimos en la soldadura.

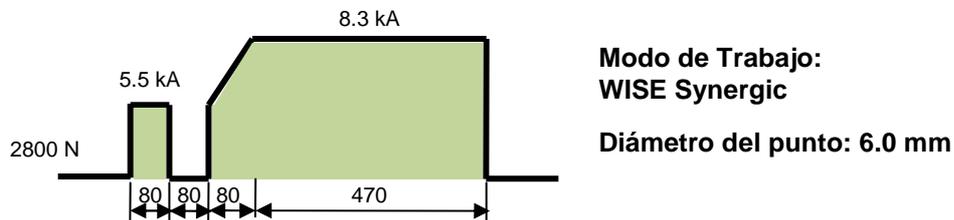
Ejemplo nº 2: Soldadura de aceros galvanizados II

Este ejemplo muestra el caso de soldadura de aceros galvanizados de límite elástico superior (340 Mpa) y recubrimiento superficial de cinc de 7 µm.

Electrodos: ISO5821-F16/5.5 AFL6
Esfuerzo electrodos: 2800 N

Material 1: HC340XD+Z100MB / 1.2 mm
Material 2: HC340LAD+Z100MB / 1.2 mm

Con estos espesores, los parámetros de soldadura escogidos, a partir de los cuales se guardó la curva patrón, fueron los siguientes:



A continuación, en azul, se muestra la curva de resistencia dinámica que presenta esta combinación de materiales, con todas las condiciones de soldadura indicadas (parámetros, tipo de electrodos,...).

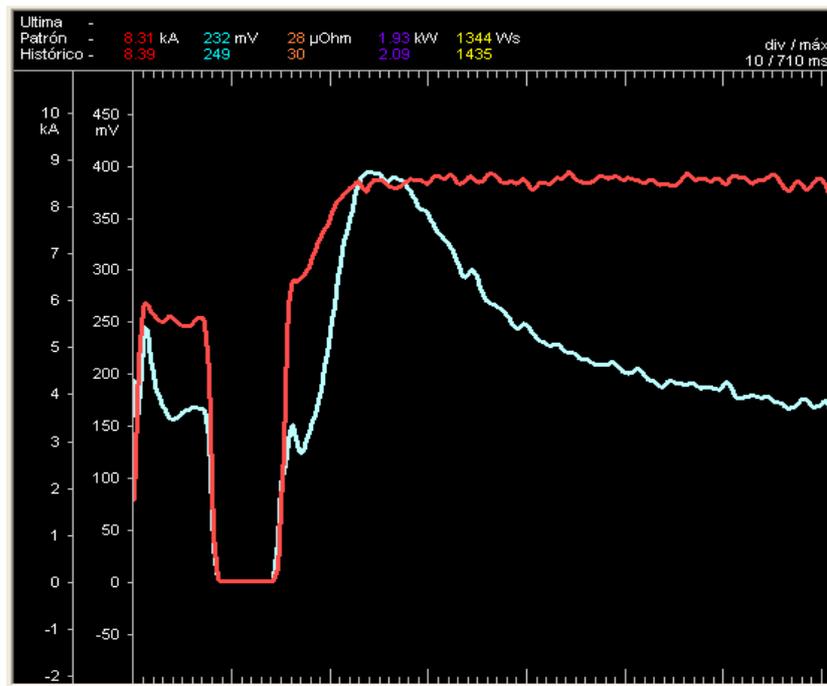


Fig. 3-3: HC340XD+Z100MB (1.2 mm) + HC340LAD+Z100MB (1.2 mm)

Con esta curva patrón, el modo de regulación WISE Synergic se adapta inteligentemente a las variaciones dinámicas que se presentan, ofreciendo resultados óptimos en la soldadura.

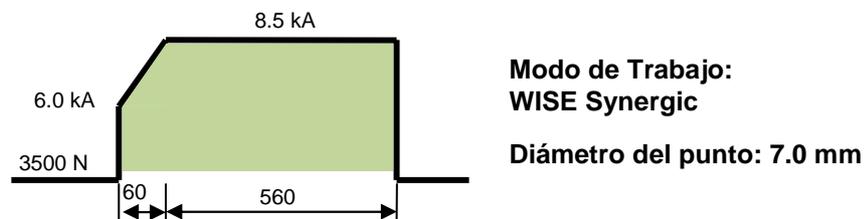
Ejemplo nº 3: Soldadura de aceros galvanizados III

Este ejemplo muestra el caso de soldadura de aceros galvanizados donde una de las piezas tiene un espesor considerable (3 mm) y la otra es bastante menor (1.6 mm). Ambas tienen un recubrimiento superficial de cinc de 7 µm.

Electrodos: ISO5821-F16/5.5 AFL6
Esfuerzo electrodos: 3500 N

Material 1: HX260LAD+Z100MB / 3.0 mm
Material 2: HX300LAD+Z100MB / 1.6 mm

Con estos espesores, los parámetros de soldadura escogidos, a partir de los cuales se guardó la curva patrón, fueron los siguientes:



A continuación, en azul, se muestra la curva de resistencia dinámica que presenta esta combinación de materiales, con todas las condiciones de soldadura indicadas (parámetros, tipo de electrodos,...).

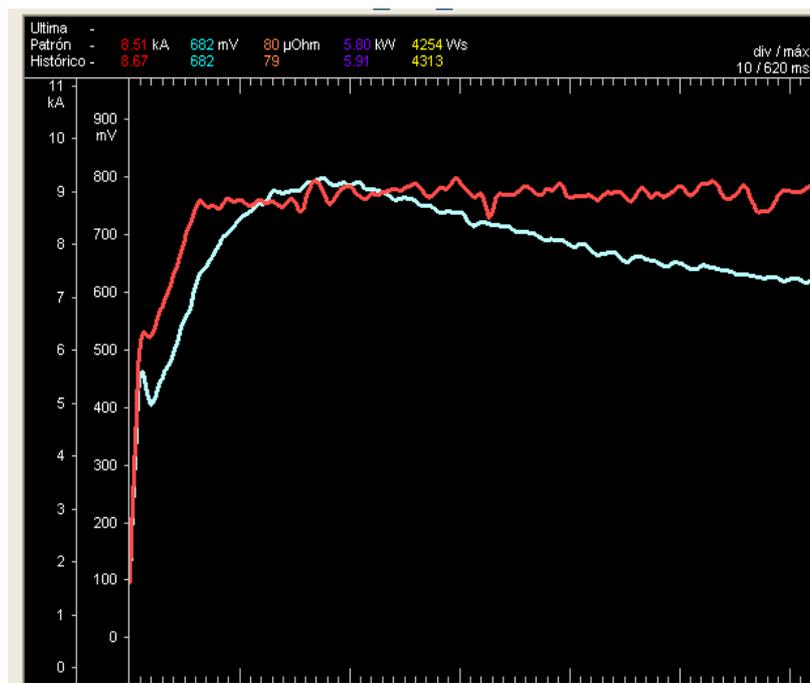


Fig. 3-4: HX260LAD+Z100MB (3 mm) + HX300LAD+Z100MB (1.6 mm)

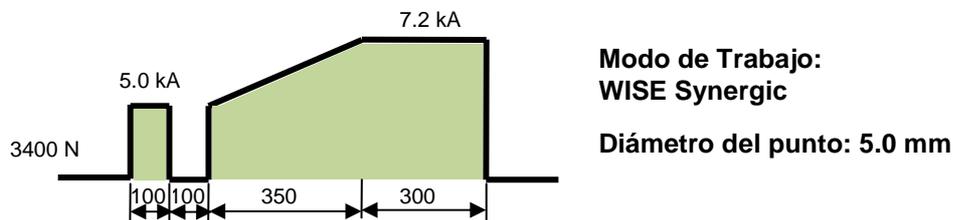
Con esta curva patrón, el modo de regulación WISE Synergic se adapta inteligentemente a las variaciones dinámicas que se presentan, ofreciendo resultados óptimos en la soldadura.

Ejemplo nº 4: Soldadura de acero al boro + galvanizado

Este ejemplo muestra el caso de una soldadura de acero al boro (22MnB5+AS150) de espesor bajo (1.2 mm) con una chapa de acero galvanizado de límite elástico considerable (340 MPa) y espesor también bajo (1.0 mm):

<i>Electrodos:</i>	ISO5821-F16/5.5 AFL6
<i>Esfuerzo electrodos:</i>	3400 N
Material 1:	22MnB5+AS150 / 1.2 mm
Material 2:	HC340XD+Z100MB / 1.0 mm

Con estos espesores, los parámetros de soldadura escogidos, a partir de los cuales se guardó la curva patrón, fueron los siguientes:



A continuación, en azul, se muestra la curva de resistencia dinámica que presenta esta combinación de materiales, con todas las condiciones de soldadura indicadas (parámetros, tipo de electrodos,...).

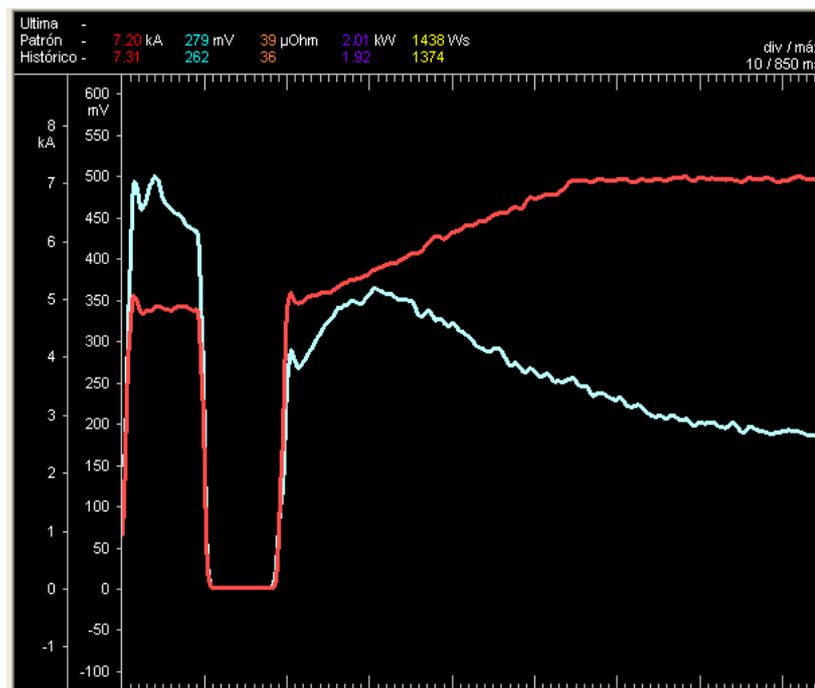


Fig. 3-5: 22MnB5+AS150 (1.2 mm) + HC340XD+Z100MB (1.0 mm)

Con esta curva patrón, el modo de regulación WISE Synergic se adapta inteligentemente a las variaciones dinámicas que se presentan, ofreciendo resultados óptimos en la soldadura.

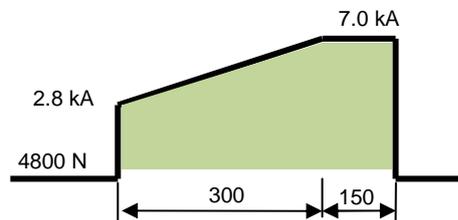
Ejemplo nº 5: Soldadura de aceros al boro

Este ejemplo muestra el caso de soldadura de dos aceros al boro, concretamente dos piezas de Usibor®, una de 1.5 mm y la otra de 2.0 mm, cuyo límite elástico se sitúa en torno a los 920 MPa.

Electrodos: ISO5821-F16/5.5 AFL6
Esfuerzo electrodos: 4800 N

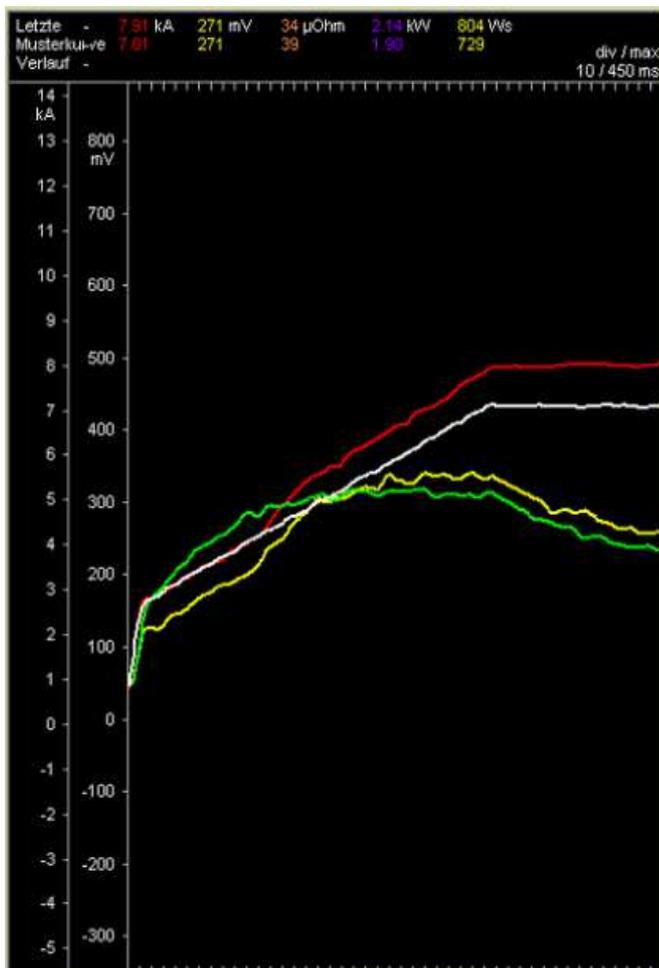
Material 1: Usibor®, / 1.5 mm
Material 2: Usibor®, / 2.0 mm

Con estos espesores, los parámetros de soldadura escogidos, a partir de los cuales se guardó la curva patrón, fueron los siguientes:



Modo de Trabajo:
WISE Synergic

Diámetro del punto: 6.7 mm



En la representación de la izquierda, se muestra la corriente y la tensión de esta aplicación:

- **Blanco:** Consigna de Corriente Patrón
- **Rojo:** Corriente modificada por WISE
- **Verde:** Tensión Patrón
- **Amarillo:** Tensión modificada por WISE

En este ejemplo, que pretende ilustrar también la bondad de la regulación WISE Synergic, el control adaptivo aumenta considerablemente la corriente (la incrementa de 7 kA del patrón a 7.9 kA) para compensar el defecto de resistencia que se encuentra en los primeros instantes, siempre intentando mantener lo máximo posible la 'forma' de la resistencia patrón. Como resultado, los puntos obtenidos mantienen el diámetro del punto que se estableció como patrón, con sus idénticas propiedades mecánicas, garantía de excelente calidad.

Fig. 3-6: Usibor® (1.5 mm) + Usibor® (2.0 mm)

Revisión de ediciones

Fecha	Versión	Actuación	Páginas
Agosto 2012	1.0	Versión original	
Setiembre 2012	1.1	Error en el texto 'Blanco' que aparecía por segunda vez, que se sustituye por ' Amarillo '	3-7
Noviembre 2012	1.2	Ampliada la sección de CASOS REALES, referente a información sobre aceros	de 3-1 a 3-4
Octubre 2013	1.3	Corrección de error en el valor de la corriente situado en el perfil de soldadura, que debe ser 12 kA	2-15 y 2-19

...