



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Acondicionamiento y puesta en marcha de la
Máquina Universal de Ensayos para realización de
prácticas de taller de soldadura

Preparation and implementation of the Universal
Testing Machine for performing welding workshop
practices

Autor

Francisco José Abadía Zárate

Director

Miguel García Garcés

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
2016

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fin de grado consiste en estudiar uno de los procesos que se desarrollan con más frecuencia en el ámbito de la fabricación, departamento en el que se va a realizar este trabajo, y que es el proceso de soldadura por resistencia. Se puede afirmar que es el más utilizado en la industria automovilística y en la de electrodomésticos de gama blanca, principales exponentes en nuestra comunidad autónoma. El estudio se realiza sobre la resistencia a la tracción de dos probetas unidas mediante este tipo de soldadura, en una máquina universal de ensayos.

Para realizar un estudio más completo, se han realizado distintas pruebas variando algunos parámetros en la máquina de soldadura (tiempo de paso de la intensidad, geometría de los electrodos), o combinando materiales (acero desnudo, acero galvanizado, y mezcla de ambos).

Para poder realizar todo el proceso, se han utilizado probetas de chapa que pueden obtenerse de una prensa cuello de cisne con alimentación neumática, la máquina de soldadura por resistencia, basada en el uso de la electricidad para conseguir el efecto de soldeo, y la máquina universal de ensayos, de funcionamiento hidráulico. Por lo tanto, existe la posibilidad de usar tres tipos de máquinas distintos en cuanto a su modo de funcionamiento.

Para poder llevar a cabo el propósito del trabajo, previamente se ha tenido que acondicionar la máquina universal de ensayos que hay en el taller del departamento de fabricación. Es una máquina procedente de la antigua Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Zaragoza y se quiere dejar en buen estado de uso para su posterior utilización en prácticas de taller de los grados de ingeniería actuales que lo requieran.

Por lo tanto, se han tenido que realizar tareas de limpieza y mantenimiento, y también la retirada de elementos auxiliares que no aportaban nada en nuestro cometido. Se ha actualizado, principalmente, todo lo relacionado con el control de la máquina, con la colaboración del Servicio de Apoyo a la Investigación de la Universidad de Zaragoza, que ha desarrollado una aplicación LABVIEW que captura los datos desde los sensores y regula las electroválvulas, calculando con los datos obtenidos tablas de Excel, con las que poder crear las gráficas correspondientes.

Para finalizar este TFG, se elabora un guión de prácticas para que pueda convertirse en aplicación didáctica, que sirva a los alumnos de algún grado de ingeniería para llevar a cabo la realización de prácticas de taller con la máquina de soldar y la máquina de ensayos.

TABLA DE CONTENIDOS

I.	Introducción.....	página 3
II.	Estudio del proceso de soldadura por resistencia en chapas de acero.....	página 6
II.A.	Soldadura por resistencia.....	página 6
II.A.1	Intensidad de la corriente-Tiempo de soldadura.....	página 8
II.A.2	Presión de apriete.....	página 8
II.A.3	Resistencia.....	página 9
II.B.	Estado del arte en la soldadura por resistencia.....	página 11
II.C.	Planificación de los ensayos a realizar.....	página 13
II.D.	Máquina de soldadura.....	página 14
III.	Material ensayado.....	página 15
III.A	Acero DC 03.....	página 15
III.B	Galvanizado.....	página 16
III.C	Probetas utilizadas.....	página 17
IV.	Adaptación de la máquina de ensayos.....	página 19
V.	Ensayos realizados.....	página 23
V.A	Ejemplo de guión de práctica de tracción.....	página 25
VI.	Conclusiones.....	página 28
V.A.	Observaciones.....	página 28
V.B.	Recomendaciones futuras.....	página 28
VII.	Bibliografía.....	página 30

ANEXOS

ANEXO nº 1: GUIÓN DE PRÁCTICA DE SOLDADURA.

ANEXO nº 2: CONTROL DE LA MUE REALIZADO POR EL SAI.

ANEXO nº 3: GUIÓN DE LA PRÁCTICA DEL ENSAYO DE TRACCIÓN.

ANEXO nº 4: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS.

ANEXO nº 5: MANUAL DE INSTRUCCIONES DE LA MÁQUINA DE SOLDADURA.

I. INTRODUCCIÓN

El objeto de este trabajo fin de grado se puede dividir en dos partes complementarias: por un lado está el estudio de la soldadura por resistencia (método, máquina, variables...); y por otro lado está el acondicionamiento y la actualización informática que se le realiza a la máquina universal de ensayos.

En el primer apartado, se realiza el estudio de la soldadura por resistencia. Comienza estudiando el proceso de soldadura por resistencia, y la máquina de soldadura que existe en el taller. Se elaboran probetas de acero, tanto desnudo como galvanizado, y se unen mediante un punto de soldadura por resistencia. A partir de aquí, se llevan a cabo en la máquina universal los ensayos de tracción con las probetas soldadas para verificar los resultados teóricos según el tipo de material, y los obtenidos en la máquina de ensayos calibrada que existe en el laboratorio del departamento de Ciencia de los Materiales. Se comprueba como las probetas rompen, dependiendo de todas las variables que se estudian en el apartado correspondiente de esta memoria, bien por el punto de soldadura, bien por una de las dos probetas unidas, en la forma correspondiente y con el valor de rotura que marca la composición del material con el cual están elaboradas.

En el segundo apartado, se realiza la adecuación de una máquina universal de ensayos antigua (procedente de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Zaragoza, ubicada en la calle Corona de Aragón), mediante la limpieza y adecuación, y añadido de los elementos apropiados para el control de la máquina y la captación de los datos que, mediante un programa informático, proporciona los resultados (tanto en forma numérica como gráfica) de los experimentos que se lleven a cabo. En este aspecto es donde se va a notar más la actualización de la máquina, como muestran estas dos imágenes.

Además de todo esto, se realizan las tareas de mantenimiento y conservación (rellenado de aceite en el módulo hidráulico, mejora del estado de las mordazas mediante electroerosión...) para conseguir que la máquina que queda en el taller pueda seguir operando como máquina de ensayos para los siguientes cursos.

Para todo este trabajo se cuenta con la colaboración del Departamento de Fabricación de la EINA, así como la ayuda del Servicio de Instrumentación Electrónica (SIE), que pertenece al Servicio de Apoyo a la Investigación (SAI) ubicado en la planta baja del edificio de la Facultad de Ciencias, y del laboratorio del Departamento de Ciencia de los Materiales, también de la EINA.

La documentación previa consiste, en este caso, en las características del material utilizado para la fabricación de las probetas, el manual de uso de la máquina de soldadura, los documentos donde se explica el funcionamiento del bloque de componentes de mando, las especificaciones de los sensores usados y el programa informático usado para obtener los resultados, tanto de manera gráfica como numérica.

Acondicionamiento y puesta en marcha de la máquina universal de ensayos para realización de prácticas de taller de soldadura

También se consultan distintos modelos de guiones de prácticas de ensayos de tracción para poder realizar uno, y poder incorporarlo como posible práctica docente.

Se han consultado algunos proyectos fin de carrera que guardan relación con el propósito de este trabajo, varias normas UNE, y páginas web de componentes y fabricantes, que serán detalladas en el apartado de bibliografía.

La realización de este trabajo fin de grado consta de un elevado número de etapas, que se van sucediendo y superponiendo según van progresando unos u otros elementos. Se ha procurado en todo momento ir avanzando en la redacción de esta memoria conforme los demás apartados se podían ir completando, pero también hay que reseñar que ha habido momentos en que se tenía que paralizar por circunstancias puntuales.

El cronograma correspondiente al progreso de este trabajo viene marcado en la siguiente tabla:

	XI - 2015	XII - 2015	I - 2016	II - 2016	III - 2016	IV - 2016	V - 2016	VI - 2016	VII - 2016
Presentación de la propuesta									
Aprobación de la propuesta									
Puesta a punto de la M.U.E.									
Búsqueda de información- Lectura de artículos									
Colaboración del SAI									
Preparación de las probetas									
Ensayos									
Captura de datos									
Redacción del TFG									
Depósito del TFG									
Defensa del TFG									

Acondicionamiento y puesta en marcha de la máquina universal de ensayos para realización de prácticas de taller de soldadura

De los anexos que se incorporan al final del TFG, el primero se dedica a explicar la práctica de soldadura, el segundo incluye la práctica de ensayo de tracción con un guión didáctico que puede servir para la realización de alguna práctica, el tercero es la renovación informática que el SAI ha realizado en la máquina universal de ensayos, el cuarto sexto consiste en la recopilación de todos los ensayos que hemos realizado (gráfica obtenida y foto de cada una de las probetas), y el quinto es el manual de uso y características original de la máquina de soldadura por resistencia.

II. ESTUDIO DEL PROCESO DE SOLDADURA POR RESISTENCIA EN CHAPAS DE ACERO.

En este apartado de la memoria, se va a desarrollar el estudio del proceso de soldadura por resistencia y se quiere explicar las variables que entran en juego, así como las consecuencias de los valores de dichas variables.

También se incluye la planificación de los ensayos a realizar y se va a elaborar el estudio detallado de la máquina empleada para soldar las probetas, describiendo el equipo utilizado y sus características técnicas.

II.A. SOLDADURA POR RESISTENCIA.

La soldadura por puntos de resistencia se basa en el procedimiento más antiguo que se conoce, la soldadura por forja. Esta soldadura se lleva a cabo aprovechando la propiedad de unión que presentan algunos metales al final de su fase sólida cuando se aplica sobre ellos una presión. En este tipo de soldadura, el calor necesario para llevar las chapas a unir a estado pastoso se genera por la resistencia que oponen dichas chapas al paso de la corriente eléctrica. Dicha resistencia hace que la energía eléctrica se transforme en calor (efecto Joule), originando una elevación de temperatura suficiente para lograr el efecto deseado. La presión que se ejerce para producir la forja es aplicada directamente por los propios electrodos.

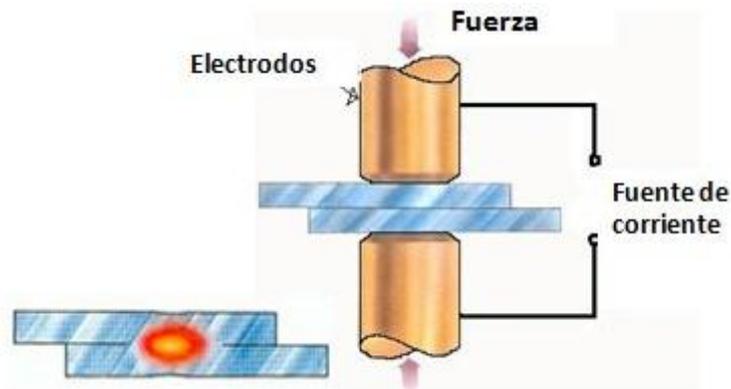


Imagen nº 1: Esquema de la soldadura por resistencia.

La elección de este sistema de ensamblaje de manera tan masiva en la actividad industrial se debe a que proporciona una serie de características y ventajas frente a otros sistemas de unión, entre las que destacan las siguientes:

- Siempre que su ejecución se lleve a cabo de manera correcta, se obtienen soldaduras de buena calidad y uniformes, que presentan una zona fundida homogénea, sin huecos, rechupes o grietas.

Acondicionamiento y puesta en marcha de la máquina universal de ensayos para realización de prácticas de taller de soldadura

- Es un sistema de soldadura de manejo sencillo, ya que la mayoría de los equipos utilizados hoy en día son automáticos. Por esta razón, la calidad final ya no depende tanto de la destreza del operario, que se puede limitar a reglar los parámetros de la máquina de acuerdo con el tipo de trabajo que pretende realizar.
- Una ausencia de deformaciones y cambios en la estructura del material, debido a que la aplicación de calor es mínima y se lleva a cabo de forma muy localizada en la zona de contacto de los electrodos.
- Las superficies que se obtienen son relativamente suaves, libres de fusión superficial o huellas profundas. Todo ello hace que no sea necesario un repaso posterior como operación de acabado.
- No se requiere material de aportación, lo cual reduce costes.
- El desmontaje de piezas unidas por puntos de resistencia es sencillo, y haciendo uso de herramientas específicas para esta función (despunteadoras), se realizará de forma rápida y, lo que es aún más importante, sin causar desperfectos a las piezas adyacentes.
- La automatización total y la aplicación de la robótica en el proceso de fabricación hacen que sea un sistema de rápida ejecución; esto facilita la producción de grandes volúmenes de trabajo en espacios de tiempo relativamente cortos, contribuyendo al abaratamiento final de los costes.
- Es un sistema que permite restaurar la protección anticorrosiva antes de efectuar la soldadura, mediante la aplicación de imprimaciones soldantes apropiadas.

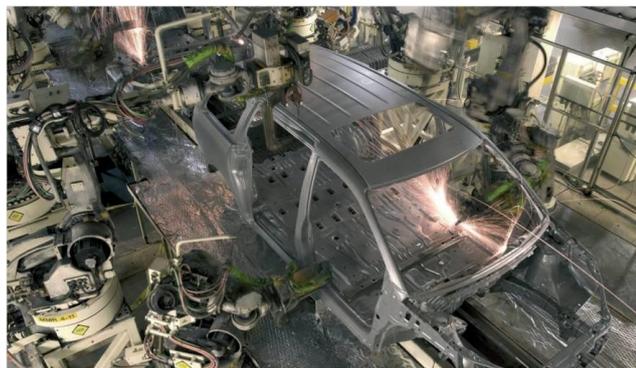


Imagen nº 2: Ejemplo de fabricación con soldadura por resistencia.

Los parámetros fundamentales que rigen este tipo de soldaduras son: intensidad de la corriente eléctrica, tiempo de paso de la corriente, presión necesaria en los electrodos y resistencia eléctrica de las chapas a unir.

Acondicionamiento y puesta en marcha de la máquina universal de ensayos para realización de prácticas de taller de soldadura

II.A.1 Intensidad de la corriente-tiempo de soldadura.

La cantidad de calor necesaria para llevar las chapas a unir a estado pastoso depende directamente de la intensidad de la corriente eléctrica y de su tiempo de paso. Podemos disminuir el tiempo de soldadura aumentando la intensidad, lo que se conoce como soldadura rápida, o bien optar por una disminución de la intensidad acompañada de un aumento del tiempo de soldadura, soldadura lenta.

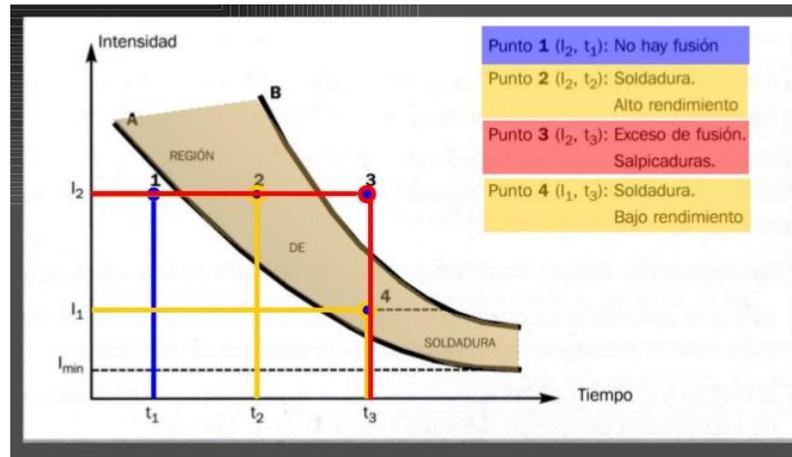


Imagen n° 3: Parámetros Intensidad-Tiempo.

La intensidad máxima está condicionada por el equipo con el que se ejecuta la soldadura y por las piezas a unir, procurando evitar su fusión. El tiempo de soldadura no puede ser muy grande ya que parte del calor se perdería por conducción, pudiendo dar lugar a uniones de escasa o nula resistencia mecánica. La técnica que mejores resultados permite obtener es la soldadura rápida; al emplear un tiempo corto se reducen las pérdidas de calor por conducción en chapas y electrodos y se concentra el calor en la zona del punto, dando lugar a soldaduras muy localizadas y de mejor calidad.

II.A.2 Presión de apriete.

Este parámetro se descuida con frecuencia y tiene mucha importancia, pues se pone de manifiesto en dos acciones distintas, la primera en su efecto sobre la resistencia y la segunda en su efecto de forma durante la solidificación del núcleo de metal fundido.

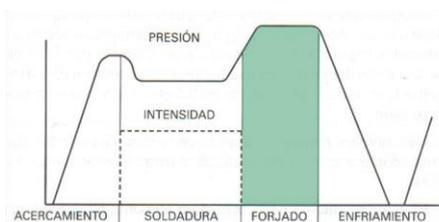


Imagen n° 4: Fases de la soldadura por resistencia.

La aplicación de la presión tiene tres misiones diferentes, que pueden parecer incluso contradictorias: al inicio, la presión ha de ser baja para obtener una resistencia de contacto chapa-chapa elevada que permita un calentamiento inicial con una intensidad moderada; más tarde, la presión ha de ser suficiente para que las chapas a unir tengan un contacto adecuado y asienten entre sí perfectamente; por último, una vez iniciada la fusión del punto, la resistencia de contacto desaparece bruscamente, por lo que la presión debe ser alta para expulsar los gases incluidos y llevar a cabo la forja del punto.

Presiones excesivamente bajas pueden dar lugar a forja deficiente, a altas resistencias de contactos chapa-chapa y chapa-electrodo, que pueden producir proyecciones, salpicaduras o perforación de las chapas.

Presiones excesivamente altas pueden producir buena forja pero expulsando material fundido del núcleo del punto que hace disminuir su resistencia, huellas profundas en las chapas, deformaciones en los electrodos, bajas resistencias de contacto chapa-chapa y chapa-electrodo.

II.A.3 Resistencia.

La resistencia que oponen las chapas a unir al paso de la corriente no es un parámetro de soldeo como tal, sino que depende de la naturaleza del metal a unir. No obstante, es un factor a tener en cuenta, pues dicha resistencia influye también directamente en la cantidad de calor generado durante la soldadura.

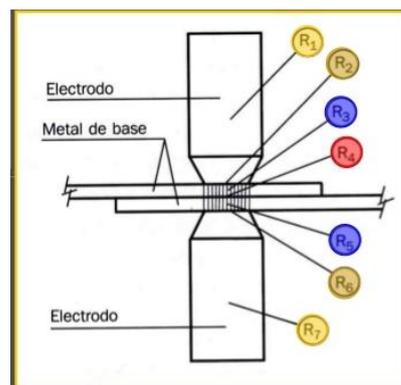


Imagen nº 5: Resistencia eléctrica de la unión.

La resistencia es inversamente proporcional a la conductividad eléctrica, dependiendo fundamentalmente de su composición, de su tratamiento, así como de su acabado y limpieza. Por tanto, a mayor conductividad eléctrica, menor resistencia al paso de la corriente, existiendo dificultades para realizar este tipo de soldaduras; este contratiempo se salva con un aumento de la intensidad de corriente. Este problema no suele suceder con el acero, ya que es un material que se une fácilmente mediante este sistema de ensamblaje.

Acondicionamiento y puesta en marcha de la máquina universal de ensayos para realización de prácticas de taller de soldadura

Aparte de estos elementos, también tienen gran importancia los electrodos, los cuales deben reunir tres requisitos fundamentales:

- Buena conductividad eléctrica, para evitar aumentos adicionales de temperatura.
- Tenacidad y alta resistencia mecánica a temperaturas elevadas, que impidan su deformación.
- Buena conductividad térmica, para que su refrigeración sea rápida.

Además del material, también hay que tener en cuenta la geometría de sus puntas (pueden ser esféricas o troncocónicas); su sección delimita la zona de paso de la corriente y, por tanto, el diámetro del punto.



Imagen nº 6: Cabezales de electrodos para soldadura por resistencia.

Para finalizar, se establecen una serie de conclusiones y recomendaciones a tener en cuenta, ya que repercutirán directamente en la obtención de unos resultados satisfactorios, así como en la conservación del equipo:

- Para facilitar el paso de la corriente, tanto las chapas a unir como los electrodos deberán estar limpios.
- Se emplearán brazos porta-electrodos cortos, con el fin de evitar una disminución en la presión de apriete.
- La punta de los electrodos debe estar limpia, lisa y del diámetro correcto. Para ejecutar los puntos, la de ambos electrodos debe mantenerse perfectamente enfrentada.
- Cuando se proceda a soldar chapas de distinto espesor se regulará la máquina en función de la más delgada.
- Se puede proceder a la soldadura de chapas revestidas de cinc, pero efectuando una limpieza de los electrodos más a menudo.

Acondicionamiento y puesta en marcha de la máquina universal de ensayos para realización de prácticas de taller de soldadura

- Las pinzas de soldadura llevan un electrodo fijo y otro móvil, debiendo fijar las chapas sobre el fijo y acercar el móvil a ellas, pues de lo contrario la pinza se movería, e impediría dar el punto en la zona apropiada.
- La distancia entre los electrodos ha de ser lo más pequeña posible para evitar esfuerzos dinámicos sobre los mismos, como consecuencia de su masa y velocidad de cierre.
- No conviene sobrepasar la distancia mínima entre puntos, ya que puede producirse una desviación de corriente por las soldaduras cercanas (efecto Shunt), viéndose disminuida la intensidad de la corriente necesaria para la formación del nuevo punto.

II.B ESTADO DEL ARTE EN LA SOLDADURA POR RESISTENCIA.

La importancia de las variables descritas anteriormente, junto con el tipo de acero con el que se fabriquen las probetas, se ve confirmada con la lectura de varios artículos científicos relativos a la soldadura por resistencia.

Una primera consecuencia, según se comprueba en el artículo titulado *“Effect of welding nugget diameter on the fatigue strength of the resistance spot welded joints of different steel sheets”* de M. Vural , A. Akkus., B. Eryürek (Efecto del diámetro del punto de soldadura sobre la resistencia a la fatiga de las uniones soldadas por puntos de resistencia de diferentes hojas de acero), publicado en febrero de 2006 en *ELSEVIER (Journal of Materials Processing Technology)*, sería que, en las mismas condiciones, el punto de soldadura entre hojas de acero del mismo tipo será más resistente al esfuerzo de fatiga que el situado entre láminas de acero de distinto tipo. Esto se debe a que el punto de soldadura no se forma de manera simétrica por causa del desequilibrio térmico entre los distintos materiales, influido por la distinta resistencia eléctrica de los distintos tipos de acero.

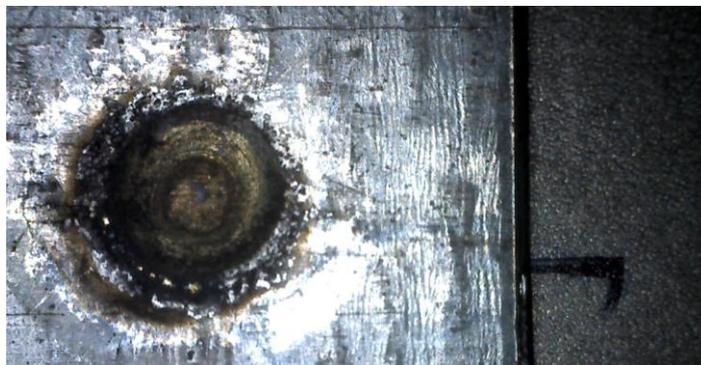


Imagen nº 7: Punto de soldadura entre dos láminas de distinto material.

Otras consecuencias, deducidas al obtener información en el artículo titulado *“Effects of electrode force on microstructure and mechanical behavior of the resistance spot welded DP600 joint”* de D.W. Zhao, Y.X. Wang, L. Zhang, P. Zhang (Efectos de la fuerza del electrodo sobre la microestructura y el comportamiento mecánico de la unión por puntos de soldadura de resistencia DP600), publicado en febrero de 2013 en *ELSEVIER (Materials & Design)*, serían que:

- la fuerza aplicada sobre el electrodo tiene un claro efecto sobre el tamaño del punto de soldadura, tanto en su diámetro como en la tasa de penetración y además existe un valor de la fuerza crítico con el que el punto de soldadura alcanza su máximo tamaño.
- existe una relación funcional creciente entre el tamaño del punto de soldadura y las propiedades mecánicas de la unión.

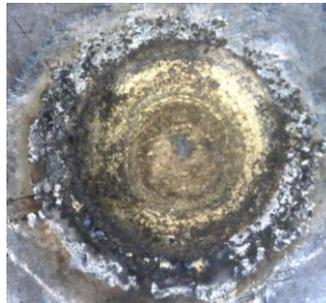
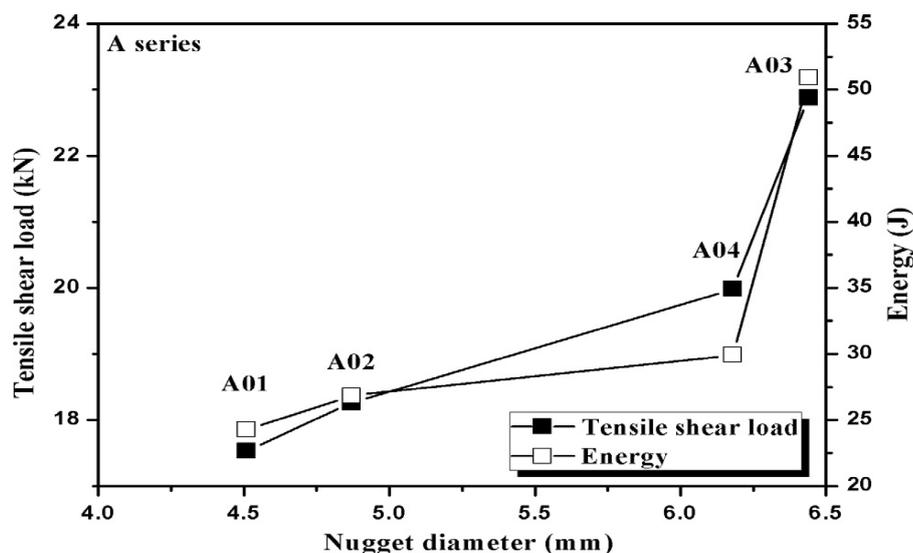


Imagen n° 8: Punto de soldadura visto con lupa de aumento.

- cuando la fuerza que realiza el electrodo es pequeña la microestructura del punto de soldadura comprende granos columnares en el borde y granos equiaxiales en el centro. Conforme va creciendo la fuerza, los granos equiaxiales van desapareciendo y quedan solo los granos columnares.



The relationship between tensile shear load, energy with nugget diameter.
(Relación entre el esfuerzo cortante a tracción, la energía y el diámetro del punto).

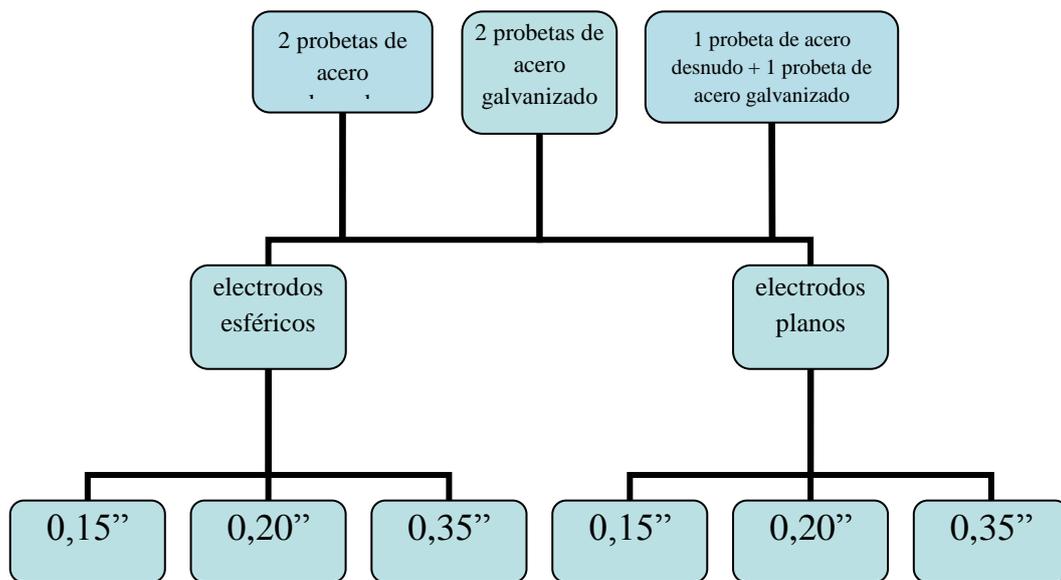
Acondicionamiento y puesta en marcha de la máquina universal de ensayos para realización de prácticas de taller de soldadura

II.C PLANIFICACIÓN DE LOS ENSAYOS A REALIZAR.

A la hora de realizar los ensayos, va a permanecer constante la presión de apriete, que se determina en la máquina de soldadura mediante la presión de un tornillo. Otro factor como la resistencia, viene fijado por el material elegido.

Por lo tanto, teniendo en cuenta el material de las probetas, la geometría de los electrodos, y el tiempo de paso de la intensidad de corriente, se van a realizar los siguientes 18 ensayos:

PLANIFICACIÓN DE LOS ENSAYOS A REALIZAR



Esquema de los 18 ensayos diferentes realizados.

Acondicionamiento y puesta en marcha de la máquina universal de ensayos para realización de prácticas de taller de soldadura

II.D MÁQUINA DE SOLDADURA.

El aparato empleado es una máquina de soldadura por resistencia de la marca TECNA, modelo 7020 del año 2006, que es conforme a las prescripciones de la norma europea EN 50082-2 y de la directiva europea 89/336/EEC.



Imagen nº 9: Máquina de soldadura.

Las características técnicas más importantes de la máquina son las que figuran en la siguiente tabla.

Se puede comprobar que esta máquina tiene unos brazos de longitud 125 mm, y eso predetermina unos cuantos valores como la máxima corriente de cortocircuito (7,2 kA), la máxima fuerza en los electrodos (120 daN) y el mayor recorrido de los electrodos (55 mm).

El manual de instrucciones, características, mantenimiento y recambios originales figura en el **Anexo nº 5** de esta memoria.

TECHNICAL FEATURES

Item		7020
Synchronous timer with SCR		•
Time adjustment	cycles	2+65
Cooling		Air
Mains supply 50 Hz *	V	380
Nominal power at 50%	kVA	2
Max. welding power	kVA	13
Max. short circuit current	kA	7.2
with arms L=	mm	125
Thermal current at 100%	A	610
Secondary no load voltage	V	2.3
Insulation class		F
Cooling water quantity	l/h	-
Max. water pressure	bar	-
Max. force on electrodes	daN	120
with arms L=	mm	125
Standard arms throat depth L	mm	125
Arms gap	mm	96
Max. electrodes stroke	mm	55
with arms L=	mm	125
Weight with arms 125 mm	kg	10.5
Weight with arms 500 mm	kg	13
Aerial noise	dB(A)	< 70
Level of vibrations	m/s ²	< 2.5
Measurement conditions:		
welding time (cycles)		14
welding current (kA)		5
working rating (welds/min.)		2

Imagen nº 10: Tabla de características técnicas.

III. MATERIAL ENSAYADO.

Se va a analizar el material utilizado en los ensayos, su composición y sus características mecánicas, el proceso de galvanizado, y la forma y dimensiones de las probetas.

III.A ACERO DC03.

Según la norma UNE EN 10020:2001, en su punto número 2, define acero como *“material en el que el hierro es el elemento predominante, el contenido en carbono es, generalmente, inferior al 2% y contiene además otros elementos. Para un limitado número de aceros al cromo, el contenido en carbono puede ser superior al 2%, pero este valor es el contenido límite habitual que separa el acero de la fundición”*.

En los ensayos realizado, se utiliza un acero cuya denominación es DC03, en el caso del acero desnudo, y DC03+ZE, en el caso del galvanizado.

El acero DC03 es un acero dulce no aleado, cuya composición química viene delimitada en la siguiente tabla:

Composición química (%)		
Elemento	Mínimo	Máximo
C	–	0,1000
Mn	–	0,4500
P	–	0,0350
S	–	0,0350

Las propiedades mecánicas más importantes de este tipo de aceros son:

Propiedades Mecánicas, para espesor $\geq 0,7$ mm		
Tensión de fluencia (N/mm ²)	Tensión de tracción (N/mm ²)	Alargamiento
140 - 240	270 - 370	$\geq 34\%$ de L ₀

Acondicionamiento y puesta en marcha de la máquina universal de ensayos para realización de prácticas de taller de soldadura

III.B GALVANIZADO.

El galvanizado es uno de los procesos más eficaces de protección del hierro y el acero frente a la corrosión que experimentan estos materiales cuando se exponen a la atmósfera, las aguas y los suelos.

Aunque normalmente se realiza en caliente, recubriendo las piezas con zinc fundido a 450° C, en nuestro caso ha sufrido un galvanizado electrolítico en frío.

En este proceso de galvanizado en frío, la lámina se transporta en forma continua a través del tanque de galvanización y electroquímicamente se le aplica un recubrimiento de zinc. En dicho tanque se realiza el recubrimiento por medio de corriente eléctrica.

La electrogalvanización se lleva a cabo a temperatura normal y alta velocidad, por lo que incluso después de galvanizar, los productos retienen virtualmente todas las propiedades principales del metal base, conservando así excelentes características mecánicas para trabajarlos. Sin embargo, debido a su recubrimiento de zinc relativamente bajo, (de entre 8 a 12 micras, pudiendo llegar a las 30 micras), es menos resistente a la corrosión que la chapa galvanizada por inmersión en caliente.

La diferencia a la vista entre una chapa de acero desnudo y otra de acero galvanizado la podemos ver en la siguiente imagen:



Imagen nº 11: Probetas de chapa de acero galvanizado (arriba) y de acero desnudo (abajo).

Las capas de aleaciones zinc-hierro que se obtienen son, fundamentalmente, tres que se denominan “gamma”, “delta” y “zeta” y también se obtiene una capa externa de zinc prácticamente puro (fase “eta”), que se forma al solidificar el zinc arrastrado del baño y que confiere al recubrimiento su aspecto característico gris metálico brillante.

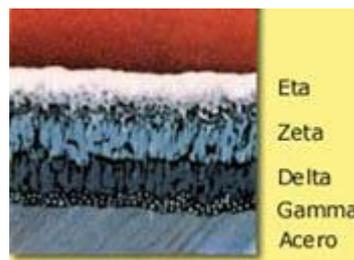


Imagen nº 12: Capas de aleación zinc-hierro.

III.C PROBETAS UTILIZADAS.

Para los ensayos, se han utilizado probetas planas obtenidas en el mismo taller por medio de una prensa de cuello de cisne con alimentador neumático.

Las dimensiones de dichas probetas son las siguientes:

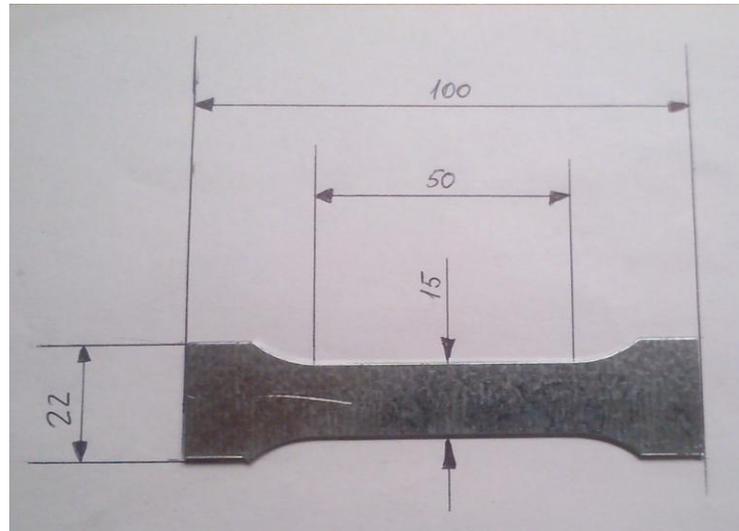


Imagen nº 13: Probeta individual con sus dimensiones.

Los ensayos se han realizado con dos probetas unidas mediante un punto de soldadura por resistencia, quedando la probeta final con las siguientes dimensiones:

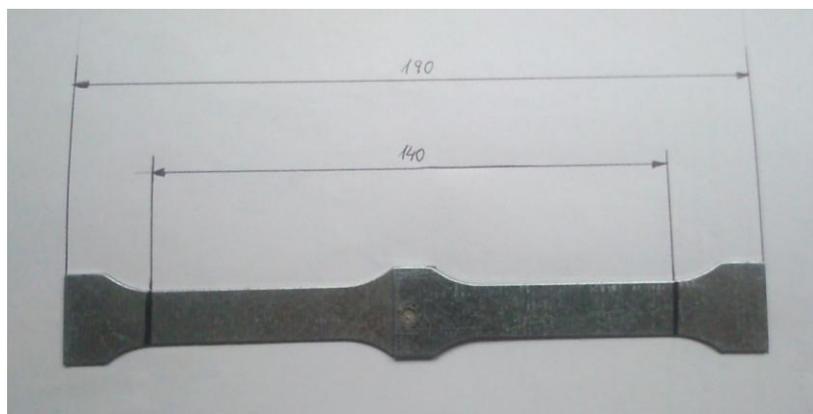


Imagen nº 14: Probeta final con sus dimensiones.

La medida de 140 mm que aparece en la probeta final, es la que se toma como referencia, después de realizar el ensayo de tracción en la máquina universal de ensayos, para saber el alargamiento sufrido por dicha probeta.

El grosor de la chapa utilizada es de 0,8 milímetros, por lo que, en la zona central, la superposición de las chapas tendrá un espesor de 1,6 milímetros, parámetro que habrá que tener en cuenta a la hora de efectuar la soldadura por resistencia, como se puede comprobar en las tablas que figuran en el **Anexo nº 1.**

Acondicionamiento y puesta en marcha de la máquina universal de ensayos para realización de prácticas de taller de soldadura

El detalle de las dos probetas unidas por el punto de soldadura por resistencia se puede comprobar en la imagen siguiente:

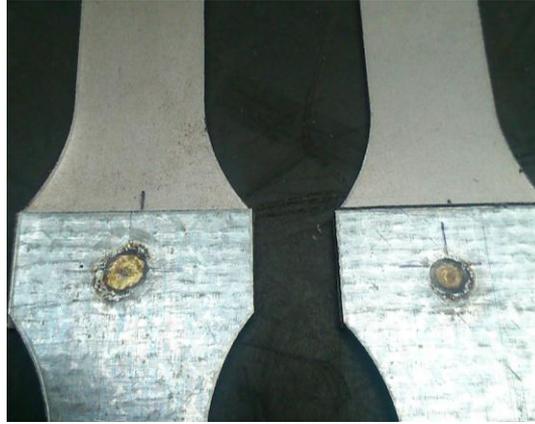


Imagen nº 15: Puntos de soldadura por resistencia.

Como se puede apreciar en la imagen anterior, el botón que crea el electrodo plano (izda.) tiene mayor superficie que el realizado por el electrodo semiesférico (dcha.).



Imagen nº 16: Electrodo semiesféricos (arriba) y planos (abajo).

IV. ADAPTACIÓN DE LA MÁQUINA DE ENSAYOS.

Se va a exponer a continuación el proceso de adaptación que ha tenido la máquina universal de ensayos. La parte más importante queda reflejada en el **Anexo nº 4**, consistente en la informatización de la parte de recogida, tratamiento y salida de la información.

Aquí se puede ver una imagen de la máquina de ensayos original, señalando que no es la que había en el taller al inicio de este TFG.

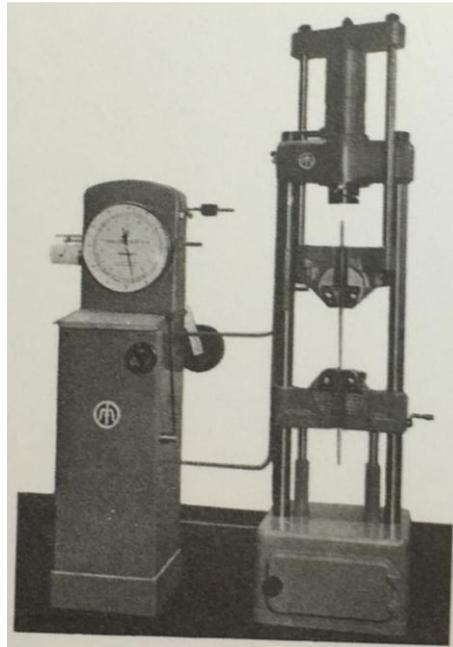


Imagen nº 17: Máquina de ensayo universal:
tracción, compresión y flexión.

En la máquina que se empieza la adaptación ya no existía la parte de la izquierda de la imagen, y su estado era el que muestra la siguiente imagen.

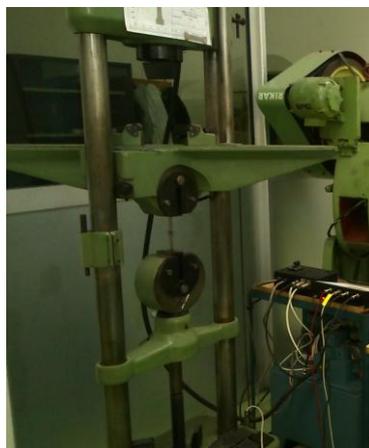


Imagen nº 18: Máquina de ensayos actual.

Acondicionamiento y puesta en marcha de la máquina universal de ensayos para realización de prácticas de taller de soldadura

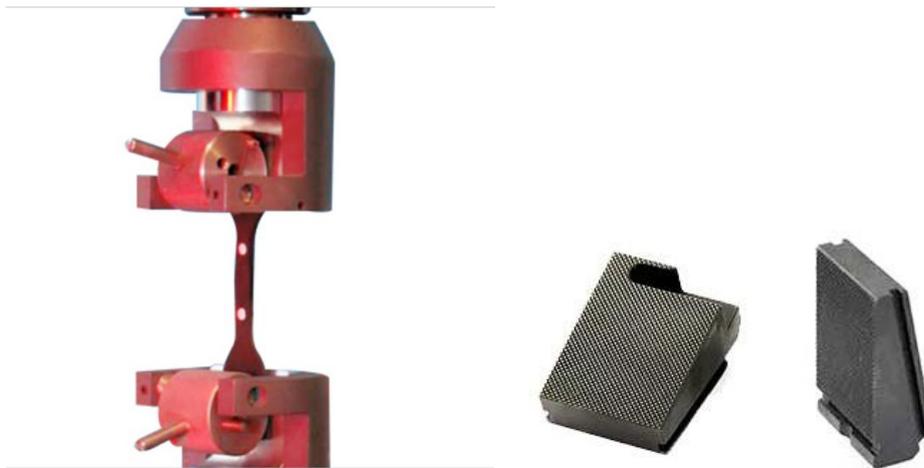
El trabajo de acondicionamiento de la máquina se empieza limpiando todas las zonas de la misma, para mejorar su aspecto exterior. Después, se comienza a revisar las partes de la máquina que podrían haber sufrido deterioro por el hecho de no estar utilizándose en esos momentos.

Se observa que el depósito de aceite está prácticamente vacío, por lo que se procede a conseguir el aceite adecuado (HFO 46), y a rellenar el depósito para que no surjan problemas con el motor.



Imagen nº 19: Indicador de nivel de aceite en la bomba.

Otra de las piezas que se observan bastante desgastadas son las mordazas. Posiblemente, no se habrían reparado nunca, y en los primeros ensayos se comprueba que las probetas resbalan. Se estuvo valorando la posibilidad de poner unas distintas: unas mordazas cilíndricas excéntricas, mucho más fáciles de utilizar, pero habría que modificar el agarre de dichas mordazas a la máquina, y además solo estaban recomendadas para trabajos con materiales mucho más ligeros (plástico, cartón, cuero...).



Imágenes nº 20 y 21: Mordazas cilíndricas excéntricas (izda.) y mordazas en cuña (dcha.).

Acondicionamiento y puesta en marcha de la máquina universal de ensayos para realización de prácticas de taller de soldadura

La opción que se elige fue mantener las mordazas en cuña y llevarlas a reparar al taller para aplicarles un procedimiento de limpieza y electroerosión.



Imagen n° 22: Procedimiento de electroerosión en las mordazas.

Tras esta operación, se comprueba que las mordazas sujetaban de manera correcta las probetas.

La mejora en la parte de control es la que ha realizado el Servicio de Apoyo a la Investigación (SAI), y que queda reflejada en el **Anexo n° 2**. Una vez recibidas las nuevas cajas electrónicas, también se hizo limpieza del carro donde están situadas.



Imagen n° 23: Colocación anterior de las cajas y el ordenador.

En la actualidad, el ordenador no necesita estar tan cerca de las cajas, ya que intercambian información por medio de BLUETOOTH, por lo que se puede poner en una mesa colocada cerca del carro del motor hidráulico, y la bandeja superior se puede utilizar para colocar las cajas electrónicas de manera más amplia y ordenada, aunque se prevé preparar un soporte para la caja de encendido del motor y poder poner el ordenador junto a la caja de control.

En las siguientes imágenes, se puede observar la situación de las cajas en la bandeja del carro y la colocación del ordenador en la mesa anexa, tal y como los están situados a la hora de realizar todos los ensayos.

Acondicionamiento y puesta en marcha de la máquina universal de ensayos para realización de prácticas de taller de soldadura



Imagen nº 24: Colocación actual de las cajas.



Imagen nº 25: Ubicación a la hora de realizar nuestros ensayos.

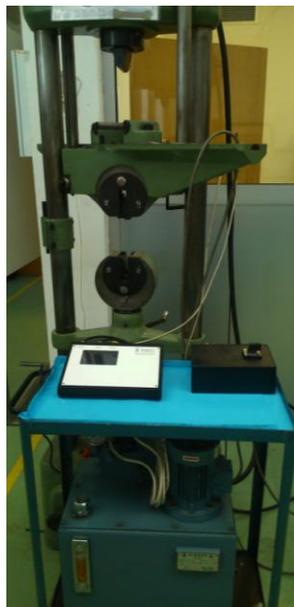


Imagen nº 26: Posible ubicación de las cajas delante de la máquina.

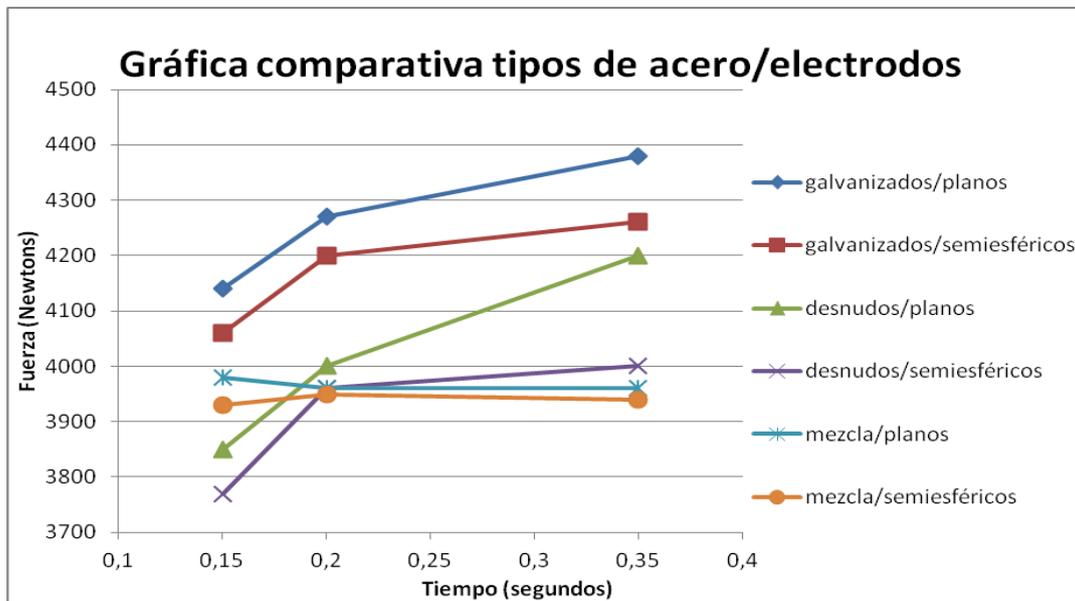
V. ENSAYOS REALIZADOS.

Según se ha visto en la planificación, se han realizado 18 ensayos en total, con todas las variaciones posibles de las variables que se han tenido en cuenta: geometría de los electrodos, material de las probetas y tiempo de paso de la intensidad de corriente.

En el **Anexo nº 6** de esta memoria, figura la gráfica obtenida con los datos de cada ensayo y una foto de la probeta después del mismo.

En este apartado se quiere mostrar otras gráficas que vienen a corroborar lo visto en algunos artículos y otros documentos técnicos.

La primera gráfica muestra la fuerza que ha soportado la probeta antes de romper, según los tipos de acero empleado y la geometría de los electrodos, para todos los valores de tiempo de paso de la intensidad.



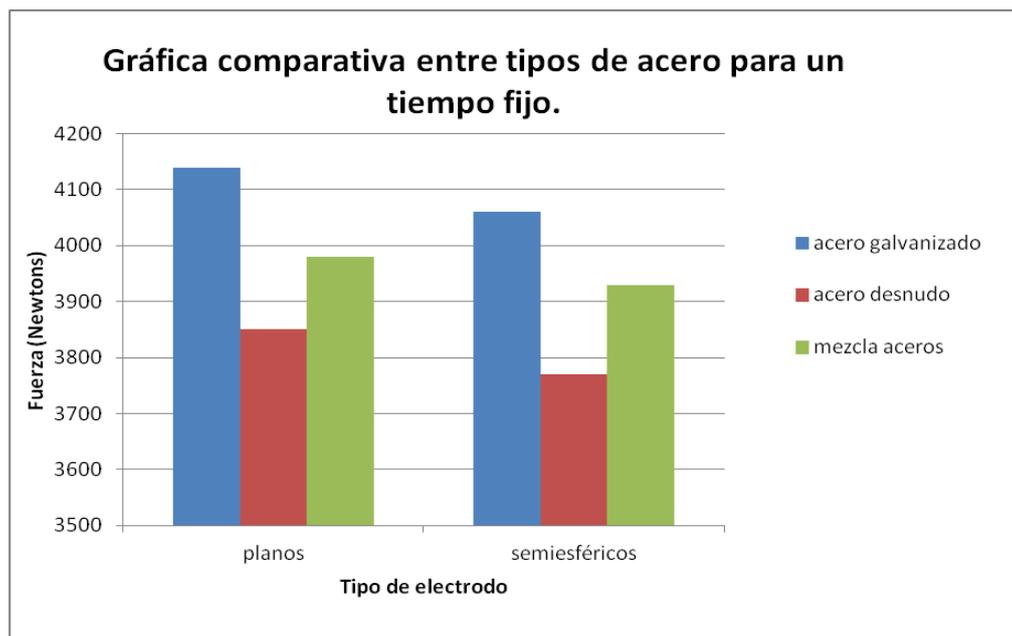
Gráfica comparativa según tipos de acero y geometría de electrodos.

Como se puede ver, conforme aumenta el tiempo de paso de la corriente también crece la fuerza que soporta el punto de soldadura. También se aprecia claramente que los ensayos realizados con probetas de chapa galvanizada fueron los que más fuerza soportaron.

Al analizar este gráfico y todos los posteriores, se pretende recalcar que las probetas compuestas de acero desnudo y acero galvanizado (mezcla 1 + 1), se rompen todas por la probeta de acero desnudo, pero el punto de soldadura no se rompió, ni desgarró la chapa por él en ningún momento.

En la siguiente gráfica se ha comparado la fuerza que soporta el punto de soldadura según el tipo de acero de la probeta, tomando fijo un valor de tiempo de paso de la intensidad ($t = 0,15''$).

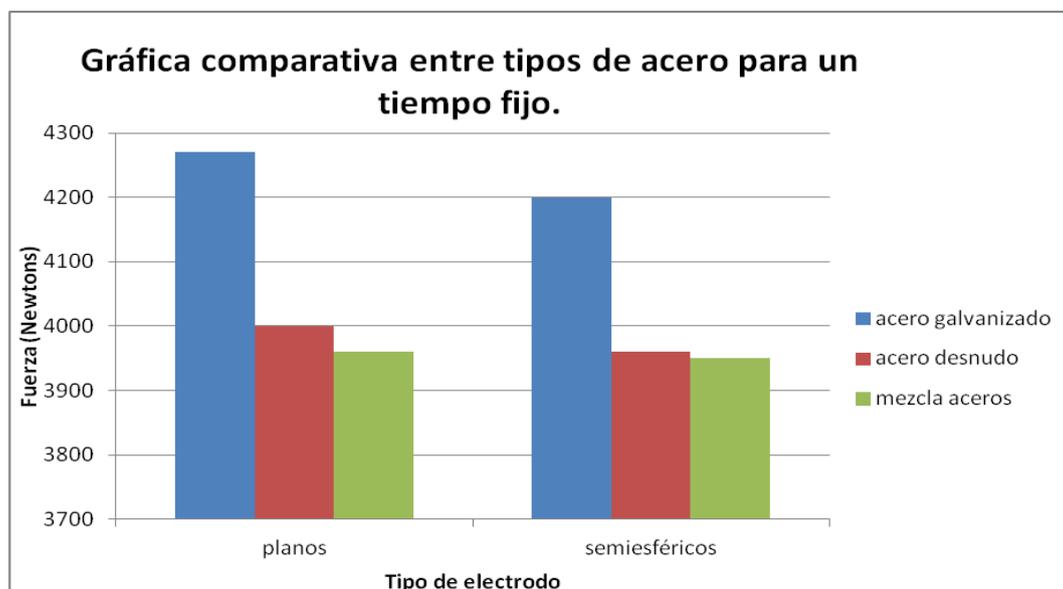
Acondicionamiento y puesta en marcha de la máquina universal de ensayos para realización de prácticas de taller de soldadura



Gráfica comparativa entre los distintos tipos de acero con $t = 0,15$ segundos.

Como se puede ver fácilmente, las probetas cuyo punto de unión está realizado con el electrodo semiesférico soportan menos fuerza que las que tienen su punto de unión realizado con el electrodo plano.

La explicación es sencilla, ya que el electrodo plano abarca mayor superficie que el electrodo semiesférico, y eso le proporciona un punto de soldadura más grande y, por lo tanto, soporta mayor esfuerzo.

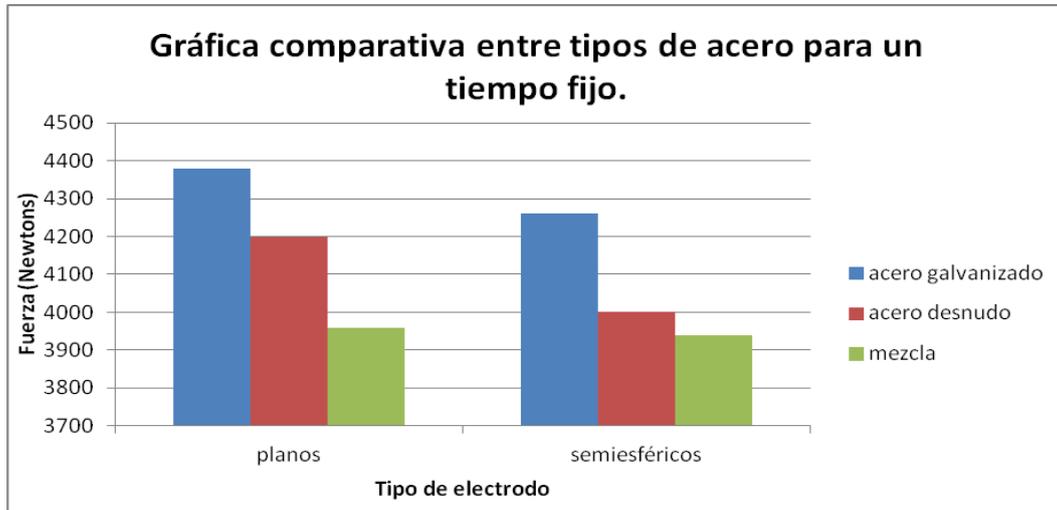


Gráfica comparativa entre los distintos tipos de acero con $t = 0,20$ segundos.

Como indica la imagen anterior, también se cumple la misma relación que se ha explicado anteriormente.

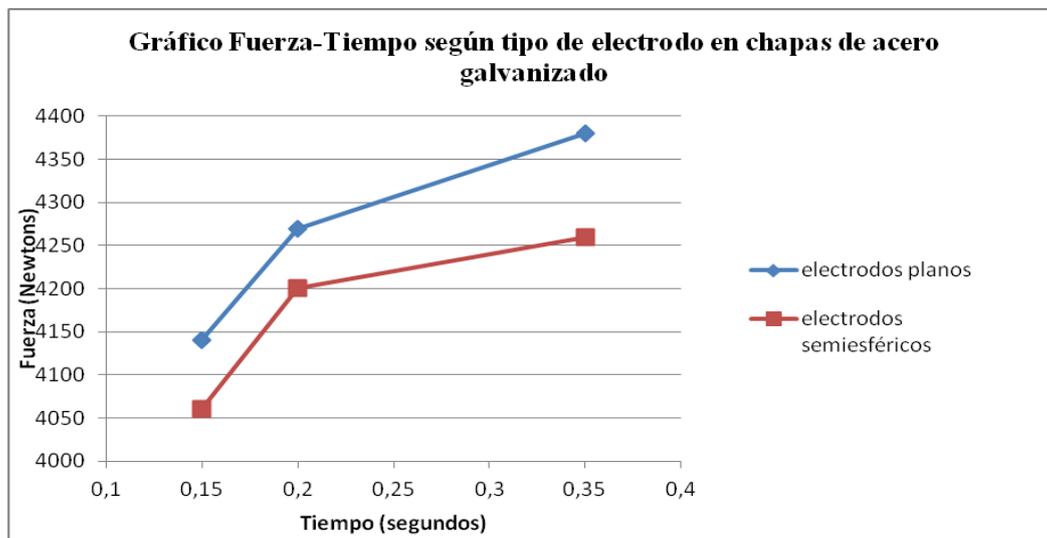
Acondicionamiento y puesta en marcha de la máquina universal de ensayos para realización de prácticas de taller de soldadura

Se puede comprobar que también se cumple con $t = 0,35$ segundos, lo que demuestra la validez de la práctica.



Gráfica comparativa entre los distintos tipos de acero con $t = 0,35$ segundos.

Se quiere terminar este apartado mostrando las gráficas obtenidas manteniendo fijo el tipo de material de las probetas. En primer lugar, la gráfica de las probetas de acero galvanizado.

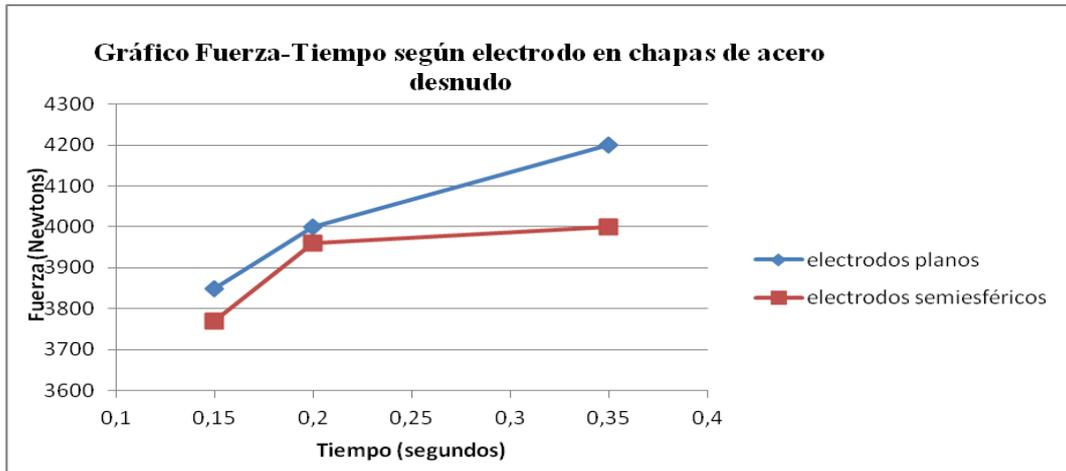


Gráfica comparativa del acero galvanizado según el tipo de electrodo.

Se puede observar que, sea cual sea el valor del tiempo de paso de la corriente, las probetas unidas con los electrodos planos siempre resisten más que las unidas con los electrodos semiesféricos.

Acondicionamiento y puesta en marcha de la máquina universal de ensayos para realización de prácticas de taller de soldadura

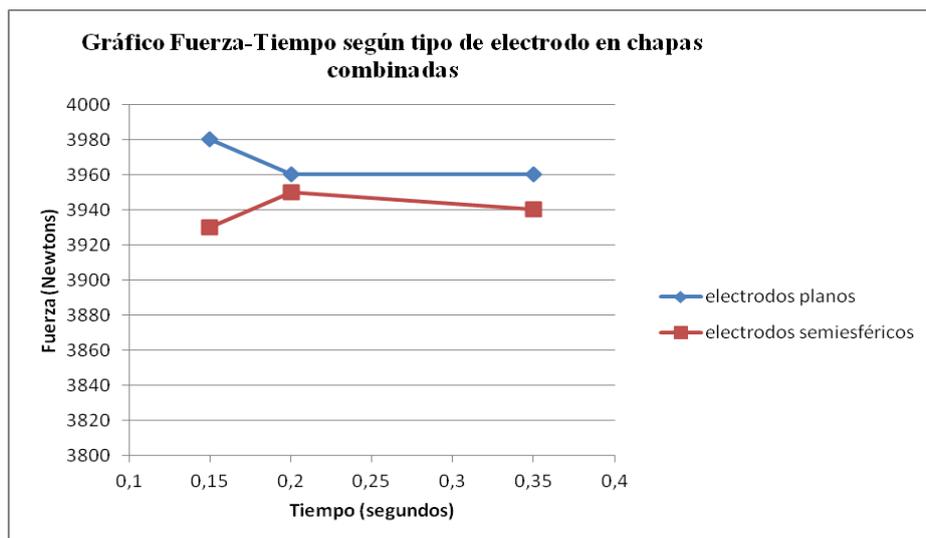
Los resultados para las probetas de acero desnudo son:



Gráfica comparativa del acero desnudo, según el tipo de electrodo.

Se puede observar que también cumple con la teoría, y soportan más esfuerzo las probetas unidas con electrodos planos que las unidas mediante electrodos semiesféricos.

Ahora se muestra la gráfica para las probetas con una parte de cada tipo de acero:



Gráfica comparativa de las probetas de acero combinado, según el tipo de electrodo.

También en este caso, los valores obtenidos con las probetas unidas mediante electrodos planos son mayores a los obtenidos con las probetas unidas mediante electrodos semiesféricos.

En la siguiente página se incorpora un guión de práctica de ensayo de tracción completo con los datos del primer ensayo que se realizó.

VI. CONCLUSIONES.

VIA OBSERVACIONES.

Después de ver los resultados de los ensayos, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- Se ha conseguido trabajar y explicar uno de los procesos más importantes que se llevan a cabo hoy en día en la fabricación, sobre todo dentro del sector del automóvil y electrodomésticos de gama blanca, como es la soldadura por resistencia.
- Se han explicado las variables de las que depende, las consecuencias de los valores que adopten esas variables y las medidas de seguridad que hay que tomar para trabajar con este tipo de máquinas.
- Se ha trabajado con un tipo de acero con dos tipos de acabado, viendo y comprobando las propiedades que el galvanizado le aporta al acero.
- Se ha procedido a la limpieza y adaptación de la máquina universal de ensayos y todos sus componentes, dejándola en perfecto estado de uso y con la parte de control y captura de datos desde el ordenador muy modernizada.
- Se ha conocido la existencia y el trabajo que realiza una sección de la Universidad de Zaragoza como el SAI, pudiendo visitar sus instalaciones y conversar con alguno de sus integrantes, y recibir información precisa sobre los aparatos que nos han incorporado al trabajo y su forma de funcionamiento, así como todo tipo de planos y documentos técnicos que se pudieran necesitar.
- Se han conocido más en profundidad máquinas de funcionamiento variado (neumático, hidráulico, eléctrico) y otros procedimientos de trabajo (electroerosión) utilizados en la vida diaria.

V.B RECOMENDACIONES FUTURAS.

Como es lógico, este TFG tiene varias alternativas de futuro, ya que no es algo que se pueda dar como definitivo. A nuestro parecer, podría tener continuación en los siguientes puntos:

- Estudio del proceso de soldadura con más materiales, habituales en el trabajo de taller (distintos tipos de acero, aluminio...), y cambiando las variables que nosotros hemos utilizado, o bien dándole otros valores distintos.

Acondicionamiento y puesta en marcha de la máquina universal de ensayos para realización de prácticas de taller de soldadura

- Realización de probetas con varios puntos de soldadura colocados en diferente disposición en las probetas (en horizontal, en vertical, combinados...), utilizando otros espesores de chapa mayores.
- Realización de muchas más pruebas en la máquina de ensayos para calibrarla con alguna que se sepa que obtiene resultados correctos (máquina existente en el laboratorio de Ciencia de los Materiales).
- Acondicionamiento del carro donde se colocan las cajas de control para adaptar un soporte y poder colocar en él la caja de accionamiento del motor, y poder colocar el ordenador junto a la caja de control de la máquina.
- Adaptación, tanto de la máquina como del programa informático, para poder realizar el resto de ensayos que permite la máquina: compresión y flexión. La caja de control tiene una entrada libre para poder conectar algún otro sensor, y poder medir, por ejemplo, la fuerza de corte por troquelado.

Para finalizar, es necesario reseñar que es sabido que el número de ensayos que se han realizado no es lo suficientemente importante para sacar conclusiones teóricas definitivas, porque tampoco era ese el propósito de este TFG.

VII. BIBLIOGRAFÍA.

VII.A ARTÍCULOS.

- “*The modeling and process analysis of resistance spot welding on galvanized steel sheets used in car body manufacturing.*” (El modelado y el análisis del proceso de soldadura por puntos de resistencia en chapas de acero galvanizado utilizadas en la fabricación de carrocerías) de S.M. Hamidinejad, F. Kolahan, A.H. Kokabi, de Julio de 2011, en MATERIALS & DESIGN.
- “*Optimised design of electrode morphology for novel dissimilar resistance spot welding of aluminium alloy and galvanised high strength steel.*” (Diseño optimizado de la morfología del electrode para nueva soldadura por puntos de resistencia en aleaciones de aluminio y acero galvanizado de alta resistencia) de Weihua Zhang, Daqian Sun, Lijun Han, Yongqiang Li, de Julio de 2015, en MATERIALS & DESIGN.
- “*Effect of welding nugget diameter on the fatigue strength of the resistance spot welded joints of different steel sheets.*” (Efecto del diámetro del botón de soldadura sobre la resistencia a la fatiga en chapas de diferente acero unidas por soldadura por puntos de resistencia) de M. Vural, A. Akkus, B. Eryürek, de Febrero de 2006, en JOURNAL OF MATERIALS PROCESSING TECHNOLOGY.
- “*Welding time effect on mechanical properties of automotive sheets in electrical resistance spot welding.*” (Efecto del tiempo de soldadura en las propiedades mecánicas de chapas de automóvil en soldadura por puntos de resistencia) de S. Aslanlar, A. Ogur, U. Ozsarac, E. Ilhan, de Octubre de 2007, en MATERIALS & DESIGN.
- “*Effects of electrode force on microstructure and mechanical behavior of the resistance spot welded DP600 joint.*” (Efectos de la fuerza del electrode sobre la microestructura y las características mecánicas de la unión por soldadura por puntos de resistencia DP600) de D.W. Zhao, Y.X. Wang, L. Zhang, P. Zhang, de Febrero de 2013, en MATERIALS & DESIGN.
- “*Dependence of overload performance on weld attributes for resistance spot welded galvanized low carbon steel.*” (Dependencia del rendimiento ante la sobrecarga de la unión por soldadura por puntos de resistencia en acero galvanizado con bajo contenido en carbono) de M. Goodarzi, S.P.H. Marashi, M. Pouranvari, de Noviembre de 2008, en JOURNAL OF MATERIALS PROCESSING TECHNOLOGY.

VII.B TRABAJOS FIN DE GRADO.

- “*Ensayo de conformación de chapa mediante presión hidráulica.*” de Carlos Rodríguez Giménez, de Septiembre de 2011.
- “*Medición de la deformación biaxial de chapa AISI 301 mediante ensayo hidráulico bulge test.*” de Jesús Millera Tello, de Febrero de 2013.
- “*Adquisición de datos y control de una máquina universal de ensayos.*” de Francisco Javier Herrera Paniego.

VII.C WEBGRAFÍA.

- Imagen nº 1: “<http://www.alcavil.com.mx/soldadura-por-resistencia-correcta/>”, descargada el 15 de Junio a las 17 horas.
- Imagen nº 2: “<http://eafdelautomovil.blogspot.com.es/2013/04/soldaduras-por-puntos-de-resistencia.html>”, descargada el 15 de Junio a las 17:15 horas.
- Imagen nº 3: “<http://es.slideshare.net/cemarol/soldadura-por-puntos-de-resistencia-presentation-810613>”, descargada el 6 de Junio a las 20 horas.
- Imagen nº 4: “<http://puentelara.blogspot.com.es/2013/04/soldadura-por-puntos-de-resistencia.html>”, descargada el 6 de Junio a las 19 horas.
- Imagen nº 5: “<http://es.slideshare.net/cemarol/soldadura-por-puntos-de-resistencia-presentation-810613>”, descargada el 6 de Junio a las 20 horas.
- Imagen nº 6: “<http://www.directindustry.es/prod/brouwer-metaal/product-22983-52641.html>”, descargada el 6 de Junio a las 20 horas.
- Imagen nº 10: “*Manual de la máquina de soldadura TECNA*”, página 5.
- Imagen nº 12: “<http://med.10-multa.com/himiya/5319/index.html>”, descargada el 5 de Junio a las 10 horas.
- Imagen nº 16: “<http://www.boletinindustrial.com/producto.aspx?pid=5959>”, descargada el 6 de Junio a las 18 horas.
- Imagen nº 17: Libro “*Tecnología Delineación 2*”, de la editorial EDEBÉ, edición de 1995, página 42.
- Imagen nº 20: “<http://www.instron.es/es-es/testing-solutions/by-test-type/tension/iso-37>”, descargada el 28 de Mayo a las 20 horas.
- Imagen nº 21: “<http://www.metrotec.es/producto/mordazas-tipo-cuna-manuales-de-palanca-o-volante/>”, descargada el 28 de Mayo a las 20 horas.
- Imagen nº 27: “<http://www.ladep.es/ficheros/documentos/MANUAL.pdf>”, página 21, descargada el 14 de Junio a las 19 horas.

Acondicionamiento y puesta en marcha de la máquina universal de ensayos para realización de prácticas de taller de soldadura

- Imagen nº 37: proporcionada por el SAI.
- Imagen nº 38: pinout del “32F746GDISCOVERY”, proporcionado por el SAI.
- Imagen nº 39: manual de instrucciones del “32F746GDISCOVERY” de life.augmented, proporcionado por el SAI.
- Imagen nº 40: “http://instapli.e.telefonica.net/catalogos/www.instapli.com_TRANSMISORES_PRESION.NIVEL.pdf”, descargada el 28 de Mayo a las 20 horas.
- Imagen nº 41: proporcionada por el SAI.
- Imagen nº 42: tomada del Proyecto Fin de Carrera, “*Adquisición de datos y control de una máquina universal de ensayos*”, de Francisco Javier Herrera Paniego, página 43.
- Imagen nº 43: proporcionada por el SAI.
- Imagen nº 46: proporcionada por el SAI.

El resto de imágenes que no se han comentado, han sido obtenidas directamente por mí en el taller o bien mediante pantallazos en el ordenador.

También se han consultado las siguientes páginas web para obtener información sobre los temas del TFG:

- Información sobre soldadura por resistencia en carrocerías de automóviles: “<http://www.appcesvimap.com/revista/revista7/pdfs/InformacionTCarroceria.pdf>”; consultada el 24 de Mayo a las 21:45 horas.
- Información sobre las características mecánicas del acero: “<http://www.ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn100.html>”; consultada el 3 de Junio a las 21 horas.
- Información sobre normas de seguridad en la soldadura por resistencia: “<http://www.ladep.es/ficheros/documentos/MANUAL.pdf>”; consultada el 6 de Junio a las 22:15 horas.
- Información sobre medidas de seguridad en la soldadura por resistencia: “http://www.mapfre.com/ccm/content/documentos/cesvimap/ficheros/Monografia_a_puntos_difusion_Cap5_seguridad.pdf”; consultada el 6 de Junio a las 22:15 horas.

También se han leído las normas UNE-EN 10002-1 (“Materiales metálicos. Ensayos de tracción. Parte 1”) y UNE-EN 10020 (“Definición y clasificación de los tipos de acero”).