

CAPITULO IV

DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1 INTRODUCCIÓN.

Considerando los objetivos del presente trabajo, se desarrolló un procedimiento experimental conforme a las técnicas de investigación reportadas en la literatura y equipo disponible.

Inicialmente se procedió a examinar el recubrimiento del material proporcionada por una empresa de la localidad. El material proporcionado por la empresa fueron aceros libres de intersticiales (IF) procesados bajo diferentes condiciones de galvanneal, por lo tanto obteniendo características diferentes.

Posteriormente se establecieron las condiciones de soldadura por resistencia con las que se realizarían las soldaduras. Para la evaluación de la soldadura se realizaron mediciones de la zona soldada y de la carga máxima soportada por las soldaduras.

A continuación se detallan cada uno de los pasos seguidos en el procedimiento experimental.

4.2 MATERIAL.

En el presente trabajo de investigación se utilizaron cuatro aceros IF procesados a diferentes condiciones de recocido y de galvanneal. En la Tabla 4.1 se muestran las condiciones de recocido continuo a la cual fueron sometidos los aceros y en la Tabla 4.2 se muestran las condiciones utilizadas para el proceso de galvanneal.

Muestra	Condiciones del Recocido Continuo				
	F1 (°C)	F2 (°C)	F3 (°C)	JC (°C)	Vel. (m/seg)
A	817	821	616	467	25.89
B	804	825	625	465	25.89
C	799	809	608	458	25.87
D	803	819	672	473	25.00

Nota.- Las temperaturas indicadas corresponden a la temperatura de la lámina.

Tabla 4.1.- Condiciones del proceso de recocido continuo para los diferentes materiales.

Muestra	Potencia Inductor (kW)		Al en el Baño (wt. %)
	Mínimo	Máximo	
A	500	700	0.13
B	380	500	0.13
C	200	300	0.13
D	240	260	0.14

Nota.- El contenido de aluminio es el total en el baño.

Tabla 4.2.- Condiciones utilizadas para los diferentes aceros.

La composición química de las muestras utilizadas en el presente estudio se presentan en la Tabla 4.3.

Muestra	C	Mn	P	S	Si	Nb	Al	Ti	Cu	B
A	0.002	0.110	0.006	0.008	0.005	0.007	0.034	0.042	0.026	0.002
B	0.002	0.110	0.006	0.008	0.005	0.007	0.034	0.042	0.026	0.002
C	0.002	0.140	0.010	0.007	0.006	0.007	0.033	0.035	0.024	N/D
D	0.002	0.120	0.007	0.007	0.005	0.006	0.036	0.037	0.020	N/D

Tabla 4.3.- Composición química de las muestras.

Para el mejor manejo de las muestras proporcionadas por la empresa, se realizaron cortes rectangulares de aproximadamente 3 cm x 30 cm en cada acero.

4.3 RECUBRIMIENTO.

La inspección del recubrimiento se realizó por medio del microscopio óptico y por medio del microscopio electrónico de barrido (SEM).

Para la inspección del recubrimiento se realizaron cortes por medio de la máquina MINITON para obtener muestras de los diferentes aceros. Estas muestras servirían para la inspección superficial del recubrimiento por medio de SEM y para la inspección transversal por medio de SEM y microscopio óptico.

4.4 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS.

La preparación de las muestras para su observación por medio del microscopio óptico se realizó de la siguiente forma: Se obtuvieron muestras pequeñas (3 x 10 mm) y se montaron en bakelita, posteriormente el pulido grueso se realizó hasta la lija número 2400 y el pulido fino se realizó con alúmina de 1 μm seguido con alúmina en suspensión de 0.3 μm y finalmente con pasta de diamante de 0.25 μm .

Para observar el recubrimiento transversalmente por medio del SEM la preparación de las muestras se realizó de la misma manera que para las muestras del OM, sólo que en este caso se omitió el pulido fino con alúmina en suspensión de $0.3 \mu\text{m}$.

4.5 PRUEBAS DE INTEGRIDAD DEL RECUBRIMIENTO.

Para observar la integridad del recubrimiento y la formabilidad del mismo se sometieron probetas de $3\text{cm} \times 9\text{cm}$ a ensayos de doblez en V a 90° y 60° reversibles, realizados en una empresa de la localidad. El diagrama esquemático de las diferencias del ensayo de doblez en V reversible de 90° y 60° se muestra en la Figura 4.1. En la Figura 4.2 se muestra la secuencia del ensayo reversible al cual se sometieron las probetas.

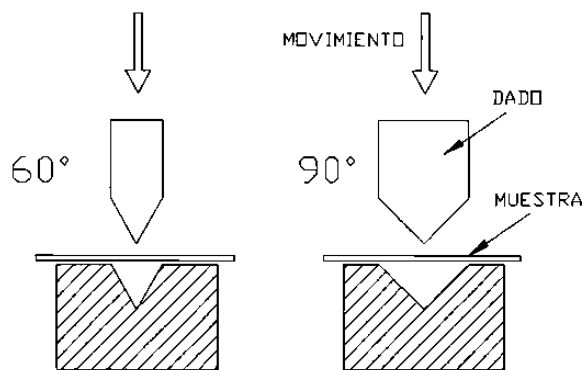


Figura 4.1.- Diagrama esquemático de los ensayos de doblez en V de 90° y 60° .

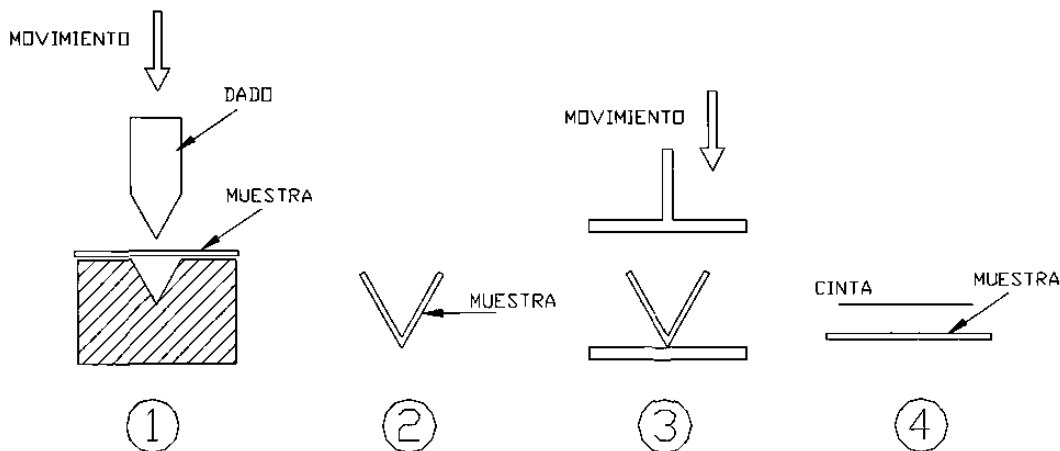


Figura 4.2.- Diagrama esquemático del ensayo de doblez en V reversible.

La cantidad de powdering fue medida obteniendo la diferencia en peso de las probetas antes (W_O) y después del ensayo (W_F). Las muestras fueron limpiadas con alcohol antes de cada ensayo, una cinta adhesiva fue aplicada en la superficie (según se muestra en la Figura 4.2) para remover el material desprendido durante el ensayo. La pérdida de peso ($W_P = W_O - W_F$) fue normalizada dividiéndola por el área superficial real de la probeta (A_S) para obtener la cantidad de powdering perdido (P_L) por el recubrimiento.

$$P_L = \frac{W_P}{A_S} \quad \text{Ec (4.1)}$$

4.6 PRUEBAS DE SOLDABILIDAD.

Las pruebas de soldabilidad se realizaron en una máquina tipo pedestal (Figura 4.3) de una empresa de la localidad. La selección de los parámetros de soldadura se estableció basándose en los estándares de Chrysler ⁽⁴³⁾ y el publicado por la AWS y SAE ⁽⁴⁴⁾ los cuales son mostrados en la Tabla 4.4.

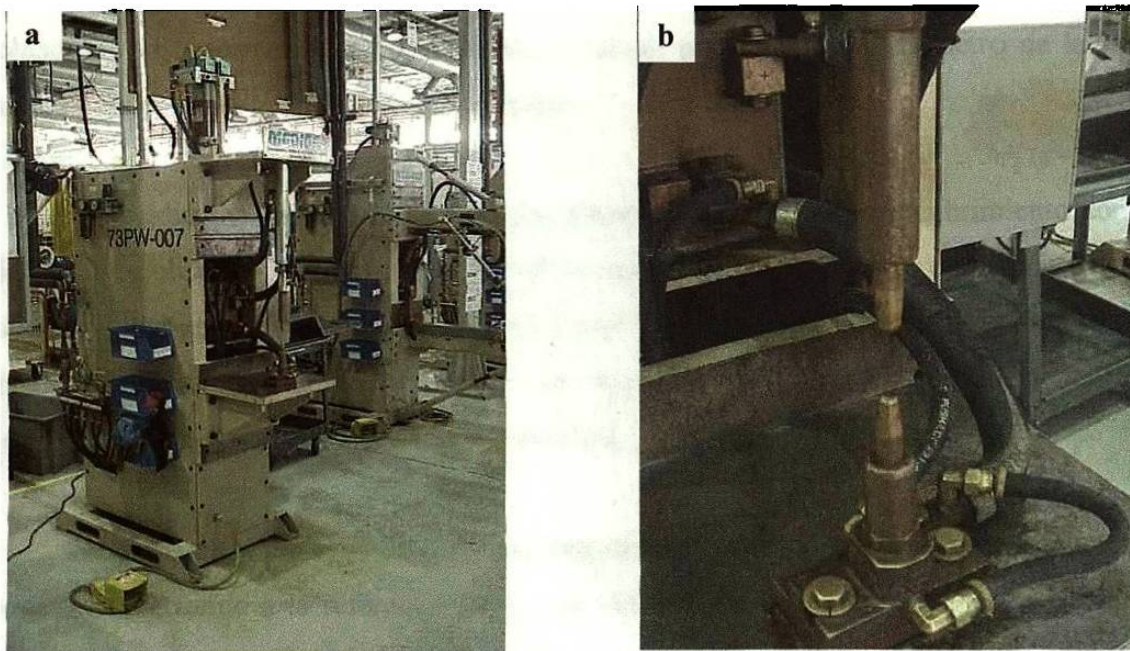


Figura 4.3.- a) Muestra la máquina tipo pedestal en donde se realizaron las soldaduras, b) Muestra los electrodos superior e inferior de la máquina.

Standard	Espesor de la lámina (t) (mm)	Fuerza de Aplicación de los electrodos (kN)	Tiempo de soldadura (Ciclos) 60 Hz	Intervalo de corriente de soldadura (kA)	Diámetro de la punta del electrodo (mm)	Diámetro mínimo requerido (mm)
Chrysler	1.14	3.34	8-11	10.0 - 13.0	6.4	5.1
AWS/ANSI/SAE D8.9-97	1.10 - 1.29	3.10	14	7.0 - 8.0	6.0	$4(t)^{1/2}$ (4.4)
Presente estudio	1.15-1.18	3.53	11	9.6 - 14.0	6.59 (a)	5.1

(a).- Diámetro real será obtenido de la prueba de impresión en papel carbono.

Tabla 4.4.- Comparación de los parámetros utilizados en el estudio de investigación.

Los electrodos fueron acondicionados con 40 soldaduras previas al estudio. El initial squeeze (tiempo que permite que los electrodos se junten con el material a soldar) fue de 40 ciclos, squeeze time (tiempo en el cual los electrodos unen los materiales desarrollando la fuerza necesaria antes de que fluya la corriente de soldadura) de 99 ciclos y el hold time (tiempo de enfriamiento) no pudo ser controlado automáticamente.

En las pruebas de soldabilidad se obtuvieron dos tipos de probetas:

Probetas para inspección de soldadura.- cupones de 3cm x 30cm, una vez realizadas las soldaduras, se procedió a medir el diámetro de la huella exterior para cada soldadura, posteriormente se cortaron por la mitad, para obtener el diámetro de la zona soldada, así como la penetración del electrodo.

Se decidió incluir para estos ensayos probetas de material sin recubrimiento con la finalidad de observar el efecto que tiene el recubrimiento (galvanneal), con respecto a un acero no recubierto. Estas probetas se obtuvieron de la disolución del recubrimiento de las muestras C con una solución de 3:1 de agua destilada y ácido clorhídrico (HCl) respectivamente por aproximadamente 2 minutos.

Probetas para ensayos de tensión.- cupones de 2.5cm x 10.50cm, estas probetas se cortaron de acuerdo a la referencia (38) y se realizaron soldaduras según los parámetros establecidos, observando así el comportamiento de la resistencia mecánica de la soldadura para cada uno de los parámetros.

4.7 ELECTRODOS.

Los electrodos utilizados en las pruebas fueron proporcionados por una empresa de la localidad (ver Figura 4.4), los cuales son utilizados en las soldadoras de tipo pedestal. Los electrodos son parte fundamental en la soldadura, debido a esto, se procedió a conocer sus dimensiones, así como el diámetro real de la punta del electrodo.

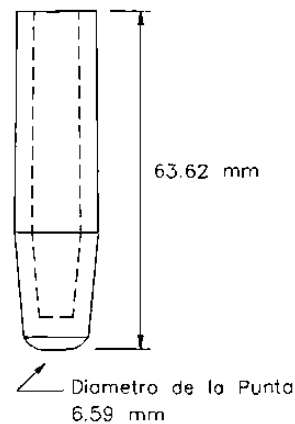


Figura 4.4. - Diagrama esquemático de los electrodos utilizados en los ensayos.

Para observar el diámetro real de contacto, se realizaron pruebas de impresión de los electrodos con una fuerza de aplicación de los mismos de 3.53 kN. En la Figura 4.5 se muestran algunas de estas impresiones y el diámetro promedio de las mismas, se presentan en la Tabla 4.5.



Figura 4.5. - Prueba de impresión de los electrodos en papel carbón.

Electrodo	Ensayo	
	Inspección	Tensión
Superior	6.355 mm	6.13 mm
Inferior	6.350 mm	6.12 mm

Tabla 4.5.- Valores promedios obtenidos de las impresiones en papel carbón.

4.8 FUERZA DE APLICACIÓN DE LOS ELECTRODOS.

Para la realización de las soldaduras se utilizó la máquina de pedestal MODICON 73PW-007. La presión de los electrodos se indica mediante el manómetro que se encuentra a un costado de la válvula de presión del aceite de la máquina, dando lecturas en psi. Para conocer si la presión indicada era correcta, se procedió a realizar una serie de mediciones con un equipo proporcionado por MODICON (Weld Probe Force Gauge, Tuffaloy Products, Model 90061), este equipo proporcionaba la fuerza de los electrodos en lbf. Los resultados se muestran en la Figura 4.6.

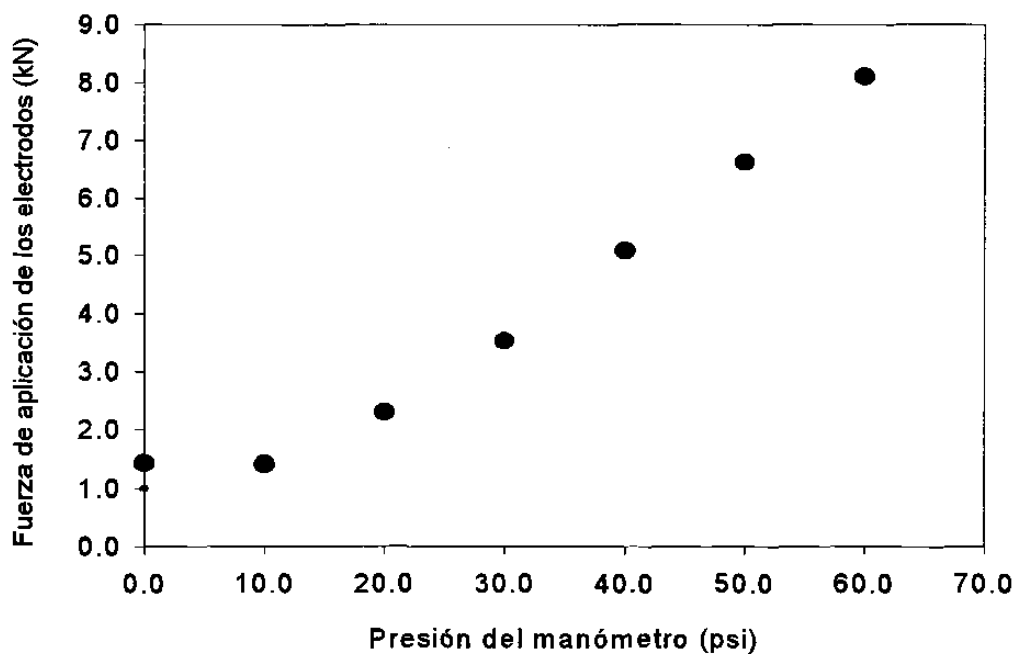


Figura 4.6.- Presión de los electrodos (kN), de acuerdo a la presión del manómetro (psi) de la máquina.

4.9 SELECCIÓN DE LA CARGA PARA LAS PRUEBAS DE DUREZA.

Las Pruebas de dureza se realizaron en un microdurometro Vickers Marca Shimadzu. Para disminuir el efecto de la recuperación elástica de la huella al ser aplicada una carga, se procedió a realizar una serie de mediciones a diferentes cargas para así seleccionar la carga más apropiada para este acero.

En la Figura 4.7 se muestra el promedio de las durezas obtenidas a diferentes cargas durante el procedimiento de selección de la carga.

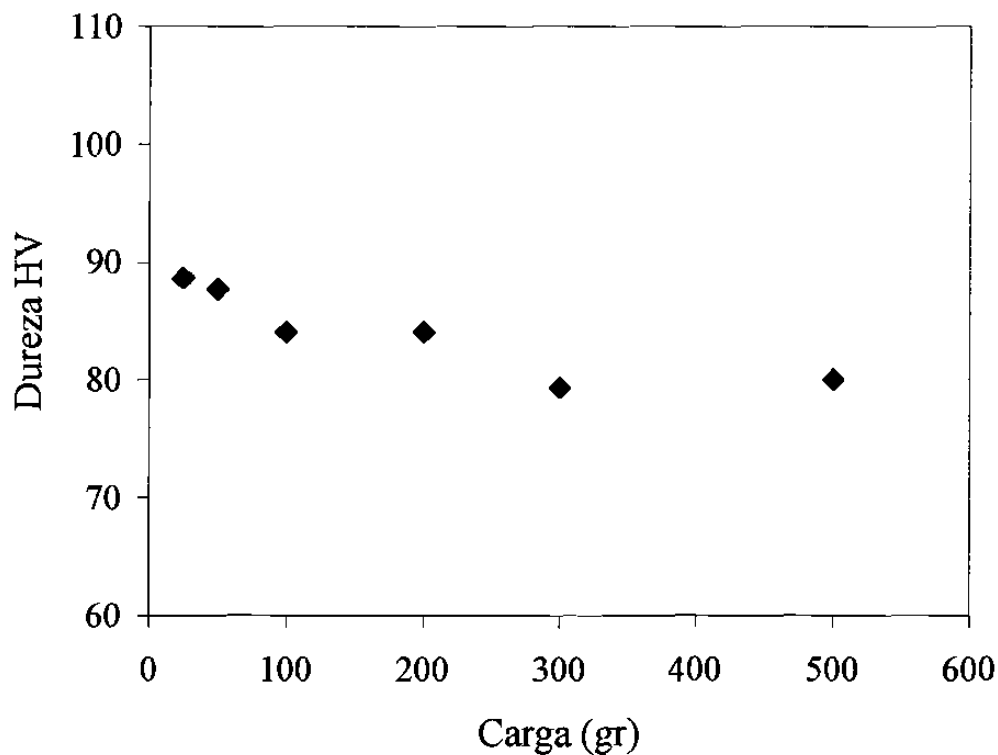


Figura 4.7.- Procedimiento para la selección de la carga para los ensayos de dureza, el tiempo de aplicación de la carga fue de 15 seg.

La carga seleccionada para los ensayos de microdureza fue de 100 gr (debido a que en cargas mayores la huella era muy grande) y un tiempo de aplicación de 15 segundos.

4.10 DETERMINACIÓN DE LA PENETRACIÓN DEL ELECTRODO.

Debido a que no se contó en ese momento con un microscopio de bajos aumentos (aproximadamente 30x) que pudiera ser utilizado con el analizador de imágenes de la facultad, no fue posible determinar la penetración de los electrodos según el standard de Chrysler ⁽⁴³⁾. Por tal motivo, se realizó un procedimiento que nos permitiera obtener resultados semejantes pero con el equipo que se contaba en la Facultad. En la Figura 4.8 se muestra el diagrama esquemático de las mediciones realizadas a la soldadura para obtener la penetración del electrodo sobre la lámina.

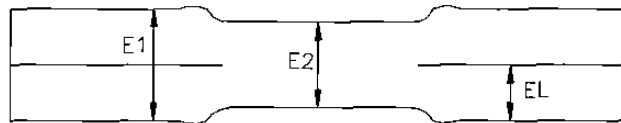


Figura 4.8.- Diagrama esquemático de las mediciones realizadas para calcular la penetración de los electrodos.

Para el cálculo de la penetración del electrodo se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Penetración} = \frac{[(E1-E2)/2]}{EL} * 100 \quad \text{Ec. 4.2}$$

Donde:

E1, E2 y E1 son mediciones obtenidas de la Figura 4.8.

4.11.- ENSAYOS DE TENSIÓN.

Los ensayos de tensión se realizaron en una máquina Instron a temperatura ambiente, a una velocidad de desplazamiento de los cabezales de 10 mm/min, a esta velocidad se realizaron todos los ensayos. En la Figura 4.9, se puede observar una fotografía en el momento del ensayo.

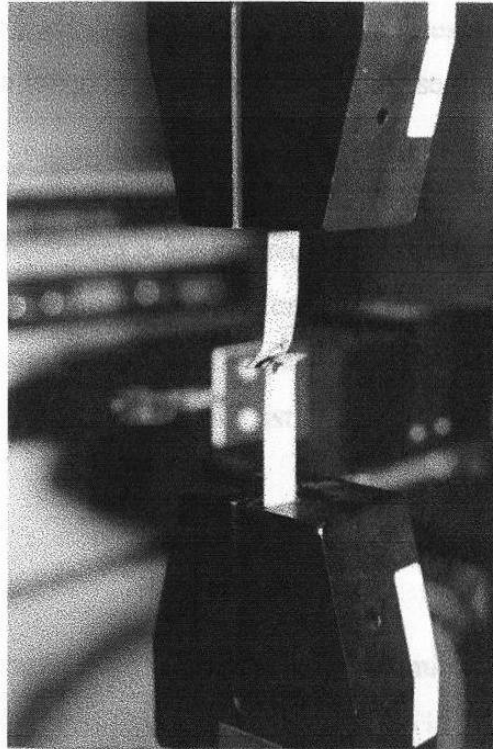


Figura 4.9.- Ensayo de tensión realizados a las probetas de este estudio.

Se realizaron ensayos de tensión a probetas cortadas según la norma ASTM E8 tal como el material fue entregado, para así poder evaluar la calidad de la soldadura. Debido al tipo de probetas utilizadas en el estudio, los esfuerzos que actúan sobre las probetas soldadas, son principalmente de corte.

Los valores obtenidos del ensayo de tensión nos servirá para evaluar la calidad de la soldadura y conocer si cumple con los estándares establecidos de soldadura por resistencia.