

---

## CAPITULO VI

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 6.1 CONCLUSIONES.

Los experimentos de soldadura realizados en el presente estudio servirán para conocer el comportamiento de algunos de los parámetros utilizados durante el proceso de soldadura por resistencia eléctrica por puntos de laminas de acero termogalvanizado.

En la lámina termogalvanizada utilizada en este estudio pudo notarse que el contenido de Zn aumentaba en la dirección hacia la superficie del recubrimiento, también que la difusión de Fe a través del recubrimiento de Zn era mayor que la difusión de Zn a través del substrato de Fe.

La composición química a través del recubrimiento tiene una gran variación entre fases ( $\Gamma$ ,  $\delta_1$  y  $\delta$ ), sin embargo en el análisis químico realizado mediante el espectrofotómetro de emisión por plasma se obtiene una composición química muy similar a la que se encuentra en la fase delta ( $\delta$ ), debido a que en el análisis microestructural esta fase es la que se tiene mayor proporción en el recubrimiento de galvanneal.

En la realización de los experimentos de soldadura se pudo concluir que conforme se incrementa la magnitud de la corriente o el tiempo de aplicación de la misma se obtiene

un incremento en la penetración de los electrodos y, por ende, un incremento en el diámetro de la huella, además que incrementa el diámetro del botón de soldadura hasta un punto antes de que se presente expulsión de material. Con la expulsión, el diámetro del botón de soldadura disminuye.

La penetración de la soldadura a través del acero es mayor con el incremento de la corriente o el tiempo de aplicación de la misma, desde la interfase lámina-lámina hacia la superficie del botón de soldadura, este incremento en la penetración está limitado por la indentación de los electrodos, debido a que con altas corrientes o tiempos de soldadura, la penetración de los electrodos es tanta que aunque se alcance la penetración máxima ésta disminuye debido a la deformación causada por la indentación de los electrodos.

Los experimentos realizados con dos pulsos de corriente se hicieron con un intervalo entre ellos de dos ciclos, durante los cuales cesa la aplicación de corriente, produciendo un enfriamiento seguido por el segundo pulso, es por esto que aunque se aplica la misma cantidad de corriente o tiempo, en los experimentos realizados con un pulso se alcanzó más temperatura que con dos pulsos, pero con dos pulsos el tiempo total del ciclo de soldadura es mayor, permitiendo una mayor transferencia de calor desde el metal fundido hacia la lámina, produciendo una mayor evolución de los parámetros del botón de soldadura (indentación, diámetro de la huella, diámetro del botón y penetración de la soldadura) que en los experimentos realizados con un pulso.

Aunque en el estudio realizado no se analizó la porosidad en la soldadura, cabe mencionar que los experimentos realizados con dos pulsos de corriente presentaron menor cantidad y tamaño de poros que en los experimentos realizados con un pulso de corriente. Se presume que en éstos, durante el primer pulso de corriente se permite la expulsión de elementos que se encuentran en el recubrimiento como Zn, Sb y Pb, los cuales tienen un bajo punto de fusión además de una alta resistividad eléctrica. Por otra parte la resistividad eléctrica produce, en los experimentos realizados con un pulso de corriente, un incremento en la temperatura del recubrimiento llevándola hasta una

temperatura de evaporación quedando atrapados los elementos de bajo punto de fusión en la interfase lámina-lámina, produciendo así la porosidad de la soldadura.

El efecto del tiempo de sostenimiento (5 y 30 ciclos) en los experimentos se vio reflejado en las propiedades mecánicas del botón de soldadura, presentando una mayor dureza en las muestras soldadas con 30 ciclos de tiempo de sostenimiento que en las muestras realizadas con 5 ciclos de tiempo de sostenimiento. El efecto del incremento de la dureza en el botón de soldadura en un tiempo de sostenimiento mayor es debido a que los electrodos permanecen más tiempo sosteniendo el botón de soldadura después de la aplicación de la corriente, incrementando así la velocidad de enfriamiento del botón de soldadura.

Así mismo las muestras soldadas con un tiempo de sostenimiento de 30 ciclos presentaron una mayor resistencia a la tensión que las muestras soldadas con 5 ciclos de tiempo de sostenimiento.

El tiempo de sostenimiento también afectó la calidad superficial del botón de soldadura, mostrando una mayor oxidación en los experimentos realizados con 5 ciclos de tiempo de sostenimiento que en los experimentos con 30 ciclos de tiempo de sostenimiento. Esto es debido a que cuando se soldaba con un tiempo de 5 ciclos de sostenimiento, los electrodos liberaban el botón de soldadura tan rápido que se podía observar la huella de la indentación al rojo vivo, mientras que en los experimentos realizados con 30 ciclos el enfriamiento del botón de soldadura era mayor y no se presentó fenómeno anterior. Al momento de la liberación de los electrodos se permite el contacto directo del oxígeno del aire con la superficie del botón de soldadura (huella de indentación del electrodo) y siendo la temperatura un mecanismo activador de la oxidación, es de esperarse una mayor oxidación en las huellas expuestas al oxígeno con más temperatura que en las expuestas con menor temperatura.

Las mejores condiciones de soldadura en base al estándar de Chrysler fueron las siguientes;  $I=9.8$  kA.,  $Wt=18$  ciclos,  $Ht=30$  ciclos y  $P=2$  pulsos.

El rango de corriente aplicable a la soldadura de lámina de este calibre, que produce soldaduras aceptables es de 6 kA a 9.8 kA con  $P=1$  o de 6.5 kA a 10.5 kA con  $P=2$ .

## 6.2 RECOMENDACIONES.

Es importante asegurarse que las lecturas de tiempo y corriente registradas por la máquina soldadora sean las correctas. Esto puede realizarse mediante un amperímetro de gancho, mientras que la fuerza sobre los electrodos se realiza mediante un dinamómetro calibrado. Esto es muy importante ya que el tiempo, la corriente y la fuerza de los electrodos son las variables más importantes del proceso.

También se deberá asegurar que el diámetro de los electrodos sea el mismo (superior e inferior). Además que cuando estos sean montados asegurarse que hagan un buen contacto superficial uno con otro.

Si el contacto superficial entre electrodos no es completo se recomienda realizar alrededor de 50 puntos de soldadura para moldear las superficies. Si el contacto no mejora se recomienda maquinar los electrodos preferentemente en una máquina fresadora o remplazarlos.

Tanto las láminas como los electrodos, deberán de ser limpiadas con alguna solución que pueda disolver y remover cualquier tipo de grasa, aceite o impureza que pudiera representar un aislante eléctrico al momento de hacer contacto las superficies.

Será necesario hacer un estudio más detallado para analizar el efecto de los coeficientes de fricción en las interfases electrodo-lámina y lámina-lámina, con la finalidad de establecer una relación entre la rugosidad y el desgaste de los electrodos.

También se requeriría un desarrollo experimental más detallado para comprender la relación entre los elementos de aleación del recubrimiento y el fenómeno de expulsión de material en la soldadura.

Otro estudio futuro pudiera ser el efecto de las propiedades químicas y físicas del recubrimiento de termogalvanizado en la aplicación de corriente para uno o varios pulsos, esperando una disminución de la porosidad en las muestras soldadas.

El desgaste de los electrodos pudiera ser objeto de estudio analizando los efectos de la variación de los pulsos de corriente, así también el efecto de el tiempo de sostenimiento para laminas con diferentes características en el recubrimiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

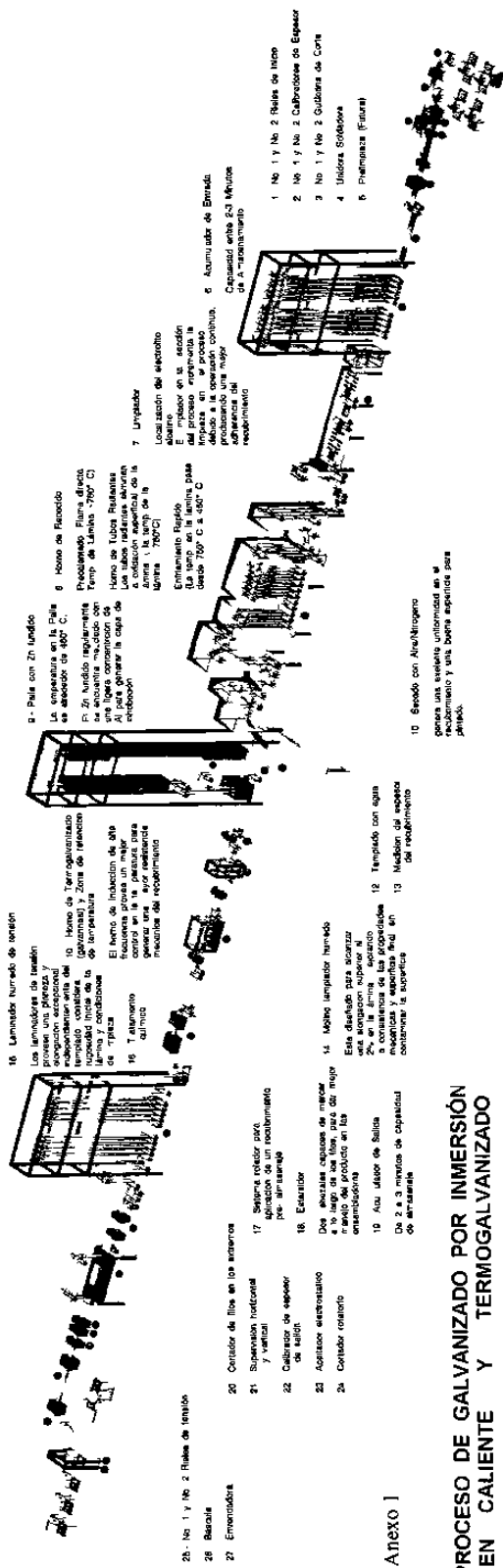
1. Thermomechanical Processing Of HSLA Steels, T. Imao, H. Sekine, T. Tanaka y Ch. Ouchi, 1988, Ed. Butterworths, pp. 154-166, EUA.
2. Physical Metallurgy Of HSLA steels, D. S. Clark y W. R. Varney, Laboratory of Enginireeng and Processing of Materials, 2<sup>da</sup> Edición, Junio 1992, EUA.
3. Marks Manual Del Ingeniero Mecánico, E. A. Avallone y T. Baumeister III, McGraw Hill, 9<sup>o</sup>Ed., 1995, pp. 6-127, México.
4. AMS Handbook Corrosion volume XIII, ASM International Hanbook Committee, The material information Society, 1987, Hot Dip Coatings p. 432, EUA.
5. Stress Corrosion Mechanism for Alumin Alloys, in Fundamental Aspects of Stress-Corrosion Cracking, D. O. Sprowls, R. H. Brown, R. W. Staehle, A. J. Forty, y D. VanRooyen, Ed. National Association of Corrosion Engineers, 1969, p 466, EUA.
6. AMS Handbook Corrosion volume XIII, ASM International Hanbook Committee, The material information Society, 1987, Specific Alloy Systems p 766, EUA.
7. Mas Allá de la Herrumbre, J. Ávila y J. Genescá, Ed. Fondo de Cultura Económica, 2<sup>da</sup> Edición 1999, México.
8. The Mechanism of Intergranular Corrosion of Ductile Zn-Al in Hot Water, L. P. Devillers y P. Niessen, Ed. Sci Vol. 16, 1976, pp. 243-252, EUA.
9. Effect of Annealing on the Resistance of Galvanized Steel to Atmospheric Corrosion, S. E. Hadden, Ed. Iron Steel Institute Vol. 171, 1952, pp. 121-127. EUA.
10. Effect of the Heat Treatment on the Protective Properties of Zn Coatings on Steel, H. S. Campbell, Ed. Iron Steel Institute Vol. 203, 1963, pp. 248-251, EUA.
11. Effects of Microstructure on the Galvanizing Characteristics of Steel, R. W. Sandelin, American Hot Dip Galvanizers Association, Artículo presentado en el congreso anual, Septiembre 1964, EUA.
12. Zinc-Base Steel Coating Systems: Metallurgy and Performace, G. Krauss y D. K. Matlock, Ed. TMS, 1990, pp. 58-59 EUA.
13. The Structure Of The Inhibition Layer After Hot Dip Galvanizing Of Ti IF-DDO, Tinb IF-DDQ And Ti Nb+P IF HSS Substrates, Hertveld, J. Rangarajan, J.

- Delewijns, B. Blanpain, C. Xhoffer y B. C. De Cooman, Zinc-Based Steel Coating Systems: Production and Performance, Ed. TMS, 1998, pp. 13-25, EUA.
14. Lamina de Acero Galvanizado por Inmersión en Caliente por Proceso Continuo, Fundamentos de manufactura moderna, M. P. Groover, Ed. Trillas, 1982, México.
  15. Allowing Reaction Control in Production of Galvannealed Steel, T. Kanamaru, M. Nakayama y T. Fujiwara, The Society of Materials Science, 1996, pp. 69-87, Japón.
  16. Galvanneal Microestructure and Anti-powdering Process Windows, A. Van der Heiden, A. J. C. Burghardt, W. Van Koesveld, E.B. Van Peristein y M.G. J. Spanjers, The Physical Metallurgy of Zinc Coated Steel, Ed. TMS, 1994, EUA.
  17. Effects of Processing on Coating Characteristics and Performance of Galvaneal, H. Ortiz, V. Ranganjan, 39<sup>TH</sup> Mechanical Working and Steel Processing Conference Proceedings, Volume XXXV, ISS, 1997, pp 83-89, EUA.
  18. Influence of Phase Composition on Formability on Galvanneal Steel Sheet, Ch. Kato, H. Koumura, Yasuji Uesugi y Kazuo Mochizuki, The Physical Metallurgy of Zinc Coated Steel, Ed. TMS, 1994, EUA.
  19. Characterization and Development of Zn-Fe Alloyed Coating Layer, S. Chang, Zinc-Based Steel Coating Systems: Metallurgy and Performance, Eds. G. Krauss y D. K. Matlock, 1990, pp. 319-330, EUA.
  20. Thermodynamics and Kinetics of Alloy Formation in Galvanized Coatings, N. Y. Tang, Zinc-Based Steel Coating Systems: Production and Performance, Ed. TMS, 1998, EUA.
  21. Alloying Reactions in Hot Dip Galvanizing and Galvannealing Process, J. Inagaki, M. Sakurai y T. Watanave, Fukuyama Materials Research Laboratories, Materials and Processing Research Center, Nkk Corporation, Konan- cho, Abril 24 1995, Hiroshima-Ken, Japón.
  22. Alloying Reactions in Hot Dip Galvanizing, T. Nakamori, Y. Adachi y T. Toki, Ed CAMP-ISIJ, 1992, Japón.
  23. Alloying Reactions in Hot Dip Galvanizing, T. Nishimoto, J. Inagaki y K. Nakaoka, Transformation Iron Steel Institute, 1986, Japón.
  24. Alloying Reactions in Galvannealing Process, M. Onishi, Y. Wakamatsu y T. Sasaki, Japan Institute of Materials, 1973, Japón.
  25. Alloying Reactions in Hot Dip Galvanizing and Galvannealing Process, M. Urednicek y J. S. Kirkkaidy, Ed. Z. Metallkd, Vol. 64, 1973, p. 899, Alemania.

26. Kinetics of Alloy Formation in Galvanized Coatings, H. Yamaguchi y Y. Hisamatsu, Transformation Iron Steel Institute, Vol. 19, 1 979, p. 649, Japón.
27. Metall. Transformation, R. P. Ghuman y J. I. Goldstein, 1971, p. 2903, EUA.
28. Thermodynamics of Alloy Formation in Galvanized Coatings, H. Nitto, T. Yamasaki, N. Morita, K. Yabe y S. Bando, Ed. Tetsu to Hagane, Vol. 70, 1984, p. 1719, Japón.
29. Zinc and Zinc Alloy Coated Steel Sheet (GALVATECH'89), Y. Hisamatsu, The Iron and Steel Institute of Japan, 1989, Tokio Japón.
30. Thermodynamics of Alloy Formation in Galvanized Coatings, M. Saito, Y. Uchida, T. Kittaka, Y. Hirose y Y. Hisamatsu, Ed. Tetsu-to-hagane, Vol. 77, 1991, p. 947, Japón.
31. Metal Handbook, M. A. Ghoniem y K. Lohberg, Vol. 26, 1972, p. 1026, EUA.
32. Coating Adhesion and Interface Structure of Galvannealed Steel, T. Nakamori, Y. Adachi, M. Arai y A. Shibuya, Iron and Steel Research Laboratories, Sumitomo Metal Industries, Junio 19 1995, Hyogo-Ken, Japón.
33. An Experimental Study Of Resistance Spot Welding In 1 Mm Thick Sheet Of Low Carbon Steel, T. Fugetechnik y J. Schweisstechnik, Technical University Department Of Mechanical Engineering, Octubre 10 1995, Berlín, Alemania.
34. Resistance Spot Welding Electrode Wear On Galvannealed Steels, F. Lu y C. L. White, Department Of Metallurgical And Materials Engineering, Michigan Technological University, Septiembre 1997, EUA.
35. Resistance Welding Manual, Resistance Welder Manufacturers' Association, 4<sup>ta</sup> Edición, pp. 1-2, 1999, Filadelfia, EUA.
36. The Effect Of Electrical Resistance On Nugget Formation During Spot Welding, Editado por J. G. Kaiser, G. J. Dunn y T. W. Eagar, Supplement To The Welding Journal, Junio 1982, EUA.
37. The Effect Of The Sheet Surface On Spot Weldability, D. W. Dickson y T. V. Natale, Republic Steel Corporation-Reserch Center Independence, 1998, Ohio EUA.
38. The Metallurgy of Zinc-Coated Steel, A. R. Marder, Department of Materials Science and Engineering, Lehigh University, 1994, EUA.
39. Sendzimer T., Patente No. 2, 110.893, 1938, EUA.



40. The Metallurgy of Zinc-Coated Steel, A.R. Marder, Progress in Material Science, Department of Materials Science and Engineering, Lehigh University Bethlehem, 1989, EUA.
41. DSG Line Operating Technologies, Internet, DSG.com, 2002, EUA.
42. Weldability And Electrode Wear During The RSW Of Various HDG Steels, M. Kimchi, M. D. Gugel, L. White y K. M. Picckett, Report to the Auto Steel Partnership, Editado por Electrode Wear Subcommittee, Marzo 1994, Southfield Michigan, EUA.
43. A Comparison of the Resistance Spot Weldability of Bare, Hot Dipped, Galvannealed and Electrogalvanized DQSK Sheet Steels, P. Howe y S.C. Kelley, SAE Technical Paper Series 880280 SAE Warrendale PA, p.15, 1988, EUA.
44. Thermodynamics and Kinetics of Alloy Formation in Galvanized Coatings, N. Y. Tang, Zinc Based Steel Coating Systems Production and Performance, Ed. TMS, 1998, EUA.
45. Failures of Weldments, ASM Handbook, Volumen X, pp. 411-449, 1993, EUA.
46. Residual Stress and Distortion, Welding Handbook, Vol. 1, Edición 8, Capítulo 5, 1991, EUA.
47. Chrysler Corporation Process Standard No. PS-9471, EUA.



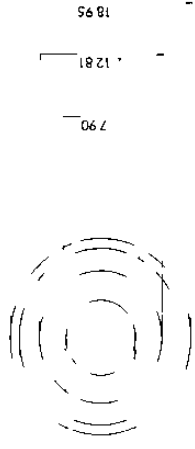
Apexo I

PROCESO DE GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE Y TERMOGALVANIZADO

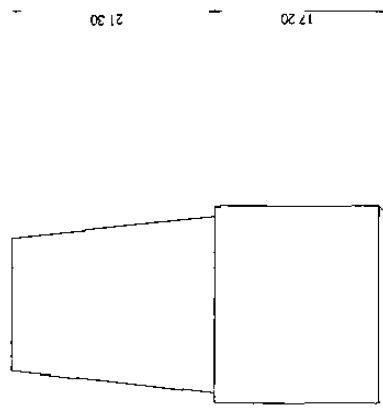
**ANEXO 2**  
**ELECTRODO**  
 ACOTACIONES EN mm



VISTA ISOMETRICA



VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL

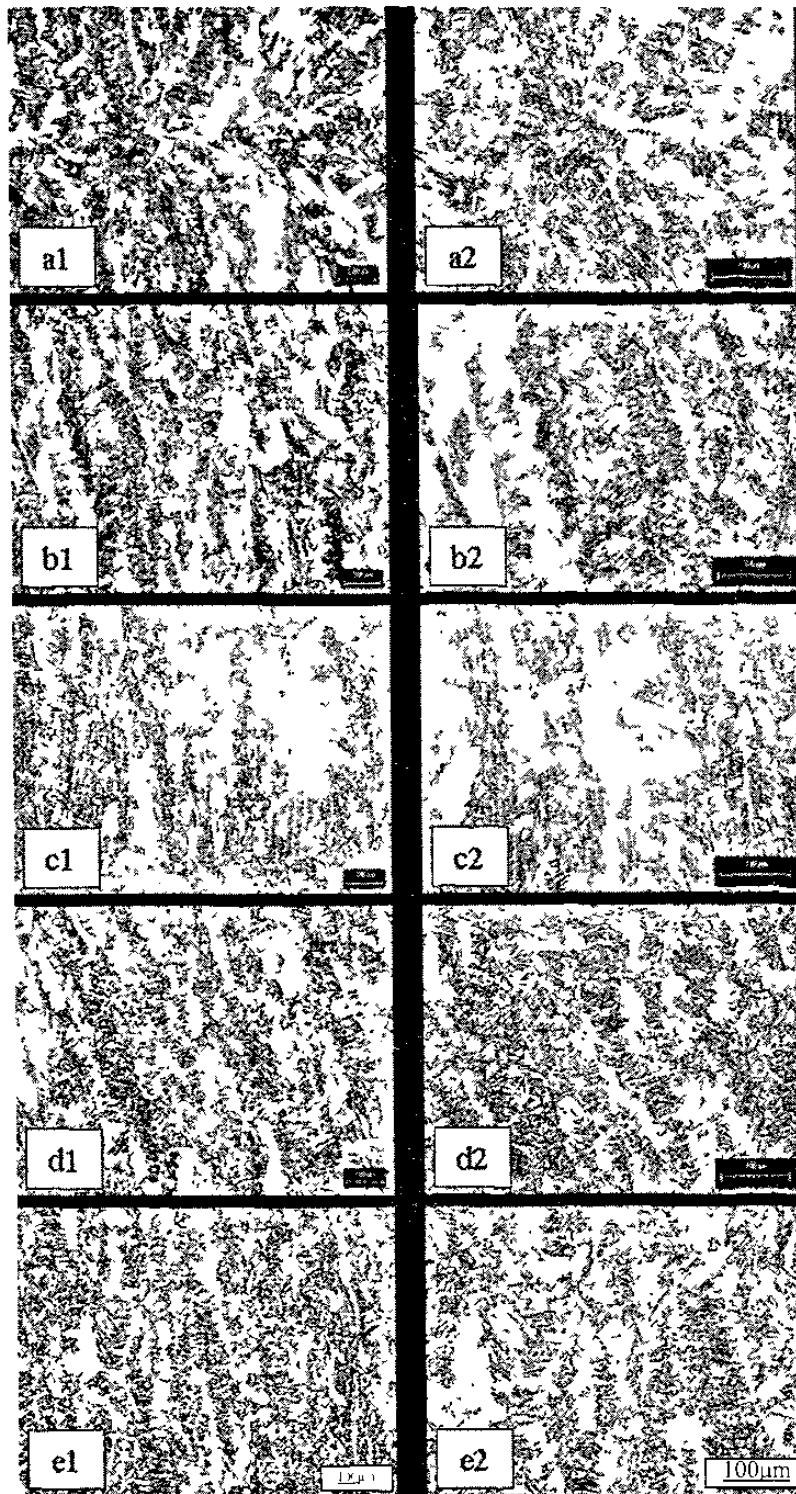
18.95  
 7.90  
 12.81

5.90  
 17.20  
 21.30  
 44.40  
 25.40  
 23.70

ANEXO 3

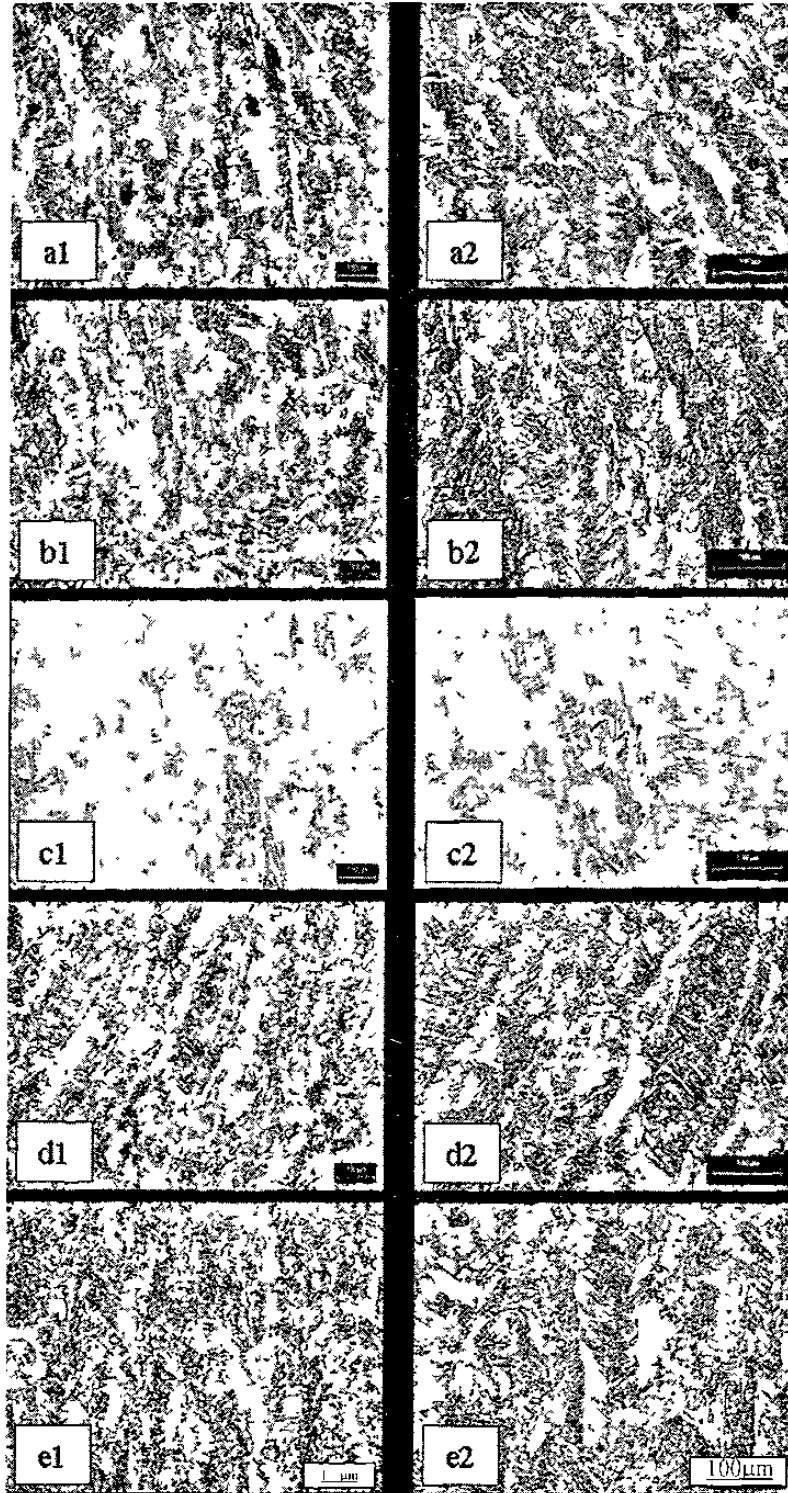
MICROESTRUCTURAS DEL  
BOTÓN DE SOLDADURA

## Anexo 3



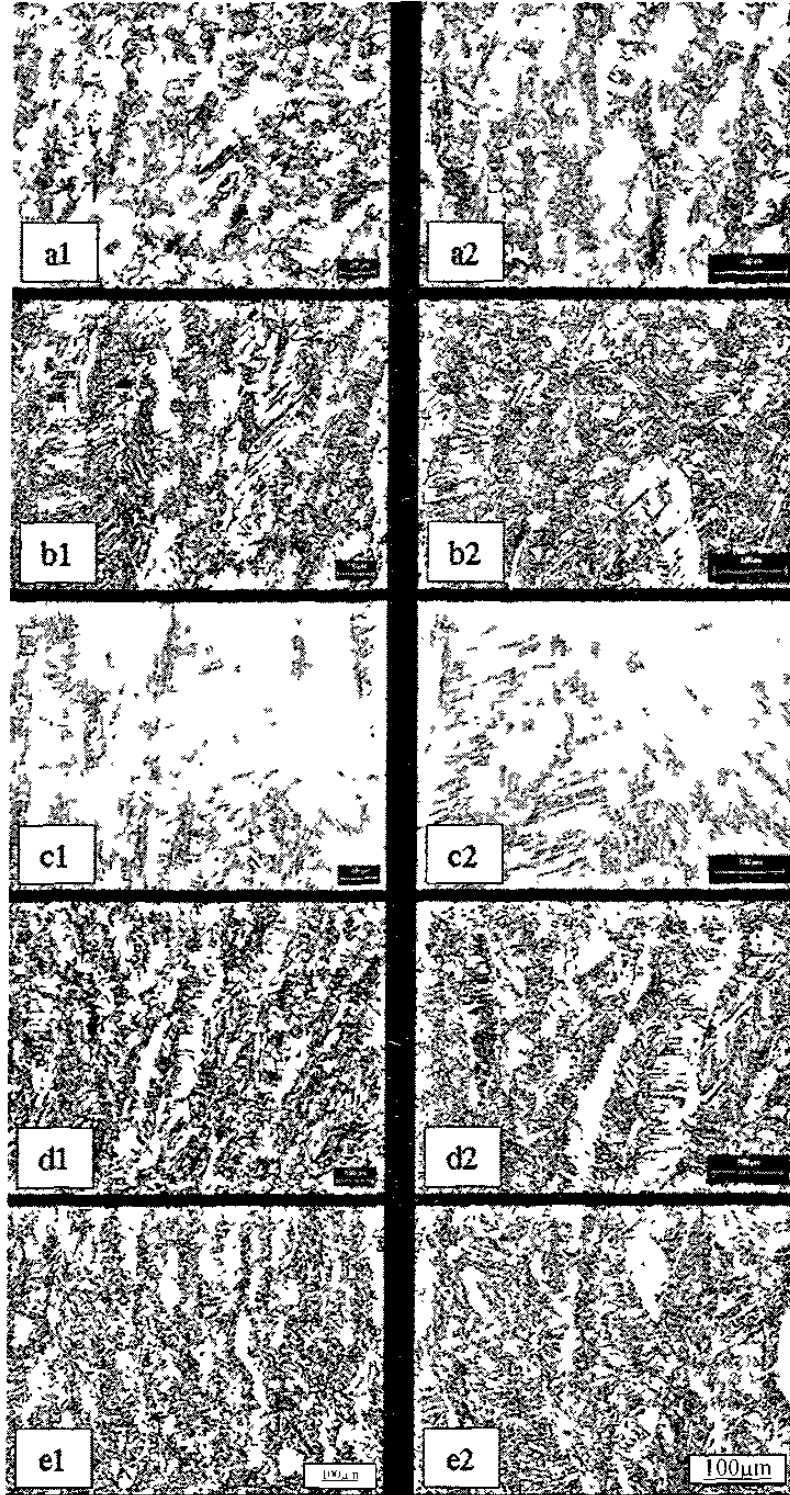
**Figura A.-** Imágenes de metalografías de experimentos realizados con un pulso de corriente, dieciséis ciclos de aplicación de corriente y cinco ciclos de tiempo de sostenimiento (a 8kA, b 9kA, c 9.5kA, d 10kA, e 11kA) (1 a 50X y 2 a 100X).

Continuación  
de Anexo 3



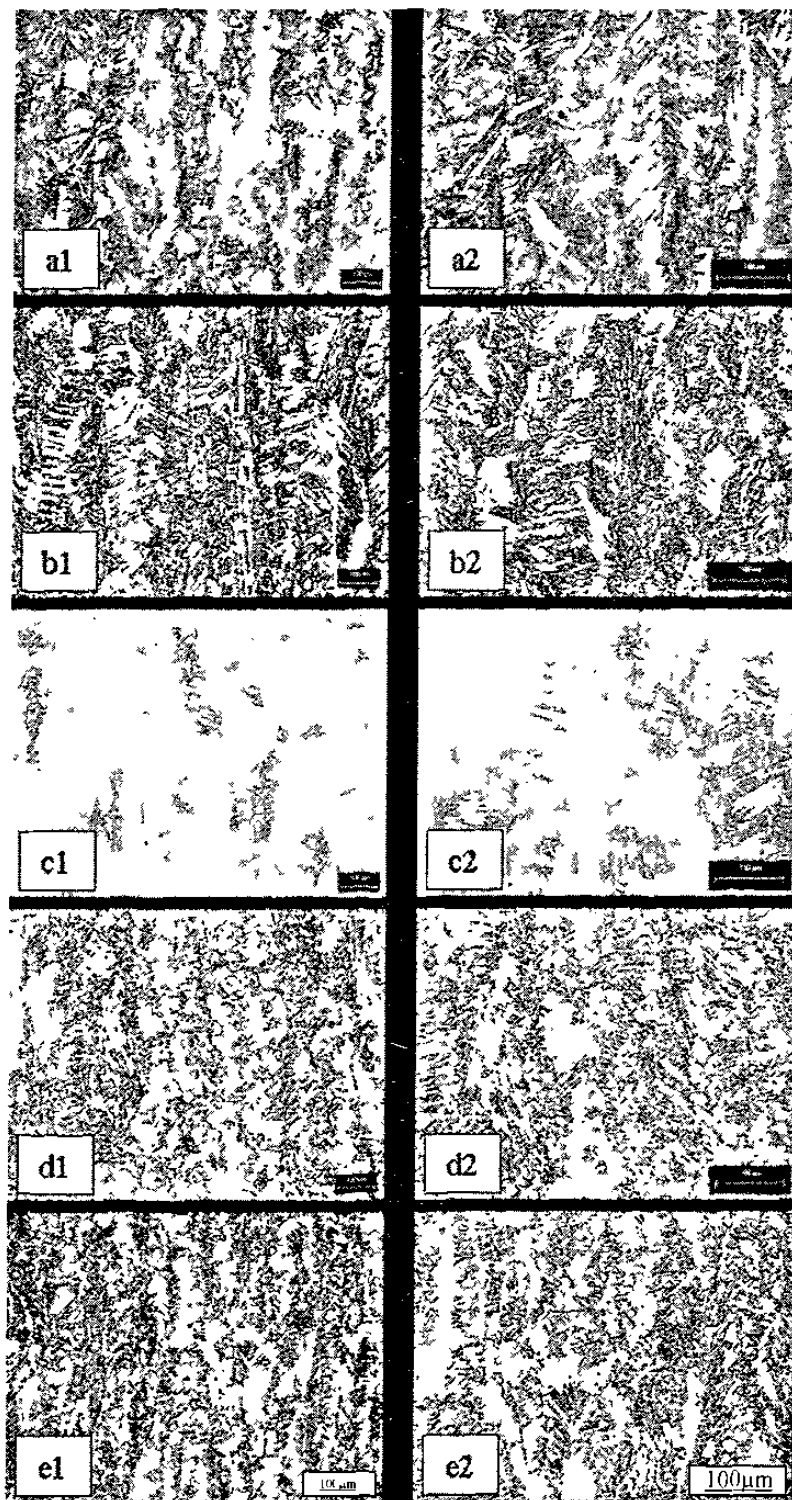
**Figura B.-** Imágenes de metalografías de experimentos realizados con un pulso de corriente, dieciocho ciclos de aplicación de corriente y cinco ciclos de tiempo de sostenimiento (a 8kA, b 9kA, c 9.5kA, d 10kA, e 11kA) (1 a 50X y 2 a 100X).

Continuación  
de Anexo 3



**Figura C.-** Imágenes de metalografías de experimentos realizados con un pulso de corriente, dieciséis ciclos de aplicación de corriente y treinta ciclos de tiempo de sostenimiento (a 8kA, b 9kA, c 9.5kA, d 10kA, e 11kA) (1 a 50X y 2 a 100X).

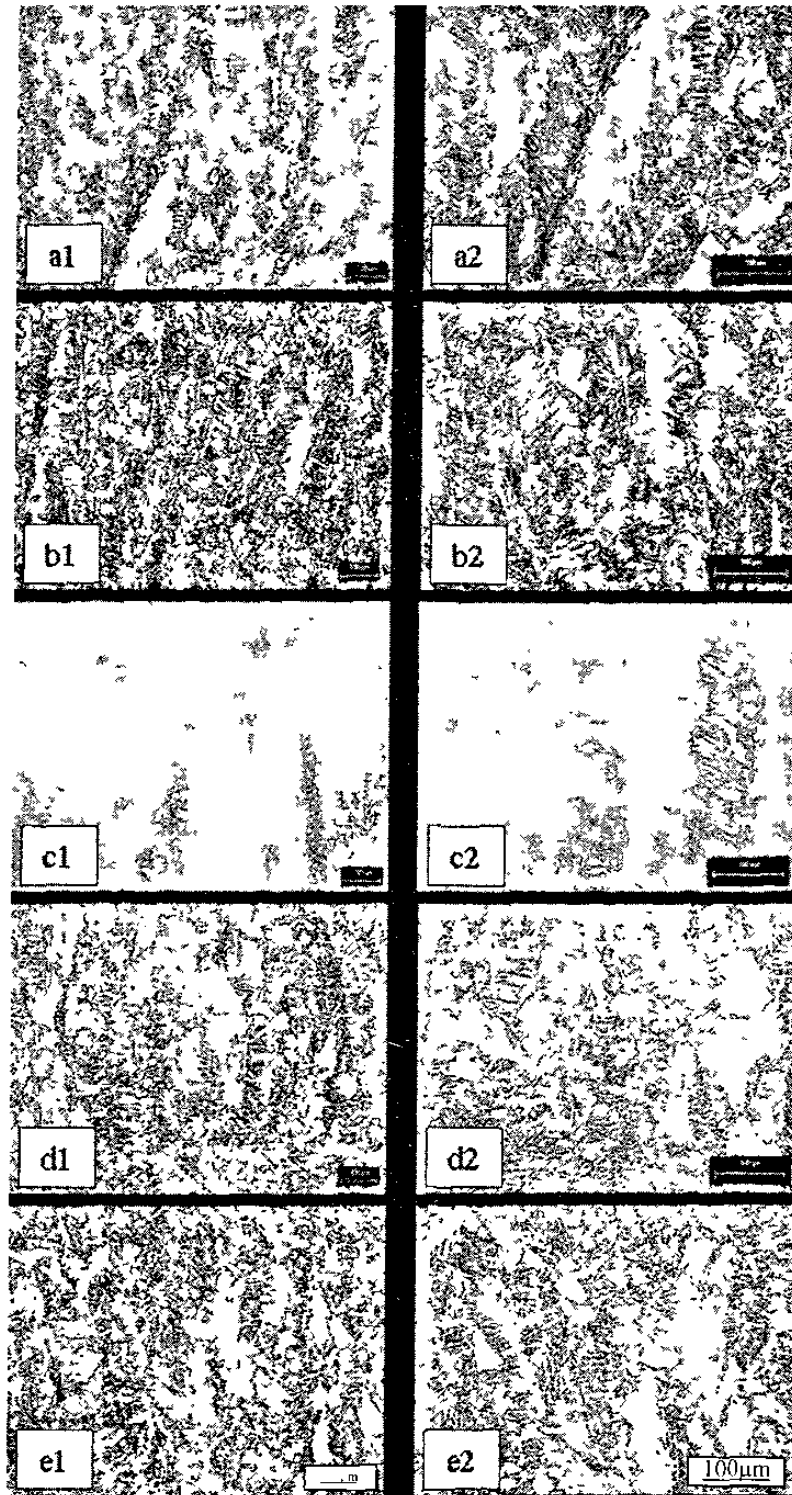
Continuación  
de Anexo 3



**Figura D.-** Imágenes de metalografías de experimentos realizados con un pulso de corriente, dieciocho ciclos de aplicación de corriente y treinta ciclos de tiempo de sostenimiento (a 8kA, b 9kA, c 9.5kA, d 10kA, e 11kA) (1 a 50X y 2 a 100X).

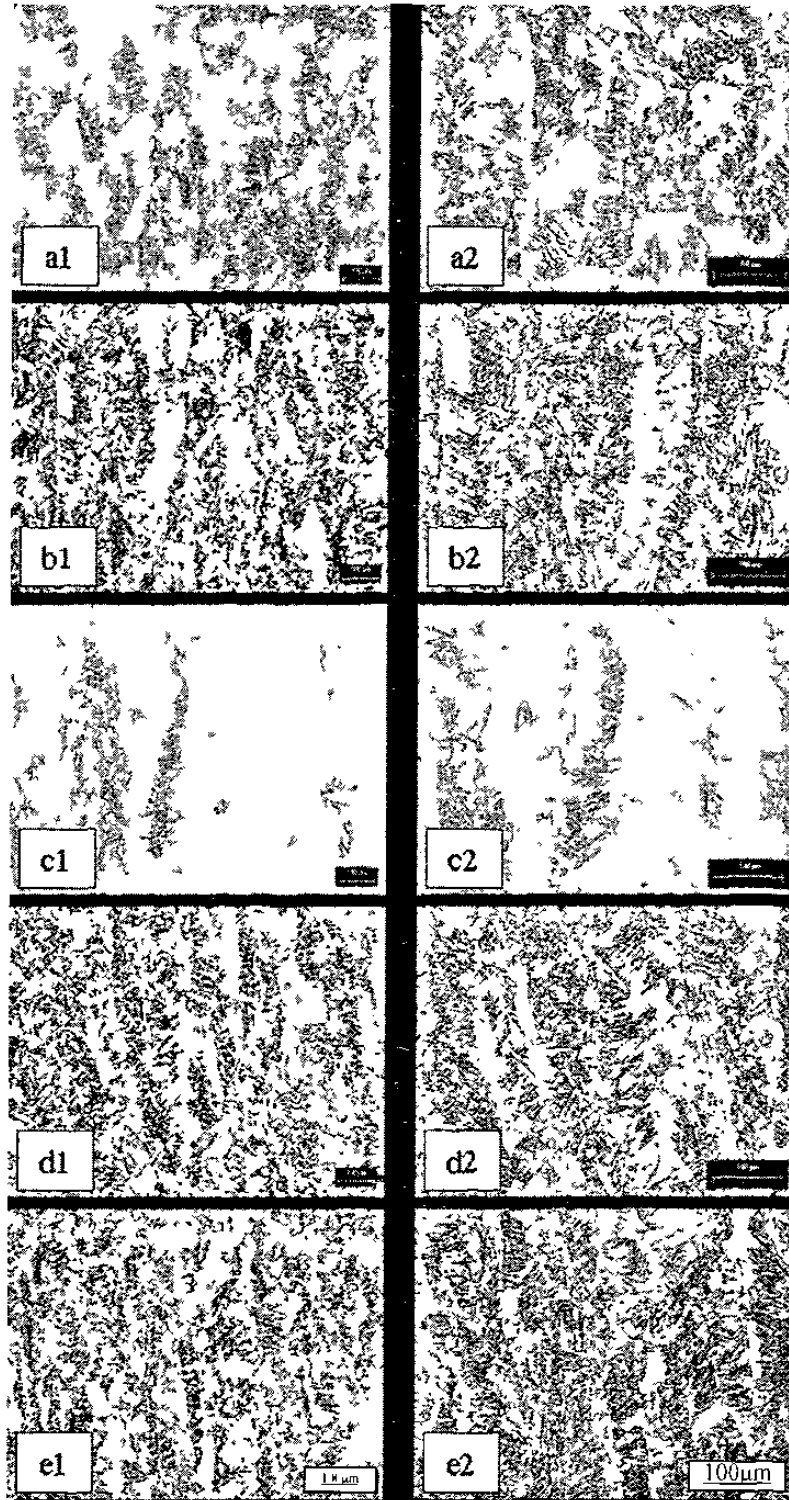


Continuación  
de Anexo 3



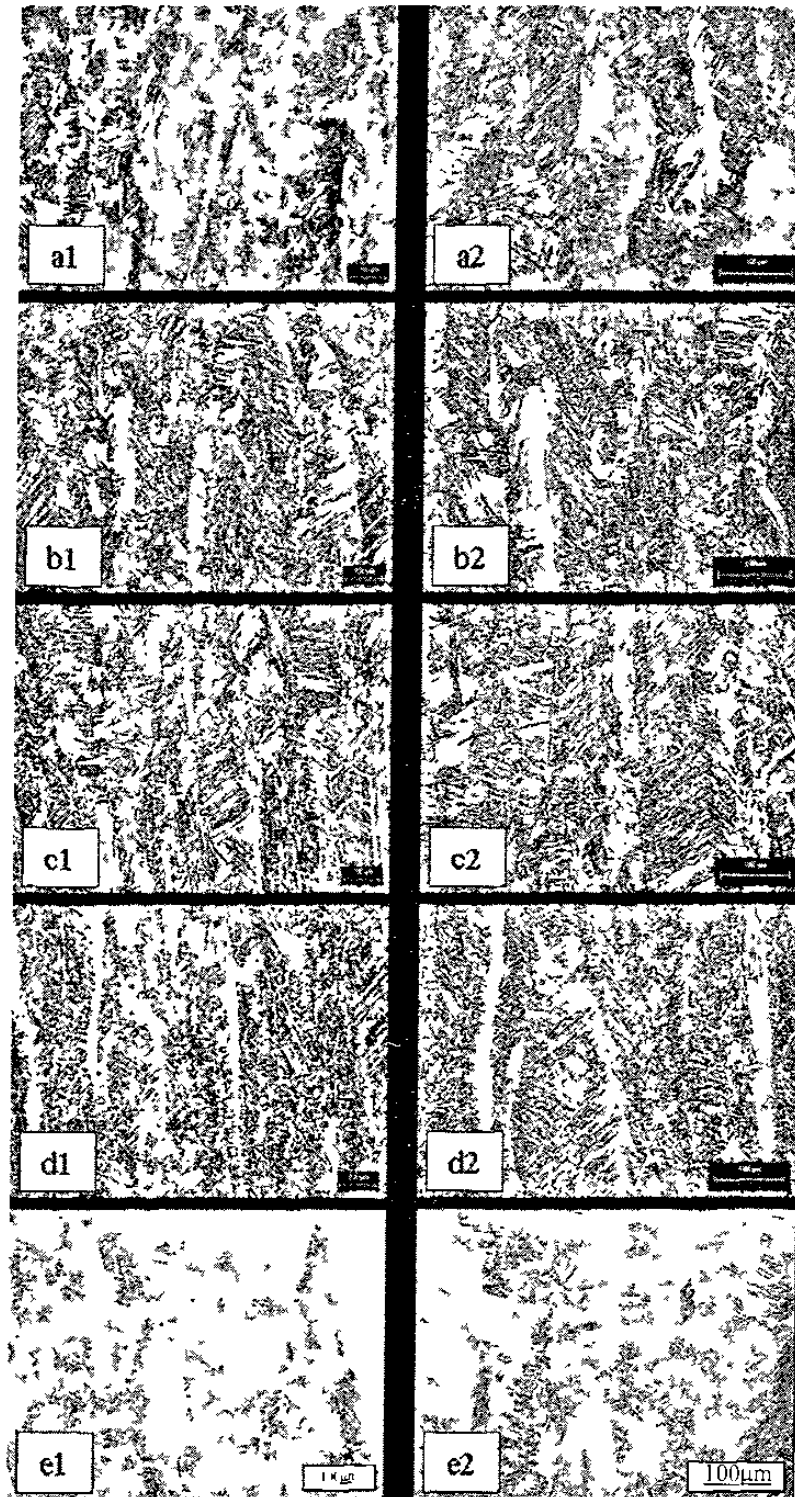
**Figura E.-** Imágenes de metalografías de experimentos realizados con dos pulsos de corriente, dieciséis ciclos de aplicación de corriente y cinco ciclos de tiempo de sostenimiento (a 8kA, b 9kA, c 9.5kA, d 10kA, e 11kA) (1 a 50X y 2 a 100X).

Continuación  
de Anexo 3



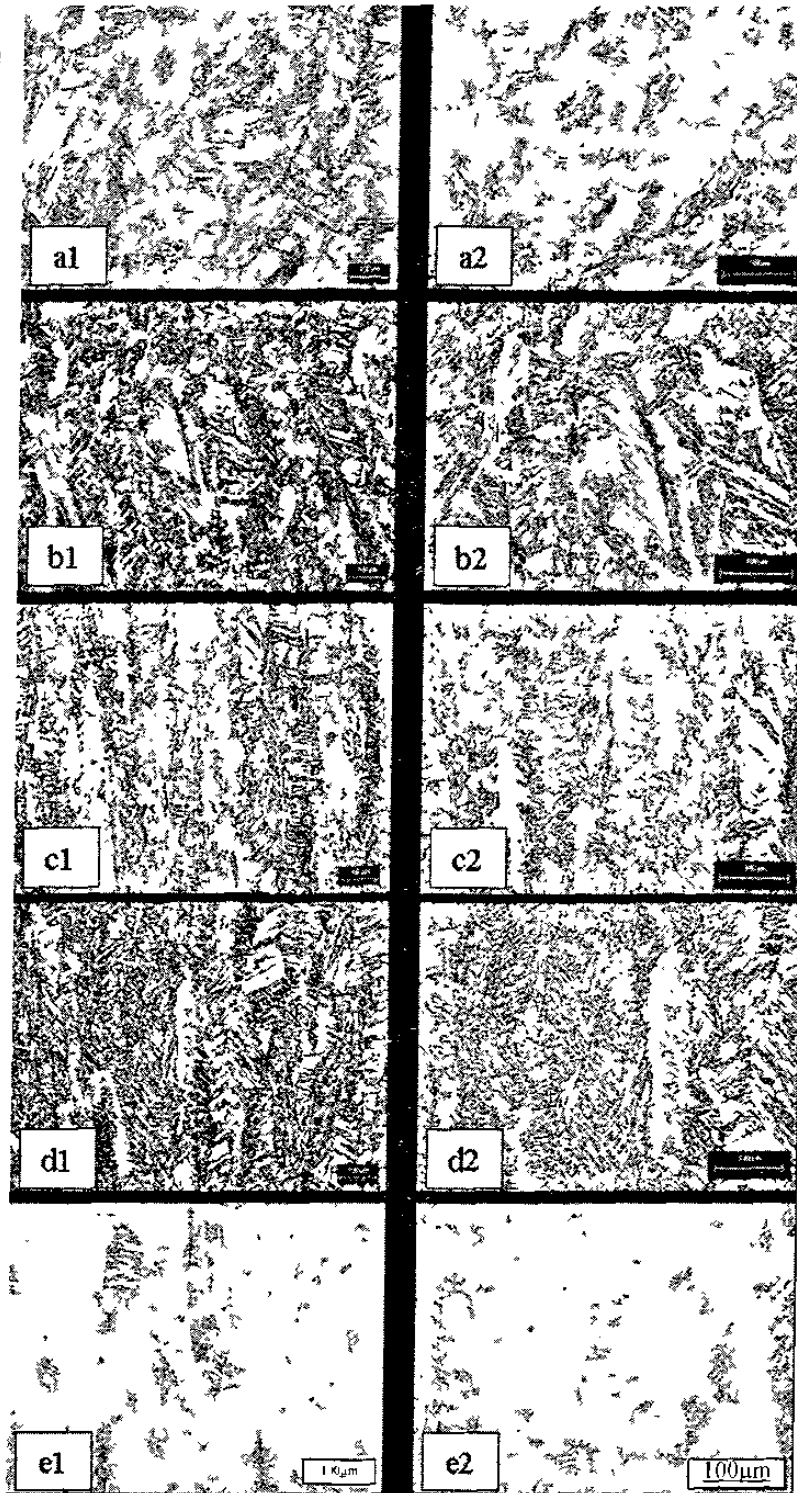
**Figura F.-** Imágenes de metalografías de experimentos realizados con dos pulsos de corriente, dieciocho ciclos de aplicación de corriente y cinco ciclos de tiempo de sostenimiento (a 8kA, b 9kA, c 9.5kA, d 10kA, e 11kA) (1 a 50X y 2 a 100X).

Continuación  
de Anexo 3



**Figura G.-** Imágenes de metalografías de experimentos realizados con dos pulsos de corriente, dieciséis ciclos de aplicación de corriente y treinta ciclos de tiempo de sostenimiento (a 8kA, b 9kA, c 9.5kA, d 10kA, e 11kA) (1 a 50X y 2 a 100X).

Continuación  
de Anexo 3

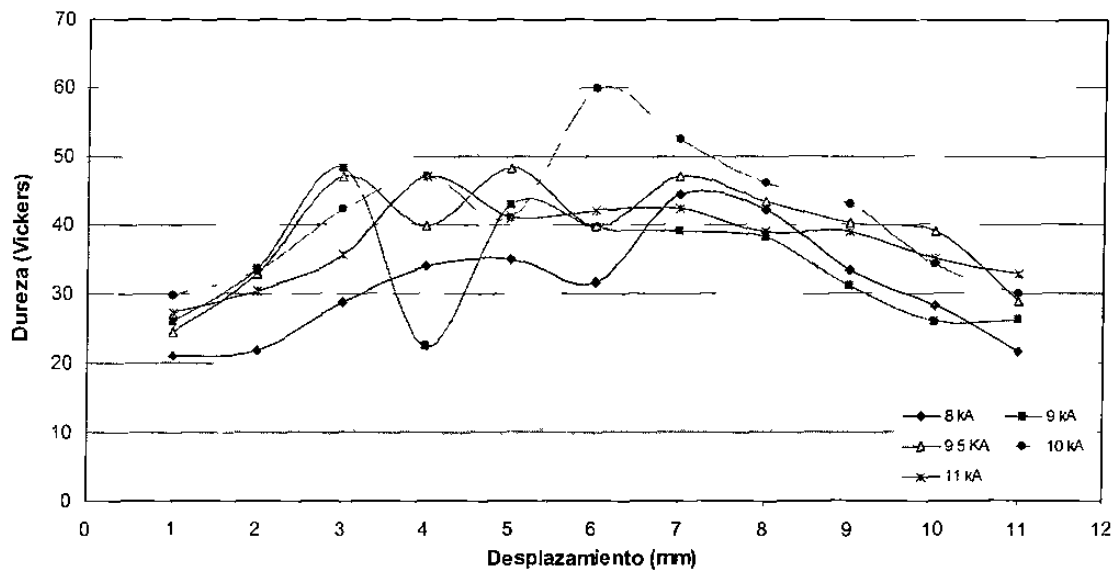


**Figura H.-** Imágenes de metalografías de experimentos realizados con dos pulsos de corriente, dieciocho ciclos de aplicación de corriente y treinta ciclos de tiempo de sostenimiento (a 8kA, b 9kA, c 9.5kA, d 10kA, e 11kA) (1 a 50X y 2 a 100X).

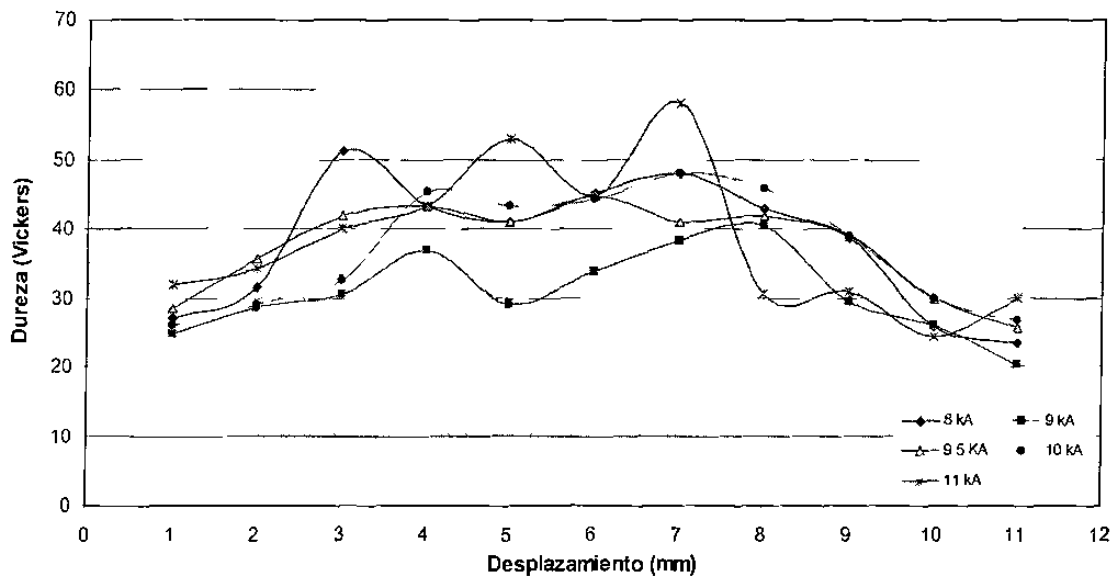
## ANEXO 4

### MICRODUREZA A TRAVEZ DEL BOTÓN DE SOLDADURA

## Anexo 4

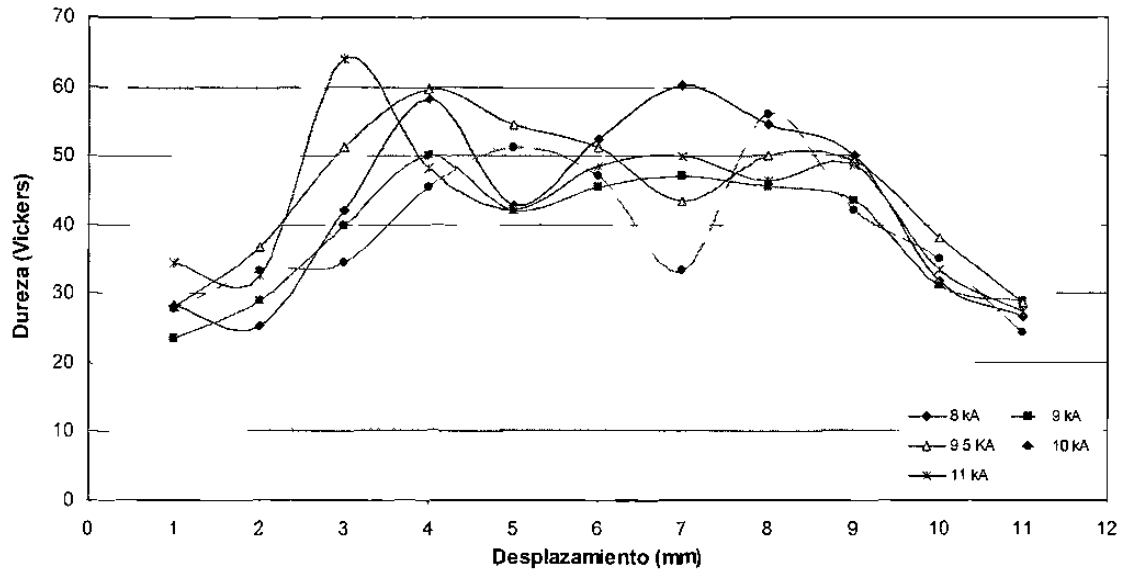


**Figura I.-** Gráfica de microdureza contra desplazamiento para experimentos realizados con un pulso de corriente, dieciséis ciclos de aplicación de corriente y cinco ciclos de tiempo de sostenimiento.

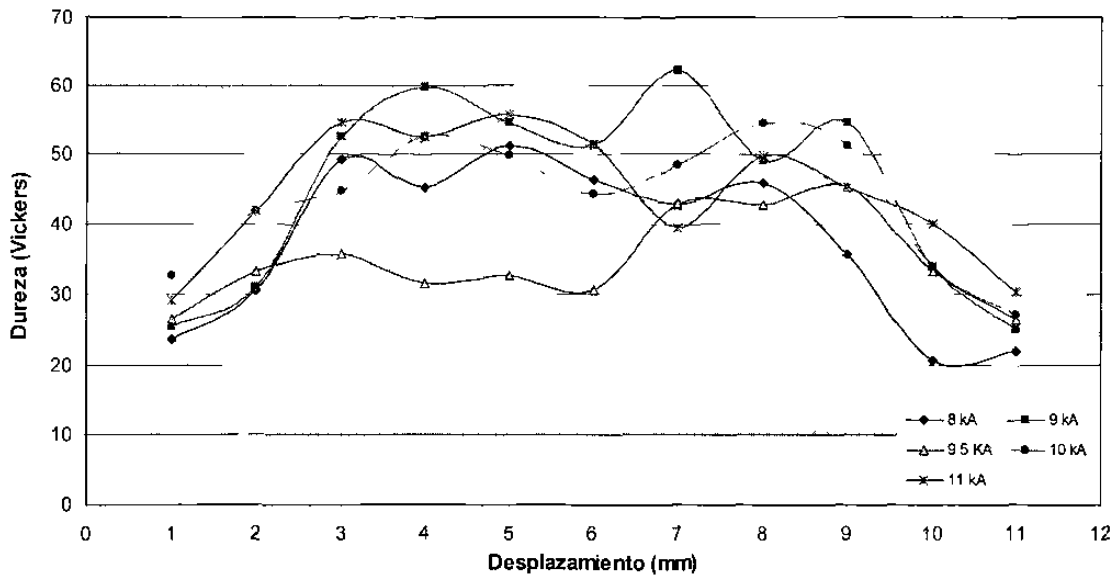


**Figura J.-** Gráfica de microdureza contra desplazamiento para experimentos realizados con un pulso de corriente, dieciocho ciclos de aplicación de corriente y cinco ciclos de tiempo de sostenimiento.

## Continuación de Anexo 4

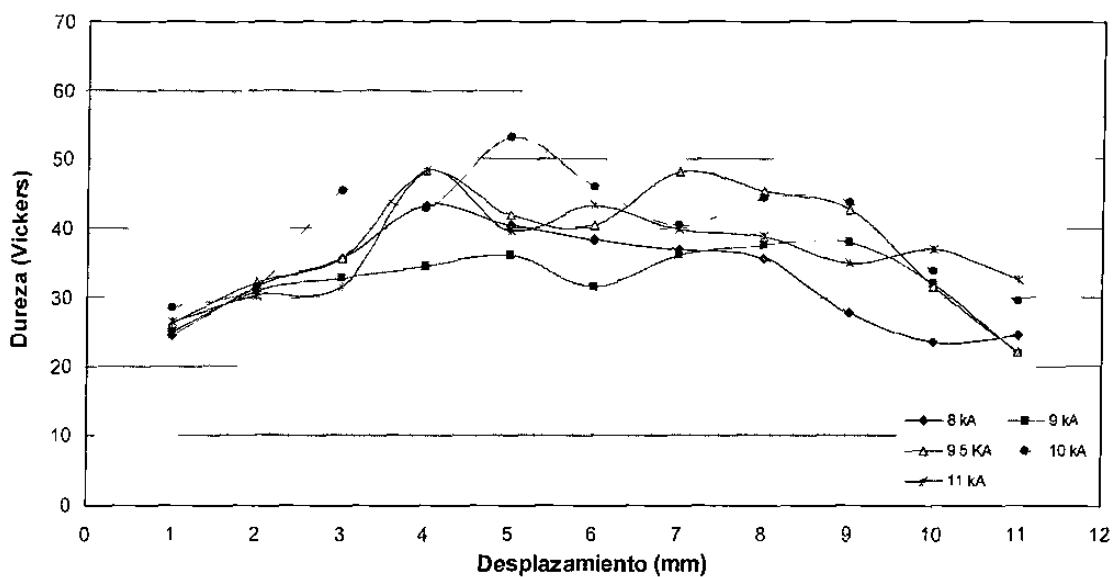


**Figura K.-** Gráfica de microdureza contra desplazamiento para experimentos realizados con un pulso de corriente, dieciséis ciclos de aplicación de corriente y treinta ciclos de tiempo de sostenimiento.

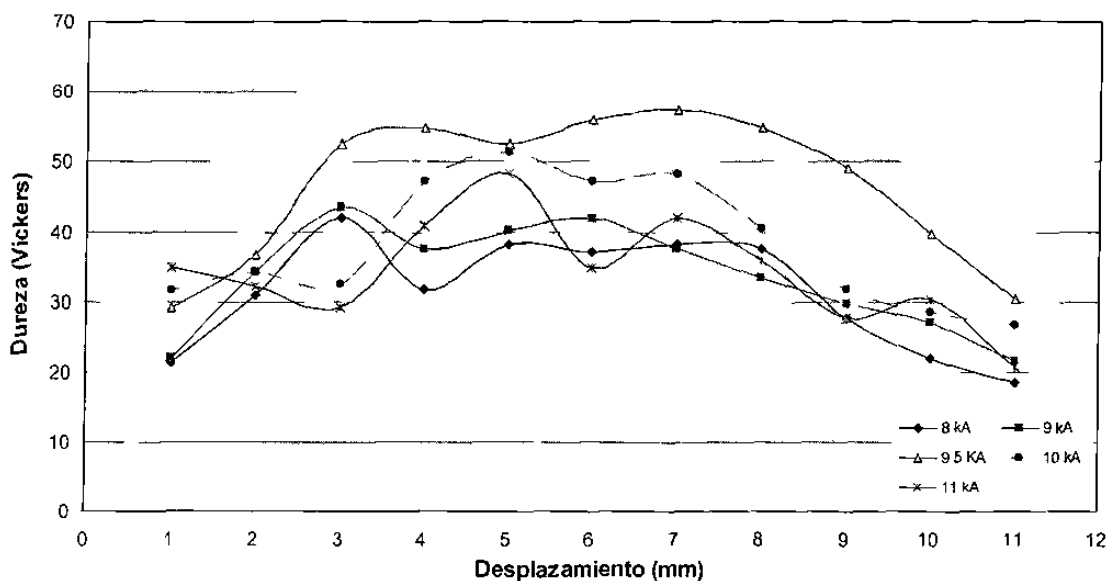


**Figura L.-** Gráfica de microdureza contra desplazamiento para experimentos realizados con un pulso de corriente, dieciocho ciclos de aplicación de corriente y treinta ciclos de tiempo de sostenimiento.

## Continuación de Anexo 4



**Figura M.-** Gráfica de microdureza contra desplazamiento para experimentos realizados con dos pulsos de corriente, dieciséis ciclos de aplicación de corriente y cinco ciclos de tiempo de sostenimiento.



**Figura N.-** Gráfica de microdureza contra desplazamiento para experimentos realizados con dos pulsos de corriente, dieciocho ciclos de aplicación de corriente y cinco ciclos de tiempo de sostenimiento.



### Continuación de Anexo 4

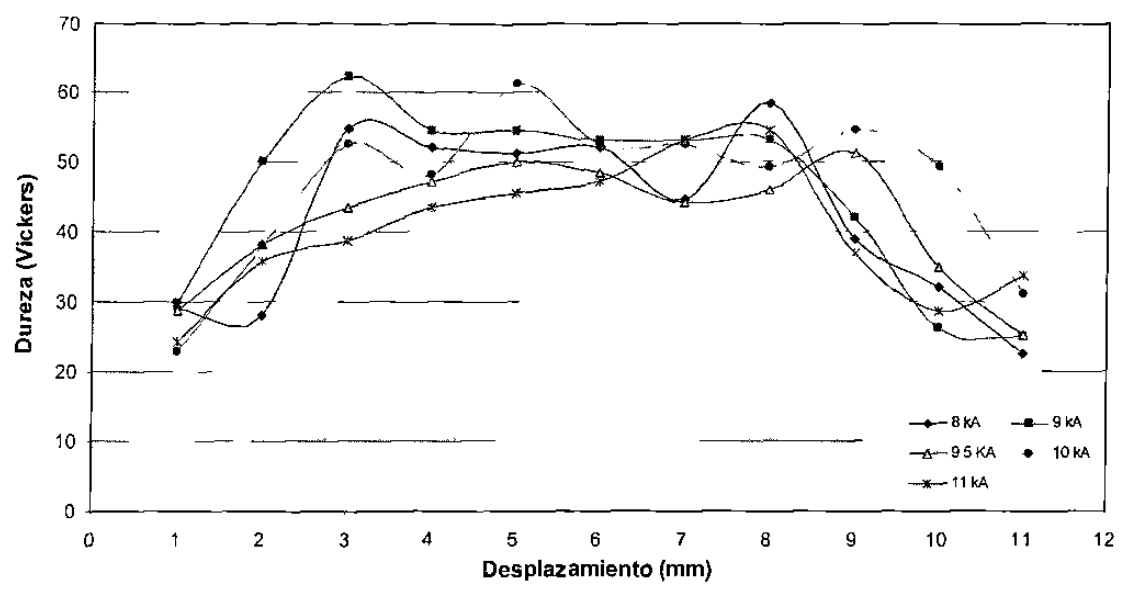


Figura N.- Gráfica de microdureza contra desplazamiento para experimentos realizados con dos pulsos de corriente, dieciséis ciclos de aplicación de corriente y treinta ciclos de tiempo de sostenimiento.

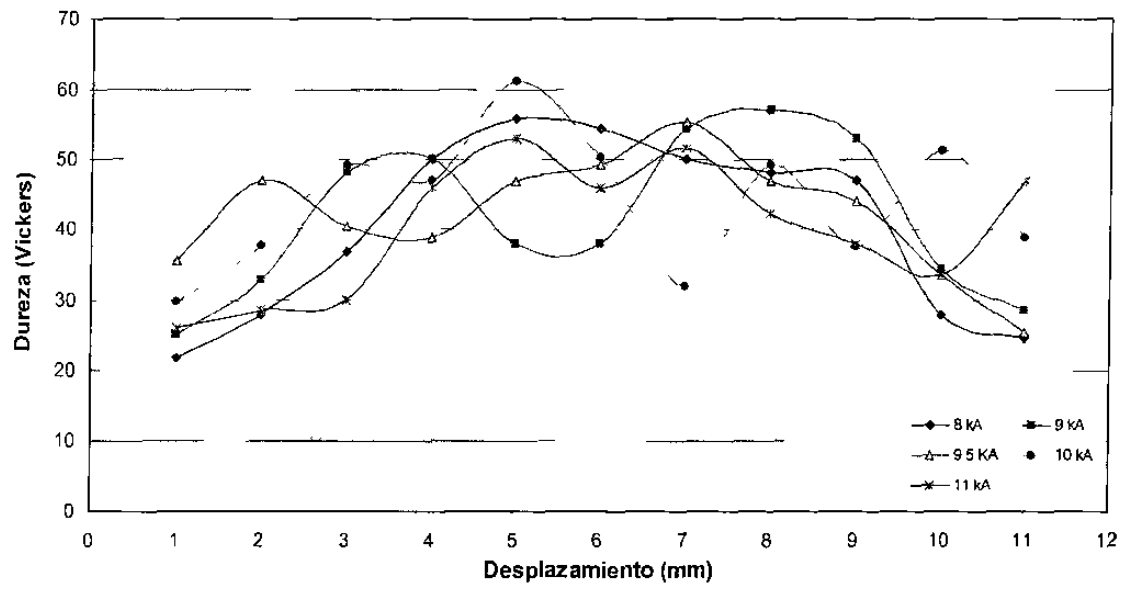


Figura O.- Gráfica de microdureza contra desplazamiento para experimentos realizados con dos pulsos de corriente, dieciocho ciclos de aplicación de corriente y treinta ciclos de tiempo de sostenimiento.

## ANEXO 5

### DATOS DE LAS MEDICIONES DEL BOTÓN DE SOLDADURA

## Anexo 5

Un pulso			Dos pulsos		
t (ciclos)	I <sub>min</sub> (kA)	I <sub>max</sub> (kA)	t (ciclos)	I <sub>min</sub> (kA)	I <sub>max</sub> (kA)
4	8.3	11.8	4	8.8	14.7
10	6.2	10.2	10	7	11.6
16	5.7	9.7	16	6.4	10
20	5.3	9.4	20	6.1	9.6

I (kA)	Carga (N)							
	Un pulso de corriente				Dos pulsos de corriente			
	Ht 5		Ht 30		Ht 5		Ht 30	
	Wt 16	Wt 18	Wt 16	Wt 18	Wt 16	Wt 18	Wt 16	Wt 18
8	9643.35	11711.5	13400.75	16224.85	8918.45	11441.35	10256.15	11015
9	17414.55	18689.75	19945.3	21392.75	14565.6	17854.7	14452	19705.65
9.5	21541.95	21970.55	21877.2	22134.3	21097.05	21751.3	21895.3	21914.7
10	22004.95	21951.25	22108.25	22302.2	21608.9	21630.2	21950.45	22627.8
11	21885	22132.4	22265.3	22416.3	22407.5	22266	22506	22356.65

I (kA)	Diametro de la huella (mm)							
	Un pulso de corriente				Dos pulsos de corriente			
	Ht 5		Ht 30		Ht 5		Ht 30	
	Wt 16	Wt 18	Wt 16	Wt 18	Wt 16	Wt 18	Wt 16	Wt 18
8	7.447	7.482	7.577	7.770	7.232	7.508	7.582	7.510
9	8.003	8.063	8.110	8.290	7.955	8.032	7.980	8.080
9.5	8.202	8.260	8.497	8.420	8.154	8.368	8.144	8.258
10	8.400	8.457	8.780	8.550	8.353	8.705	8.308	8.435
11	8.803	8.743	8.883	8.862	9.060	9.357	9.268	9.502

I (kA)	Diametro del boton de soldadura (micrometros)							
	Un pulso de corriente				Dos pulsos de corriente			
	Ht 5		Ht 30		Ht 5		Ht 30	
	Wt 16	Wt 18	Wt 16	Wt 18	Wt 16	Wt 18	Wt 16	Wt 18
8	7700	8085.82	7571.91	7714.49	7657.14	7886.54	7771.42	7514.5
9	8228.62	8401.21	8001.27	8143.3	8116.09	7971.88	8115.09	8428.57
9.5	9152.88	9403.85	8743.49	8620.04	8714.92	8773.1	8742.9	8850
10	9542	9115.4	9429.08	9170.95	8571.47	8773.1	8601.16	9000
11	9087	9033.11	9000	8600	9186	9428	9287	9859

I (kA)	Penetracion del boton de soldadura (micrometros)							
	Un pulso de corriente				Dos pulsos de corriente			
	Ht 5		Ht 30		Ht 5		Ht 30	
	Wt 16	Wt 18	Wt 16	Wt 18	Wt 16	Wt 18	Wt 16	Wt 18
8	2643	2800	2714	2571	2686	2786	2429	2657
9	2628	2658	2800	2772	2457	2571	2514	2542
9.5	2859	2743	2771	2914	2857	2859	2942	2943
10	2771	1971	1772	2344	2801	1685	3000	2714
11	2201	2400	2514	2142	1885	1771	1771	1600

I (kA)	Identacion del electrodo en %							
	Un pulso de corriente				Dos pulsos de corriente			
	Ht 5		Ht 30		Ht 5		Ht 30	
	Wt 16	Wt 18	Wt 16	Wt 18	Wt 16	Wt 18	Wt 16	Wt 18
8	3.29	4.21	2.59	3.90	5.49	4.53	2.96	3.70
9	6.38	7.44	4.20	4.26	6.54	7.84	4.67	6.25
9.5	17.90	16.28	12.70	15.15	14.37	18.11	12.68	14.34
10	19.19	26.72	29.86	20.45	13.36	35.46	12.60	17.17
11	28.31	25.73	21.26	31.04	40.20	42.85	35.35	41.59

## Continuación de Anexo 5

Microdureza Vickers					
Distancia de la diagonal (mm)	Experimentos realizados con P=1, Wt=18 y Ht=5				
	8 kA	9 kA	9.5 kA	10 kA	11 kA
1	27.0027963	24.7039575	28.531055	26.0944573	31.9789061
2	31.6455777	28.7445834	35.6230211	29.0912486	34.2984336
3	51.2374802	30.6447354	41.9586394	32.626909	40.0802262
4	43.3691334	36.8589958	43.3691334	45.4152493	43.3691334
5	41.0277023	29.0912486	41.0277023	43.3691334	53.1098945
6	45.3564655	33.8641344	44.7127811	44.4088484	44.7127811
7	48.1947638	38.3141691	41.0277023	48.1947638	58.1730281
8	42.8563994	40.495901	41.9586394	45.9024263	30.6211125
9	38.870892	29.6231243	39.0969836	39.0969836	31.0746641
10	25.8180837	26.0944573	29.8717879	29.8717879	24.3262655
11	23.3115468	20.3285185	25.6181908	26.6606858	29.8717879

Microdureza Vickers					
Distancia de la diagonal (mm)	Experimentos realizados con P=1, Wt=16 y Ht=5				
	8 kA	9 kA	9.5 kA	10 kA	11 kA
1	21.1530683	26.0944573	24.5450535	29.8339108	27.3847824
2	22.0240208	33.5731443	32.8356372	33.2591477	30.4799474
3	28.7445834	48.1947638	47.0801187	42.3015463	35.6625528
4	33.8641344	22.5816308	39.6941385	47.0801187	47.0801187
5	34.9897355	42.8563994	48.1947638	40.9911113	41.0277023
6	31.6455777	39.6	39.6941385	59.7498888	41.9586394
7	44.4088484	38.870892	47.0801187	52.4509802	42.3015463
8	41.9586394	38.0076132	43.3691334	45.9457884	38.994999
9	33.2502412	31.0746641	40.0802262	42.8563994	38.870892
10	28.404078	26.0944573	38.870892	34.2518357	34.9897355
11	21.7011898	26.3627149	29.0912486	30.1082442	32.8356372

Microdureza Vickers					
Distancia de la diagonal (mm)	Experimentos realizados con P=1, Wt=16 y Ht=30				
	8 kA	9 kA	9.5 kA	10 kA	11 kA
1	28.2709642	23.5379606	27.9662702	27.7817312	34.2984336
2	25.402762	29.0912486	36.8589958	33.2591477	32.8356372
3	41.9586394	39.6941385	51.2374802	34.2984336	63.9487417
4	58.1730281	49.9670407	59.7498888	45.4152493	48.1947638
5	42.8563994	41.9586394	54.5589884	51.2374802	42.3015463
6	52.4509802	45.4152493	51.2374802	47.0801187	48.64858
7	60.2897785	47.0801187	43.3691334	33.2591477	49.9670407
8	54.5589884	45.5577284	49.9670407	55.9319676	46.3681422
9	49.9670407	43.3691334	49.2690609	41.9586394	48.64858
10	31.6455777	31.0746641	38.0076132	34.9897355	33.2591477
11	26.5523286	28.9099161	28.531055	24.3262655	27.4381055

**Continuación de Anexo 5**

<b>Microdureza Vickers</b>					
Distancia de la diagonal (mm)	Experimentos realizados con P=1, Wt=18 y Ht=30				
	8 kA	9 kA	9.5 kA	10 kA	11 kA
1	23.5379606	25.402762	26.5523286	32.626909	29.0912486
2	30.6447354	31.0746641	33.2591477	41.9586394	41.9586394
3	49.2690609	52.4509802	35.6625528	44.7127811	54.5589884
4	45.4152493	59.7498888	31.6455777	52.4509802	52.4509802
5	51.2374802	54.5589884	32.626909	49.9670407	55.9319676
6	46.3681422	51.2374802	30.6447354	44.4088484	51.2374802
7	42.8563994	62.1584286	42.8563994	48.3695433	39.6941385
8	45.9024263	49.2690609	42.8563994	54.5589884	49.9670407
9	35.6625528	54.5589884	45.4152493	51.2374802	45.4152493
10	20.6080632	33.8641344	33.2591477	33.8641344	40.0802262
11	22.0240208	24.9799772	26.5523286	27.0027963	30.4799474

<b>Microdureza Vickers</b>					
Distancia de la diagonal (mm)	Experimentos realizados con P=2, Wt=16 y Ht=5				
	8 kA	9 kA	9.5 kA	10 kA	11 kA
1	24.3262655	24.9799772	26.2124824	28.531055	26.5523286
2	31.6455777	31.0746641	32.1984016	31.6455777	30.4799474
3	35.6625528	32.8356372	35.6625528	45.4152493	31.6455777
4	43.3691334	34.4763759	48.1947638	42.8563994	48.1947638
5	40.495901	36.0816391	41.9586394	53.1098945	39.6941385
6	38.3265463	31.6455777	40.495901	46.6546386	43.3691334
7	36.8589958	36.0816391	48.1947638	40.495901	39.8105435
8	35.6625528	37.6081325	45.4152493	44.4088484	38.870892
9	27.7817312	38.0076132	42.6228146	43.7026639	34.9897355
10	23.3115468	31.9789061	31.6455777	33.8641344	36.8589958
11	24.3318388	21.6871111	22.0384289	29.6231243	32.626909

<b>Microdureza Vickers</b>					
Distancia de la diagonal (mm)	Experimentos realizados con P=2, Wt=18 y Ht=5				
	8 kA	9 kA	9.5 kA	10 kA	11 kA
1	21.4544683	22.2075737	29.2008683	31.6455777	34.9897355
2	31.0746641	34.2984336	36.8589958	34.2984336	32.38
3	41.9586394	43.3691334	52.4509802	32.626909	29.2522362
4	31.9789061	37.6081325	54.5589884	47.0801187	41.0277023
5	38.3141691	40.0802262	52.4509802	51.2374802	48.1947638
6	37.2631	41.9586394	55.9319676	47.0801187	34.9897355
7	38.3141691	37.6081325	57.2365747	48.1947638	41.9586394
8	37.6081325	33.5731443	54.6714618	40.495901	36.0816391
9	27.7817312	29.8717879	48.8540982	31.836601	27.7817312
10	22.0240208	27.2719855	39.6941385	28.6304045	30.4799474
11	18.544	21.6871111	30.5660987	26.7568469	20.8402896

## Continuación de Anexo 5

Microdureza Vickers					
Distancia de la diagonal (mm)	Experimentos realizados con P=2, Wt=16 y Ht=30				
	8 kA	9 kA	9.5 kA	10 kA	11 kA
1	28.9460467	29.8717879	28.7445834	22.9549997	24.3262655
2	28.2360898	49.9670407	38.0948241	38.0076132	35.6625528
3	54.6714618	62.1584286	43.5020859	52.4509802	38.870892
4	52.0999037	54.5589884	47.0801187	48.1947638	43.3691334
5	51.2374802	54.5589884	49.9670407	61.25792	45.4152493
6	52.0999037	53.1098945	48.3661505	52.4509802	47.0801187
7	44.4914311	53.1098945	43.9993637	52.4509802	53.1098945
8	58.4626001	53.1098945	45.9024263	49.2690609	54.5589884
9	38.8934128	41.9586394	51.2374802	54.5589884	36.8589958
10	31.9789061	26.0944573	34.9897355	49.2690609	28.531055
11	22.5418131	24.9799772	25.1314236	31.0746641	33.5731443

Microdureza Vickers					
Distancia de la diagonal (mm)	Experimentos realizados con P=2, Wt=18 y Ht=30				
	8 kA	9 kA	9.5 kA	10 kA	11 kA
1	21.8190475	24.9799772	35.6625528	29.6231243	26.0944573
2	27.7817312	32.8356372	47.0801187	37.7154769	28.47
3	36.8589958	48.1947638	40.495901	49.2690609	29.9325415
4	49.9670407	49.9670407	38.870892	47.0801187	45.9457884
5	55.9319676	38.0076132	47.0801187	61.25792	53.1818713
6	54.5589884	38.0076132	49.2690609	50.2967465	45.9024263
7	49.9670407	54.5589884	55.5454313	31.9789061	51.6315144
8	48.1947638	57.2365747	47.0801187	49.2690609	42.3015463
9	47.0801187	53.1098945	44.2170473	37.6081325	38.0076132
10	27.9662702	34.2984336	33.5731443	51.2374802	33.5731443
11	24.5450535	28.531055	25.402762	38.870892	47.0801187

## Abreviaciones:

$I_{max}$  = Corriente máxima.

$I_{min}$  = Corriente mínima.

t = Tiempo en ciclos (1 ciclo = 1 60 s).

P = Pulsos.

Wt = Tiempo de aplicación de corriente.

Ht = Tiempo de sostenimiento.



