

25469

~~21884~~

340

SOLDADURA ELÉCTRICA



COMPAÑIA ANÓNIMA DE  
LIBRERIA, PUBLICA  
CIONES Y EDI  
CIONES

# BIBLIOTECA DEL ELECTRICISTA PRÁCTICO

SEGUNDA SERIE (Volúmenes 31 a 60)

PUBLICADA BAJO LA DIRECCIÓN

DE

E. TERRADAS

DOCTOR EN CIENCIAS, INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS, INGENIERO INDUSTRIAL, CATEDRÁTICO DE LA UNIVERSIDAD DE BARCELONA Y DIRECTOR DEL INSTITUTO DE ELECTRICIDAD Y MECÁNICA APLICADAS DE LA MISMA CAPITAL, MIEMBRO DE LAS ACADEMIAS DE CIENCIAS DE MADRID, BARCELONA, ZARAGOZA, COIMBRA Y DE LOS NUOVI LINCEI

TOMO XXXI

## SOLDADURA ELÉCTRICA

POR

D. JOSÉ A. PÉREZ DEL PULGAR, S. J.

B.P. BURGOS

N.R. -----

N.T. 100501

C.B. -----

25 469

-----

-----

-----

« CALPE »

Compañía Anónima de Librería, Publicaciones y Ediciones

MADRID - BARCELONA

---

ES PROPIEDAD

Copyright by  
Calpe, Madrid

---

## CAPITULO PRIMERO

### INTRODUCCIÓN

#### Principio fundamental de la soldadura eléctrica.

La soldadura eléctrica de metales, que representa en la industria de la construcción y reparación de la maquinaria un papel tan importante, consiste principalmente en producir la fusión superficial de dos piezas que se quieren soldar y mediante esta fusión se mezclan los metales, que quedan hechos una sola pieza al enfriarse. Si los dos metales son de la misma naturaleza, la soldadura se llama autógena. Si se recurre a la aleación de ambos con otro tercer metal, se llama propiamente soldadura o *soldadura por aleación*.

Lo que caracteriza a los distintos sistemas de soldadura es el procedimiento para llevar las superficies que se tratan de soldar a la temperatura de fusión. De aquí que existan propiamente dos sistemas principales de soldadura eléctrica. La soldadura *por arco voltaico* y la soldadura *por incandescencia o por resistencia óhmica*.

En el primer procedimiento se utiliza el calor producido por un arco, que se hace saltar entre las su-

perficies que se tratan de soldar. El arco es una columna de vapores metálicos incandescentes ionizados, que presentan una resistencia relativamente pequeña al paso de la corriente y una temperatura elevadísima de más de 3500° C.

El 75 % de la resistencia del arco lo ofrece el extremo del electrodo positivo (y por tanto, éste es el que se calienta más); casi todo lo restante, el extremo del negativo; y una ínfima cantidad lo restante del arco. De aquí que se pueda fundir una pieza que se hace servir de electrodo.

El arco eléctrico se ha tratado de usar, para el fin que nos ocupa, de tres modos distintos.

### Procedimiento de Zerener.

Este procedimiento, utilizado ya en 1881 por Meritens para soldar placas de acumuladores, fué dado a conocer en 1888 por el Dr. Zerener, de Berlín, y consiste en hacer saltar un arco entre dos carbones puestos en forma de V; en las proximidades del arco y perpendicularmente al plano de los carbones colocaba Zerener (60) los polos de un fuerte electroimán que, al actuar sobre la corriente que atraviesa el arco, rechaza a éste hacia afuera formando una llama en abanico, que se deja caer sobre las piezas que se desea soldar, enteramente como el dardo de un soplete oxihídrico. Este procedimiento está hoy casi abandonado, porque produce un calor mucho menor que los otros procedimientos a igualdad de energía

consumida y exige un aparato más complicado y pesado. Como modificación de este procedimiento, puede citarse el que se llama *Voltex*, que sólo se diferencia del anterior en que los carbones estaban mezclados con cierta cantidad de óxidos metálicos, ordinariamente de hierro, los cuales, al volatilizarse, producían una atmósfera de vapores metálicos que impedía la oxidación de las superficies que se deseaban soldar, y evitaba así uno de los principales inconvenientes del método de Zerener.

### Procedimiento de Bernardos.

Nicolás Bernardos y Stanislaw Olzewski, de Sanpetersburgo (1885) aplicaron este procedimiento en usos industriales. Las dos piezas que se desean soldar, preparadas previamente y sujetas en la forma en que han de quedar, se unen con uno de los polos de una generatriz de unos 200 a 500 amperios y de 20 a 70 voltios, estando el otro polo unido a un carbón de grafito o de arco ordinario, que hace de soldador. Al hacer saltar el arco, las piezas se funden y sueldan por sí mismas o añadiendo alguna cantidad de otro metal, que puede ser también hierro. Los distintos procedimientos o variedades de este método, fáciles de imaginar según la polaridad del carbón y la clase de corriente que se emplea, serán descritos más adelante.

## Procedimiento Slavianoff y Strohmenger.

Es exactamente como el anterior, pero, en vez del carbón, se usa una varilla metálica, que sirve al mismo tiempo de soldador y de soldadura. Este método, llamado en Inglaterra de *Oscar Kjellberg*, de Gothenburg, que lo introdujo en 1907, es poco usado en Europa, porque no es fácil de manejar. Por el contrario, como veremos, en América se le emplea mucho. En Inglaterra se emplea el llamado *Quasi-Arc* de Strohmenger, por el que están hechos los trabajos a que más adelante nos referimos.

Strohmenger usaba electrodos metálicos conectados con el polo positivo y recubiertos de una capa aisladora, fundente, que suele ser ordinariamente un asbesto azul impregnado, para hacerlo más fusible, de un silicato de alúmina o de sosa. Al volatilizarse por la acción del calor del arco, forma una atmósfera algo reductora, que impide la oxidación. Una parte de dicha capa, al fundirse, queda cubriendo la soldadura, hasta que se enfría, y entonces se la puede hacer saltar con facilidad por medio de una carda, y así hay que hacerlo siempre que hay que poner varias capas superpuestas de soldadura. (54).

No habiendo otras diferencias entre estos dos sistemas, los designaremos en general con el nombre de soldadura con ELECTRODO METÁLICO.

La Grange-Hoho, en el procedimiento designado por su nombre, no utiliza el arco, sino para calentar

las piezas en vez de la forja, sometiéndolas al martillado, laminado o prensa, de suerte que, en realidad; no es procedimiento de soldadura distinto de los anteriores.

### Procedimiento de Thomson y derivados.

El calor desarrollado por la resistencia de los metales al pasar por ellos una corriente, parece que fué utilizado antes que nadie por Elihu Thomson ya en 1877, para obtener la soldadura de éstos. Las piezas que se quieren soldar son cogidas por dos fuertes mordazas, que constituyen los electrodos del secundario de un transformador, y pueden acercarse y comprimirse una contra otra mediante un mecanismo de prensa. En el momento del contacto pasa una corriente intensa por las dos piezas que las calienta en toda su masa; al ejercer sobre ellas una presión, quedan soldadas. Designaremos este procedimiento con el nombre de soldadura *a tope*, para distinguirla del procedimiento llamado de soldadura *por puntos* (spot welding), que en realidad se funda en el mismo principio, aunque exige una maquinaria distinta, y tiene muy diferentes aplicaciones. Consiste este procedimiento (que puede substituir aún con ventajas, en ciertos casos, al roblonado) en una especie de remachadora, cuyas dos mandíbulas cilíndricas son los polos de baja de un transformador. Al coger entre ellas las dos chapas que se trata de soldar (en la posición que habría de hacerse, para roblonarlas, pero sin

taladro previo), pasa una corriente intensa, que lleva el punto comprimido por la remachadora a una temperatura próxima a la de fusión. La presión deja entonces perfectamente soldadas las chapas según un círculo de mayor o menor área, que es la de la sección de los cilindros compresores. Repetida esta operación a lo largo de una junta, da lugar a una especie de costura, parecida al roblonado.

Aparte de esto existen verdaderas roblonadoras eléctricas, en que el roblón, metido en frío en un orificio, es llevado a la temperatura de reblandecimiento por la corriente eléctrica: la presión necesaria, para remachar entonces el roblón, es ejercida por la misma máquina. Además, existen medios de soldadura continua, fundada en el mismo principio, en los que la presión se ejerce entre una regla y un rodillo o polea de cobre, que corre a lo largo de la junta, aprisionada entre ambas, haciendo al mismo tiempo presión, y dejando pasar la corriente. La designaremos con el nombre de *soldadura continua*.

### Procedimiento de Chubb.

Por último, L. W Chubb, de la Westinghouse Electric & Mfg. Co., East Pittsburg Pa., en 1905 encontró un procedimiento, a que llamó *método de percusión*, que, aunque de aplicaciones diferentes, y valiéndose de aparatos mecánicos y eléctricos muy distintos, se funda, en realidad, en el mismo procedimiento de Thomson.

También puede citarse como una variedad de este mismo principio el que designaremos con el nombre de *soldadura por aleación*. La corriente, pasando por las piezas en contacto, como en el procedimiento de Thomson, las calienta lo suficiente, para que ellas fundan otro metal, que se las acerca, y que hace de soldadura.

### Clasificación de los procedimientos de soldadura eléctrica.

Resumiendo todo lo anteriormente dicho, los procedimientos de trabajo, de que nos vamos a ocupar en este Manual, pueden clasificarse del modo siguiente:

SOLDADURA	por arco. . .	{	doble electrodo { de carbón . . . ZERENER	
			con óxidos. . . (Voltex)	
			un electrodo de carbón . . . BERNARDOS	
			electrodo metálico . . . SLAVIANOFF	
SOLDADURA	por resistencia	{	autógena. . . {	a tope . . .
				por puntos . . . THOMSON
				continua . . .
			por percusión. . . CHUBB	
			por aleación.	
OPERACIONES ANÁLOGAS . . .	{	Forja . . . (LA GRANGE SLAUGHTER)		
		Roblonado eléctrico.		
		Estampado eléctrico.		

## Condiciones técnicas de estos métodos de soldar.

No cabe hoy duda de las inmejorables *condiciones técnicas* de las soldaduras obtenidas por procedimientos eléctricos. Después enumeraremos algunas de las pruebas de todo género, a que se han sometido, y los resultados obtenidos en cada caso. En general puede asegurarse que la actividad constructora desplegada durante la guerra, especialmente en la construcción naval, ha hecho desarrollarse extraordinariamente en estos cuatro últimos años este procedimiento antes poco conocido, y que ha superado con mucho las esperanzas que en él se pusieron en un principio. Darán idea de ello los datos siguientes, por no citar otros.

Hacia septiembre de 1917, por iniciativa del Standards Committee of the A. I. E. E. se constituyó un comité de soldadura eléctrica en los Estados Unidos. En diciembre del mismo año, por indicación del *Consejo de Defensa Nacional*, se encomendó este servicio al *General Engineering Committee*, y finalmente en febrero de 1918 fué asumido por la *Emergency Fleet Corporation*. Dicho Comité constaba entonces de más de 110 miembros, en que había representantes de los Gobiernos de Inglaterra y de los Estados Unidos, de varias Universidades, de las sociedades Lloyd, de casas constructoras de buques y de otras varias industrias. En 1918 el Almirantazgo inglés aprobó la construcción de un barco de 275 toneladas para el servicio del Paso

de Calais, todo completamente soldado por procedimientos eléctricos, y en los Estados Unidos se construyeron ya pequeños barcos por estos métodos en 1915, los cuales han dado desde entonces resultados enteramente satisfactorios (44), (46), (43), (45) y (40). Ultimamente se proyectan construcciones de mucha mayor importancia. A. Adams, presidente de la Am. Inst. of El. Eng. (36), asegura que "haciendo las debidas salvedades por las dificultades que puedan surgir, no es un optimismo exagerado el afirmar que el barco hecho mediante soldadura es el barco del porvenir y de un porvenir no muy lejano, aunque pasarán años sin duda antes de que los astilleros existentes se transformen como lo exigirá este nuevo método de construcción". Lo mismo, en su tanto, puede afirmarse de otras industrias como la calderería, construcción de vagones, etc.

En Alemania parece no haberse desarrollado mucho estos procedimientos de trabajo hasta 1914 (62), (63). Sin embargo, ya entonces era reconocida la soldadura eléctrica como utilísima, especialmente para trabajos en serie (64), (65) y (66). Hoy existen casas, que construyen en grande escala toda clase de máquinas eléctricas para soldar, tanto universales, como destinadas a trabajos especiales. Puede citarse la *Gesellschaft für elektrotechnische Industrie.*, m. b. H. Berlín S. W. 29, que tiene además establecido un centro de información para todo lo concerniente a este problema.

### Condiciones económicas.

En cuanto a las condiciones económicas, aunque después hablaremos más en detalle para cada caso particular, pues no son iguales los resultados obtenidos en cada uno de ellos, puede decirse en general que la soldadura eléctrica comienza a ser aplicable, suando el precio del kilovatio hora se acerca a los 10 céntimos, pudiendo ya entonces competir para algunos usos, con ventaja, con la soldadura oxhídrica. Puede verse una comparación hecha con mucho conocimiento de causa entre la soldadura eléctrica y acetilénica en Engineering 407, por la Institution of Mechanical Engineers, y además varios artículos (40), (47) y (54) págs. 155 y 158).

Sin embargo, el estudio económico debe hacerse, sobre todo, atendida la clase de construcción a que se destina, y adquiriendo datos parecidos a los que a continuación vamos a enumerar, pero acomodados a las circunstancias del tiempo y sitio en que quiera hacerse la instalación.

### Notas bibliográficas.

No siendo posible, dados los restringidos límites de este manual, entrar en detalles, tanto de descripción de máquinas y procedimientos de aplicaciones diversas.

como en estadísticas de resultados económicos basados con gran frecuencia en datos locales y muchos de ellos tomados en épocas en que los precios corrientes eran muy distintos de los actuales, hemos creído indicar, como más conveniente, algo en general sobre estos puntos, y remitir al lector a los artículos y fuentes de información directa, a los que en definitiva habrá de recurrir quien pretenda especializarse, habiendo nosotros de contentarnos con dar una primera introducción y orientación general.

Para abreviar las citas, dentro del texto marcaremos cada trabajo con un número en una lista previa, que puede consultarse en caso de querer usar el dato bibliográfico. A estos datos se refieren los números gruesos entre paréntesis, que se encuentran intercalados en el texto.

1. D. T. HAMILTON & E. OBERG. *Electric Welding*. 1918 (New York).
2. L. A. GROTH. *Welding and cutting Metals*, 1913 (London).
3. En el *Bulletin of the New York Public Library*: Mayo, 1913, puede verse una lista de todos los libros y artículos de revistas publicados sobre soldadura eléctrica desde 1776 hasta 1912 inclusive, así como una enumeración de las principales patentes.
4. H. BERAN SMITH. 1920. *Practical Electric Welding*. E. & F. N. Spon. London.

5. HERBERT CARPMAEL. 1920. *Electric Welding and Welding Appliances*. (Constable. London.)
6. ELIHU THOMSON. 1905. *Electric Welding development*. (Washington).
7. FRANC F. FOWLE S. B. *Standard Handbook for electrical Engineers*. (22), 44. Mc. Graw-Hill. New York—London.
8. J. SPRINGER. *Electrotechnische Zeitschrift*. Berlín. (E. T. Z.)
9. *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft*. Berlín. (V. D. P. G.)
10. THOMAS T. SLEATON. *Electric Welding*. (Spott-Butt.)
11. *The electrical Times*. 1907. Núm. del 5 sept.
12. *General electric Review*. Schenectady N. Y. (G. E. R.)
13. J. W. HAM. 1918. *Selecting and Arc Welding Equipment*. G. E. R. Vol. XXI, núm. 12. Dic 1918, pág. 967.
14. W. S. ANDREWS. 1918. *Eye Protection in Iron Welding Operations*. (G. E. R.) Volumen XXI, núm. 12. Dic. 1918, pág. 961.

15. E. F. COLLIUS and W. JACOB. 1918. *The Butt of some non ferrous Metals* (G. E. R.) Vol. XXI, núm. 12, pág. 958.
16. J. A. CAPP. 1918. *A Study of the Joining of Metals*. Id. Id. pág. L 947.
17. W. E. RUDER. *The Metallurgy of the Arc Weld*. Id. Id., pág. 941.
18. P. O. NOBLE. 1918. Id. Id., pág. L 930.
19. W. S. MOODY. 1918. *Transformer for Electric Welding*. Id. Id., pág. 935.
20. J. M. WEED. *Some Recent Developments y Machines for Electric Spot Welding as a Substitute for Riveting*. Id. Id., pág. 928.
21. H. A. WINNE. 1918. *Spot Welding and Some of Its Applications to Ship Construction*. Id. Id., pág. 923.
22. W. L. MERRILL. *Research in Spot Welding of Heavy Plates*. Id. Id. pág. 919.
23. HERMAN LEMP and J. R. BROWN. 1918. *Electric Welding at Erie Works General Electric Company*. Id. Id., pág. 915.
24. JOHN LISTON. 1920. *Some Developments in the Electric Industry during 1919*. (Electric Welding.) G. E. R. Vol. XXIII, número 1. Enero 1920, pág. 36.

25. R. E. WAGNER. 1918. *Electric Arc Welding in Tank Construction*. G. E. R. Vol. XXI, núm. 12, pág. 899.
26. JOSEPH A. OSBORNE. 1918. *An Electrically Welded Freight Car*. Id. Id., pág. 912.
27. B. C. TRACY. 1918. *Arc Welding in Railroad Shops*. Id. Id., pág. 887.
28. JHON A. SEEDE. 1918. *A Review of Electric Arc Welding*. Id. Id., pág. 881.
29. H. A. HORNER. 1918. *The Training of electric Welders*. Id. Id., pág. 876.
30. E. E. MAC MARY. 1918. *Industrial Training in War Time*. Id. Id., pág. 871.
31. H. JASPER COX. 1918. *Lloyd's Experiments on Electrically Welded Joints*. Id. Id., página 864.
32. W. L. ROBERTS. 1918. *Arc Welding in Shipyards*. Id. Id., pág. 860.
33. H. G. KNOX. 1918. *Electric Welding in Navy Yards*. Id. Id., pág. 849.
34. JOHN LISTON. 1918. *The First Electrically Welded Boat*. Id. Id., pág. 844.
35. H. M. HOBART. 1918. *The Adequacy of Welding in Constructing Hulls of Ships*. Id. Id., pág. 840.

36. COMFORT A. ADAMS. 1918. *Portraits of Contributors to this Issue*. Id. Id., pág. 830. *Electric Welding in Shipbuilding*. Id. Id., pág. 836.
37. D. B. RUSHMORE. 1918. *Electric Welding and Our Shipbuilding Program*. Id. Id., página 828.
38. *Engineering*. Edited by W. H. MAW. London (E.)
39. HENRY COVE of HARTFORD. 1919. *The development of the Oxi-Acetylene Welding and cutting industry in the United States*. (E) Ene-jun., pág. 170.
40. *The Institution of mechanical engineers*. 1919. *Electric and acetylene welding "discussion"* (E). Id., pág. 281.
41. JAMES CALDWELL and HENRY BAILEY SAYERS. 1919. *Electric Welding developments in Great Britain and the U. S. of America*. Id. Id., pág. 350.
42. R. R. BUTLER. 1920. *Eye protection in welding operations*. Id. Id., pág. 823.
43. JOHN RENEY SMITH. 1919. *The application of Electric Welding in ship Construction and Repairs*. Id. Id., pág. 351.

44. H. M. HOBART. 1919. *Welding mild steel*. Id. Id., págs. 817, 782.
45. W. H. GARD. 1919. *Some Experiences with Electric Welding in Warships*. Id. Id., página 527.
46. S. V. GOODALL. 1919. *A comparison between American and British practice in Electric Welding*. Id. Id., pág. 254.
47. 1919. *Electric and Oxi-Acetylene Welding*. Id. Id., pág. 148.
48. HERBERT L. TOWNS. 1917. *Welding with application to automobile engineering*. Id. Id., pág. 627.
49. H. A. HORNOR. 1918. *Electric Welding as applied to the steel ship construction*. Id. Jul.-Dic., pág. 522.
50. H. G. KNOXI. 1918. *Nomenclature for Electric Welding*. Id. Id., pág. 522.
51. H. M. SAYERS. 1918. *Notes on regulations for arc Welding*. Id. Id., pág. 695.
52. HERBERT CARPMAEL. 1920. *Electric Welding and Welding Appliances*. Id. Ene.-Jun., pág. 621.

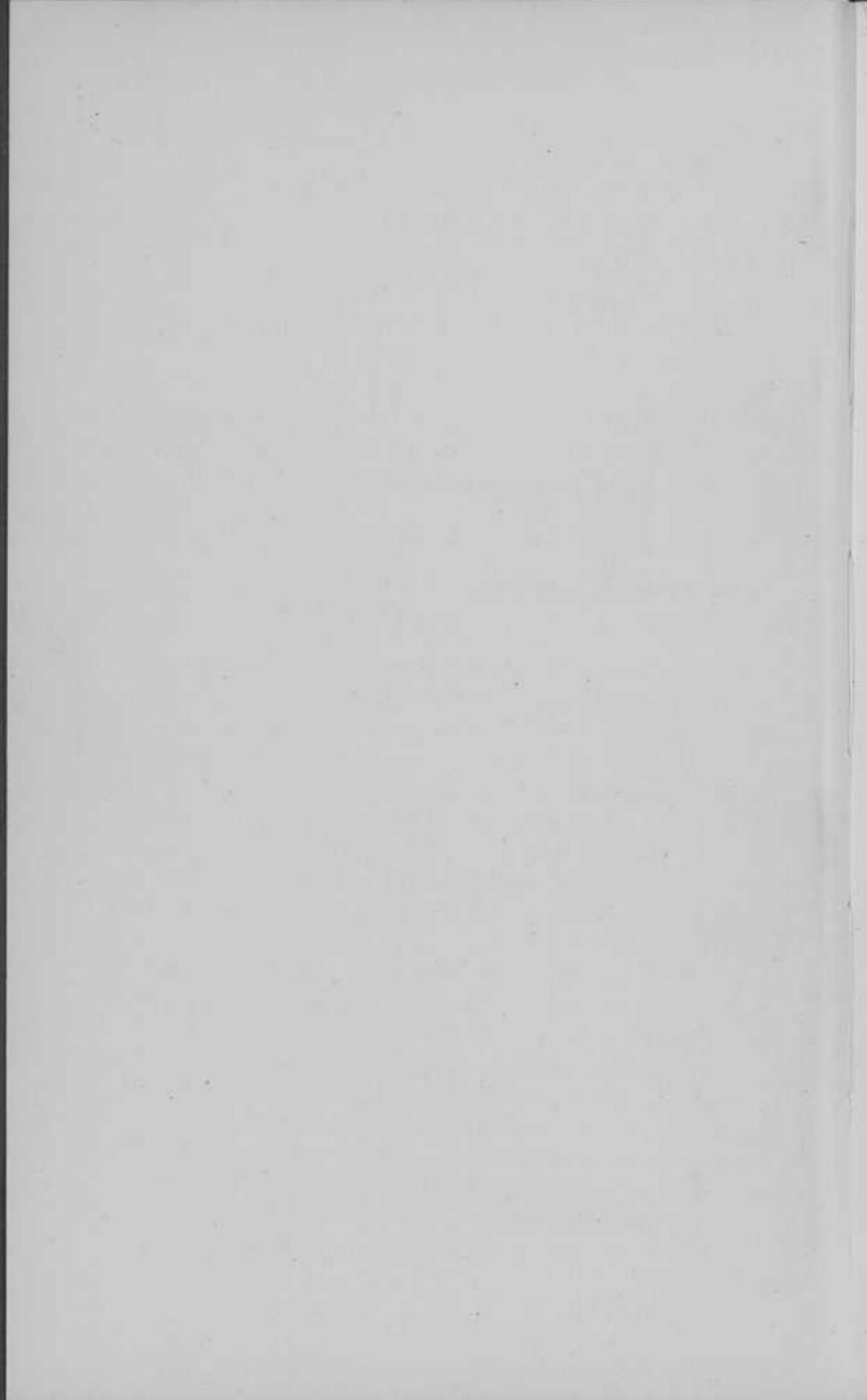
53. J. H. PATERSON. 1919. *Electric Welding*. Id. Id., pág. 285.
54. THOMAS T. HEATOU. 1919. *Electric Welding*. Id. Id., pág. 153.
55. J. H. DAVIES. 1919. *Oxi-Acetylene Welding*. Id. Id., pág. 169.
56. ROBERT E. KINHEAD. 1918. *Electric Arc Welding*. Id. Jul.-Dic., págs. 213 y 186.
57. LLOYD'S REGISTER. 1918. *Application of Electric Welding to Shipbuilding*. Id. Id., página 197.
58. *The Electrically-Welded Ship "FULLAGAR"*. 1920. Constructed by messes. Cammell Laird and Co. Limited Birkenhead. Id. Id., página 26.
59. ASTER ENGINEERING CO. LTD. Generatriz para soldadura eléctrica movida por un motor de gasolina, presentada en la Exposición de Olympia. Id. Id., pág. 474.
60. A. M. CANDY. 1919. *La soudure par l'arc électrique*. Resumen de un artículo en *Proceedings of the Am. Inst. of El. Eng.*, t. XXXVII., pág. 1159. *Revue Générale de l'Électricité*. (R. G. E.) Jul., 1919., página 51.

61. H. M. SAYERS: 1919. *Règlement concernant la soudure à l'arc*, tomado de *Inst. of El. Eng.*, 27 Nov. 1918. Id. Agosto, pág. 188.
62. OTTO SEFFER. 1909. *Die moderne elektrische Schweissung und Neues über elektrisches Schmelzen*. — Da cuenta del método y dice que en Alemania sólo se ocupan en esto la A. E. G. y la Hugo Hellberger G. m. b. H. en München. E. T. Z.
63. Ing. WANDSCHNEIDER (A. E. G.) 1914. *Über elektrische Schweissmaschine*. — Daba cuenta a la Verband Deutscher Elektrotechniker, en una memoria de 19 marzo de 1914, de los procedimientos más elementales y de sus ventajas. Luego en Alemania no tienen gran extensión. (E. T. Z.), página 1062.
64. B. SOCWEUHERS. 1911. *Elektr. Schweissen Zeitschrift der Ver. deutsch. Ing.* — Dice que es muy recomendable para trabajos en serie. Tomo 55, pág. 1763.
65. *Elektrische Schienenschweissung der Akkumulatorenfabrik A. G.* 1914. — Procedimiento para los rieles de tranvías. (E. T. Z.) página 276.
66. *Elektrische Schweisseneinrichtung für Eisen und Stahlblech*. 1914. Soldadura del cubo de las ruedas a los radios. — Recomienda la

---

soldadura eléctrica por su economía y seguridad. (E. T. Z.), pág. 718.

67. 1919. *Mask and Body protector for Welders.* (E) Ene-Jun, pág. 252.
68. S. R. BERGMAN. 1920. *A New Type of Arc-welding Generator.* (G. E. R.). Vol. XXIII, núm. 5, pág. 442.
-



## CAPITULO II

### SOLDADURA POR ARCO

#### Electrodos de carbón.

La idea primitiva de este procedimiento fué debida, como ya dijimos, a BERNARDOS, quien utilizaba un carbón ordinario de arco unido al polo positivo. Las piezas que se querían soldar, puestas previamente en forma conveniente, constituían el polo negativo; al saltar el arco funde sus bordes, y, con aditamento de otro material o sin él, quedan soldados. La temperatura del arco, de unos 3500° C. (E. Oct. 1919, página 486), es más que suficiente para provocar la fusión.

Desde luego se comprende que multitud de elementos tales como la inversión de polos, el tamaño en longitud y sección de los electrodos, el voltaje y amperaje empleados, el material de que está hecho el soldador, etc., convenientemente variados, han hecho llegar a obtener muy diversas disposiciones, que han permitido mejorar notablemente tanto el rendimiento como las cualidades de la soldadura. Desde luego se observó que la inversión de los polos (fig. 1) daba por resultado mucha mayor cantidad de calor en las

piezas metálicas. Usando un carbón de 5 a 15 mm. de diámetro, según los casos, y con intensidades de 200 a 300 amperios, y en casos sencillos de soldadura de chapa, etc., pueden ya con esto solo obtenerse re-

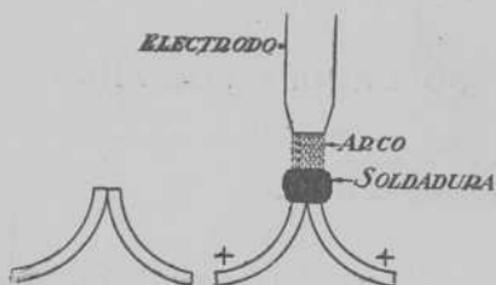


Fig. 1

sultados satisfactorios. Sin embargo, no es indiferente la disposición adoptada para obtener la corriente, pues la utilización de las corrientes industriales exige el uso de resistencias en serie, que absorben gran parte de la energía. Además, en la inmensa mayoría de los casos, esta disposición resulta incómoda e imperfecta, como veremos, y, por último, la presencia del carbón altera la constitución de los materiales soldados, carburando las soldaduras y haciéndolas o más frágiles o más difíciles de trabajar después mecánicamente. De aquí la necesidad de perfeccionar este procedimiento primitivo.

Sin embargo, el electrodo de carbón se emplea en la práctica sin otro perfeccionamiento, más bien cuando se trata de *cortar* el metal que de soldarlo; v. g.: para

el rebarbado y limpia de los bebederos en las piezas grandes de fundición, o también para preparar las piezas que han de ser soldadas. En estos casos el carbón es el electrodo negativo, porque se evalúa en un 75 % el calor producido en el polo positivo con respecto al total que produce el arco voltaico, y se emplean fuertes corrientes hasta 1000 amperios, pro-

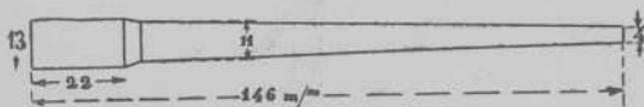


Fig. 2

ducidas por generatrices de corriente continua, idénticas a las que se utilizan en otros procedimientos que describiremos después. Esto permite cortar rápidamente sin que la pieza se caliente. La forma y dimensiones del electrodo de carbón en los pocos casos que se usa, suele ser la de la figura 2.

### Electrodo metálico.

La diferencia esencial introducida por este procedimiento consiste en el uso de un *electrodo metálico*, con capa protectora fundente o sin ella, en sustitución del carbón, con lo cual, a más de evitarse los inconvenientes antes dichos, el mismo electrodo, al fundirse, re-

llena los huecos de la soldadura. Es preferible la corriente continua, y, por ser uno de los métodos más empleados, vamos a describirlo más detalladamente. En la práctica ofreció en un principio algunos incon-



Fig. 3

venientes. El arco es más resistente que el de carbón, y su resistencia varía más rápidamente con la distancia; además, la distancia máxima es muy pequeña, y las oscilaciones de la carga durante la operación son mayores que con el carbón, por lo que la soldadura resulta fácilmente heterogénea. Vamos a ver cómo se han ido resolviendo en la práctica todas estas dificultades. El electrodo metálico, sin otro aditamento, aunque muy discutido en algún tiempo, según ya indicamos, es hoy empleado y con éxito satisfactorio en los Estados Unidos. Se usa casi exclusivamente una varilla del mismo metal (hierro dul-

ce, acero, cobre, bronce, etc.) que las piezas que se desean soldar. Esta varilla se coge en una pinza o *soldador* (figura 3) provisto de un mango aislador, por cuyo extremo llega la corriente. El obrero coge

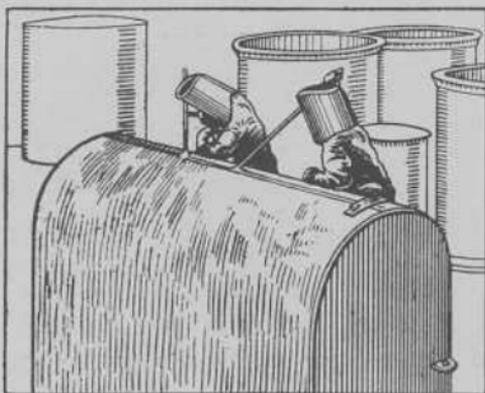


Fig. 4

el soldador, y lo emplea poco más o menos como se indica en la figura 4.

Al tocar la varilla con la pieza metálica, se cierra el circuito. El obrero la separa un poco y se forma el arco, que funde ambas piezas, pero especialmente la varilla del soldador, hecha para este efecto de un diámetro determinado. Una parte del metal del electrodo cae sobre la pieza y se mezcla con ella. El arco se debilita un poco y vuelve a acercarse, siguiendo una marcha indicada en la fig. 5. El electrodo va depositando así sobre la pieza una especie de cinta

estriada de la apariencia que indica la fig. 6. Si junto a esta cinta se deposita otra y luego otra y así suce-

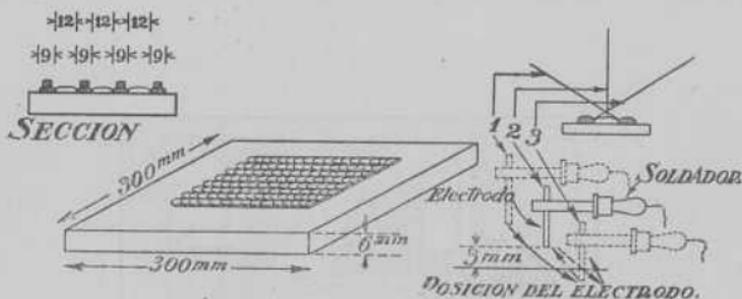


Fig. 5

sivamente, se habrá recrecido la superficie plana en algunos milímetros por medio de una capa, sobre la

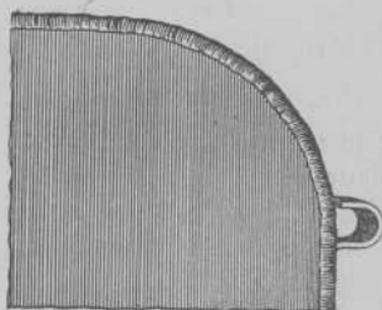


Fig. 6

cual podría ponerse otra también por medio de cintas o tiras sucesivas. Este es el procedimiento funda-

mental de relleno por medio del electrodo metálico. Cuando se usa electrodo de carbón hay que acercar al arco una varilla del metal con que quiere soldarse la pieza, como lo indica la figura 7.

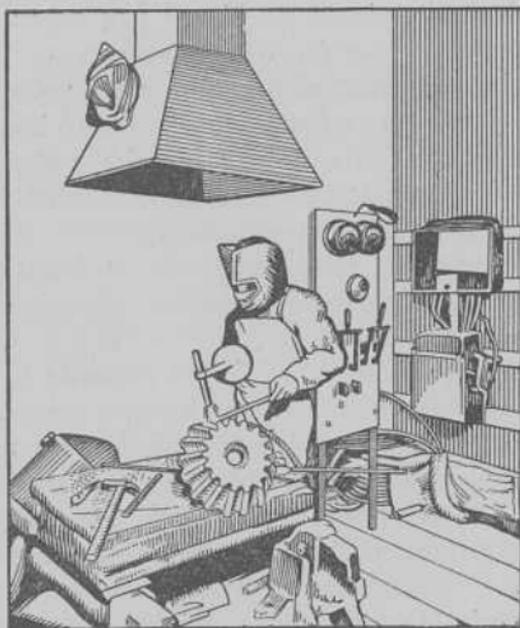


Fig. 7

El éxito de esta operación consiste sobre todo en la temperatura que se hace adquirir a los metales. Si es demasiado baja, la soldadura no se verifica bien; si es demasiado alta, alguno o algunos de los metales se oxida, y cambia por tanto la constitución del resto,

para lo cual es preciso regular la corriente como luego indicaremos. Existen casas que fabrican el electrodo, como la Wilson Welder & Metals Co. en los E. U., Page Steel and Wire Co. en Inglaterra, y otras. Estos electrodos son varillas de 3 a 5 mm. de diámetro y unos 12 cms. de longitud. Es de importancia suma el uso de un metal apropiado; así por ejemplo, en la soldadura de piezas de hierro con un tanto por ciento dado de carbón o de manganeso, los electrodos deben contener algo mayor proporción de estos cuerpos, para que la soldadura resulte homogénea, porque ellos son los que más se oxidan al atravesar los gases incandescentes del arco. En general, puede recomendarse el hierro sueco, puro y dulce, como muy apropiado para la mayoría de las soldaduras sobre hierro, en especial para juntas de depósitos, soldadura de chapas, etc.

Este procedimiento de soldadura presenta la ventaja sobre el de electrodo de carbón, que es más fácil hacer la soldadura en piezas verticales y aun invertidas, lo cual a veces es absolutamente necesario ((54) página 153). Aun esto se consigue más fácilmente, haciendo que sea positivo el electrodo y negativa la pieza.

La Lincoln Electric Co. suministra electrodos de  $1/8$ ,  $5/32$  y  $3/16$  de pulgada de diámetro. Las más delgadas se usan en la soldadura de placa de  $1/8$  y  $3/16$ , como en la soldadura de tubos de caldera. Las de  $5/32$  se usan en trabajos más bastos, como en la soldadura de chapas para revestimientos de barcos. Los mayores diámetros se usan principalmente siempre que es más importante la velocidad en el trabajo que la delicadeza y homogeneidad, especialmente para rellenar y suplir trozos en piezas de fundición.

Los mismos diámetros, poco más o menos son recomendados por la Westinghouse Electric & Mfg. Co.

### Preparación de las piezas.

Poco puede decirse que sea absolutamente general sobre la preparación de las piezas, porque depende enteramente, no sólo de la forma y dimensiones de éstas, sino de la clase de metal de que están hechas, por lo que remitimos esta preparación, para exponerla en algunas aplicaciones más prácticas, que enumeramos a continuación, y por las que el lector podrá formarse una idea de la preparación necesaria en casos análogos.

El metal que más se presta a la soldadura por arco es el hierro dulce, el acero, el acero fundido y la fundición ordinaria, y para estos casos son aptos los electrodos antes descritos. Puede soldarse el cobre al acero usando electrodos de cobre, y lo mismo puede decirse del bronce. Las chapas de fundición de menos de 5 mm. son muy difíciles de soldar, si no es por obreros muy hábiles, porque se funden con gran facilidad. Para el aluminio es casi imposible el empleo del arco, siendo siempre preferible el procedimiento oxhídrico. Algo parecido puede decirse del cobre y, en general, de todos los metales, sobre todo si se hallan reducidos a láminas muy delgadas. La soldadura de piezas de *fundición* y de *hierro y acero maleables* se facilita a veces calentándolas por medio de un mechero de gas, y enfriándolas después poco

a poco. Se ha discutido mucho sobre la utilidad del empleo de los fundentes. Fuera de algún caso especial, de que haremos mención al hablar del procedimiento de STROHMENGER-SLAUGHTER, puede asegurarse que su empleo es innecesario.

### **Corriente necesaria para la soldadura por arco.**

Para trabajar con electrodo de carbón, la diferencia de potenciales necesaria entre los dos electrodos puede variar de 35 a 50 voltios, dependiendo sobre todo de la intensidad que se desea obtener. Esta es preciso que sea de 200 amperios para arriba, según la clase de trabajo, como se expondrá más adelante. Sin embargo, en soldadura de piezas muy pequeñas, puede excepcionalmente requerirse menos amperaje, con electrodos también especiales. La soldadura corriente exige de 300 a 400 amperios. Para cortar y redondear suele requerirse hasta 600 amperios.

En el caso de electrodo metálico la cantidad de corriente es menor, llegando a lo sumo a 200 amperios para los trabajos más fuertes. Para soldaduras de piezas finas, como chapas, etc., suelen bastar con frecuencia de 12 a 15 amperios. En cambio, es preciso una diferencia de potenciales de 16 a 75 voltios en los bornes de la instalación y que depende de las condiciones en que ésta suele hacerse, pues en realidad, entre los electrodos, la diferencia de potenciales es menor que en el arco de carbón, oscilando

entre 15 y 25 voltios. El empleo del electrodo metálico exige sobre todo grande habilidad de parte del operador, porque el arco es mucho más inestable, aunque a esto puede contribuir mucho la regulación automática de que se disponga en la instalación. La intensidad necesaria varía extraordinariamente según la clase de trabajo. Según las normas dadas por la *Association of Railway Electrical Engineers* (Railway Review, 2 de Dic. 1916), para electrodos de acero dulce de 1/8 de pulgada empleados en la soldadura de tubos de caldera de 2 pulgadas de diámetro, se necesitan de 60 a 90 amperios y de 14 a 16 voltios; para soldar tubos de 5 pulgadas con electrodos de 5/32 de pulgada (de 3 a 4 mm.) se necesitan de 110 a 140 amp. y de 16 a 20 voltios. Por último, para electrodos de 3/16 de pulgada (de 4 a 5 mm.) se requieren de 150 a 180 amperios y de 18 a 25 voltios. Las normas de la misma Asociación para arcos de cortar son:

Diámetro del electrodo	Amp.	Volts.
3/4 de pulgada	250 — 350	35 — 50
1 »	350 — 500	35 — 50

Debe advertirse que con frecuencia se usan carbones mucho más delgados, como ya antes se ha insinuado. Véanse los datos que apuntamos más abajo para aplicaciones especiales.

### Instalación eléctrica necesaria.

En realidad, para soldar, bastaría disponer de una resistencia conveniente que mantenga la corriente dentro de los límites necesarios (fig. 8). Este procedi-

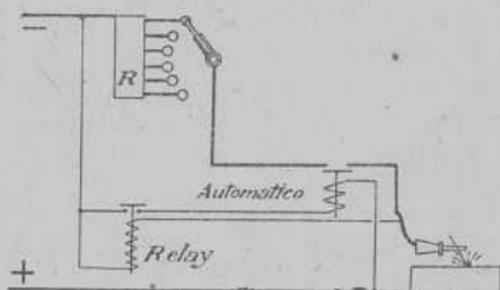


Fig. 8

miento es costoso y en general hay que disponer de una generatriz de bajo voltaje, para obtener mejor rendimiento. En efecto, si se utiliza corriente industrial a 250 voltios, por ejemplo, habiendo de obtener en definitiva entre los electrodos unos 20 voltios, en la resistencia se pierde un número de vatios igual al producto de los amperios utilizados multiplicados por 200. Fácilmente se emplean 10-12 kilovatios en pura pérdida, para utilizar en definitiva uno o dos escasa-

mente. Es, pues, preferible instalar un grupito de motor generador, obteniendo ya directamente corriente al voltaje deseado. Sin embargo, entonces se hace necesario el empleo de un sistema regulador, para evitar que las variaciones enormes de carga hagan oscilar también el voltaje excesivamente, lo que hace mucho más difícil de mantener la estabilidad del arco.

En el comercio existen instalaciones eléctricas para soldadura de arco con corriente alterna; pero ya indicamos que esta corriente es menos propia y, aparte de lo que ya dijimos, conviene tener presente que el mal *factor de potencia* a que trabajan los alternadores destinados a este uso, hace aumentar el coste de la soldadura, aunque el coste inicial de la instalación resulte algo menor, a no ser que se dispongan condensadores estáticos para mejorar dicho factor de potencia, en cuyo caso cesan las ventajas económicas (44).

a El equipo completo de corriente continua se compone esencialmente de grupo *motor generador*, que puede constar de una sola máquina con doble colector y doble arrollamiento, trabajando por un lado como motor de continua a la tensión de la red de que se dispone, y por el otro como generatriz, o de dos máquinas de arrollamientos distintos. El primer sistema es principalmente usado en los equipos transportables a causa de su menor volumen y peso. El segundo es más estable y sólido y se hace del todo necesario cuando sólo se dispone de corriente alterna de red, usándose entonces un motor acomodado a la clase de corriente de que se dispone.

b Además es preciso disponer de un *sistema regulador*, con objeto de proteger la dinamo en los cortos

circuitos que es preciso hacer al soldar, y de regular la corriente y el voltaje dentro de los límites antes asignados. Para ello existen varios sistemas que pueden clasificarse en sistemas de *voltaje constante*; *sistemas de corriente constante* y *sistemas de voltaje y corriente variable*.

Describiremos algunos tipos que se encuentran más comúnmente en el comercio.

### **Generatrices y sistemas reguladores especiales.**

Como equipo transportable puede citarse el construido por la C. & C. Electric & Mfg. Co. representado en la fig. 9 y de cuyo esquema da idea la fig. 10. Cuando se junta el soldador a la pieza, toda la resistencia reguladora queda en serie con el circuito principal; pero al levantarse el electrodo se cierra el relai en serie y funciona el automático que pone en corto una parte de la resistencia. El generador es de voltaje constante, para lo cual tiene dos arrollamientos, uno en serie y otro en derivación regulable. Esta máquina tiene una capacidad de 300 a 1500 amperios.

La General Electric Co. tiene un tipo parecido al anterior.

La Wilson Weldern & Metals Co. ha construido tipos fijos para un número cualquiera de soldadores, con una dinamo que suministra a todos ellos, dividiéndose ésta en otros tantos cuadros de distribución.

Estos equipos son de *corriente e intensidad constante*. La *Lincoln Electric Co.* construye tipos con voltaje variable que, para el corto circuito da

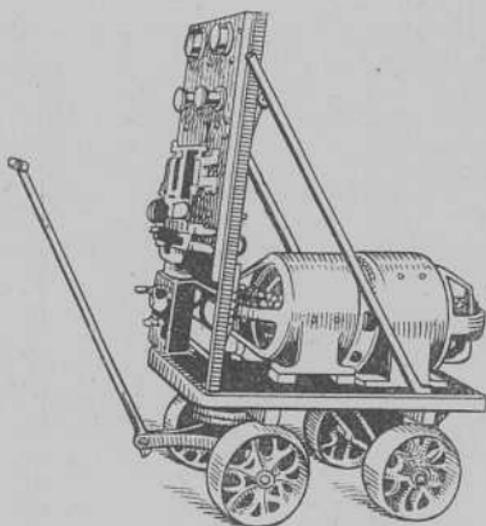


Fig. 9

dos o tres voltios, los cuales se elevan a 20 y 25 al aumentar la resistencia del arco. Ultimamente (24), la *Generale Electric Co.*, ha dado al mercado un tipo muy práctico (fig. 11) de grupo motor generador para 200 amp. y 30 volt. de tensión constante por medio de dos circuitos excitadores perfectamente compensados, de suerte que, en corto circuito, la excitación en serie sola da 30 voltios de f. e. m. y en circuito abierto, la excitación en derivación sola da también 30 voltios.

La casa Quasi-arc Co. Limited (3 Laurence Pount-

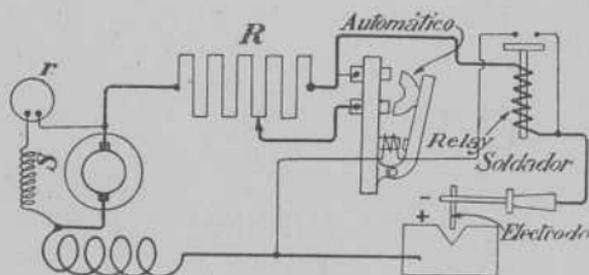


Fig. 10

ney Hill. Cannon Street E. C. 4 London) ha suminis-

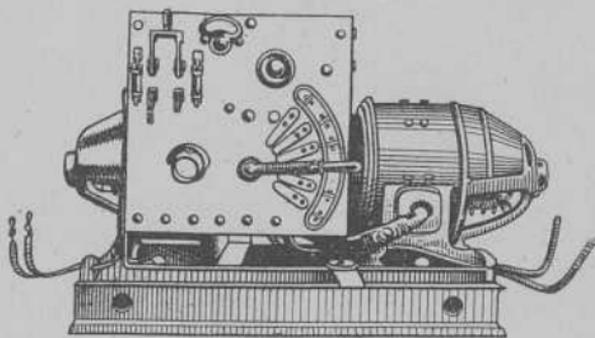


Fig. 11

trado las instalaciones del costero "FULLAGAR" de que hablaremos más adelante (58).

Ultimamente, S. R. Bergman (68) ha construido un tipo de máquina generatriz que satisface con bas-

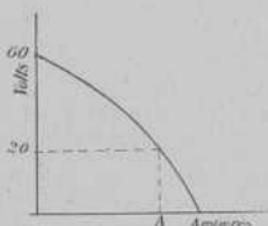


Fig. 12

tante aproximación las condiciones de la máquina destinada a la soldadura por arco. Esta característica es

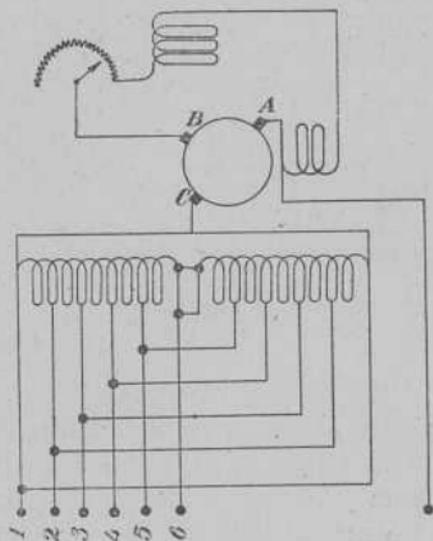


Fig. 13

la de la fig. 12. Es una máquina compensada de tres electrodos, cuyo esquema se ve fácilmente en la figu-

ra 13. Las características obtenidas usando los diversos puntos del arrollamiento excitador en serie están representados en la fig. 14.

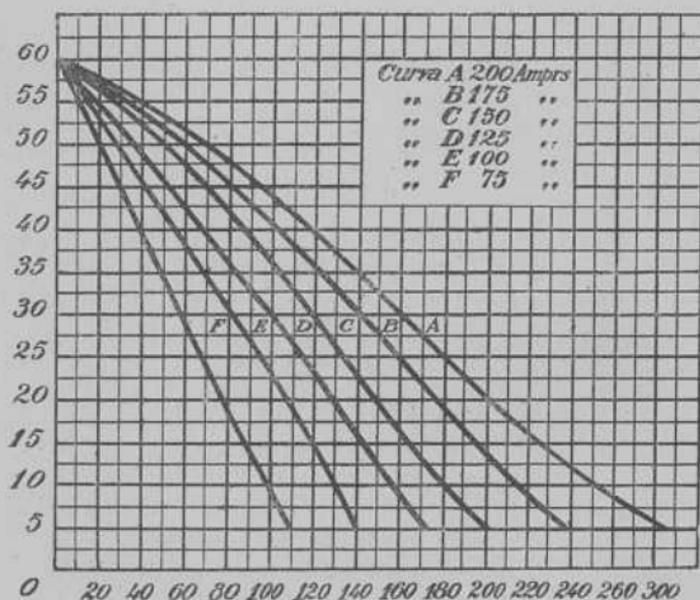


Fig. 14

Fuera de estos sistemas reguladores para la corriente, existen otros muy variados que regulan la longitud misma del arco y la aplicación de la soldadura. Citaremos, entre otros, el de la fig. 15, que en unos rodillos que hacen salir el electrodo, el cual en este caso tiene la forma de un hilo, y están movidos por un motorcito cuya velocidad viene regulada por el mismo arco, el depósito de acero es tan regular, que se pueden re-

crecer sus ejes de acero desgastados y torneados luego (24) página 37).

Además de los sistemas reguladores anteriormente enumerados se usan mucho interruptores automáticos

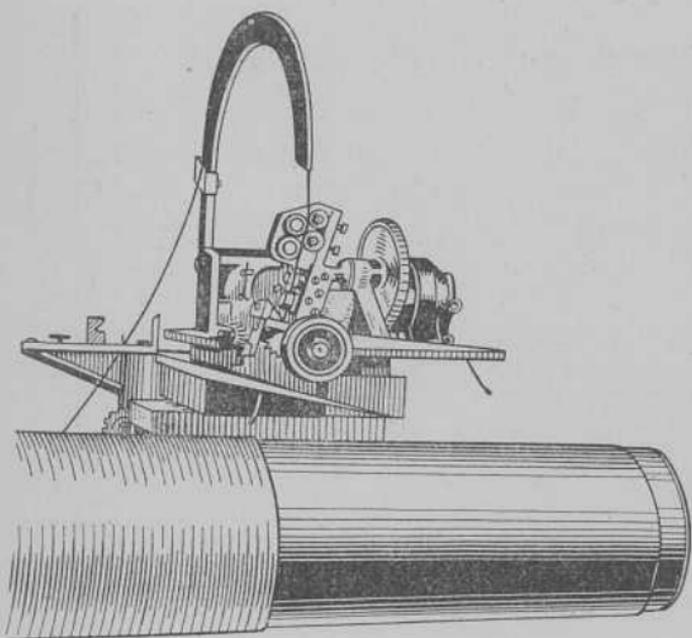


Fig. 15

de máxima intensidad y mejor aún de tiempo, de suerte que si el operador se descuida en mantener demasiado tiempo el corto circuito se desconecta automáticamente el circuito volviéndose al mismo conector una vez suprimido el corto circuito. Estos aparatos en nada se diferencian de los usados generalmente en la industria y además son necesarios en aquellos

sistemas en que la corriente del corto circuito no está convenientemente limitada, lo cual es ya de suyo preferible.

### **Caretas protectoras.**

Son de absoluta necesidad y en realidad no se diferencian de las que se usan en otros géneros de soldadura. Un cristal opaco cualquiera basta, pero se recomienda especialmente la superposición de cristales rojos y azules. Las casas constructoras suministran cristales especialmente hechos para este objeto, aunque es fácil tras un ligero tanteo construirlos por superposición de cristales monocromáticos de colores casi complementarios (67), (40), (61), (14) y (24).

### **Coste de la soldadura autógena por arco.**

Es difícil dar una idea general para hacerse cargo del coste, porque éste varía extraordinariamente con la clase de obra, con el procedimiento y sobre todo, con la habilidad del operador. Daremos, en general, algunas citas que puedan ilustrar sobre el particular. Sobre todo, el coste depende del precio normal de la corriente en céntimos por kilovatio hora. En América se dispone frecuentemente la energía a dos centavos (algo más de 10 céntimos) el kilovatio hora. En España no es frecuente este precio, pero tampoco es imposi-

ble, en especial en algunas localidades, y probablemente lo sería en otras muchas, usando alguno de los procedimientos de tarifas combinadas que permiten a las centrales elevar *el factor de consumo* suministrando a la industria a ciertas horas la corriente en las condiciones exigidas, pues no son pocas las aplicaciones que se hacen imposibles en cuanto el precio de la energía pasa de ciertos límites. Otro de los factores que determinan más poderosamente el coste es el sueldo del operador. Los datos siguientes están calculados a base de un sueldo de 30 centavos hora (algo más de 1,50, o sea en la jornada de ocho horas, a 12 pesetas diarias), que es un sueldo posible hoy en España. Pero hay que advertir que la obra hecha paga ordinariamente bien un jornal mayor al precio de 10 centavos el kilovatio hora para la energía.

La C. & C. Electric & Mfg. Co. suministra los siguientes datos, a base de los precios indicados.

Clase de obra	Tiempo	Coste total
Rotura por dos sitios de un chasis de locomotora acero forjado (soldadura doble)	20 horas	\$ 18,28
Soldadura de 67 grietas de hogar viejo . . . . .	2 semanas	\$ 52,60
Recrecer un eje de inducido gastado en los muñones .	3 horas	\$ 1,50
Árbol de acero de 2 pulgadas de diámetro . . . . .	1 »	\$ 0,60
Cortar tochos de fundición de acero de 4 × 4 pulgadas.	4 minutos	\$ 0,05

Según los datos de esta Sociedad, es más barata la soldadura oxiacetilénica cuando se trata de chapas de un grueso inferior a  $1/8$  de pulgada; por el contrario, sale más barato en las condiciones dichas la soldadura eléctrica de chapas más gruesas y aún es mucho mayor la diferencia para chapas de  $1/8$  y  $3/4$  de pulgada.

Según la Lincoln Electric C. Cleveland Ohio, la relación entre el coste de la soldadura eléctrica y el del rebolado ordinario es, por lo que toca a la mano de obra, de 6,5 a 10 y, por lo que toca a la energía consumida, de 1 a 2. Es cierto que la instalación eléctrica es 25 % más cara, pero la economía en el trabajo y en la energía compensan sobradamente esta ventaja.

### **Metalurgia de la soldadura.**

El procedimiento de soldadura por arco hace experimentar al metal tres cambios importantes: 1.º En todo el trozo fundido se obtiene una masa con todas las propiedades del acero dulce fundido ordinario, desapareciendo en él todas las propiedades debidas a los tratamientos mecánicos (forja, laminado, etc.). 2.º Si el metal fundido no se protege convenientemente y se enfría con rapidez, tiende a tomar una especie de temple muy duro y agrio, siendo imposible de trabajar después con la herramienta. 3.º Un tanto por ciento grande de las impurezas (carbón, manganeso, níquel, vanadio, cromo, etc.), que contiene el

hierro, desaparece por volatilización u oxidación, y por consiguiente desaparecen en la soldadura.

El resultado de esto es que la soldadura puede ser tan resistente como la pieza primitiva, aunque ordinariamente es menos dúctil; pero pudiera ser dulce si el hierro primitivo contiene menos del 0,35 de carbón. En el estado actual de este arte, no se posee un procedimiento general para dar a la soldadura una composición determinada, v. gr.: igual a la de las piezas soldadas; pero esto no obsta para que en la práctica pueda obtenerse una resistencia tan grande o mayor que la de éstas, reforzando convenientemente, al efecto, la soldadura cuyas características son, en general, las del acero fundido, es decir, que por término medio, tiene una resistencia que es el 80 a 90 por ciento de la del acero laminado.

### Resistencia mecánica de la soldadura por arco.

En diferentes ocasiones se han hecho pruebas oficiales de la resistencia de estas soldaduras. Daremos idea del resultado de algunas de ellas.

La *Universidad de Columbia* hizo, entre otros varios ensayos, los siguientes:

a) Una caja de salida de un recalentador, construido por la *Power Specialty Co.* y soldado mediante un grupo de *C. & C. Electric. & Mfg. Co.*, fué probado por medio de una prensa hidráulica a 5500 libras por pulgada cuadrada (unos 390 kilos por centímetro cuadrado), sin que presentase señales de rotura ni deformación.

b) Un recipiente cilíndrico de chapa de acero de 1/2 pulgada de grueso, con dos tapas circulares planas, de chapa de 5/8 de pulgada, soldadas por el mismo procedimiento, fué ensayado a 3600 libras p. p<sup>2</sup> (unos 130 kilos por centímetro cuadrado) sin señales de rotura ni deformación.

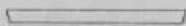
<i>PIEZA ENSAYADA</i>	<i>RESISTENCIA</i>
	100
	95.5
	60

Fig. 16

Para ensayar el esfuerzo tractor se hicieron diversas clases de soldadura sobre chapas de acero de 3/8 de pulgada. Suponiendo que la pieza dada tiene una resistencia de 100 %, para dos clases de soldadura y para el roblonado se obtuvieron respectivamente los resultados indicados en el cuadro de la figura 16.

Con chapas más gruesas de caldera, la soldadura a tope por arco llega a tener una resistencia relativa a la tracción de 90 %. El alargamiento es más pequeño para la soldadura que para la chapa de acero laminado, por no ser tan tenaz como ésta, pero la ductilidad puede aumentarse martillando la soldadura cuando todavía no está del todo fría, operación que

se efectúa frecuentemente en el caso de chapas gruesas.

Para medidas absolutas se sometieron a tracción 200 piezas diferentes, soldadas por arco. El resultado de estas pruebas dió para el punto crítico de la chapa no soldada 46900 libras p. p.<sup>2</sup> (unos 33 kilogramos, p. mm.<sup>2</sup>) y para las piezas soldadas 45600 lib. p. p.<sup>2</sup> (unos 32 kilogramos p. mm.<sup>2</sup>). Para las cargas de ruptura 61500 lib. p. p.<sup>2</sup> (unos 43 kilogramos, p. mm.<sup>2</sup>); para la chapa homogénea 48.600 libras p. p.<sup>2</sup> (algo más de 34 kil. p. mm.<sup>2</sup>) para las piezas soldadas.

Pruebas parecidas han sido hechas por la *General Electric Co.*

## Ensayos hechos por el Lloyd inglés.

En 1918 se propuso esta compañía de seguros adquirir una certeza absoluta de las garantías que podían ofrecer a los navieros los trabajos hechos con soldadura eléctrica y emprendió una serie de pruebas de laboratorio (57) que se prolongaron durante 6 meses. Las pruebas hechas se redujeron a los capítulos siguientes:

- a) Determinación del módulo y del límite de elasticidad.
- b) Determinación de la elongación y resistencia críticas.
- c) Resistencia a los esfuerzos alternativos rotatorios o pulsatorios.

d) Pruebas suplementarias: doblado en frío, impactos.

e) Análisis químico y microscópico.

Los resultados han sido del todo satisfactorios y pueden resumirse diciendo que la soldadura bien hecha obra como el acero dulce fundido, tanto en sus propiedades físicas y mecánicas como en las químicas y microscópicas. Véase (30), en donde se encuentran al detalle fotografías de los aparatos empleados, cuadros y gráficos de los resultados.

Se han hecho prolijos trabajos microfotográficos para estudiar la soldadura desde este punto de vista mucho más interesante, por ahora al menos por lo que toca a la soldadura eléctrica desde el punto de vista teórico que desde el práctico y económico. Pueden consultarse sobre este punto los datos bibliográficos (17), (31), (45) y (47).

---

## CAPITULO III

### APLICACIONES DE LA SOLDADURA POR ARCO

#### Soldadura de chapas.

Una de las aplicaciones que más se presta al arco voltaico, tanto de carbón como con electrodo metálico, es la soldadura de chapa, y esto no solamente de la chapa delgada que se emplea en la construcción de depósitos de agua y cajas de transformadores, etc., sino aun en la chapa gruesa empleada en la calderería y que ha de estar sometida a presiones altas. Como prueba de ello puede servir el hecho de que la *General Electric, Co.*, en sus talleres de Pittsfield lleva construídos más de 4000 tanques con chapa gruesa de caldera, lo que representa más de  $1\frac{1}{4}$  kilómetros de soldadura por arco con electrodo metálico, y otras piezas de chapa de acero que hacen otros 880 kilómetros de soldadura con electrodo de carbón, y con resultados técnicos y económicos inmejorables (25). Agréguese a esto que la técnica del arco es tan fácil, que un hombre cuidadoso y hábil la aprende en pocos dias y la domina del todo en un par de meses. La única dificultad es obtener en toda la extensión de

una junta una soldadura rigurosamente homogénea. Para ello se exige primero una preparación de la chapa en forma adecuada para que la soldadura agarre bien. El arco debe saltar en los puntos de la chapa que se sueldan para que ésta no quede solamente aprisionada en el metal fundido, sino que se funda ella misma y, por último, hay que tener cuidado con la rapidez del enfriamiento después de soldar para que la soldadura no quede en malas condiciones.

### Electrodo de carbón.

Se usa especialmente para chapa delgada de 1/16 y 3/32 de pulgada (de uno a dos mm. aproximadamente). El cuadro siguiente da los datos principales para esta clase de soldadura obtenidos prácticamente. (Fig. 17.)

<i>GRUESO DE LA CHAPA</i>	<i>TRABAJO</i>	<i>CM. Por Hor<sup>2</sup></i>	<i>CMS. DE SOLDADURA POR CARBON</i>	<i>AMPERES</i>
<i>1,5 m.m.</i>	<i>A mano</i>	<i>36,5</i>	<i>274,5</i>	<i>37</i>
<i>1,5 m.m.</i>	<i>A maquina</i>	<i>73</i>	<i>427</i>	<i>50</i>
<i>2 m.m.</i>	<i>A mano</i>	<i>36,5</i>	<i>213,5</i>	<i>50</i>
<i>2 m.m.</i>	<i>A maquina</i>	<i>73</i>	<i>335,5</i>	<i>65</i>
<i>FORMA DE LA SOLDADURA</i>				

Fig. 17



Fig. 18

### Electrodos metálicos.

Los electrodos más usados en esta clase de trabajos son los siguientes:

Por 100	Chapa de acero	ELECTRODO			
		Acero sueco	Marca Toncan	Marca Armco	Marca Roebling
Carbono	0,25	0,049	0,10	0,078	0,185
Manganeso	0,40	0,21	0,16	0,041	0,561
Fósforo	0,025	0,025	0,010	0,011	0,037
Silicio	0,000	0,08	vestigios	0,000	vestigios
Azufre	0,028	0,007	0,046	0,032	0,038

La dificultad de esta soldadura consiste sobre todo en las dos circunstancias siguientes: En primer lugar,

aquí no sólo se contrae y dilata la chapa, sino también la soldadura; en segundo lugar, es preciso que el arco salte a todo lo largo de las piezas que se sueldan, pues si sólo falta en puntos discontinuos la soldadura resulta porosa, aunque aparentemente queda fuerte y cubierta.

El cuadro siguiente da idea de las principales maneras de disponer la chapa y de las condiciones en que se verifica la operación. (Fig. 19.)

GRUESO DE LA CHAPA.	DIAMETRO DEL ELECTRODO	AMPERES	CMS POR HORA	GRS DE METAL DEPOSITADOS POR PIE	FORMA DE LA SOLDADURA
15 mm	1,5 mm	30	485,7	—	
3,0 mm	4,0	100	336,3	18,1	
3,0 mm	4,0	95	228,7	104,9	
4,5 mm	4,0	130	305,0	98,7	
4,5 mm	4,0	117	192,2	140,4	
6,0 mm	4,0	140	183,1	154,0	
6,0 mm	4,0	137	112,8	226,5	
9,5 mm	4,0	140	122,3	212,9	
9,5 mm	4,0	140	76,3	253,7	
13,5 mm	4,5	150	49,8	244,6	
13,5 mm	4,5	150	61,0	453,0	
13,5 mm	4,5	165	61,0	453,0	
15,5 mm	4,5	165	39,8	656,8	

Fig. 19

## Pruebas de resistencia y ejemplos de soldadura de chapas.

Es interesante la prueba hecha por el *Electric Welding Committee of the Emergency Fleet Corporation* sobre un depósito de 12 por 9 por 10 pies cúbicos ( $3,60 \text{ m.}^3$  por  $2,70 \text{ m.}^3$  por  $3,05 \text{ m.}^3$ ) con chapa de acero de (1/2 pulgada) 12,3 mm. de espesor. Se pretendía averiguar si un depósito de estas dimensiones podía construirse con arreglo al plano sin demasiada distorsión de la chapa, qué resistencia presentaba a las variaciones de presión bruscas y cuál era su coste y tiempo necesario para su construcción. Desde luego, se excluía el roblonado, y la chapa había de tener todas sus uniones hechas eléctricamente. La caja fué sometida, sin avería, a una presión de 2,8 kilos por  $\text{cm.}^2$ . A los 3 kilos por  $\text{cm.}^2$  aproximadamente saltó la soldadura por una esquina. Aunque es difícil calcular el esfuerzo a que estuvo sometida, la soldadura se evaluó en unas 50000 libras por pulgada cuadrada (unos 3500 kilos por  $\text{cm.}^2$ ).

## Cortadura de chapa por el arco de carbón.

Puede cortarse chapa por el arco de carbón, a condición de que no pase de unos 12 mm. de espesor; aun así suele preferirse el soplete oxhídrico, porque

produce cortes más estrechos y se pierde mucho menos material. Ha de emplearse siempre el arco de carbón. El arco tiene la tendencia de saltar entre el carbón

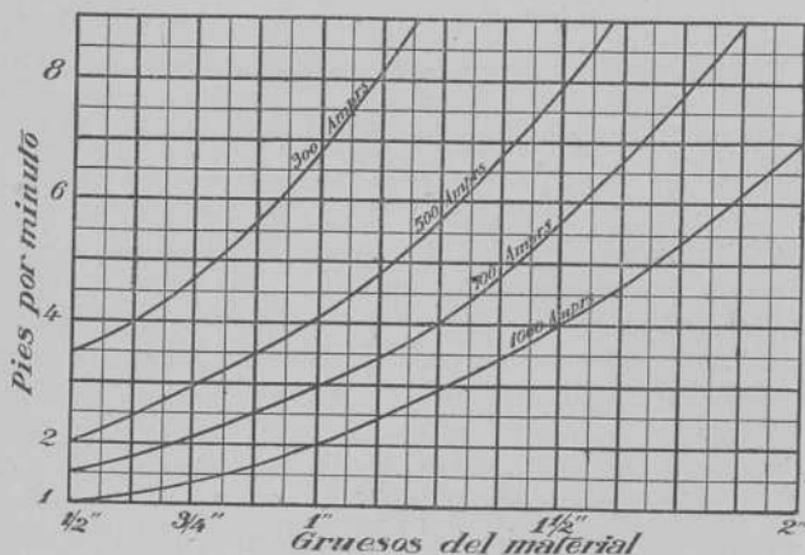


Fig. 20

y los bordes del corte empezado, lo que los funde y es difícil obtener cortaduras bien calibradas.

Las gráficas de la fig. 20 dan una idea de las velocidades de corte que prácticamente pueden obtenerse. En cambio, para cortar fundición se prefiere el arco eléctrico porque puede hacerse fundir más exactamente los puntos que se deseen.

## Reparación de grietas.

Deben darse dos taladros en los extremos de la grieta a un par de cm. de sus extremos. Después, se cortan los bordes de la grieta en bisel por medio de un cincel que puede ser neumático. En grietas horizontales puede dejar de cortarse en bisel el borde inferior tallando el superior a un ángulo de  $45^\circ$  ó  $30^\circ$ , procurando desperdiciar la menor cantidad posible de material. Cuando los bordes de la grieta están muy separados se van recreciendo, depositando capas sucesivas de material hasta que se aproximan el uno al otro. Pudiéndose rellenar de esta manera muy anchas y gruesas fallas con una falla cortada y soldada al arco.

Cuando se trata de grietas de chapas de acero más resistente que la soldadura, puede ésta recrecerse en un 30 % por ambos lados, con lo que suple en grueso lo que falta en resistencia específica. Cuando hay que colocar varias capas de soldadura superpuestas, cada una debe cepillarse con una carda con objeto de quitar la capa de óxido que haya podido formarse. También puede hacerse esta operación mediante el chorro de arena inyectado por un dardo de aire comprimido y muy usado en esta clase de trabajos en otras varias industrias.

## Composturas de piezas rotas.

Mediante la soldadura por arco pueden recomponerse toda clase de piezas rotas exactamente como mediante la soldadura oxídrica.

### **Aplicación a las fundiciones y altos hornos.**

Se utiliza la soldadura por arco para fabricar cajas de recocido, que por las altas temperaturas a que han de estar sometidas no pueden soldarse con otros metales. Se usa, sobre todo, el arco de electrodo de carbón para cortar bebederos y sobrantes demasiado gruesos y sobre todo para rellenar toda clase de fallas, grietas, sopladuras, tanto de fundición como de acero.

Pueden además soldarse o desoldarse las orejas de las cajas de fundición y en general corregir toda clase de defectos o equivocaciones observados después de la fundición.

En altos hornos, el arco eléctrico es susceptible de numerosas aplicaciones. Se usa, vgr.: para desatascar toberas y tubos de sangría, que cuando llegan a obturarse del todo, pueden obligar a apagar un horno. Para desatascarlo, se usa un electrodo de grafito y una corriente de 800 a 1000 amperios. Esto funde una masa de hierro a una velocidad de unos 90 cm. por hora. Los cazos y los rodillos de laminadores se funden o desgastan rápidamente en su superficie llegando a inutilizarse, el arco eléctrico puede recrecerlos y volverlos a dejar como nuevos.

### **Soldadura de aceros rápidos para herramientas.**

En las herramientas de los tornos y otras maquinarias se emplean aceros especiales y aun otros productos muy duros que permiten un trabajo mucho

más rápido sin destemplarse por el calor producido. Pero siendo estos aceros de precios muy elevados se emplean pequeñas piezas soldadas en el extremo de la herramienta a la que se dan las dimensiones mucho mayores para que el calor producido se reparta en la masa del soporte, con lo que se refrigera la pieza de acero rápido. La soldadura de ésta al portaherramienta puede hacerse de varias maneras y lo más cómodo es hacerlo por el procedimiento de Thomson que vamos a describir a continuación. Sin embargo, la Westinghouse Electric & Mfg. Co. recomienda como más barato y satisfactorio el procedimiento del arco con el electrodo de hierro sueco, de 5/32 a 100 amperios, con unos 60 voltios. Para que dé buen resultado el método hay que hacer previamente una caja en la punta de la herramienta de acero ordinario al carbono, dentro de la cual se introduce la pieza de acero rápido. En esta disposición se calienta el conjunto y se añade bórax en la junta, a lo largo de la cual se hace la soldadura. Hecha ésta es preciso introducir la herramienta en un baño de mica o arena para que se enfríe muy poco a poco. Después se afila al poco más o menos, se temple y afila definitivamente.

### **Aplicación a los talleres y depósitos de locomotoras.**

Las aplicaciones a la construcción y más aun a la reparación de locomotoras se han puesto especialmente de manifiesto en la intensificación que como conse-

cuencia de la guerra ha tenido que experimentar esta industria. Es cierto que en algunos talleres de los Estados Unidos en que se había instalado con este fin la soldadura de arco, la abandonaron, teniéndola por fracasada. Sin embargo, en la mayoría de ellos se

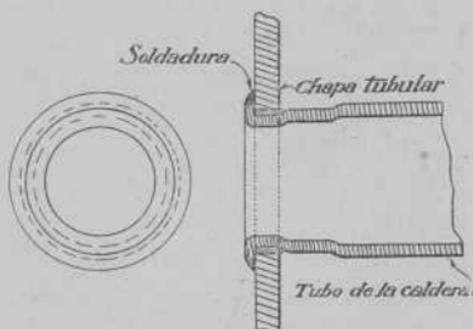


Fig. 21

ha empleado con verdadero éxito y puede asegurarse que en todos los casos de fracaso éste fué debido a que se hacía en malas condiciones y por operadores poco diestros.

Desde luego, se comprende la posibilidad de soldar los tubos de las calderas y reparar toda clase de averías en las chapas de todas clases que intervienen en estas máquinas. La figura 21 muestra cómo han de soldarse los tubos. Según los datos suministrados por R. E. Wagner, como promedio deducido de la experiencia hecha en una de las más importantes líneas de América, durante el mes de enero de los años 1914, 1915 y 1916, una locomotora nueva recorría pró-

ximamente 17816 millas (unos 10000 kilómetros) por cada rotura de las planchas de la caldera o tuberías.

El promedio para los mismos meses en calderas reparadas con el arco eléctrico fué de 239651 millas

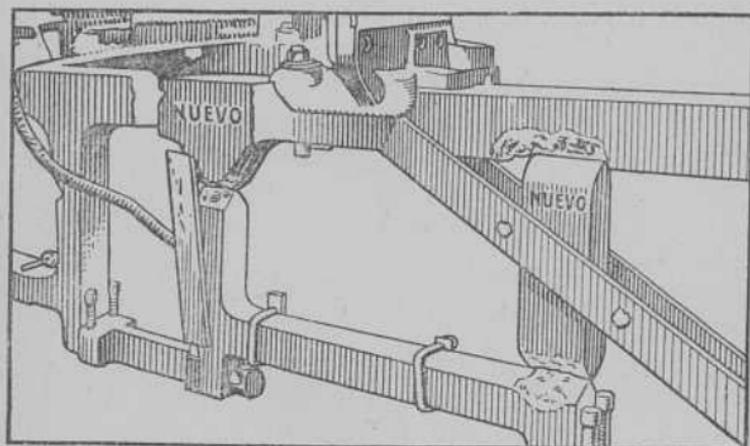


Fig. 22

por avería, lo cual podría explicarse porque las primeras averías se producen por los puntos más débiles, los cuales, debidamente reforzados hacen que la máquina presente una resistencia total mucho mayor ((60) pág. 54).

Más sorprendentes son aún las reparaciones y aun correcciones en la construcción de los chasis de locomotoras, pudiendo añadirse piezas nuevas de tamaños enormes, que quedan tan firmes como si hubieran sido fundidas en un sólo bloque. De ello da una idea la fig. 22.

Algunas veces se producen grietas o descantillados en las llantas de acero de las locomotoras, y especialmente en la pestaña, que pudieran traer graves consecuencias sin una reparación inmediata. El arco eléctrico permite hacer ésta con toda comodidad aun sin desmontar las ruedas. Para ello debe comenzarse por limpiar perfectamente de la grasa y del óxido los puntos que se van a fundir, por medio de cardas. No debe levantarse el electrodo demasiado, pues el arco de llama larga produce la oxidación del metal. Las capas de acero depositadas por el electrodo no deben de estar según planos que pasen por el eje de la rueda, sino según planos inclinados unos  $45^\circ$ , lo que hace mucho más sólida la composición por ser mayor la superficie de contacto de una capa con la otra.

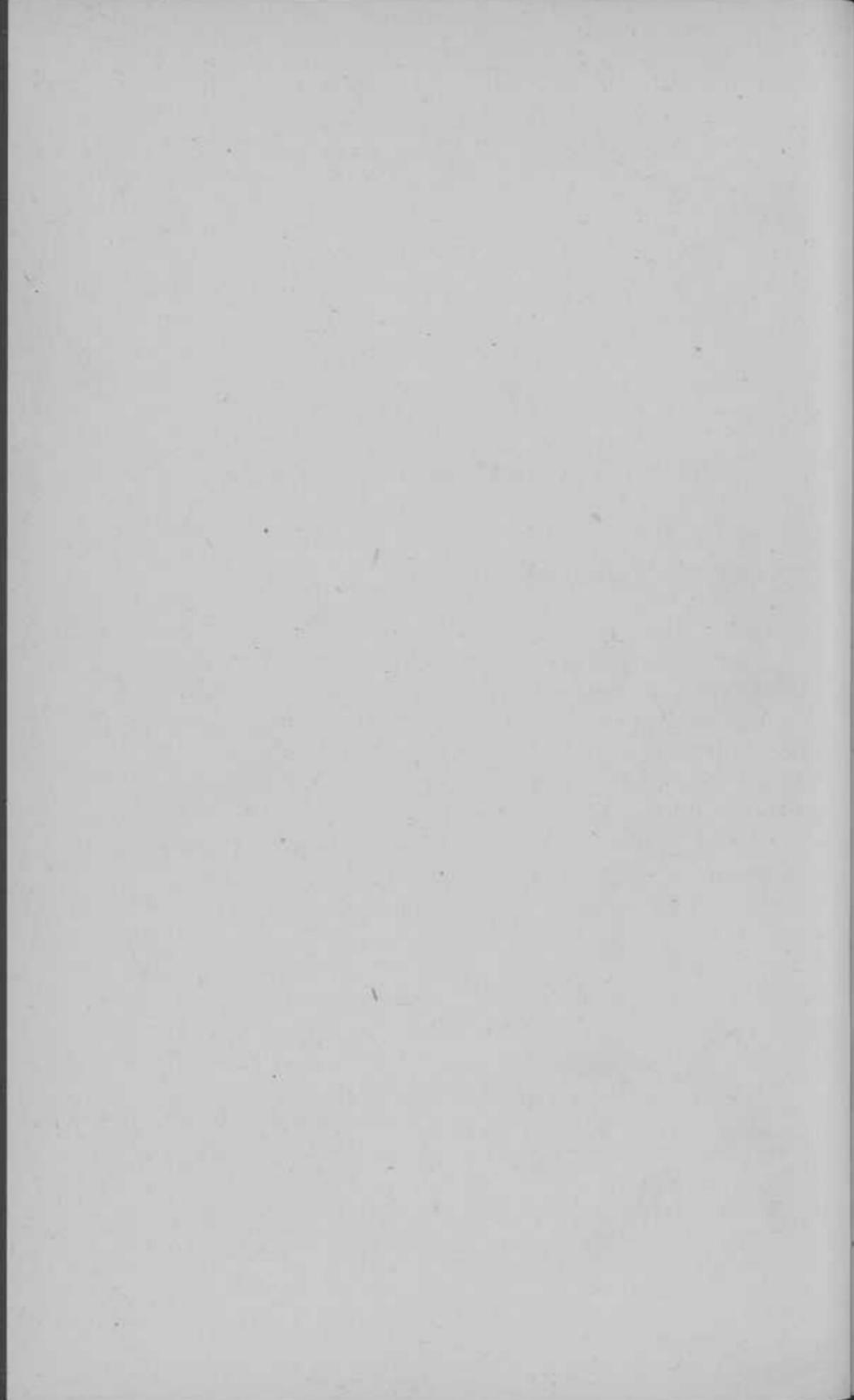
Existen máquinas (54) para soldar los cubos de las ruedas a los radios y para otros trabajos casi imposibles por otros procedimientos (66). Hoy se construyen corrientemente en los E. U. vagones de carga y vagonetas enteramente soldados sin roblonar (26).

### Construcción naval.

La soldadura por arco se presta a soldar piezas por medio de un aparato portátil para trabajos en que la soldadura por puntos, de la que después hablaremos y que exige aparatos pesados, no se puede emplear, por ello, se emplea en la soldadura que ha de hacerse esencialmente en el montaje mismo. Sin embargo, vere-

mos que las disposiciones sucesivas que se dan al procedimiento de Thomson es probable permitan pronto aplicarla también al montaje; en este caso es preferible al arco por su mayor rapidez y economía. Sin embargo, se ha demostrado que la construcción naval puede hacerse enteramente mediante el arco eléctrico sin ningún roblonado ni retacado. La casa Cammell Laird & Co. Limited de Birkenhead ha construido un pequeño barco motor de gasolina, el "Fullagar", de unos 150 pies de eslora sin un solo remache, sino todo él por soldadura eléctrica al arco (véanse detalles de construcción y planos en (58) El Lloyd Register of Schipping inglés ha sometido este barco a las pruebas más duras y ha aprobado para los seguros los procedimientos de arco, con tal que se acomoden a cierto número de condiciones publicadas por dicha compañía, y que en resumen son las mismas que ya hemos indicado.

Debe advertirse que en las pruebas del "Fullagar" no han sido tenidas en cuenta para nada las condiciones económicas del procedimiento que se ha ensayado en sí mismo y se ha encontrado muy superior al roblonado.



## CAPITULO IV

### SOLDADURA AUTÓGENA A TOPE

#### Aparatos de Elihu Thomson.

Aunque, como queda dicho, ya desde 1877 había pretendido Thomson aplicar el principio de la resistencia óhmica a la soldadura, los primeros aparatos prácticos no comenzaron a aplicarse hasta 1885-1886. Aunque sólo sea como un esquema del procedimiento, haremos mención del aparato primitivo.

Las dos fuertes mordazas o *mandíbulas* *A A* (figura 23) de una prensa sostienen, mediante las piezas movibles *D*, los dos trozos de barra metálica que se trata de soldar. El eje de giro *B* de las dos mandíbulas permite mantenerlas aisladas entre sí y en contacto con un sistema generador de corriente de gran intensidad y pequeño voltaje. Por medio de un resorte *E* accionado por un tornillo de presión *G* aislado de él por una pieza *F*, se ejerce una presión mayor o menor entre las piezas que se quiere soldar. La corriente, al pasar por ellas, las pone incandescentes y la presión las suelda. Para evitar un recalentamiento excesivo, este aparato iba provisto de dos contactos de gran superficie, por donde se cerraba el

circuito al ceder a la presión las piezas soldadas, las cuales quedaban de este modo automáticamente sin

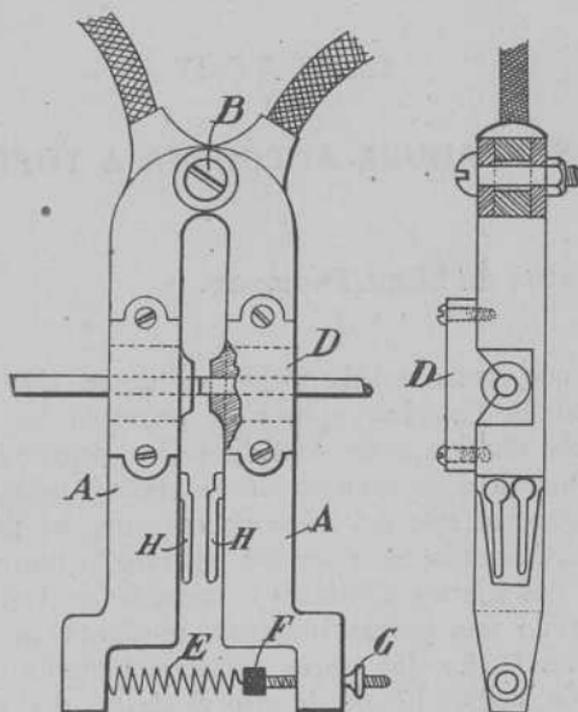


Fig. 23

corriente. El esquema adjunto da una idea de la disposición general del aparato. (Fig. 24.)

La corriente del generador *F* con el interruptor *G* y la resistencia reguladora *E* alimenta un transformador cuyo secundario va a parar a las mandíbulas de la prensa. Las mordazas, cuyo detalle se ve al lado

en otra proyección, sujetan las piezas que se han de soldar.

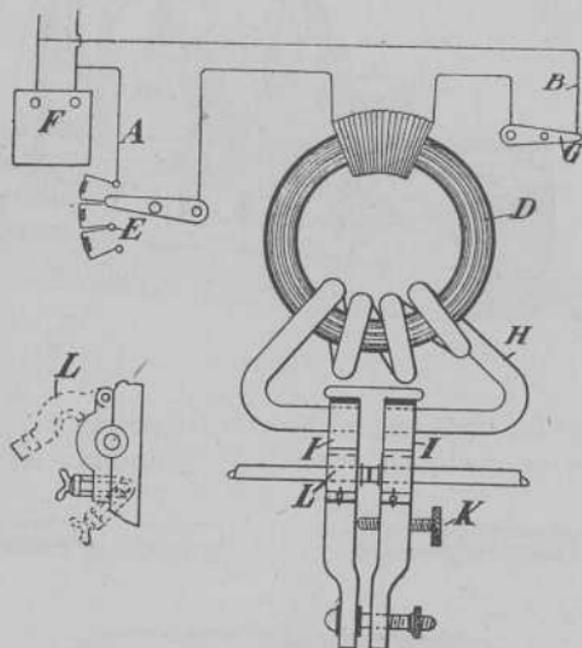


Fig. 24

### Máquinas modernas.

Posteriormente, los tipos de máquinas se han multiplicado de tal suerte, que sería imposible enumerar siquiera los tipos principales. La figura 25 da idea de

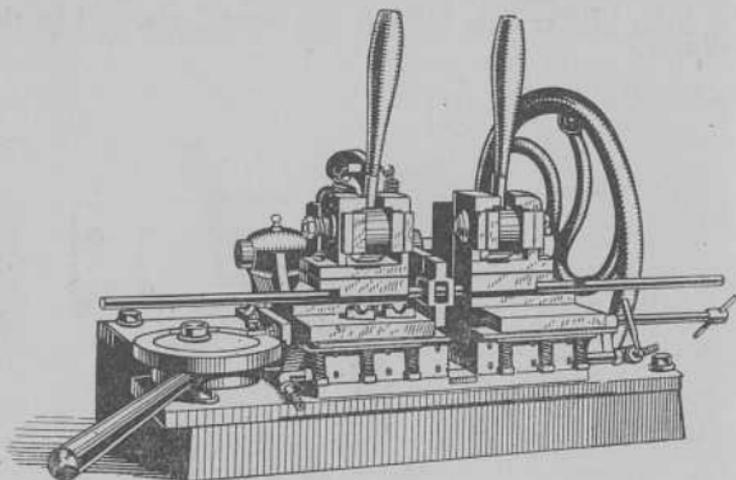


Fig. 25

uno de los tipos empleados con frecuencia para soldar piezas de cualquier forma. Al comprimir las piezas

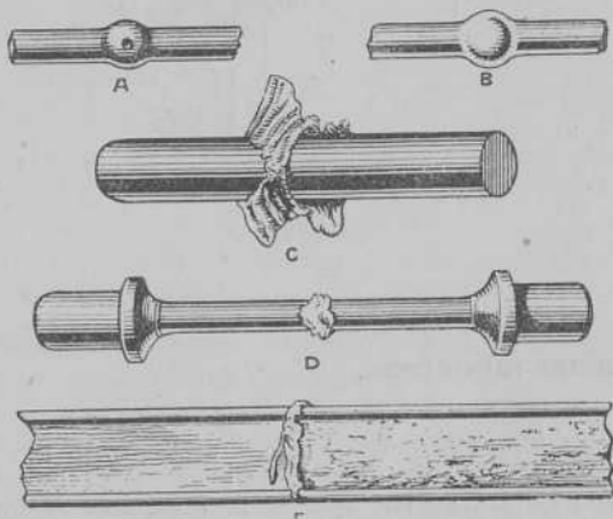


Fig. 26

una contra otra, si no se toma alguna especial precaución, queda una rebarba parecida a la de la figura 26. Esto puede evitarse, o bien por un rebardado subsiguiente, o bien, muy frecuentemente, por

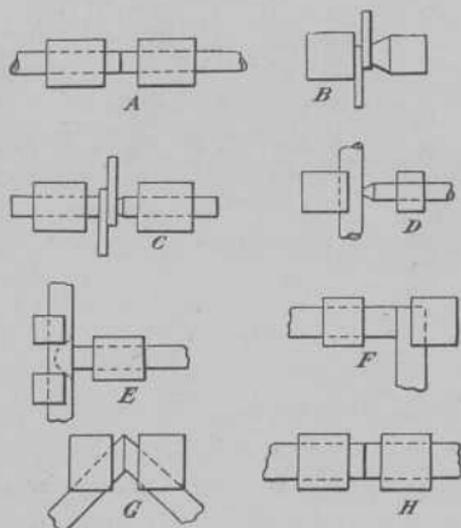


Fig. 27

medio de una matriz, que instantáneamente después de la soldadura, y cuando las piezas están aún blancas, comprime la soldadura dándole la forma que definitivamente ha de tener.

Puede tomarse como ejemplo del primer método el que se emplea (figs. 27 y 28) siempre que se quiere preparar una herramienta de acero especial sin emplear este acero para todo el mango de la herra-

mienta, lo que resultaría muy caro, sino sólo para la parte con que se trabaja, v. gr.: en brocas, es-carriadores, herramientas de torno, etc. Por este procedimiento se obtienen reparaciones sorprendentes y

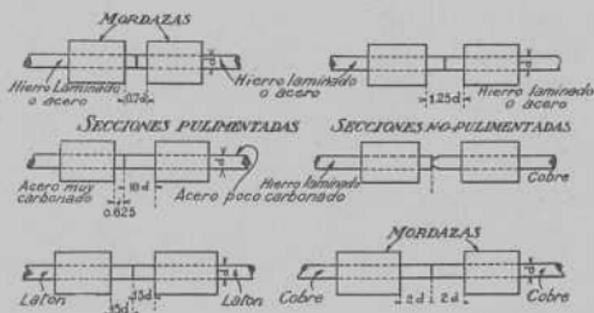


Fig. 28

utilísimas, como las de hojas de sierra partidas y otras herramientas de acero. Las máquinas modernas permiten obtener soldaduras de barras en ángulo recto o formando un ángulo cualquiera dado.

Entre otras varias casas constructoras, pueden citarse la *General Electric Co.*, la *Thomson Electric Welding Co.* etc. en los E. U., la *Universal Electric Welding Co.*, etc. en los E. U., la casa *A. I. de J. Cul-ton*, de Londres, la *Gesellschaft für Elektrotechnische Industrie*, de Berlín, etc.

### Advertencias prácticas para la soldadura.

Las máquinas universales suministradas por las casas constructoras permiten, en general, soldar entre

sí toda clase de piezas de los metales usuales y aun de diferentes metales, aunque no siempre en las mismas condiciones. En general, los metales de mayor resistencia eléctrica, como el hierro, níquel, etc., se sueldan mejor; en cambio, el cobre, aluminio, plata, etcétera, y sus aleaciones exigen mayor amperaje, aunque menor voltaje.

Las mordazas, que en general son de cobre o bronce, deben estar muy limpias y adaptarse muy bien a las piezas, sin lo cual pudieran calentarse ellas mismas y aun soldarse a la pieza que aprisionan. Las dos piezas que se van a soldar deben tallarse y cogerse en las mordazas de una manera apropiada a cada caso, para obtener el máximo de rapidez y de seguridad. La figura 27 da una idea de estas diferencias. Los metales más resistentes deben cogerse más cortos en las mordazas, porque se calientan en toda su masa y conviene que sólo se caliente la junta. La gran superficie y masa de la mordaza actúa en parte como refrigerador, a más de que la longitud del trozo atravesado por la corriente será menor. El metal\* menos resistente suele tallarse en forma de cono truncado, para que se caliente más la soldadura, como se ve en *B*. La figura 28 da una idea de varias disposiciones prácticas, para obtener diversos efectos fáciles de averiguar por la simple inspección de la figura.

Las superficies de las piezas que se sueldan deben estar lo suficientemente limpias y planeadas para que la corriente que pasa desde el principio sea intensa. Para esto suele bastar un cepillado o limado regular, una limpieza con esmiril o dardo de arena. Algunos preconizan el lavado previo con agua acidulada con ácido sulfúrico; pero en este caso y en todos los

demás, sobre todo cuando se trata de metales oxidables, debe evitarse que haya ácido en el momento de la soldadura, pues las capas de óxido que se forman hacen que quede en falso. Por esto se usan a veces barnices que impiden el contacto del aire o también fundentes, en especial cuando se trata del cobre u otros metales muy poco resistentes.

Cuando, como sucede con el hierro, los metales que se sueldan tienen un punto de fusión muy alto, sería muy dispendioso hacer que la corriente elevase la temperatura hasta el punto de fusión, y se prefiere terminar la soldadura por una fuerte presión ejercida cuando las piezas se han comenzado a reblandecer. Es usadísimo este sistema en la construcción de cuchillos, herramientaje de todo género, en la de automóviles y bicicletas, así como en la robinetería, para empalmes, codos, etc.

### **Potencia y tiempo que requiere este sistema.**

Para dar una idea del coste de esta soldadura, comenzaremos por indicar que la corriente utilizada es alterna, de 50 períodos y ordinariamente de 100 a 400 voltios, que se transforman en 4-8 mediante un transformador estático. La intensidad requerida es sumamente variable, pero las tablas siguientes, obtenidas por medida de vatios, darán una idea del coste aproximado, así como del tiempo necesario para cada soldadura. La TABLA I se refiere a cilindros de hierro dulce ordinarios de secciones variables, al

**TABLA I**

**TIEMPO Y POTENCIA NECESARIOS PARA LA SOLDADURA A TOPE:**

Área de la barra en cm. <sup>2</sup>	KW. utilizados aproximadamente	Tiempo en segundos
<b>HIERRO LAMINADO O ACERO EN BARRAS O VARILLAS</b>		
1,61	6,0	20
3,22	10,0	28
4,83	13,0	35
6,45	18,75	40
9,67	29,5	44
12,90	33,0	57
16,12	38,0	63
19,35	43,5	70
25,80	56,3	80
32,26	61,7	90
38,71	69,0	98
<b>LATÓN EN BARRAS O VARILLAS</b>		
0,81	6,0	10
1,61	12,0	14
2,42	12,6	17
3,22	15,0	20
4,83	25,0	22
6,45	29,5	28
8,06	37,0	32
9,67	43,0	35
12,90	53,0	40
16,12	60,0	45
19,35	66,0	49
<b>COBRE</b>		
0,403	5,0	5
0,81	8,5	7
1,21	12,0	9
1,61	18,0	10
2,42	28,5	11
3,22	32,0	14
4,03	37,0	16
4,83	43,0	18
6,83	55,5	20
8,06	61,0	23
9,67	68,0	25

latón y al cobre. En la TABLA II, además del tiempo, se da ya el coste de 1000 soldaduras, suponiendo que se obtiene la corriente alterna a unos

**TABLA II**

**TIEMPO Y AMPERIOS NECESARIOS PARA LA SOLDADURA A TOPE DE HIERRO CON ACERO:**

Área en cm. <sup>2</sup>	KW necesarios	Tiempo en segundos	Coste a 5 céntimos el KW hora
0,32	2	3	0,005 ptas.
0,71	3,5	5	0,015 >
1,29	5	5	0,021 >
2,00	7,5	10	0,062 >
2,84	12	15	0,151 >
3,87	15	18	0,235 >
5,10	18	20	0,300 >
6,38	25	25	0,520 >
7,93	35	30	0,880 >
11,42	50	40	1,640 >
15,54	65	45	2,420 >
20,25	75	50	3,600 >

5 céntimos el kw. hora. Otras tablas parecidas pueden consultarse en (2) y (11) cuyo resultado general es muy poco diferente del que acabamos de dar.

Debe advertirse que cuanto más rápidamente se verifica la soldadura, puede consumirse menos energía, pero el transformador que haya que usar entonces es mayor, lo que aumenta los gastos de instalación.

El amperaje puede variar, según los distintos usos, desde 2000 a 50000 amperios, en las máquinas grandes.

## Pruebas de resistencia.

Además de las pruebas generales antes aducidas, y de otras más especiales que veremos después, para algunas aplicaciones de este método, se han hecho en diversas ocasiones pruebas del método de soldadura a tope, variando el tiempo, el amperaje y la presión de contacto. Entre otros, podemos citar, como trabajos de recopilación (45), el de V. H. Gard. En estos ensayos se tuvo en cuenta, no sólo la resistencia mecánica, sino también la acción lenta del agua del mar. Las estadísticas y cuadros sinópticos de los resultados son demasiado extensos para poderlos incluir en este resumen; baste saber que en soldaduras hechas con arreglo a los datos de energía antes suministrados, se ha encontrado la soldadura enteramente a las piezas continuas del mismo materia.

## Análisis micrográfico.

J. A. Capp ha hecho un estudio sistemático de una serie de soldaduras obtenidas en condiciones variables y sometidas después a recocidos más o menos prolongados. Los resultados obtenidos para los procedimientos de soldadura a tope pueden resumirse del modo siguiente: El autor distingue tres clases de soldaduras:

- 1) Grandes intensidades, de 20000-50000 amperios, durante un tiempo relativamente grande.
- 2) Intensidades medias y menor tiempo de duración.

3) Intensidad justamente necesaria para producir la soldadura durante un mínimo de tiempo.

El autor ha podido comprobar que en punto a cualidades técnicas, el primer método es el peor de

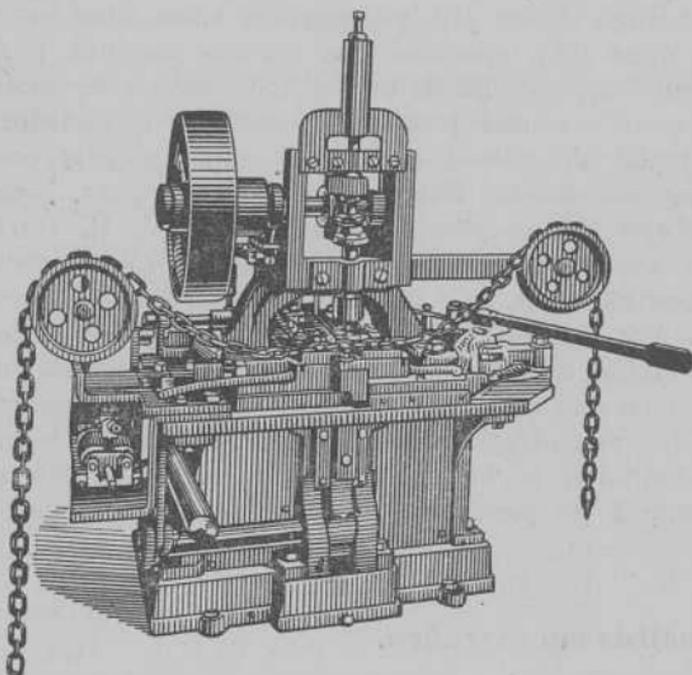


Fig. 29

todos y el último el mejor, contra lo que pudiera creerse. Si al último se agrega un recocido, la soldadura es difícil de distinguir de una pieza continua.

### Aplicaciones. Máquinas de hacer cadenas.

El procedimiento Thomson ha dado lugar a numerosas aplicaciones, de las que indicaremos aquí ligeramente algunas. La figura 29 da idea de una de las

primeras máquinas construídas por el mismo Thomson para hacer cadenas. El esquema adjunto (figura 30) nos hace ver el detalle del mecanismo. En

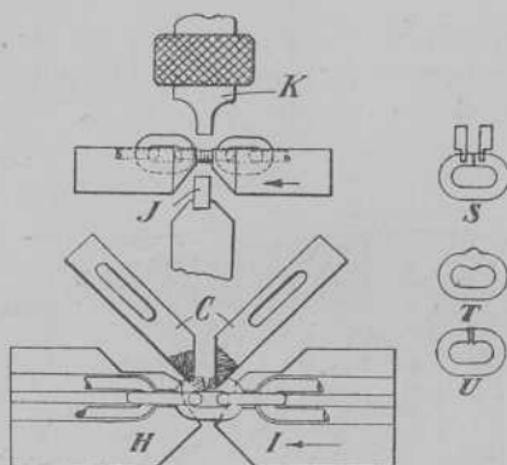


Fig. 30

estas máquinas la cadena venía ya armada, no haciendo la máquina sino la soldadura de los eslabones. Los electrodos *C* traen la corriente que pasa por todo el eslabón: las pinzas *H I* ejercen la presión necesaria para acabar la junta. Posteriormente se han construído máquinas que hacen la cadena y la sueldan. La varilla, que viene de un tambor, donde está arrollada, es retorcida por una pinza, que puede avanzar al efecto y comprimida por las dos mandíbulas que le dan la forma; entonces es cortada e inmediatamente soldada.

## Rieles, tuberías, llantas, inducidos eléctricos, trefilería metálica, etc.

Por medio de máquinas adecuadas se obtiene la construcción de arcos metálicos continuos y llantas de automóviles, etc.

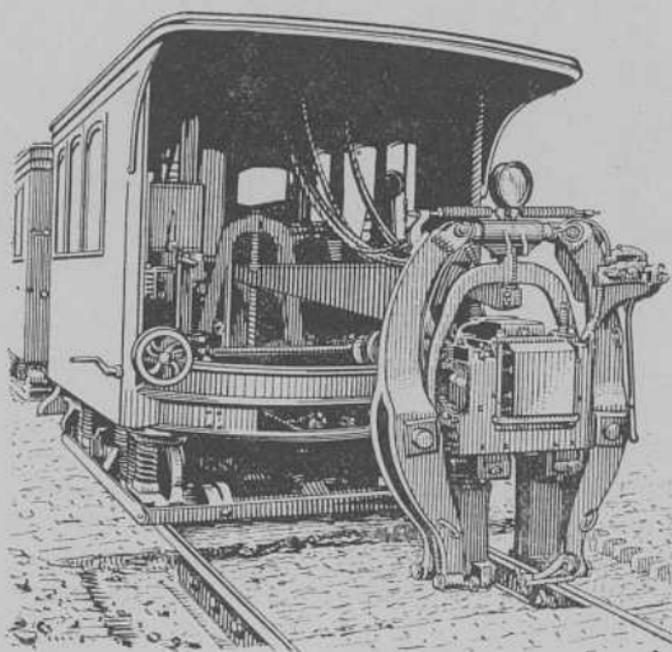


Fig. 31

La figura 31, tomada de la *Lorain Steel Co. London* es una aplicación de este sistema a la soldadura de

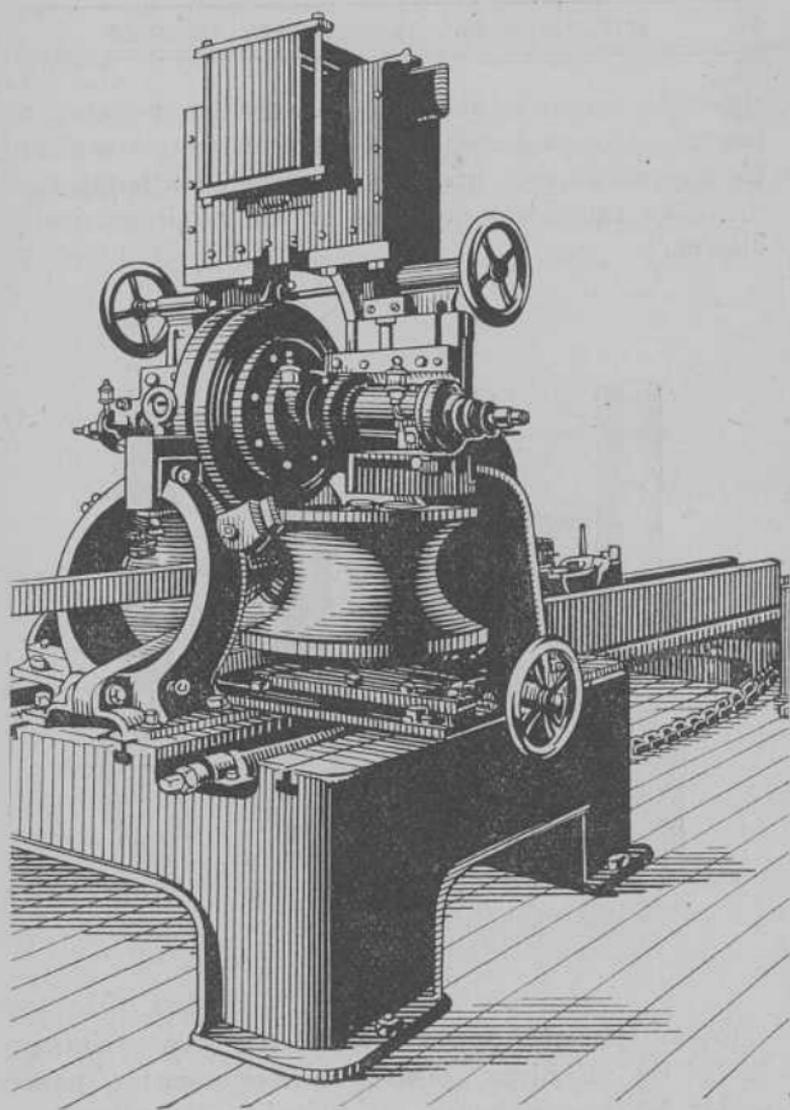


Fig. 32

Máquina para soldar a tope tubos de más de 16 pulgadas de diámetro  
y llantas de gran calibre usada por la Standard Welding Co.  
of Cleveland Ohio

rieles de tranvías, que si bien exige un mecanismo mucho más complicado que el arco, es de una rapidez incomparablemente mayor y de resultados parecidos.

No es tan usual por esto y por exigir corriente alterna.

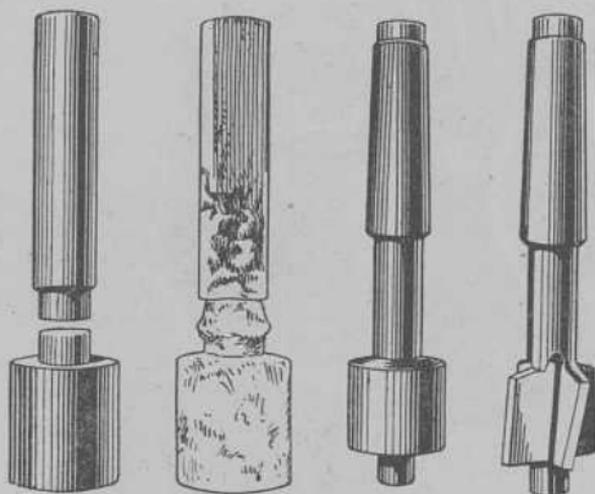


Fig. 33

Como aplicación curiosa y práctica puede citarse la de las máquinas construídas recientemente para soldar las conexiones de los inducidos de máquinas eléctricas.

Por último, la G. E. I. de Berlín antes citada, construye máquinas para una multitud de aplicaciones curiosas, entre las que puede citarse una destinada a facilitar la trefilería de hilos de cobre. Mediante

la corriente eléctrica se pone incandescente el hilo antes de reducirse su calibre, con lo que esta operación se hace mucho más fácil y rápidamente.

Las figuras 33 y 34 muestran otra aplicación importante de este procedimiento para soldar a sopor-

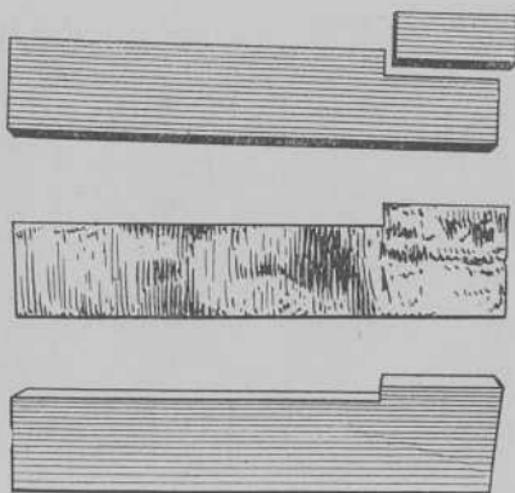
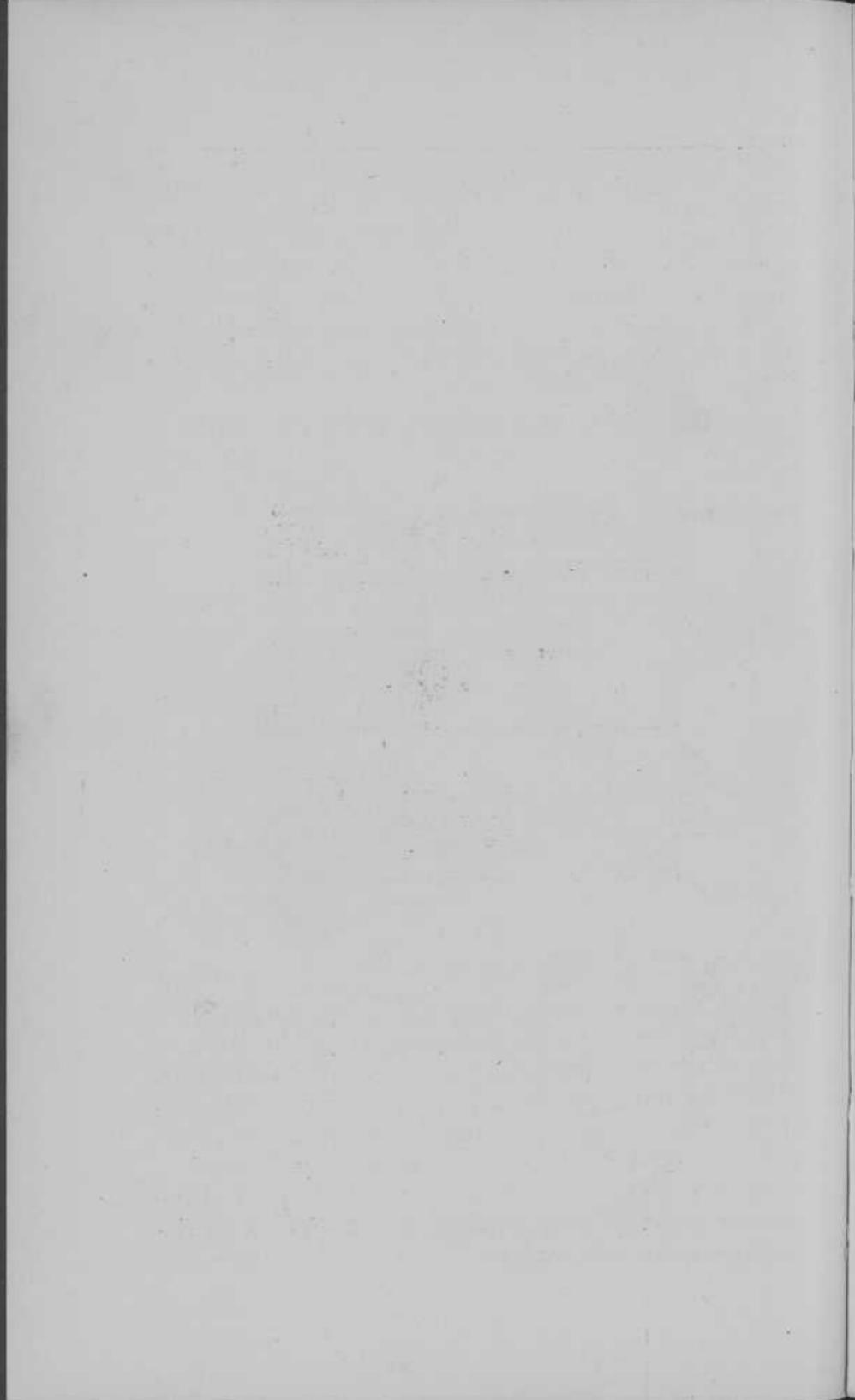


Fig. 34

tes de acero corriente, trozos más pequeños de acero rápido, acero novo estelita y otros productos muy duros, con los que se consiguen en los talleres de ajuste y torno, rendimientos muy altos, y consiguientemente disminución de gastos. Como se ve, el procedimiento permite obtener escariadores y herramientas de todo género, con gran economía, pues el soporte, a veces muy voluminoso, no es necesariamente de metales caros,



## CAPITULO V

### SOLDADURA AUTÓGENA POR PUNTOS

#### Fundamento de este sistema.

Aunque esencialmente fundado en el mismo procedimiento que el de Thomson, este sistema, llamado

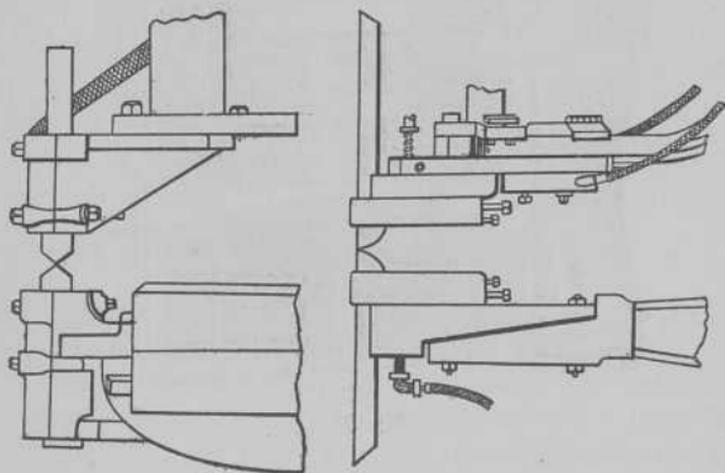


Fig.° 35

por los ingleses (*spottwelding*), se diferencia algo en realidad del anterior y ha adquirido tal desarrollo,

que merece un párrafo aparte. En el procedimiento anterior, las dos piezas que se quieren soldar se sujetan previamente a las mordazas de la máquina

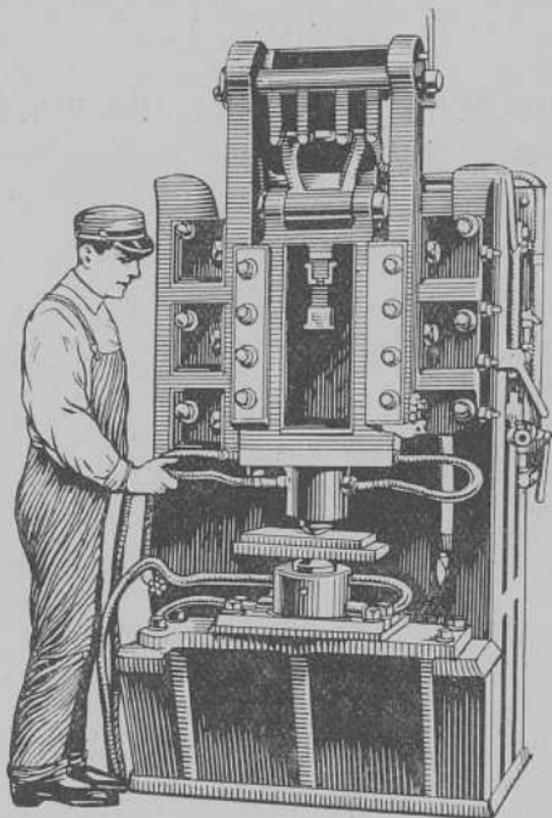


Fig. 36

de soldar. En este procedimiento las mordazas de la máquina sujetan dos electrodos de cobre puro (fig. 35) y estos dos electrodos son los que comprimen entre sí las chapas o piezas que se quieren soldar sin otro requisito. La figura 36 representa una máquina capaz

de soldar chapas hasta de 30 mm. de grueso, aplicando a los dos electrodos la presión de una prensa hidráulica.

Es claro que por este procedimiento se obtiene sólo la soldadura de las dos piezas solamente de

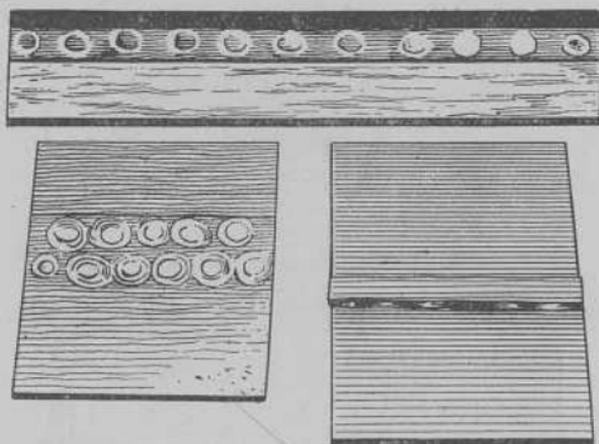


Fig. 37

un punto de área ordinariamente circular, más o menos extendida, pero siempre pequeña.

Separando los electrodos y corriendo un poco las piezas, vuelve a obtenerse otra soldadura a pequeña distancia de la primera y así sucesivamente, dando por resultado una serie de soldaduras discontinuas, de un efecto y una apariencia parecida al roblonado (figura 37). Se comprende, desde luego, las ventajas numerosas de este sistema, advirtiéndole que estas máquinas pueden adoptar formas variadísimas por-

tátiles y aplicarse a piezas imposibles de coger entre las mordazas, como las grandes piezas que entran en

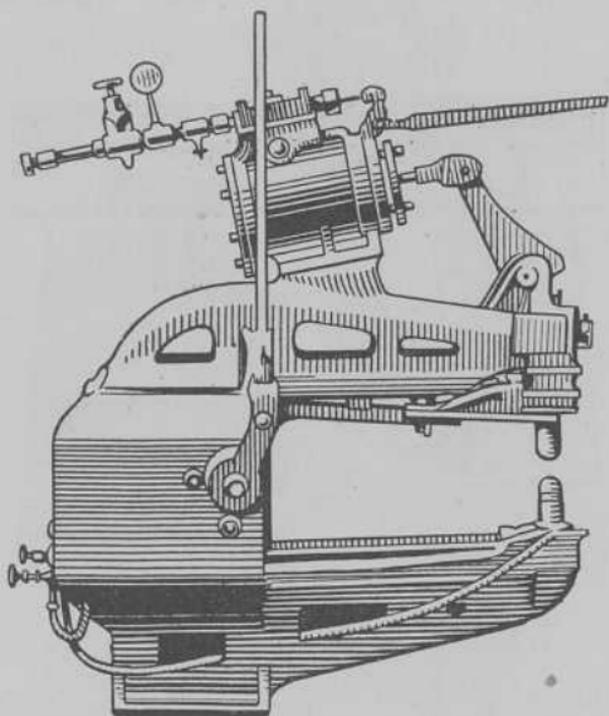


Fig. 38

las grandes construcciones de calderería y en general en todos los casos en que se usa el roblonado. Las figuras 38 y 39 muestran dos especies de remachadoras eléctricas portátiles, que se emplean hoy ya

para el montaje de viguería armada en la construcción naval y ferroviaria.

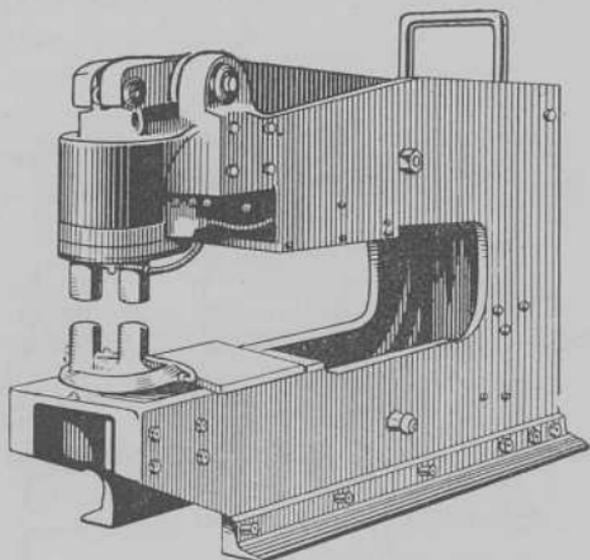


Fig. 39

### Forma y dimensiones de los electrodos.

La intensidad de la corriente y la presión necesaria dependen en gran parte de la forma de los electrodos o puntos de presión. Por eso comenzaremos por indicar algunos datos sobre este particular. Las formas principales de los electrodos están dadas en la figura 40.

En *A*, los electrodos sencillos y de cobre determinan por presión la localización de la corriente, que funde primero los puntos más comprimidos, como en la segunda figura de *A* puede verse. El segundo méto-

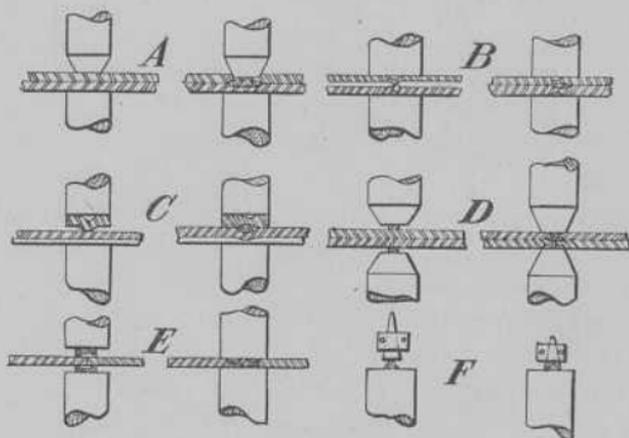


Fig. 40 .

do *B* consiste en dar un granetazo previamente a la chapa superior en el centro del sitio que ha de ocupar la soldadura. Este granetazo localiza la corriente e inicia la fusión. El procedimiento *C* consiste en colocar sobre las dos chapas que se van a soldar una rodaja del mismo material de las chapas con un granetazo en medio, por donde se inicia la fusión que luego se corre a las chapas. Análogo es el procedimiento indicado en *D*, que consiste en poner una

rodaja muy pequeña obtenida por medio de un sacabocado. Esta localiza muy poderosamente la corriente e inicia la fusión. Estos últimos procedimientos se usan sólo cuando se trata de chapas muy gruesas. Por último, el procedimiento *E*, llamado de *punteo*, las dos chapas se colocan unidas entre sí a tope y a lo largo de la junta se coloca una chapa del mismo material, que es la que se suelda por puntos a ambas chapas. Para localizar más la corriente en chapas gruesas, tiene a veces una ranura hecha a lo largo, como se indica en la proyección presentada en la figura 40.

El grueso de los electrodos es aproximadamente de 16 a 20 milímetros de diámetro. A veces terminan ambos por un casquete esférico, que comienza la fusión en los puntos de contacto, y entonces el radio de su esfera puede ser de 10 a 13 mm. Esto presenta el inconveniente de dar en los puntos soldados una concavidad en la soldadura. LA TABLA III da los diámetros de los puntos de presión para electrodos destinados a juntas de hierro puro o galvanizado.

Cuando las máquinas están destinadas a un trabajo intensivo en serie, los electrodos acaban por calentarse desmedidamente, a pesar de que el tiempo que está pasando la corriente es el estrictamente necesario para la soldadura, lo cual se consigue, como ya vimos, interrumpiendo la corriente cuando la distancia entre los electrodos es la que debe alcanzar la soldadura una vez terminada. Para evitar dicho calentamiento, los electrodos se hacen de un grueso mucho mayor que el necesario.

Además se hace pasar por su interior un canal de agua corriente, y por último, es frecuente que el extremo inferior, que es el que comprime, el que más

TABLA III

DIÁMETRO DE LOS ELECTRODOS PARA SOLDAR DOS CHAPAS DE IGUAL ESPESOR:

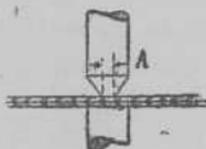


Fig. A

Gruoso de la chapa en cm.	Diámetro de la punta A en mm.	
	Hierro laminado o acero	Hierro Galvanizado
0,7874	11,5	—
0,7120	11,5	—
0,6604	11,5	—
0,6350	11,5	—
0,5840	9,3	—
0,5600	9,3	—
0,5080	9,3	—
0,4826	8,0	9,3
0,4318	8,0	9,3
0,3840	8,0	9,3
0,3556	6,5	6,5
0,3048	6,5	6,5
0,2794	6,5	6,5
0,2032	6,5	5,0
0,1524	5,0	5,0
0,1270	5,0	5,0
0,1016	5,0	3,5
0,7620	3,5	3,5
0,0635	3,5	—
0,0457	3,5	—
0,0384	3,5	—

se calienta y llega a deformarse, puede ser substituído al cabo de algún tiempo.

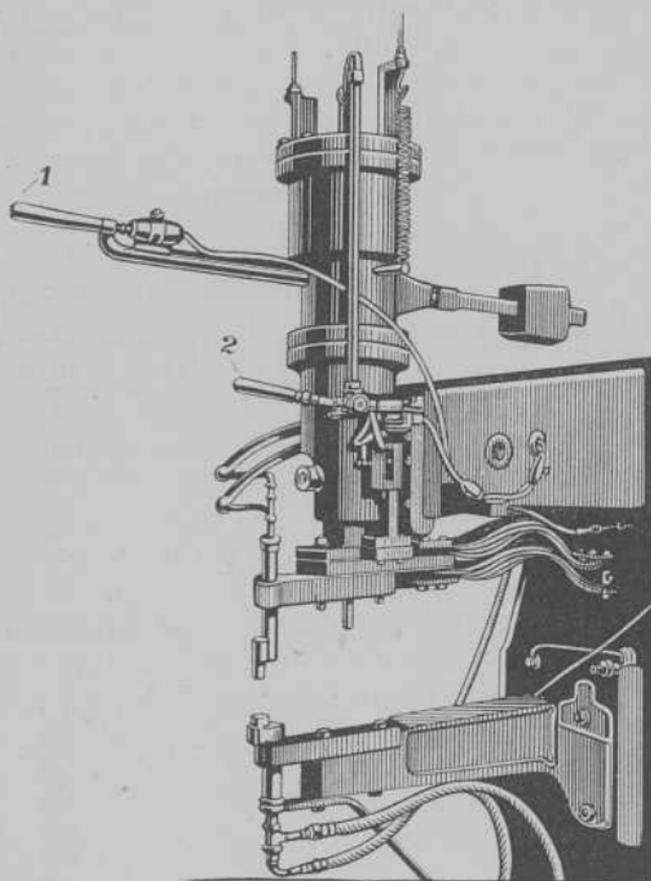


Fig. 41

La figura 41 muestra una máquina con refrigeración de agua y prensa neumática; la corriente es comunicada a la parte superior por unas llantas flexibles.

La inferior y la masa van al otro polo. Modernamente se han construido variaciones de estos sistemas, destinados ordinariamente a obtener mayor rapidez en el trabajo. Para ello, se han puesto varios pares de electrodos accionados por el mismo mecanismo, existiendo máquinas que sueldan de un solo golpe seis o más puntos. La descripción detallada de estas modificaciones exigiría un tomo a parte.

### **Materiales que pueden soldarse por este procedimiento.**

En general, son más difíciles de soldar los metales más resistentes que el cobre de los electrodos. El cobre mismo y el bronce son malos de soldar, aunque se puede, porque el calor se concentra más en las chapas que en el electrodo, provisto de masa de refrigeración. El aluminio puro no se suelda, al menos económicamente, pero puede obtenerse una soldadura buena cuando tiene un pequeño tanto por ciento de hierro o un 20 % de cinc. Chapas de cinc galvanizado se pueden soldar bien, pero si son muy delgadas, o no prende más que el cinc o se rompen con facilidad; en este caso es preferible el sistema de soldadura *D* de los explicados. (Figura 40.)

El cobre fundido se suelda mal por este procedimiento y peor aun el hierro fundido; los demás metales maleables o al menos los que en la industria se presentan en forma de chapas pueden soldarse todos entre sí y unos a otros, aunque esto exige algunos tanteos por lo que toca a la presión y a la intensidad o voltaje exigidos.

## Tiempo, presión y corriente necesaria.

Existe cierta relación entre estas cantidades para cada grueso de chapa y para cada clase de material; así, por ejemplo, para soldar chapa de acero (lavada previamente con agua acidulada para privarla en absoluto de óxidos) de 1/16 de espesor es preciso una presión de 200 libras (unos 90 kgs.) y 10 Kw. durante un segundo. Si se aumenta la presión disminuyendo la energía empleada, la soldadura sería falsa. Si esa misma chapa está ennegrecida y cubierta de una capa de óxido, será preciso elevar la presión de un 50 a un 100 %; la energía necesaria será de unos 12 kw; pero el tiempo necesario también es de un segundo.

Por último, si se quiere soldar chapa de hierro cubierto de una aleación de aluminio, se requiere casi la mitad de la presión y la misma energía de 10 kw. y sólo 3/4 de segundo de tiempo.

Se ve, pues, que no es fácil dar reglas generales, pues influyen extraordinariamente circunstancias a veces numerosas. Lo más seguro y en la práctica necesario, es hacer unos cuantos ensayos previos con la chapa que se va a trabajar. Toda máquina tiene el medio de regular el tiempo, la presión y la corriente. De estas pruebas conviene hacer un ensayo mecánico y si se puede micrográfico, que dará la mayor o menor homogeneidad de la soldadura. La medida de la energía consumida se hace exclusivamente en la alta o primaria del transformador, porque el voltaje en baja es muy pequeño. En la TABLA IV se ha supuesto

TABLA IV

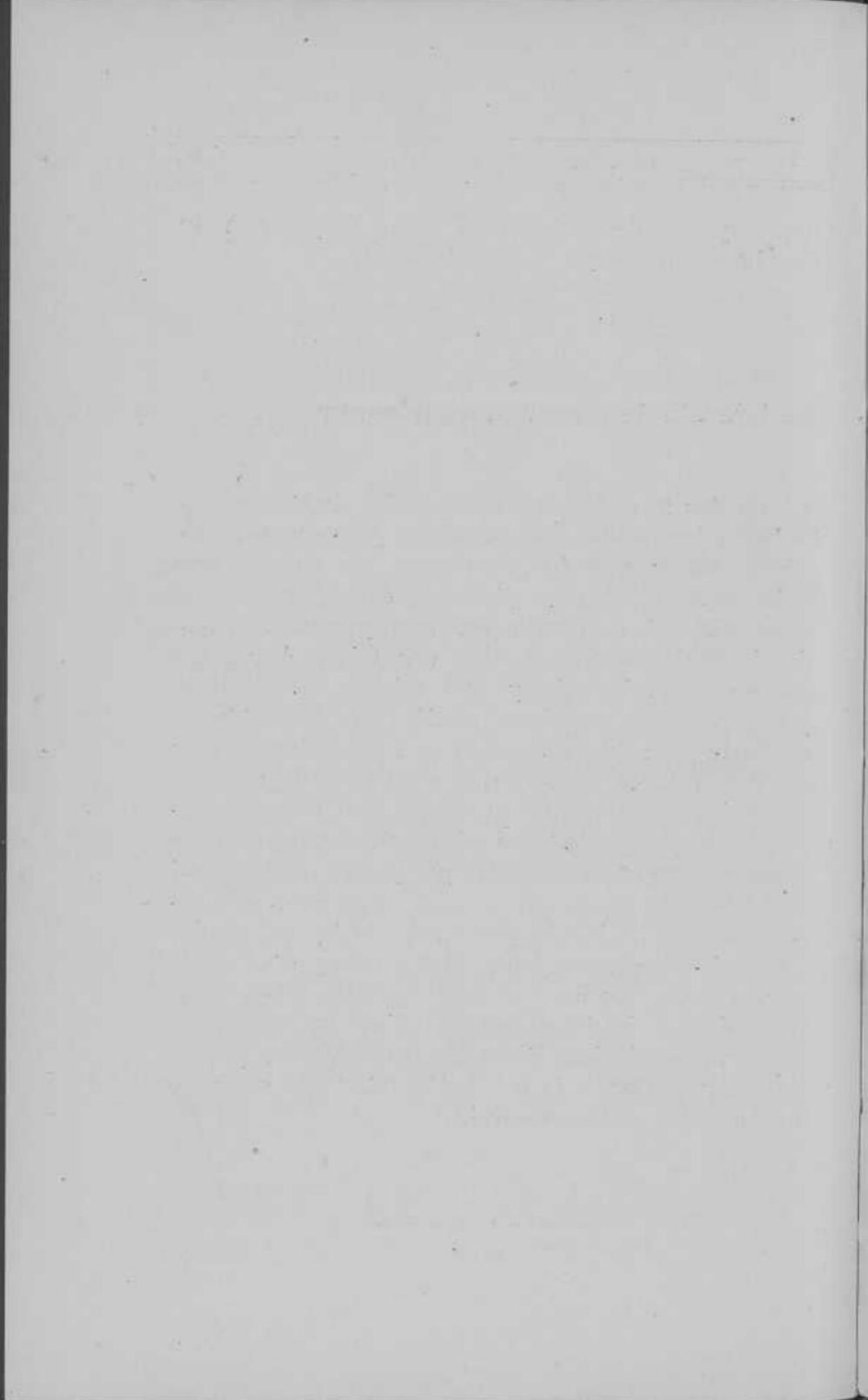
TIEMPO Y POTENCIA NECESITADOS Y COSTE DE SOLDADURAS DE HIERRO Y ACERO:

Grueso de la plancha en cm.	KW. necesitados	Tiempo en segundos	Coste de 1.000 soldaduras a 5 cent. el KW. hora
			<i>Pesetas</i>
0,04	4,0	0,25	0,67
0,05	5,5	0,30	0,12
0,06	7,0	0,40	0,19
0,08	8,0	0,50	0,28
0,09	9,0	0,55	0,35
0,12	10,0	0,70	0,50
0,16	12,0	0,85	0,85
0,19	13,5	1,00	1,15
0,25	16,5	1,30	1,80
0,35	19,0	1,70	2,70
0,39	20,0	1,80	2,90
0,43	21,5	2,00	3,15
0,47	22,5	2,10	3,95
0,52	23,5	2,20	4,30
0,56	24,5	2,35	4,90
0,59	25,5	2,45	5,20
0,63	26,5	2,60	5,85
0,71	28,5	2,80	6,90
0,79	29,5	2,95	7,25
0,94	33,5	3,50	9,75
1,11	86,5	4,00	14,15
1,26	39,5	4,45	14,20
1,42	42,2	4,90	15,90
1,56	45,0	5,40	20,25
1,69	47,7	5,84	23,25
1,90	50,7	6,30	26,70
2,05	53,5	6,80	30,15
2,20	56,3	7,25	34,10
2,54	62,0	8,20	68,30

que el precio del kw. hora es de 5 céntimos. Y se da sólo el precio por mil soldaduras.

### Resistencia de la soldadura por puntos.

Para dar una idea de los resultados de las pruebas hechas sobre soldaduras obtenidas por este procedimiento, basta decir (1) pág. 108) que siempre que se haga en condiciones debidas, es superior a la resistencia del roblonado, como lo prueba la experiencia clásica de hacer sobre una misma barra dos juntas, una roblonada y otra soldada por puntos, siendo éstos de la misma sección que los roblones. La barra sometida a tracción se rompe siempre por la junta roblonada hasta que el número de roblones es suficientemente grande para que ésta presente mayor resistencia que la barra misma, y entonces se parte la barra, pero no la soldadura por puntos. J. M. Weed ha hecho un estudio comparativo entre los resultados obtenidos en calderería por medio de las roblonadoras mecánicas y remachadoras ordinarias y el obtenido por las máquinas de soldar por puntos, con presión neumática, teniendo en cuenta todas las condiciones económicas y técnicas, incluso la adaptabilidad a todos los casos; y llega a la conclusión (20) de ser muy superior esta última a aquélla.



## CAPITULO VI

### OTROS PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA ELÉCTRICA

Vamos a resumir en este último capítulo otros varios procedimientos de soldadura eléctrica más o menos diferentes de los anteriores por alguna circunstancia que, o los ha hecho menos prácticos o limita su empleo a usos especiales, por lo que se han generalizado menos.

#### Soldadura continua.

El éxito obtenido por el método descrito en el párrafo anterior ha sugerido la idea de verificar solda-

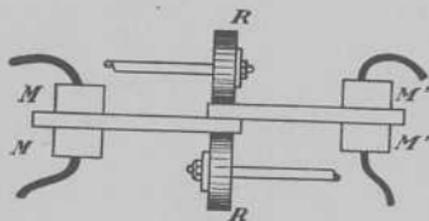


Fig. 42

duras como lo indica la figura 42, es decir, comprimiendo la junta por medio de dos rodillos de cobre,

que al mismo tiempo fuesen los electrodos. Este procedimiento se emplea poco; pero por poco gruesa que sea la chapa que se trata de soldar, se necesita una intensidad grande, y entonces el contacto movable de los rodillos movibles con sus ejes ofrece ya una resistencia

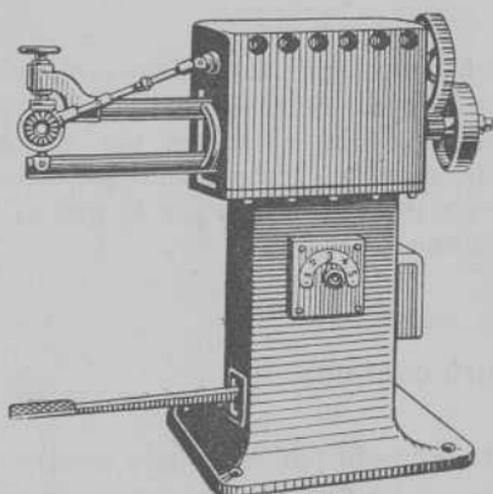


Fig. 43

del orden de las de contacto de la chapa; de suerte, que se calientan dichos ejes y aun pudieran soldarse a los rodillos. Para impedir esto se recurre al arbitrio de sujetar las chapas por uno y otro lado, mediante dos mordazas más o menos próximas a la junta, las cuales tienen el doble objeto de servir de electrodos y además de prensar la chapa, para impedir que los rodillos, al laminar la junta, la hagan extenderse longitudinalmente, resultando entonces que el conjunto

de las chapas no es plano. Para impedir esto, además del prensado lateral, contribuye, sobre todo, una regulación conveniente de la presión de los rodillos

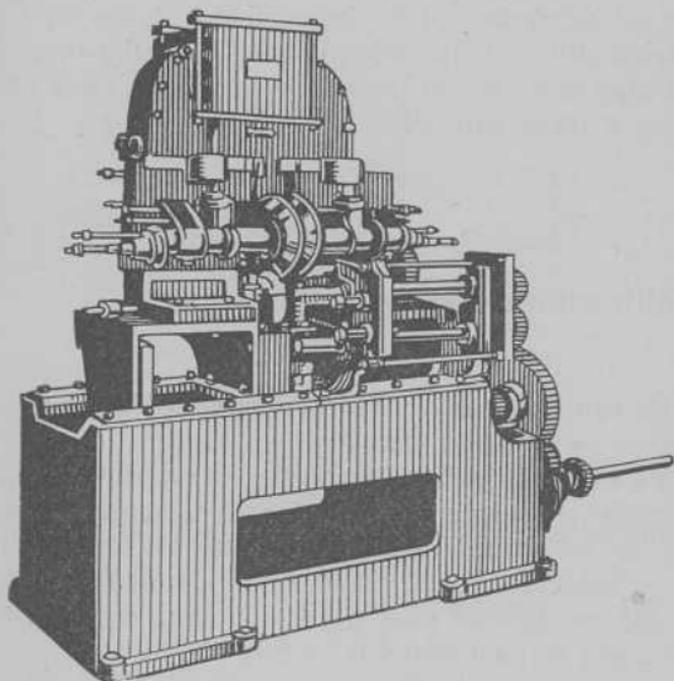


Fig. 44

de la intensidad de la corriente y de la velocidad de avance del rodillo a lo largo de la soldadura. Lo mismo pueden soldarse los tubos, con tal de que su longitud no exceda de 25 a 30 cm. La figura 43 da una idea del mecanismo de este rodillo y de la máquina con que se puede obtener este efecto.

La figura 44 representa una máquina de la Thomson Electric Welding Co., que permite hacer soldaduras con una rapidez de 20 a 30 pies por minuto (6 a 9 metros por minuto).

Existen máquinas especiales para soldadura de piezas de cafeteras y otros instrumentos de cocina ((1) página 40), que permiten obtener rendimientos incalculables en la construcción intensiva de estos utensilios y otros parecidos.

### Roblonado eléctrico.

Se han construido roblonadoras eléctricas, cuyo esquema es el de la figura 45.

La corriente pasa toda ella por la espiga del roblón durante el tiempo necesario para calentarlo: entonces se interrumpe automáticamente la corriente en *G*, y baja la pieza *A* remachando el roblón. Cuando la cabeza de éste pasa de 4 a 5 mm. de diámetro, no suele ser suficiente la dureza del cobre para la pieza remachadora *A*; por otra parte, esta pieza no puede hacerse de acero, porque ella misma ofrecería una resistencia capaz de calentarla excesivamente. Existen máquinas con dos piezas, montadas sobre una especie de soporte revólver, destinadas, la una a calentar el roblón y la otra a remacharlo. Según datos ((1) pág. 152) de D. Hamilton y de E Oberg, en algunos casos hace una de estas máquinas el trabajo de cinco hombres provistos de martillos neumáticos, durante el mismo tiempo. Por lo que toca al

coste, dan el siguiente dato: Un roblón de 5/16 de pulgada queda soldado en 1,5 de segundo, lo que da una media de 15 kw-hora, para 2400 roblones: o sea

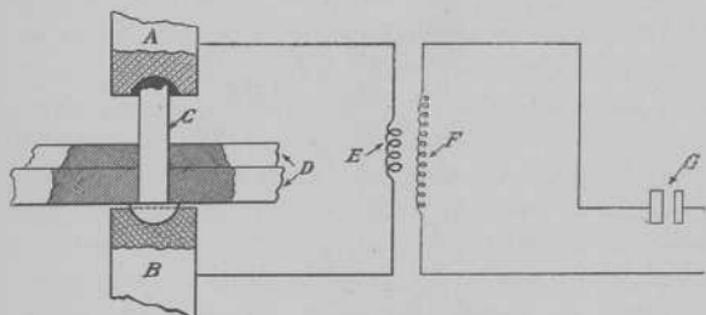


Fig. 45

algo más de 6 kw-hora por cada millar de roblones. Suponiendo un precio de unos 30 céntimos el kw.-hora podría, pues, evaluarse en unas 1,85 pesetas el millar de roblones. De aquí se deduce que si llegara a obtenerse el kw.-hora a los precios no imposibles de 4 ó 5 céntimos, el procedimiento puede ser altamente ventajoso, al tener en cuenta su rapidez y el coste de la mano de obra.

### Método de percusión.

L. W. Chubb, ingeniero del Laboratorio de Investigación de la Westinghouse Electric & Mgf. Co., en

East Pittsburg, observó en 1905, trabajando con condensadores electrolíticos de grandes capacidades con el

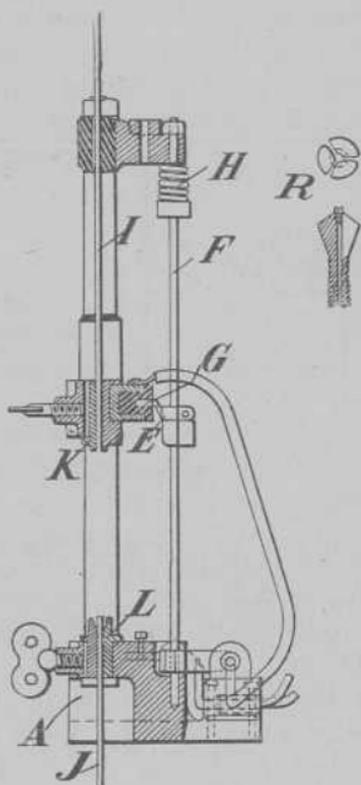


Fig. 46

objeto de estudiar las válvulas electrolíticas, que al producirse la descarga de uno de estos condensadores entre dos hilos metálicos o entre un hilo y una pla-

ca, se verificaba una soldadura bastante perfecta, especialmente si se ejercía cierta presión entre ambas piezas. Como esta presión debe ejercerse naturalmente en el mismo momento en que se produce la descarga, Chubb dió al aparato la disposición representada en la figura 46.

Uno de los hilos *J* que se quiere soldar está sujeto por la pinza fija *L*; el otro *I*, por la pinza movible que se puede deslizar a lo largo de dos columnas verticales, que aparecen confundidas en la figura anterior.

La columna *F* se hace girar en el momento de usar el aparato, y al separarse las uñas *E* y *G*, cae el soporte *K*, que para el caso está provisto de un peso conveniente. Al chocar los dos hilos, el uno contra el otro con una fuerza correspondiente a la mayor o menor altura a que se suspendió el soporte *K*, mediante la pieza *E*, que puede fijarse en un punto cualquiera de la varilla *F*, se cierra la corriente del condensador, pasan unos 500 amperios durante una fracción pequeñísima de segundo, que volatiliza los metales de los hilos y los suelda, independientemente de todas sus propiedades físicas, empleando para esto según cálculos de Chubb, basados en estudios oscilográficos 0,00035 de segundo, con un voltaje medio de 16 voltios y unos 200 amperios. Claro es que siendo la descarga oscilante amortizada, estos cálculos no representan sino valores medios aproximados. La disposición esquemática del aparato es la que se indica en la figura 47. Basta comparar las letras puestas en esta figura con las de la penúltima, para entender fácilmente el funcionamiento.

A pesar de lo ingenioso y de lo económico del procedimiento, su uso se restringe casi exclusivamente a la soldadura de hilos entre sí y de hilos con chapas,

por lo que no siempre está justificada económicamente la adquisición del material necesario para su empleo.

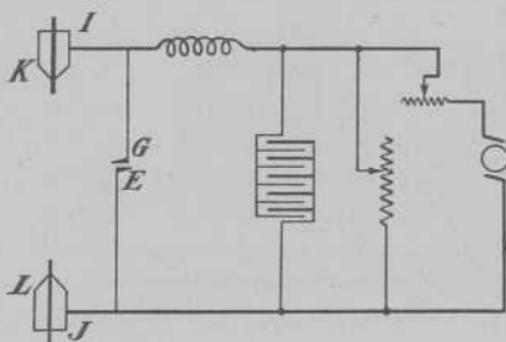


Fig. 47

### Soldadura por aleación.

El procedimiento de Thomson puede aplicarse a la soldadura de otra manera que la que hemos visto hasta ahora: no elevando la temperatura de las piezas hasta el extremo de fundirlas, sino sólo hasta una temperatura capaz de fundir otro metal que las suelde por aleación, como se hace de ordinario mediante el soplete, o el intermedio de un soldador. Tiene la ventaja este medio de producir el calor de que la temperatura es absolutamente uniforme en toda la junta y de que puede hacerse más o menos elevada sin peligro de oxidación, aparte de que por

este procedimiento se evita absolutamente el humo y el ennegrecimiento de las piezas. El aparato necesario, de que da idea la figura 48, es esencialmente

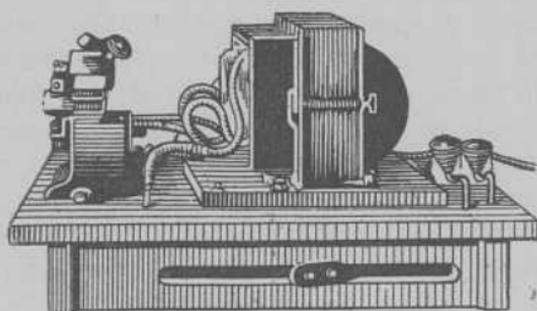


Fig. 48

idéntico a los empleados en los métodos ya descritos. Se reduce a un transformador monofásico con regulación en alta tensión que suele ser de 110 a 220 voltios, tomada de una red que pudiera ser trifásica (utilizando sólo una fase), o también de una pequeña conmutatriz. Suele bastar de 1 a 2 kw., y para dar una idea más concreta basta decir que, para secciones de hasta 0,125 de pulgada cuadrada, bastan unos 130 amperios a unos 3 voltios. La corriente continua no se presta tan fácilmente a regular el voltaje; por eso, de ordinario se emplea la monofásica, a unos 5 voltios como máximo y a una intensidad que pueda variar de 75 a 500 amperios, bastando esto para todas las aplicaciones que suele tener este método en la fabricación de aparatos de óptica, como gafas, etc. La

baja tensión del transformador va a parar a unas pinzas sujetas a una especie de tornillo. Una de las mandíbulas es fija y coge a una de las pinzas que se quiere soldar; la otra mandíbula, en que se amordaza la segunda pieza, puede moverse en todos sentidos, de suerte que es siempre posible hacer coincidir las piezas en la posición en que han de quedar soldadas. Al hacer pasar la corriente, se calientan los trozos de pieza que queden fuera de las mordazas, pues el calor se difunde por éstas que tienen una masa relativamente grande, que actúa como refrigerante. Entonces se acerca el fundente, y, por último la soldadura que inmediatamente corre por toda la junta. Basta suprimir entonces la corriente para que las piezas se enfríen casi inmediatamente, y la soldadura quede hecha, soltándose entonces las mordazas. Para preservar de oxidación la superficie de las piezas que se van a calentar, puede cubrírse las con ácido bórico en polvo, el cual al calentarse se funde, formando una especie de barniz. Como fundente se usa el bórax, para lo cual, sobre un morterito de pizarra o ágata se echan unas gotas de agua y se frota un trozo de bórax hasta que se forma una pasta, de un espesor conveniente. Si es demasiado espesa la soldadura puede quedar en falso por retener parte del fundente; si lo es poco no se funde bien la soldadura. Un par de ensayos bastan para dar la consistencia suficiente. Pueden soldarse por este procedimiento todos los metales, aun con otras soldaduras mucho menos fusibles.

FIN

# APÉNDICE

## PRINCIPALES PESAS Y MEDIDAS INGLESAS

SU EQUIVALENCIA CON LAS DEL SISTEMA MÉTRICO  
DECIMAL

### UNIDADES DE LONGITUD

La legua .....	=	4,827,900	metros
La milla .....	=	1,609,300	—
El furlong .....	=	402,325	—
La cadena .....	=	20,116	—
El fathom .....	=	1,829	—
La yarda .....	=	0,914	—
El pie .....	=	0,305	—
La pulgada .....	=	0,025	—

### UNIDADES DE SUPERFICIE

La milla cuadrada .....	=	2,58	km. cuad.
La yarda cuadrada .....	=	0,83	m. —
El pie cuadrado .....	=	0,09	m. —
La pulgada cuadrada .....	=	6,45	cm. —

## UNIDADES AGRARIAS

El acre .....	=	40,467	áreas
El rood .....	=	10,117	—
La cadena cuadrada .....	=	4,047	—
El polo cuadrado .....	=	0,253	—

## UNIDADES CUBICAS

La yarda cúbica .....	=	764,55	decím. cúb.
El pie cúbico .....	=	28,32	—
La pulgada cúbica .....	=	16,38	cm. —

## UNIDADES DE CAPACIDAD

El quarter .....	=	581,57	litros
El coom .....	=	290,78	—
El strike .....	=	145,39	—
El bushel .....	=	72,70	—
El peck .....	=	18,17	—
El pottle .....	=	2,27	—
La pinta .....	=	1,14	—
El gill .....	=	0,28	—

## UNIDADES DE PESO

La tonelada .....	=	1.016,05	kilogramos
El quintal .....	=	50,80	—
El quarter .....	=	12,70	—
El stone .....	=	6,34	—
La libra .....	=	453,00	gramos
La onza .....	=	28,00	—
El dracma .....	=	1,70	—
El gramo .....	=	6,48	centigramos

# INDICE

---

## CAPITULO PRIMERO

### INTRODUCCIÓN

	<u>Págs.</u>
Principio fundamental de la soldadura eléctrica.	5
Procedimiento de Zerener .....	6
Procedimiento de Bernardos.....	7
Procedimiento de Slavianoff y Strohmenger...	8
Procedimiento de Thomson y derivados .....	9
Procedimiento de Chubb .....	10
Clasificación de los procedimientos de soldadura eléctrica .....	11
Condiciones técnicas de estos métodos de soldar	12
Condiciones económicas .....	14
Notas bibliográficas .....	14

## CAPITULO II

### SOLDADURA POR ARCO

Electrodos de carbón .....	25
Electrodo metálico .....	27

	Págs.
Preparación de las piezas .....	33
Corriente necesaria para la soldadura por arco .....	34
Instalación eléctrica necesaria .....	36
Generatrices y sistemas reguladores especiales .....	38
Caretas protectoras .....	44
Coste de la soldadura autógena por arco .....	44
Metalurgia de la soldadura .....	46
Resistencia mecánica de la soldadura por arco ...	47
Ensayos hechos por el Lloyd inglés .....	49

### CAPITULO III

#### APLICACIONES DE LA SOLDADURA POR ARCO

Soldadura de chapas .....	51
Electrodo de carbón .....	52
Pruebas de resistencia y ejemplos de soldadura de chapas .....	55
Cortadura de chapas por el arco de carbón .....	55
Reparación de grietas .....	57
Compostura de piezas rotas .....	57
Aplicación a las fundiciones y altos hornos ...	58
Soldadura de aceros rápidos para herramientas	58
Aplicación a los talleres y depósitos de locomo- toras .....	59
Construcción naval .....	62

## CAPITULO IV

## SOLDADURA AUTÓGENA A TOPE

	Págs.
Aparatos Elihu Thomson .....	65
Máquinas modernas .....	67
Advertencias prácticas para la soldadura .....	70
Potencia y tiempo que requiere este sistema ..	72
Pruebas de resistencia .....	75
Análisis micrográfico .....	75
Aplicaciones. Máquinas de hacer cadenas .....	76
Rieles, tuberías, llantas, inducidos eléctricos, tre- filería metálica, etc. ....	78

## CAPITULO V

## SOLDADURA AUTÓGENA POR PUNTOS

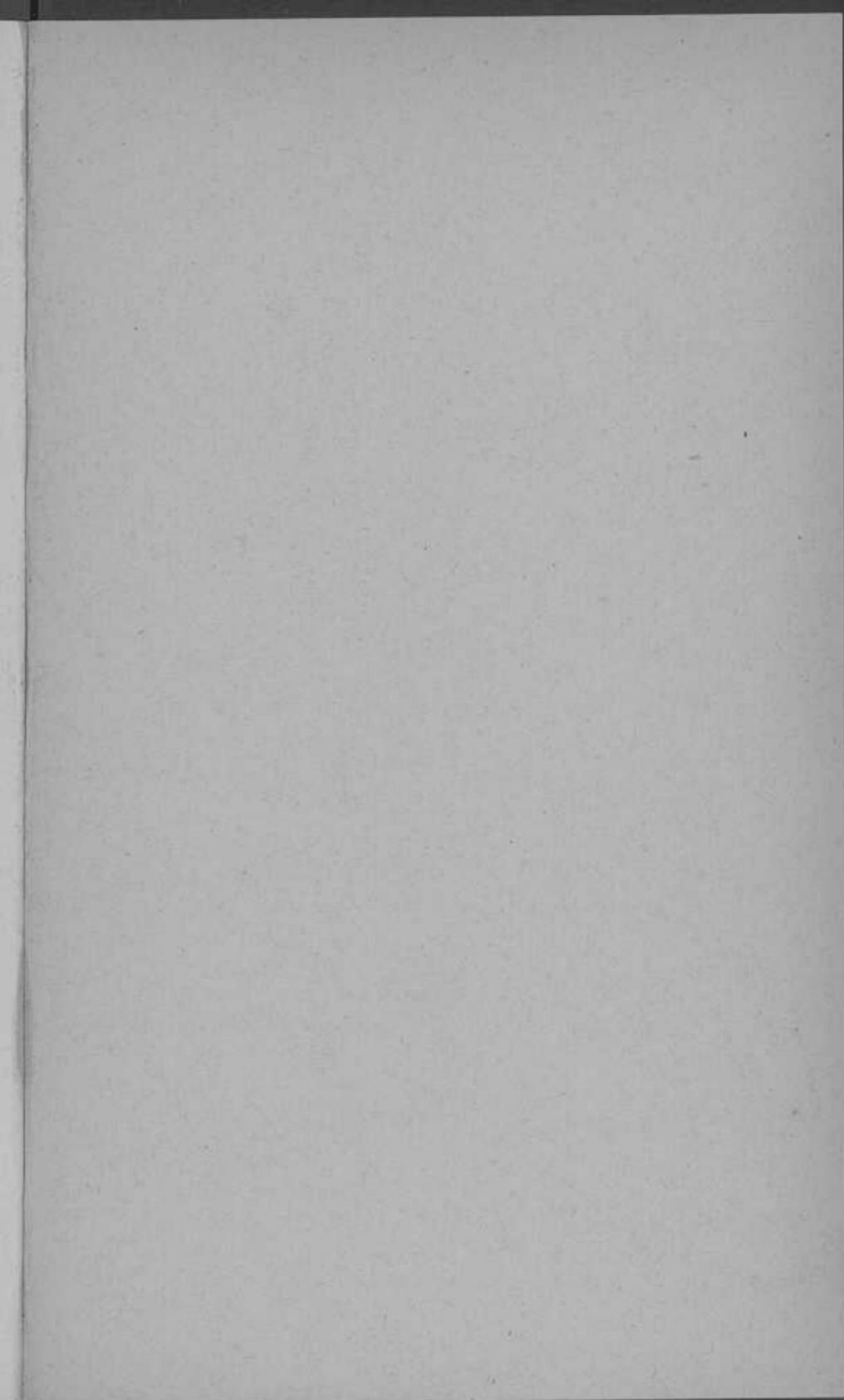
Fundamento de este sistema .....	83
Forma y dimensiones de los electrodos .....	87
Materiales que pueden soldarse por este proce- dimiento .....	92
Tiempo, presión y corriente necesaria .....	93
Resistencia de la soldadura por puntos .....	95

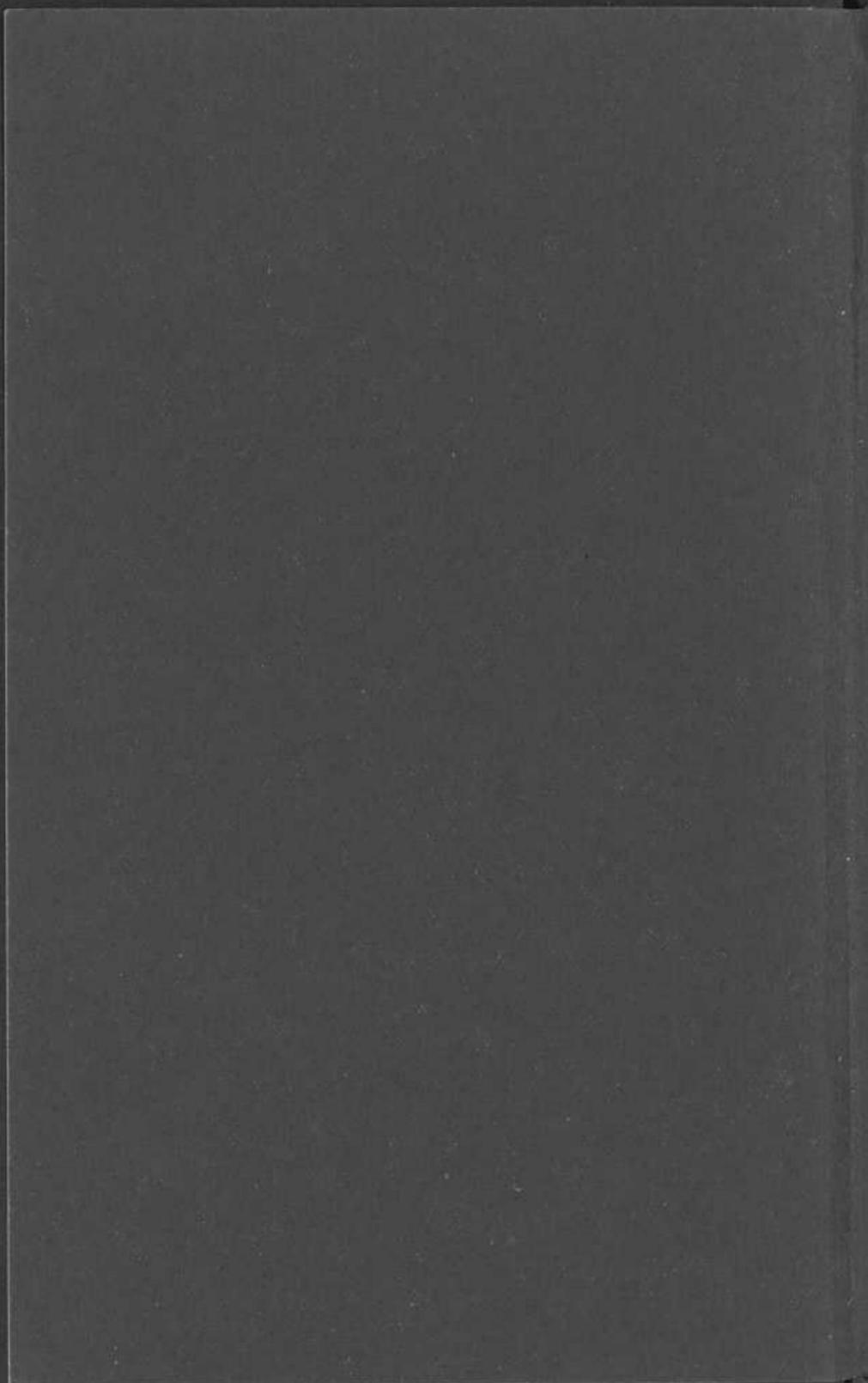
## CAPITULO VI

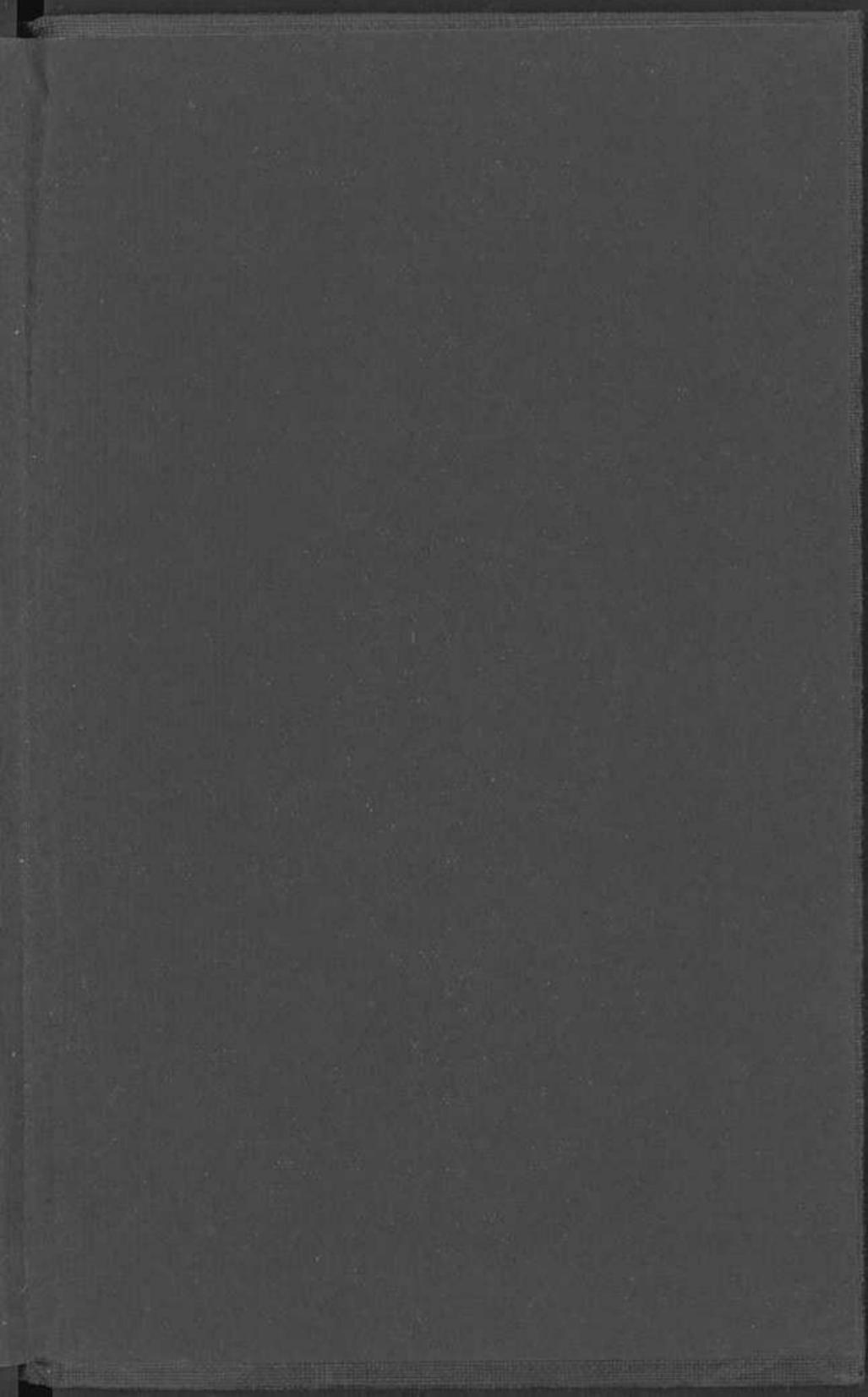
## OTROS PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA ELÉCTRICA

	<u>Págs.</u>
Soldadura continua .....	97
Roblonado eléctrico .....	100
Método de percusión .....	101
Soldadura por aleación .....	104

---







2

