

# **Análisis macrográfico en juntas soldadas bajo diferentes condiciones de diseño y calor aportado**

Alejandro Mateos<sup>1</sup>, Lucas Reynoso<sup>1</sup>, Alí Mossre<sup>1</sup> y María José Castillo<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Ensayos de Materiales y Estructuras de Junín, UNNOBA, R. S. Peña 456, 6000 Junín, Argentina

<sup>2</sup> DEYTEMA, Facultad Regional San Nicolás, UTN, Colón 332, 2900 San Nicolás, Argentina  
[mariajose.castillo@nexo.unnoba.edu.ar](mailto:mariajose.castillo@nexo.unnoba.edu.ar)

**Resumen.** En la actualidad, uno de los métodos más importantes para la unión de piezas en las industrias relacionadas con la producción de maquinaria agrícola es la soldadura. Sin embargo, en nuestro país existen antecedentes que demuestran que en dichas empresas existe desconocimiento, poca evaluación e investigación de las tecnologías de soldadura. El objetivo de este trabajo es analizar metalográficamente cordones de soldadura a tope realizados en diferentes condiciones. Entre los resultados obtenidos pudo observarse que el sobreespesor resultó menor en aquella probeta soldada con un calor aportado intermedio, mientras que el máximo valor se obtuvo para la probeta soldada en las condiciones habituales de trabajo de la empresa. La menor penetración se obtuvo para la probeta soldada en las condiciones habituales de trabajo, la probeta 5, soldada con calor aportado intermedio presentó buena penetración. La microdureza del metal de soldadura sobrepasó en todos los casos a la del metal base.

**Palabras Clave:** soldadura, calor aportado, penetración, sobreespesor, diseño de junta

## **1 Introducción**

En la actualidad, uno de los métodos más importantes para la unión de piezas y conjuntos metálicos en las industrias, es la soldadura y sus tecnologías. Sin embargo, existen antecedentes que demuestran que en las empresas del sector metalmeccánico afines con la soldadura existe desconocimiento y poca evaluación e investigación de las tecnologías de soldadura. En este sentido, metodologías que faciliten el desarrollo y aseguramiento de calidad de sus productos soldados, por tanto, es responsabilidad de las instituciones de nivel tecnológico y superior en las áreas de ingeniería afines con la tecnología de soldadura [1].

Numerosos factores influyen en la calidad final de una junta soldada, estos factores no actúan con independencia unos de otros, sino que lo hacen de manera interrelacionada, contribuyendo de modo global a la calidad final de la unión soldada. El diseño de junta, por ejemplo, identifica la forma, las dimensiones y la

configuración de la junta soldada, uno de los diseños más habitualmente utilizados es la junta a tope, con o sin bisel, el objetivo de este último diseño es economizar el costo de preparación de los bordes del elemento estructural y la cantidad de metal de soldadura necesario. Sin embargo, se debe mencionar que cuando se tenga acceso por un solo lado es común encontrar discontinuidades como falta de penetración o falta fusión y, como se sabe, la resistencia de las juntas está influenciada sobre todo, por el grado de penetración.

Por otro lado, el calor aportado (HI) resulta ser un factor de suma importancia, ya que afecta la velocidad de enfriamiento, la cual a su vez, influye sobre la microestructura final de la soldadura en la zona de fusión (ZF) y en la zona afectada por el calor (ZAC). En general, la microestructura final es función de la composición química y del ciclo térmico, y a su vez éste último, es función del HI y del componente geométrico, es decir, de la cantidad de material a ser soldado [2].

El objetivo de este trabajo es analizar macrográficamente cordones de soldadura a tope realizados con diferentes aperturas de raíz y calores aportados, con el fin de obtener datos que puedan ser aplicados en los sectores de ingeniería y soldadura de industrias de la maquinaria agrícola y agropartes. Cabe destacar que este trabajo es el resultado de una actividad de ingeniería realizada en una empresa de la región, donde las condiciones de ejecución de las soldaduras se dieron en el marco de su rutina habitual.

## 2 Materiales y métodos

Como material base para este trabajo se utilizó un acero al carbono SAE 1010 de 6,35 mm de espesor. Para ejecutar la soldadura de los cupones se empleó el proceso por arco eléctrico con núcleo de fundente y protección gaseosa adicional: FCAW (*Flux Cored Arc Welding*). Como metal de aporte se utilizó el alambre tubular E71T-1C, cuya composición química según la Norma AWS A5.20:2005 [3] puede ser observada en la Tabla 1. El arco eléctrico y la pileta líquida se protegieron adicionalmente mediante el empleo de la mezcla activa constituida por 80 % de Ar y 20 % de CO<sub>2</sub>. La posición de soldadura utilizada fue plana con diseño de junta a tope, con y sin apertura de raíz, las soldaduras fueron de pasada simple y no se utilizaron dispositivos de sujeción para la alineación de las piezas de trabajo<sup>1</sup>. La variación en la apertura de raíz pretende simplificar el diseño de junta, evitando la realización de bisel, lo cual insume importantes tiempos en la preparación de la junta y, de este modo, aumenta los costos involucrados.

---

<sup>1</sup> Tanto la utilización de una sola pasada de soldadura, así como también la no restricción durante la preparación de la junta se debió a que en este trabajo se intentó mantener los hábitos de soldadura de la empresa, con el objetivo de poder aplicar los resultados obtenidos en la cotidianeidad del trabajo de fábrica.

**Tabla 1.** Composición química del metal de aporte empleado según Norma AWS A5.20:2005.

%C	%Mn	%Si	%S	%P	%Cr	%Ni	%Mo	%V	%Cu
0,12	1,75	0,90	0,03	0,03	0,20	0,50	0,30	0,08	0,35

La identificación de las probetas soldadas, los parámetros de soldadura empleados y el HI resultante, se muestran en la Tabla 2. Cabe destacar que la probeta 1 fue soldada en las condiciones habituales de trabajo de la empresa.

**Tabla 2.** Identificación de las probetas soldadas.

Probeta	Intensidad (A)	Tensión (V)	Vel de Avance (cm/s)	HI (kJ/cm)
1	185,0	20,6	0,41	9,30
2	185,0	20,6	0,91	4,19
3	192,5	20,9	0,50	8,06
4	235,0	23,0	0,91	5,94
5	249,0	27,4	1,00	6,82
6	249,0	27,4	0,83	8,22

De cada cupón se extrajeron cortes transversales para estudios metalográficos. Las probetas fueron pulidas con papeles abrasivos de distinta granulometría, el pulido final se realizó con pasta diamantada de 1  $\mu\text{m}$ . Las muestras fueron atacadas con Nital 2. Se tomaron macrografías de las distintas probetas soldadas y sobre las mismas se midieron el ancho (W), la penetración (P), el sobreespesor (R), así como también la apertura de raíz de la junta (A). Se realizaron observaciones a bajos aumentos para identificar las distintas zonas de las uniones soldadas: ZF, ZAC y metal base (MB). Se caracterizó la microestructura de las distintas zonas definidas en la macrofotografía en un microscopio óptico a 50 y 100 X. Sobre las probetas 1, 2, 4 y 5 se trazaron perfiles de microdureza Vickers con 20 gf de carga, los valores obtenidos para cada zona fueron promediados.

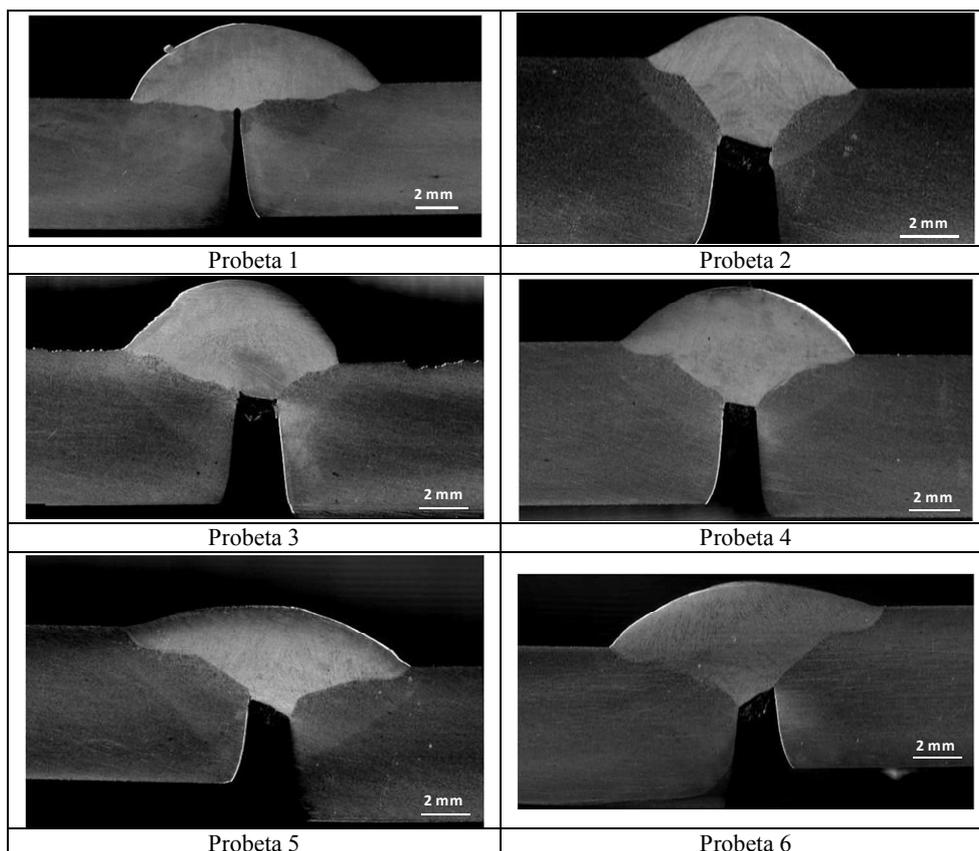
### 3 Resultados y discusión

En la Tabla 3 se muestran los resultados dimensionales obtenidos en cada una de las muestras evaluadas: W, R y P, también se indica A. En la Figura 1 se pueden observar las macrofotografías estudiadas.

**Tabla 3.** Resultados obtenidos del análisis dimensional realizado sobre cada macrografía.

Probeta	W (mm)	R (mm)	P (mm)	A (mm)
1	12,10	3,43	0,67	0,34
2	7,12	1,95	2,37	1,90
3	8,87	3,16	1,56	1,61
4	9,06	2,40	2,14	1,17
5	11,58	1,75	2,42	1,76
6	11,07	1,80	2,86	1,50

La Figura 2 muestra el efecto del HI sobre cada una de las variables dimensionales. Además, en la Figura 2d puede observarse el efecto de A sobre P.



**Fig. 1.** Macrofotografías utilizadas para realización de análisis dimensional.

Estos resultados muestran que en ningún caso el HI influyó linealmente sobre las variables dimensionales analizadas.

Puede notarse que los mayores valores de W fueron obtenidos en las probetas soldadas con HI intermedio (6,82 kJ/cm) y, también, en aquella probeta soldada con el máximo HI (9,30 kJ/cm), la cual fue soldada, según se mencionó previamente, en las condiciones habituales de trabajo de la empresa. En el caso de R, variable que afecta la resistencia a la fatiga de la junta soldada [4,5], se observó que el menor valor se obtuvo para aquella probeta soldada con HI intermedio (6,82 kJ/cm), mientras que el máximo R se encontró en la probeta soldada en las condiciones habituales de trabajo de la empresa. La tercera variable analizada, de relevante importancia es P, en este caso, el menor valor de P se obtuvo para la probeta soldada en las condiciones habituales de la empresa (Probeta 1), mientras que los mayores valores de P se obtuvieron para las probetas 5 y 6. Si bien la probeta 6 resultó tener la mayor penetración, cabe destacar que la misma presentó, además un elevado R, no recomendable por el servicio que prestan las piezas soldadas.

Por último, al analizar el efecto de A sobre P, puede observarse una tendencia al incremento de P con el aumento de A [6], resultando evidente que una apertura de raíz prácticamente nula disminuye el valor de P significativamente, incluso cuando el HI resulta elevado, como en el caso de la Probeta 1.

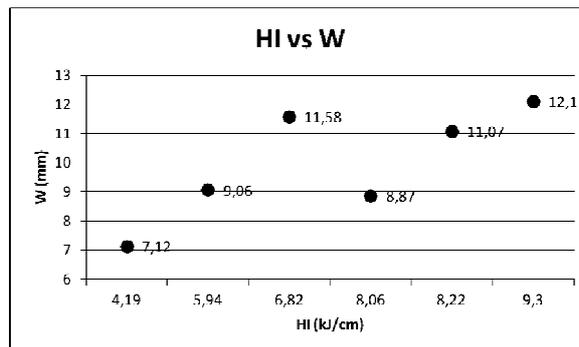


Fig. 2a. Efecto del HI sobre W

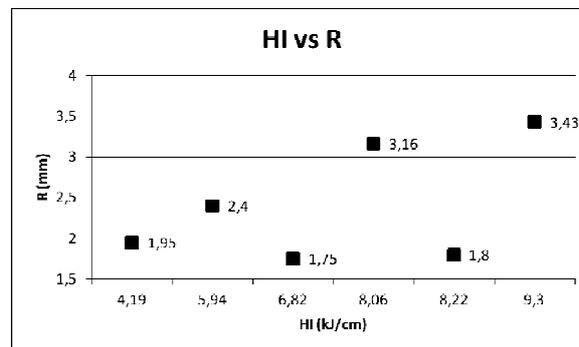


Fig. 2b. Efecto del HI sobre R

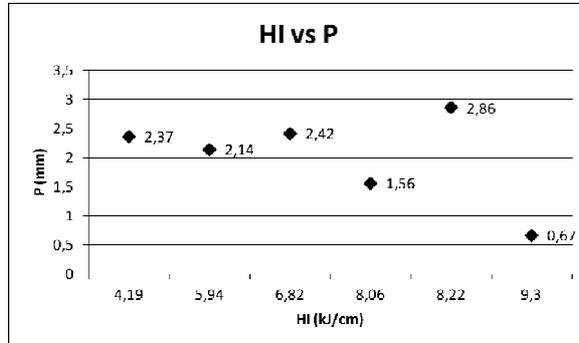


Fig. 2c. Efecto del HI sobre P

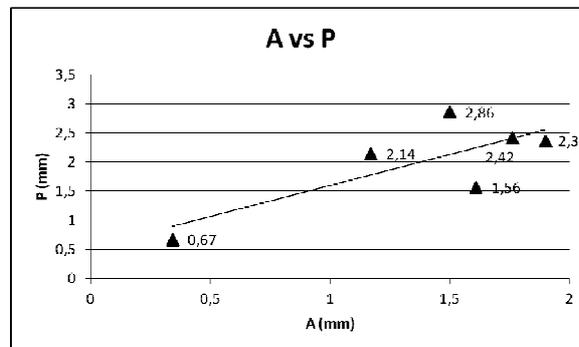


Fig. 2d. Efecto de A sobre P

**Fig. 2.** Efecto del HI sobre las variables dimensionales W (Fig. 2a), R (Fig. 2b) y P (Fig. 2c). Efecto de A sobre P (Fig. 2d).

En la Tabla 4, se muestran los resultados de microdureza obtenidos. En todos los casos puede observarse que la dureza correspondiente al MS supera a la del MB, esto demostraría la efectividad en la selección del consumible utilizado. Los resultados obtenidos en la ZAC muestran que la probeta 1 posee menor dureza que el resto, esto podría estar asociado al elevado HI empleado para soldar esta probeta.

**Tabla 4.** Resultados de microdureza Vickers.

Probeta	MS	ZAC	MB
1	229	135	
2	249	159	
4	234	163	120
5	246	193	

## 4 Conclusiones

Del trabajo realizado pudieron extraerse ciertas conclusiones las cuales se enumeran a continuación:

- No se observó un comportamiento lineal entre el calor aportado y las variables dimensionales analizadas.
- El mayor ancho de cordón se obtuvo para la probeta 5, soldada con calor aportado intermedio, esta probeta presentó, además, buena penetración.
- La probeta 1, soldada en las condiciones habituales de soldadura presentó una baja penetración y un elevado sobreespesor.
- Los valores de microdureza obtenidos para el metal de soldadura resultaron en todos los casos superiores a los del metal base.
- La baja microdureza obtenida para la zona afectada por el calor de la probeta 1 podría ser atribuida al elevado calor aportado utilizado.

De acuerdo a lo mencionado previamente, se puede concluir e informar a la empresa que es conveniente en lo sucesivo, disminuir el aporte de calor en la soldadura, ya que, trabajar con un calor aportado intermedio, facilita la operación de soldadura, permitiendo al soldador desarrollar su actividad más cómodamente, a la vez que conjuntamente con una apertura de raíz cercana a los 2 mm incrementa la penetración y disminuye el sobreespesor en la junta soldada. Estas recomendaciones en ningún caso introducen mayor tiempo de trabajo o mayor cantidad de insumos, por lo que de ser incorporadas, se mantendrían los costos de producción, incrementando la calidad de la unión soldada.

**Agradecimientos.** Los autores agradecen la colaboración recibida de la Escuela de Educación Secundaria Técnica N° 1 Antonio Bermejo, la cual permitió la utilización del equipamiento disponible para la preparación de las probetas y su análisis.

## Referencias

1. Niebles E., W. Arnedo: Procedimientos de Soldadura y Calificación de Soldadores: una Propuesta de Enseñanza y Guía de Aplicación para la Industria. Universidad Autónoma del Caribe, Facultad de Ingeniería, Información Tecnológica Vol. - 20 N° 3 (2009)
2. López Martínez E., Campillo Illanes B., Garnica González P., Vergara Hernández H.: Efecto del calor aportado por soldadura en un acero microaleado. Memorias del XIX Congreso Internacional Anual de la SONIM, Pachuca, Hidalgo, México (2013)
3. AWS A5.20/A5.20M: 2005, Specification for Carbon Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding, American Welding Society, USA (2005)
4. Pollard B., Cover J: Fatigue of Steel Weldments. Welding Research Supplement, (1972) 544-554
5. Pérez C., Moglionic A., de Vedia L.: Iniciación de fisuras por fatiga en soldadura de aleación de aluminio obtenida por el proceso de fricción-agitación (FSW). CONAMET/SAM-SIMPOSIO MATERIA (2002)
6. Jeffus L.: Welding Principles and Applications. 5th edn. Chapter 4, p 78