

# Estudio de la influencia de gases de protección en el esfuerzo de corte de soldaduras de filete fabricadas por GMAW-SC

## Study of the influence of shielding gases on the shear stress of GMAW-SC fillet welds

Nicole Rodríguez y Linton Carvajal  
Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago de Chile.  
[rodriguezpinonico@gmail.com](mailto:rodriguezpinonico@gmail.com)

### Resumen

---

En este trabajo se evaluó la influencia sobre el esfuerzo de corte en soldaduras de filete longitudinales y transversales soldadas mediante GMAW-SC, de cuatro gases de protección que actualmente comercializa Indura S.A: Indurmig 20, Indurmig 8, Indurmig O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>. Para ello se ensayaron en tracción probetas para ensayo de corte fabricadas bajo la Norma AWS B4.0:2007. Se fabricaron, además, probetas de filetes en unión T para realizar pruebas de micrografía, microdureza y macrografía para dar así significado a los resultados del esfuerzo de corte, por medio del análisis de microestructuras, microdureza Vickers y penetración obtenida para cada gas evaluado. El metal base utilizado fue un acero ASTM A36 y el metal de aporte, ER70S-6. Los resultados muestran que el esfuerzo de corte es mayor al utilizar CO<sub>2</sub>, con 313 MPa de promedio, y menor en las juntas soldadas con Indurmig O<sub>2</sub>, con un promedio de 244 MPa, lo que se relaciona directamente con las dimensiones de las gargantas efectivas y, en consecuencia, con la penetración obtenida para cada gas, definiendo guarda relación con el esfuerzo de corte y a medida que el oxígeno aumenta en la composición química del gas, aumenta la dureza, ya que se favorece una mayor velocidad de soldeo y, con ello, una mayor velocidad de enfriamiento y un tamaño de cordón más pequeño.

**Palabras Clave:** Soldadura; GMAW; Ensayo de corte; Gases de protección; Esfuerzo de corte.

### Abstract

---

In this work, the influence on the shear stress of longitudinal and transverse fillet welds welded by GMAW-SC, of four shielding gases that are currently marketed by Indura S.A: Indurmig 20, Indurmig 8, Indurmig O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> was evaluated. For this, test specimens for shear test manufactured under the AWS B4.0: 2007 Standard were tested in tension. In addition, T-joint fillet specimens were manufactured to perform micrography, microhardness and macrography tests to give meaning to the shear stress results, through the analysis of microstructures, Vickers microhardness and penetration obtained for each gas evaluated. The base metal used was ASTM A36 steel and the filler metal, ER70S-6. The results show that the shear stress is greatest when using CO<sub>2</sub>, with an average of 313 MPa, and smallest in the Indurmig O<sub>2</sub> welded joints, with an average of 244 MPa, which was directly related to the effective throats and consequently to the penetration obtained for each gas, thus defining that the greater the penetration, the greater the shear stress. On the other hand, the microhardness is not related to the shear stress and as oxygen increases in the chemical composition of the gas, the hardness increases, since it favors a higher welding speed and, with it, a higher cooling speed and a smaller bead size.

**Keywords:** Welding; GMAW; Shear Test; Shielding gases; Shear stress.

## Introducción

Para el proceso de soldadura GMAW, los gases de protección son una variable fundamental ya que influyen en la estabilidad del arco, forma del cordón y favorecen una transferencia uniforme. Por ello, existe la necesidad de determinar si existe cierta incidencia por parte de los gases de protección utilizados en GMAW en las propiedades mecánicas y perfil de soldadura y de cómo con ello se afecta al esfuerzo de corte, ya que estas características influyen ampliamente en la decisión que se tome al momento de escoger con qué gas trabajar y qué forma escoger para soldar debido a las diversas opciones que se presentan en el mercado.

## Antecedentes Teóricos

**Gases de Protección** (O'Brien, 1991; Cary, 1992; The Lincoln Electric Company, 1995; ANSI/AWS, 1997; Linde, 2010; Indura, 2015)

El propósito principal del gas de protección es desplazar el aire en la zona de soldadura y así evitar su contaminación por nitrógeno, oxígeno y vapor de agua. Estas impurezas afectan las propiedades del metal de soldadura. La correcta elección del gas de protección puede significar considerables ahorros dentro del proceso, debido a que influyen en la estabilidad del arco y una transferencia uniforme del metal. Esto, a causa de las propiedades de los gases de protección entre las se encuentran el potencial de ionización, la conductividad térmica, disociación y recombinación, potencial de oxidación, pureza y densidad, las cuales variarán acorde a la composición química que posea cada gas.

Para los gases de protección utilizados en este estudio se presenta su composición química en la Tabla N° 1.

Gas de protección	Composición Química
CO <sub>2</sub>	100% CO <sub>2</sub>
Indurmig 20	80% Ar / 20% CO <sub>2</sub>
Indurmig 8	92% Ar / 8% CO <sub>2</sub>
Indurmig O <sub>2</sub>	98% Ar / 2% O <sub>2</sub>

Tabla N° 1. Composición química de gases de protección utilizados.

**Norma AWS B.4.0: 2007** (American Welding Society, 2007)

El test de corte, que se presenta en la Norma AWS B.4.0:2007, aplica una carga de tracción en la muestra preparada hasta que las soldaduras de filete fallan, lo cual proporciona la información sobre las capacidades de carga y las eficiencias de las uniones soldadas. Los ensayos se realizan en una máquina de tracción de acuerdo con la ASTM E8 y se calibra de acuerdo con la ASTM E4-16.

Se entenderá por probeta longitudinal a aquella en que la soldadura de filete quede en igual dirección que la fuerza aplicada en el ensayo de tracción, mientras que la probeta transversal será donde la soldadura de filete se orienta perpendicularmente al esfuerzo realizado. Respecto a las dimensiones y el ensamblado de las probetas, éstas deben realizarse acorde a la Figura N° 1, para probetas longitudinales y su mecanizado acorde a la Figura N° 2, mientras que para la probeta transversal, debe realizarse su dimensionamiento, ensamblaje y mecanizado acorde a la Figura N° 3. Ahora, el ancho, espesores y tamaño de soldadura se definen en la Norma acorde a la Tabla N° 2.

## Procedimiento Experimental

**Parámetros de soldeo** (Ferjutz y Davis, 1993; Kou, 2003; American Welding Society, 2008)

Se utilizaron para los cuatro gases de protección algunos parámetros de soldeo constantes (Tabla N° 3) para disminuir las variables dentro del proceso.

Respecto a los voltajes y velocidad de avance utilizados, éstos se determinaron mediante probetas de prueba para cada gas, con la finalidad de encontrar los rangos en los cuales se mantuviese estable el arco de soldadura y se pudiese trabajar a

	Ancho (W) (mm)	Espesor (T)(mm)	Espesor (t) (mm)	Tamaño de soldadura (S) (mm)
(A)	75	10	10	3
(B)	75	19	12	6
(C)	75	25	19	10
(D)	89	32	25	12

Tabla N° 2. Alternativas de dimensiones para probetas.

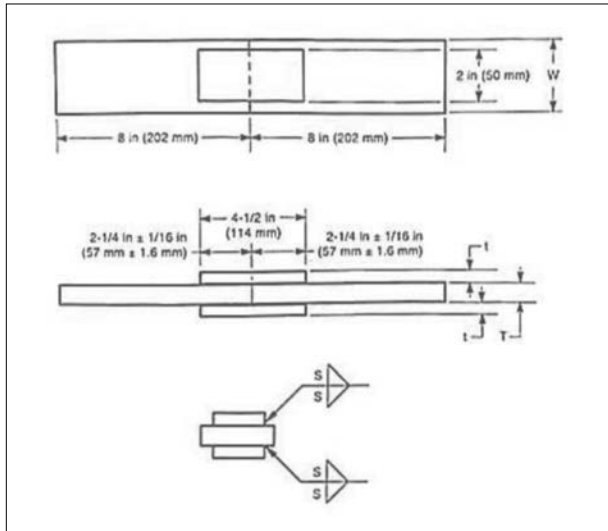


Figura N° 1 Dimensiones y ensamblado probeta longitudinal.

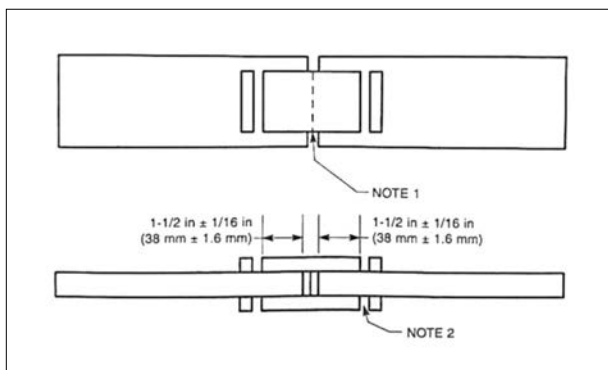


Figura N° 2. Especificaciones de mecanizado para probeta longitudinal.

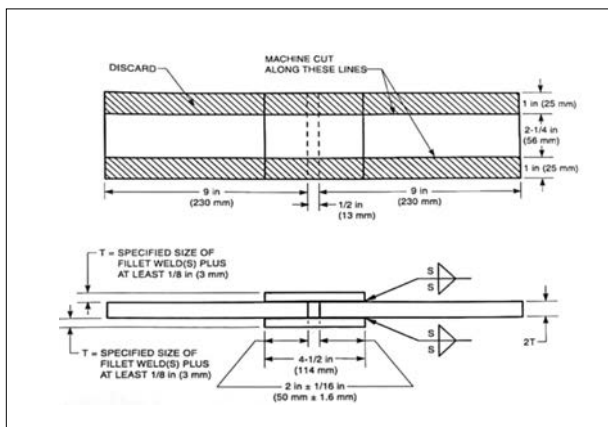


Figura N° 3. Dimensiones, ensamblado y especificaciones de mecanizado para probetas transversales.

Parámetro de soldeo	Parámetro Utilizado
Transferencia Metálica	Cortocircuito
Alambre libre (Stick Out)	15 mm
Caudal del gas	12 L/min

Tabla N° 3. Parámetros de soldeo constantes.

Gas de protección	Velocidad de alambre (m/min)	Velocidad de avance (mm/s)	Voltaje (V)
CO <sub>2</sub>	5.0	2.5	18.5
Indurmig 20	5.0	2.5	18.5
Indurmig 8	6.0	3.4	18.0
Indurmig O <sub>2</sub>	6.0	3.0	18.5

Tabla N° 4. Velocidades de salida de alambre y de avance y voltajes utilizados para cada gas.

Gas de protección	Rango de amperaje (A)
CO <sub>2</sub>	93-115
Indurmig 20	96-110
Indurmig 8	105-119
Indurmig O <sub>2</sub>	104-129

Tabla N° 5. Rangos de amperaje para cada gas.

una velocidad de avance en que fuese posible obtener cordones de soldadura de los tamaños determinados por la norma (Tabla N° 2). Es así como se obtuvieron los voltajes y velocidades de salida de alambre y avance de la Tabla N° 4. Para los voltajes utilizados, se obtuvieron los rangos de amperajes presentados en la Tabla N° 5.

Con lo anterior, se fabricaron cuarenta probetas que fueron sometidas a ensayo de tracción acorde al test de corte presentado en la Norma AWS B.4.0: 2007, teniendo así diez probetas para cada gas (cinco longitudinales y cinco transversales). Además, se fabricó un total de cuatro filetes en unión "T" para extraer probetas para realizar microdureza, macrografía y micrografía. Todas las probetas

se elaboraron con acero estructural ASTM A36 y de material de aporte se utilizó ER-70S-6.

**Ensayo de tracción** (American Welding Society, 2007; AWS.D1.1/D1.1M. 2015)

El ensayo de tracción se realizó con todas las probetas longitudinales y transversales fabricadas con cada gas, proporcionando la carga máxima que resistió cada probeta y con esto se calculó el esfuerzo de corte con la ecuación 2.1, en donde  $\tau$  es el esfuerzo de corte, P, a fuerza cortante (carga máxima en tracción) y A el área paralela a las cargas (área de los cordones de soldadura).

$$\tau = \frac{P}{A} \quad (\text{ec. 2.1})$$

Además, según la Norma AWS B4.0:2007:

$$A = G_t \cdot l \quad (\text{ec. 2.2.})$$

donde,  $G_t$  = garganta teórica y  $l$  = largo del cordón de soldadura.

Los resultados se comparan con el esfuerzo de corte del metal base utilizado en la fabricación de las probetas, el cual, según la Norma AWS D.1.1 para soldaduras de filete, corresponde a 0,3 veces

el esfuerzo de tracción, estando por lo tanto para un acero ASTM A36 en el rango de 120 MPa a 165 MPa como referencia.

### Microdureza Vickers

El análisis se realizó bajo la escala de microdureza Vickers (HV), con la norma ASTM E-384. Se hicieron once mediciones a cada una de las cuatro probetas aplicando una carga de 200 gf durante 10 s, con lo cual se midió desde el centro del cordón en dirección al metal base y desde el centro del cordón hacia su periferia.

### Perfil Macrográfico

La preparación de las muestras se realizó con un ataque químico con Nital 1% y las fotografías fueron analizadas por medio del software Portable-CaptureHD versión 3.0.0, lo que permitió verificar la penetración de la soldadura, y se midió la garganta efectiva obtenida de cada gas aplicado.

### Análisis Metalográfico

Todas las probetas fueron atacadas químicamente por inmersión en Nital al 1% y su observación se llevó a cabo por medio de un microscopio óptico Leica modelo DM LM.



Figura N° 4. Corte en probeta longitudinal.

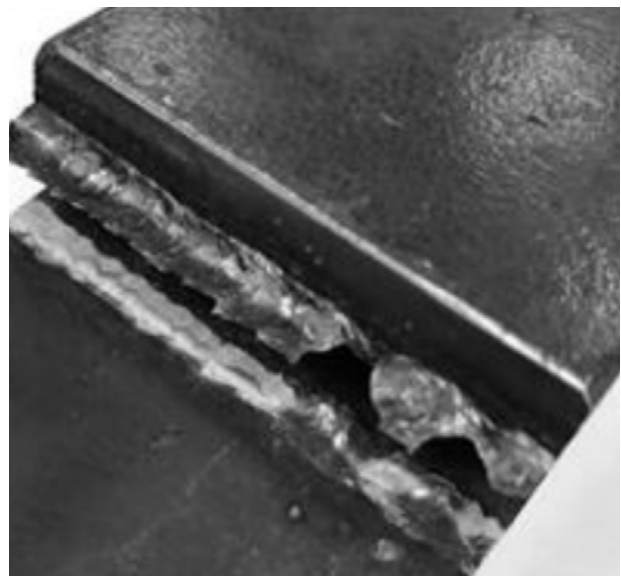


Figura N° 5. Corte en probeta transversal.

Tipo de gas	Esfuerzo de corte longitudinal (MPa)			
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Promedio
CO <sub>2</sub>	306.12	301.20	331.97	313.10
Indurmig 20	293.99	278.36	267.62	279.99
Indurmig 8	255.21	298.08	246.13	266.47
Indurmig O <sub>2</sub>	249.57	228.44	254.91	244.31

Tabla N° 6. Esfuerzos de corte para probetas longitudinales.

Tipo de gas	Esfuerzo de corte transversal (MPa)				
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Probeta 4	Promedio
CO <sub>2</sub>	476.21	484.90	431.13	-----	464.07
Indurmig 20	356.34	410.19	401.16	-----	389.23
Indurmig 8	336.05	374.40	349.41	-----	353.29
Indurmig O <sub>2</sub>	349.09	363.10	346.49	350.38	352.27

Tabla N° 7. Esfuerzos de corte para probetas transversales.

Tipo de gas	Garganta Efectiva 1 (mm)	Garganta Efectiva 2 (mm)	Garganta Efectiva Promedio (mm)
CO <sub>2</sub>	36.32	41.36	38.84
Indurmig 20	34.14	37.56	35.85
Indurmig 8	32.83	30.27	31.55
Indurmig O <sub>2</sub>	29.85	31.30	30.57

Tabla N° 8. Gargantas efectivas de gases de protección.

## Resultados y Discusiones

### Esfuerzo de corte

Los resultados del esfuerzo de corte para las probetas longitudinales y transversales se presentan en las Tablas N° 6 y N° 7, respectivamente, mientras que en la Figura N° 4 se aprecia el corte obtenido para la probeta longitudinal y en la Figura N° 5, para el caso de la probeta transversal.

Se aprecia en la Figura N° 4, que el corte se extiende a lo largo del cordón para el caso de la probeta longitudinal, a diferencia de lo que se muestra en la Figura N° 5 para la probeta transversal, en que el corte se produce solo en algunas secciones del cordón de soldadura, lo que puede explicarse debido a que en el caso de la soldadura longitudinal, ésta va en igual sentido que la carga aplicada por el equipo de tracción, a diferencia de la soldadura transversal que se orienta perpendicular al esfuerzo aplicado, haciendo que se requiera de mayor carga para producirse el corte. Lo anterior se corrobora a través del esfuerzo de corte obtenido (Tablas N° 6 y N° 7). Cabe destacar, además, que una de las probetas soldadas con Indurmig O<sub>2</sub>, falló, porque no quedó correctamente ajustada al equipo, por lo que cuando se intentó reajustar se fracturó antes de llegar a los 7000 Kgf y su valor fue reemplazado por los resultados obtenidos en dos más de ellas (Tabla N° 7 Probeta 3 y 4). Por otra parte, de la Tabla N° 6, se aprecia que el gas CO<sub>2</sub> fue con el que se obtuvieron los mayores valores de esfuerzo de corte en soldadura de filete longitudinal con un promedio de 313 MPa, seguido del gas Indurmig 20 y luego Indurmig 8 con un promedio de 280 MPa y 266 MPa respectivamente, mientras que con el gas Indurmig O<sub>2</sub> se obtuvieron los más bajos resultados, con un promedio de 244 MPa, mientras que para el caso de los esfuerzos de corte para las probetas transversales, se extrae a partir de la Tabla N° 7 que esta tendencia se mantiene, ya que el CO<sub>2</sub> alcanza un promedio de 464 MPa, mientras que el gas Indurmig O<sub>2</sub> alcanzó un promedio de 352 MPa.

Lo anterior se atribuye principalmente a la composición química de cada gas, ya que el CO<sub>2</sub> mejora considerablemente la conductividad térmica debido a la disociación y recombinación química, maximizando la penetración de la soldadura y con ello el esfuerzo de corte, lo que explicaría que los resultados obtenidos para el esfuerzo de corte tanto longitudinal como transversal fueran mejores para las mezclas de gases que contienen CO<sub>2</sub> en comparación con la mezcla que contiene argón y oxígeno, la cual, al contener oxígeno, mejora la fluidez del baño de fusión, aumentando la velocidad y disminuyendo así el tamaño del cordón y con ello la penetración obtenida.

### Análisis Macrográfico

A través de las macrografías realizadas fue posible obtener las gargantas efectivas para cada gas (Tabla N° 8).

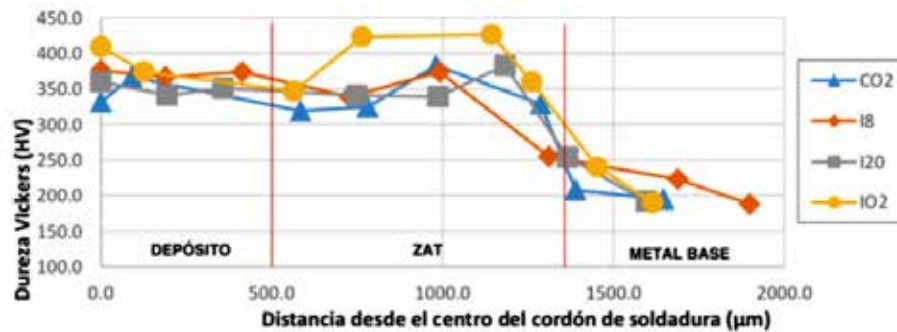


Figura N° 6. Perfil de Microdureza Vickers para cordones de soldadura con cada gas.

Lo anterior coincide con los resultados de esfuerzo de corte. Se puede apreciar que el gas CO<sub>2</sub> es el que presentó una mayor garganta efectiva con un promedio de 38.84 mm. Con lo anterior, se corrobora que entre mayor fue la garganta efectiva obtenida, esto es una mayor penetración, mayor es el esfuerzo de corte.

### Análisis de Microdureza

La Figura N° 6 presenta los resultados de las microdurezas obtenidas para cada gas de protección.

De la Figura N° 6 se aprecia que para los cuatro gases existe un valor mayor al del metal base en el depósito (distancia 0) el cual se incrementa en la ZAT y disminuye en todos los casos al aproximarse al metal base. Ahora, de manera individual, el gas O<sub>2</sub> fue el que obtuvo una mayor dureza tanto en la ZAT como en el depósito, lo que puede explicarse ya que al contener oxígeno, se mejora la fluidez del baño de fusión, lo que hace que se trabaje a mayo-

res velocidades de soldeo, se disminuya el tamaño de cordón y con ello, la velocidad de enfriamiento sea mayor, generando así microestructuras con una mayor dureza. Por otra parte, para el caso de las mezclas de gases Indurmig 8 y 20, ambos alcanzan valores muy similares a lo largo del perfil, lo que se debe a que comparten una composición química similar, y ven favorecida su dureza por contener CO<sub>2</sub>, que debido a la disociación y recombinación multiatómica, otorga una mayor dureza, lo que se aprecia a la vez para el gas CO<sub>2</sub> por sí solo. Lo anterior puede interpretarse como que el esfuerzo de corte es independiente de la dureza que se pudiese alcanzar tanto en el depósito como en la ZAT, lo cual puede deberse a que el esfuerzo de corte se mida por descohesión del cordón respecto del metal base.

### Análisis Micrográfico

El análisis micrográfico de las probetas permite visualizar la microestructura de la unión soldada para cada gas. A continuación, la Figura N° 7 muestra los puntos dentro del filete de soldadura en que se realizaron las micrografías obtenidas para los depósitos (Figuras N° 8, N° 9, N° 10 y N° 11).

En las anteriores Figuras (N° 8, N° 9, N° 10 y N° 11) se presentan las micrografías del depósito de las soldaduras, en donde se puede apreciar que no existen mayores diferencias en cuanto a microestructuras presentes debido a que se utilizó el mismo material de aporte para los cuatro casos. Se visualiza que las microestructuras presentes en el depósito de soldadura corresponden a ferrita y perlita. En todas hay presencia de ferrita de borde de grano y ferrita de segunda fase. Cabe destacar, además, que para el caso del gas Indurmig O<sub>2</sub>, se aprecia una estructura más fina al interior del gra-

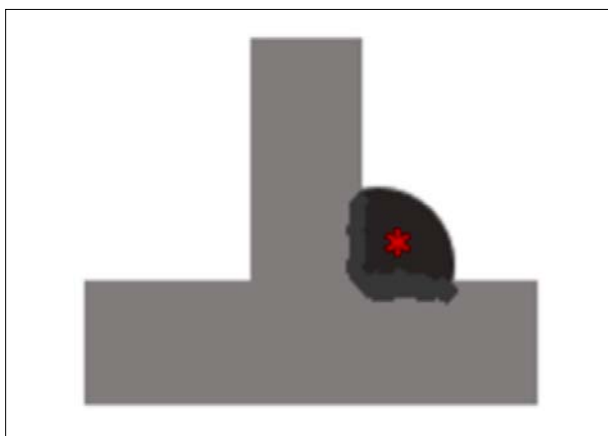


Figura N° 7. Puntos de filete de soldadura utilizados en micrografías: (A) centro de depósito, (B) ZAT.

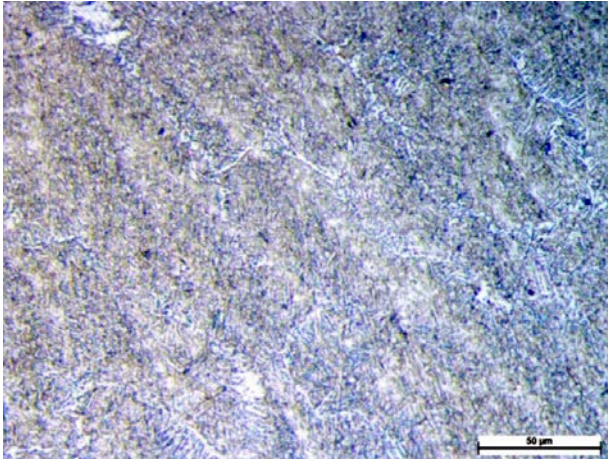


Figura N° 8. Micrografía de depósito de soldadura con gas Indurmig 20. Ataque realizado con Nital 1%. Se aprecia la estructura perlítica al interior de los granos y la ferrita de segunda fase.

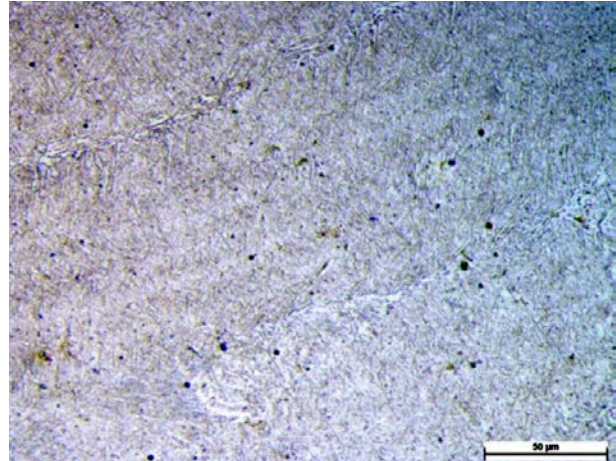


Figura N° 9. Micrografía de depósito de soldadura 500x CO<sub>2</sub>. Ataque con Nital 1%. Se observan los bordes de granos perlíticos compuestos de ferrita primaria.

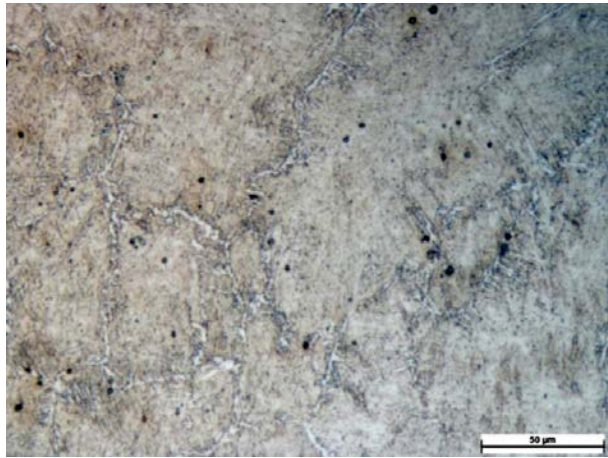


Figura N° 10. Micrografía de depósito de soldadura 500x Indurmig O<sub>2</sub>. Ataque con Nital 1%. Se observa gran cantidad de ferrita de segunda fase.

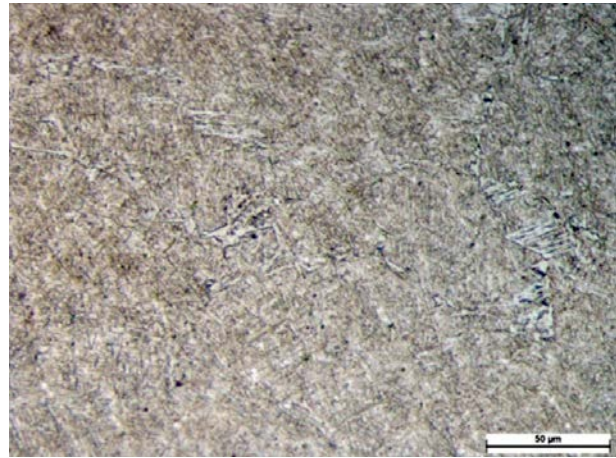


Figura N° 11. Micrografía de depósito de soldadura 500x Indurmig 8. Ataque con Nital 1%. No se aprecian los bordes de granos perlíticos, pero sí una gran cantidad de ferrita de segunda fase.

no, ocasionada por la alta velocidad de enfriamiento, que hizo que la velocidad de soldeo, a la que tuvo que trabajar el soldador para cumplir con los requerimientos del tamaño del cordón por parte de la norma AWS B4.0:2007, aumentara, ya que como se explicó anteriormente, se aumenta la fluidez de la poza con el porcentaje de oxígeno presente y esto generó un aumento en el perfil de dureza obtenido. Caso contrario para el CO<sub>2</sub>, con el que se pudo trabajar a una menor velocidad de soldeo y aun así alcanzar el tamaño de cordón deseado, lo que generó un enfriamiento menor y con ello una microestructura más gruesa y una menor dureza.

## Conclusiones

- Los gases de protección en el proceso GMAW, influyen el esfuerzo de corte en soldaduras de filetes longitudinales o transversales, por lo que debe tomarse como una variable a considerar al momento de escoger con cuál de ellos trabajar.
- Para el esfuerzo de corte de soldadura filete longitudinal como transversal, se obtuvieron mejores resultados con el gas activo CO<sub>2</sub> bajo la norma B4.0:2007.

- Una garganta efectiva mayor implica una mejor penetración y con ello un mayor esfuerzo de corte, tanto longitudinal como transversal.
- El esfuerzo de corte obtenido es independiente de la dureza, tanto en el depósito como en la ZAT.
- El esfuerzo de corte dependerá de la penetración y la garganta efectiva obtenida, la cual se comprobó, se ve afectada por el tipo de gas de protección que se utilice en el proceso de soldadura.

## Referencias

---

- American Welding Society B.4.0. 2007. Standard methods for mechanical testing of welds.
- American Welding Society. 2008. Welding inspection technology.
- ANSI/AWS A5.32/A 5.32. 1997. Specifications for Welding Shielding Gases.
- AWS D1.1/D1.1M. 2015. Código de soldadura estructural-acero.
- Cary HB. 1992, Manual de soldadura moderna. Editorial Prentice-Hall, México.
- Ferjutz K, Davis JR. 1993. ASM Handbook, Welding, Brazing and Soldering. vol.6.
- Indura. 2015. Manual de gases.
- Kou S. 2003. Welding Metallurgy. John Wiley & Sons, Inc.
- Linde. 2010. Gases de protección para la soldadura.
- O'Brien RL. 1991. Manual de soldadura. Tomo I. American Welding Society. Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana S.A., México.
- The Lincoln Electric Company. 1995. Gas Metal Arc Welding. [https://www.lincolnelectric.com/assets/global/Products/Consumable\\_MIGGMAWwires-SuperArc-SuperArcL-50/c4200.pdf](https://www.lincolnelectric.com/assets/global/Products/Consumable_MIGGMAWwires-SuperArc-SuperArcL-50/c4200.pdf)

## Recomendaciones

Si bien los resultados obtenidos en el esfuerzo de corte para el gas de protección Indurmig O<sub>2</sub>, fueron menores en comparación a los otros gases, debe considerarse que debido al requerimiento de la norma por mantener un tamaño de cordón definido y al favorecer esta mezcla de gas la fluidez del baño y por ende aumentar aún más la velocidad de soldeo, pudiese verse afectada la penetración obtenida, lo que da lugar a un estudio futuro, donde pueda utilizarse transferencia en spray, eliminando con esto el gas CO<sub>2</sub>, para solo evaluar mezclas de gases.