



## Soldadura disímil de un acero al carbono y acero inoxidable austenítico

García-Lira J<sup>1</sup>, Castillo Sánchez Martín<sup>2</sup>, Arenas Romero Juan José<sup>1</sup>

### RESUMEN

En este trabajo se presenta la investigación realizada para conocer la soldabilidad y su comportamiento microestructural y propiedades de uniones disímiles entre los aceros al carbono y acero inoxidable austenítico 310 por soldadura eléctrica SMAW (del inglés Shielded metal arc welding), soldado a bisel. Las muestras del metal base y las soldadas fueron caracterizadas por microscopía óptica, posteriormente se efectuaron ensayos destructivos, dureza Vickers, tanto al metal base como los aceros soldados con electrodo revestido. Presentándose durezas aceptables tanto en la zona afectada por el calor (ZAC), específicamente en la línea entre el cordón de soldadura y los aceros inoxidable y al carbono, encontrándose inclusiones entre los dos aceros y la soldadura.

### ABSTRACT

This paper presents the research carried out to know the weldability and its microstructural behavior and properties of dissimilar joints between carbon steels and austenitic stainless steel 310 by electric welding SMAW (Shielded metal arc welding), welded to bevel. The samples of the base metal and the welded ones were characterized by optical microscopy, later destructive tests were carried out, Vickers hardness, both on the base metal and on the steels welded with a coated electrode. Presenting acceptable hardness both in the zone affected by heat (ZAC), specifically in the line between the weld bead and the stainless and carbon steels, finding inclusions between the two steels and the weld.

**Keywords:** Steels, structural steel, welding, Vickers hardness, mechanical properties.

## 1. INTRODUCCIÓN

### <sup>1</sup>INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI), Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME). Unidad profesional, Azcapotzalco, Av. de las Granjas No. 682, Col. Sta. Catarina Azcapotzalco, C.P. 02550, México. [jgarcialira@gmail.com](mailto:jgarcialira@gmail.com), [jjarenas@gmail.com](mailto:jjarenas@gmail.com).

### <sup>2</sup>INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI), Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME). Edificio 5. 2do Piso, Unidad Profesional Adolfo López Mateos "Zacatenco" Col. Lindavista, C.P. 07738, México, D.F. México. [Avinfer66@gmail.com](mailto:Avinfer66@gmail.com)

En la actualidad el creciente uso de la soldadura por fusión de materiales disímiles, tanto en producción como en mantenimiento, conlleva la necesidad de optimizar el uso de los materiales según sus propiedades específicas. Por tanto, esta investigación pretende formar sobre los distintos criterios de selección de materiales de aporte y la factibilidad de la soldadura entre materiales con diferencias en su composición o propiedades.

Consideremos como materiales disímiles a aquellos que son químicamente diferentes como en el caso de la unión de un acero inoxidable y acero al carbono o de estructuras metalúrgicas distintas y además las distintas combinaciones que pueden ser entre metales base, metal de aporte o metal de soldadura.

La soldadura es un método de trabajo cuyo objeto es unir metales, a través de técnicas razonablemente económicas, otorgando a la unión propiedades adecuadas y compatibles con el metal base [2]. Hoy en día, unir metales disímiles es indispensable en la fabricación y la construcción de equipos y maquinaria avanzada. La soldadura de metales disímiles implica soldadura de dos tipos diferentes de aleaciones de metal. En la actualidad existe una buena cantidad de aplicaciones industriales de este tipo de uniones como; en la industria de refrigeración, en la industria automotriz equipos gasodomésticos. Motos y navieras. Todo tipo de evaporadores, radiadores, condensadores en refrigeración y aire acondicionado, Neveras, Termocuplas, etc. [1-2].

En la fabricación de equipos y máquinas destinados a la transformación de energía, es cada vez más frecuente las aplicaciones de soldaduras en aceros inoxidables y aceros al carbono. Esto conlleva a que se tenga que investigar cuidadosamente y descubrir las mejores condiciones para su soldabilidad.

Cuando la unión de los metales disímiles se realiza por un proceso de soldadura por fusión, la aleación entre los metales base y metal de aporte, cuando éste es usado es importante y requerirá una mayor consideración, dado que el metal de soldadura resultante puede comportarse muy diferente a uno o a ambos metales base.

La unión de metales con importantes diferencias en sus propiedades químicas, mecánicas y físicas, puede presentar problemas durante y después de la soldadura. La combinación puede ser de dos o tres metales diferentes, siendo uno de ellos el metal de aporte, [3].

En la práctica la soldadura en campo; se utiliza en nuevas instalaciones, reparaciones, conexiones y estructuras [3], y de



manera específica, en el campo industrial de producción, refinación y transporte de petróleo, procesos de gran presencia en la industria, y más importante productora y refinadora de hidrocarburos. Estas operaciones son realizadas usualmente mediante técnicas de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW: Shield Metal Arc Welding) empleando un metal de aporte de composición similar al metal base [4].

Cabe señalar que, para saber la composición química de un metal de aporte depositado, la mejor forma es acudir al catálogo de productos del fabricante, mientras que para la composición química de los materiales base, es necesario revisar normas que los clasifican (SAE, AISI, ASTM, ASME).

### PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

**1. Metal base.** Se verificó la composición química de los metales base, utilizando el método de espectrofotometría por absorción atómica. La tabla 1 se muestran las composiciones químicas de los materiales.

**Tabla 1.** Composiciones químicas de los materiales base y del metal de aporte (% peso).

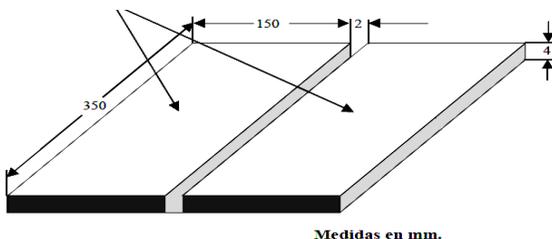
Material	C	S	Cr	Ni	Mn	Mo	Si
A36	0.25	0.008	0.001	--	0.45	0.034	0.077
310	0.25	0.030	24.0	22.0	2.0	--	1.75

**2. Material de aporte:** el material de aporte que se usó para el proceso de soldadura fue un electrodo AWS E7018 sus características se muestran en las tabla 2.

**Tabla 2.** Composición química bajo normatividad AWS (Ficha técnica INFRA)

C	S	Cr	Ni	Mn	Mo	Si	V	P
0.15	0.035	0.20	0.30	1.60	0.30	0.75	0.08	0.035

**3. Preparación de juntas.** Las juntas se diseñaron asegurando un libre movimiento térmico, para no exponer al material a una fijación excesiva durante el ciclo de soldadura, estas se plantearon para el proceso de soldadura SMAW, en función del espesor de la platina de 1/4", según código ASME sección IX [5], como se muestra en la figura 1, y con abertura de raíz de 1/8", con el fin de asegurar una penetración satisfactoria del metal de aporte. Figura 1.



**Figura 1.** Junta del material utilizado para la unión disímil

### 4. Aplicación de la Soldadura

Se realizaron las especificaciones al procedimiento de soldadura WPS, (Welding Procedure Specification), tomando en consideración el tipo de proceso de soldadura, diseño de la unión, metales base, metal de aporte, posición de la soldadura, las características eléctricas con las cuales se suelda, y precalentamiento, figura 2.



**Figura 2.** Probetas soldadas

**5. Ensayos destructivos (Tensión).** Estos ensayos son pruebas a las que se someten los materiales con el fin, de comprobar sus propiedades como Tracción ASTM E8. [9], preparación metalografía ASTM E3. [11], y determinación del tamaño de grano ASTM E112. [12], para verificar la calidad de dicho material y hacer una correcta aplicación de ellos, figura 3. Estos ensayos son importantes ya que nos muestran en una manera proporcional, como los materiales se desempeñarían en distintas situaciones.



**Figura 3.** Probetas maquinadas para ensayo a la tensión maquinadas de acuerdo norma ASTM E8M método estándar

### 6. Caracterización microestructural

Se cortaron muestras en sentidos axial y transversal de las placas de los metales base con dimensiones (10 x 10 x 5 mm), con el objeto de descartar diferencias microestructurales en relación al



sentido de conformado de la placa. De cada probeta soldada, se cortaron muestras representativas de la junta soldada conteniendo a los metal base del acero al carbono, metal base del acero inoxidable, metal del material de aporte y la ZAC.

Las muestras se prepararon metalográficamente de acuerdo al método de pulido mecánico convencional de acuerdo con la norma ASTM E3- 2001 [10]. El pulido final se realizó con alúmina de 0.5  $\mu\text{m}$ . Las muestras fueron atacadas con el reactivo Vilella (45 ml Glicerol, 15 ml Ácido Nítrico, 30 ml Ácido Clorhídrico) para el acero inoxidable y con Nital al 3% (100 ml Alcohol Etílico al 96% +10 ml de Ácido Nítrico) para el acero al carbono, mientras que la unión soldada fue atacada con Nital al 3% para evidenciar la interfase entre el acero al carbono y el acero inoxidable, posteriormente con el reactivo Vilella para conformar el perfil microestructural de la unión soldada. Todas las muestras se analizaron mediante un microscopio óptico, marca Olympus, modelo CX21.

### 7. Microdureza

La microdureza del material fue obtenida con un durómetro Vickers digital marca Mitutoyo, con una carga de 1 kg. Se obtuvieron microdureza en tres diferentes niveles a través del espesor de la muestra [12]. La distancia entre mediciones fue de 0.5 mm, realizándose a lo largo y en el centro del metal y ancho de la soldadura cumpliendo así con las recomendaciones de la norma ASTM E384-99.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Microestructura

La figura 4, muestra una microestructura de los metales base a 100X muestra una micrografía del material base del acero al carbono A36, conteniendo ferrita y perlita. La figura 5 muestra el acero inoxidable austenítico 310, se puede observar una microestructura compuesta de granos equiaxiales de austenita.



Figura 4. Microestructura acero A36 original

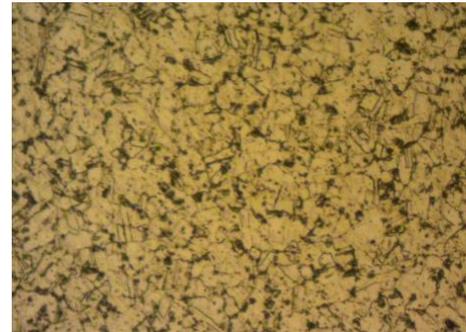


Figura 5. Acero inoxidable 310

Como regla fundamental, el metal de aporte para una soldadura debe ser de igual o de mayor aleación al metal base. Así, los aceros al carbón pueden ser soldados con un metal de aporte inoxidable, mientras que, un acero inoxidable no puede ser soldado con un metal de aporte de acero al carbón como el tipo E6013. Por lo anterior, veremos que, para la soldadura entre un acero al carbón, y un acero inoxidable, la figura 6 se muestra la soldadura de una soldadura disímil con el proceso de soldadura eléctrica la cual se utilizó un electrodo E7018.



Figura 6. Microscopia de los metales base y cordón de soldadura

### Ensayo de tensión

La caracterización de los materiales base y aporte fue hecha con la finalidad de definir sus características y propiedades originales, las cuales son de gran importancia puesto que de éstas depende en gran parte la calidad final de la junta de soldadura realizada. Además, con los resultados obtenidos en los ensayos hechos en esta caracterización se pudo corroborar que los materiales empleados satisfacen los requerimientos definidos por la norma.

En las tablas 2, 3 y 4 se presentan los valores obtenidos de las pruebas de tensión, correspondientes a los aceros al carbono A36 y acero inoxidable 304 respectivamente. De igual manera los diagramas de esfuerzo-deformación de



ambos materiales base y de la soldadura aplicada a los materiales, figura 7,8 y 9.

**Tabla 2.** Resultados obtenidos del ensayo de tensión del acero al carbono A36

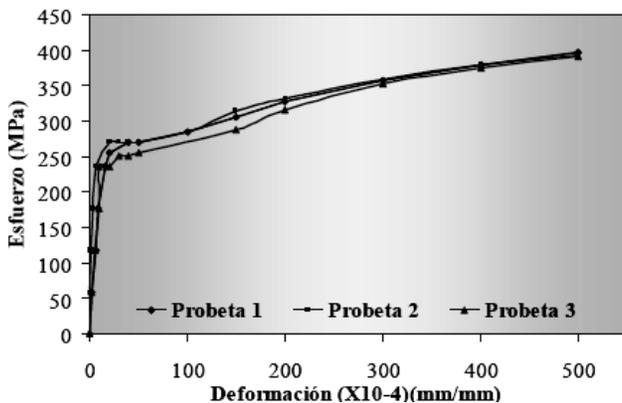
Acero A36	Esfuerzo máximo (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	% Elongación
Probeta 1	447,200	268,000	38.20
Probeta 2	441,320	273,000	33.00
Probeta 3	439,350	252,000	35.00

**Tabla 3.** Resultados del ensayo de tensión del acero inoxidable 310

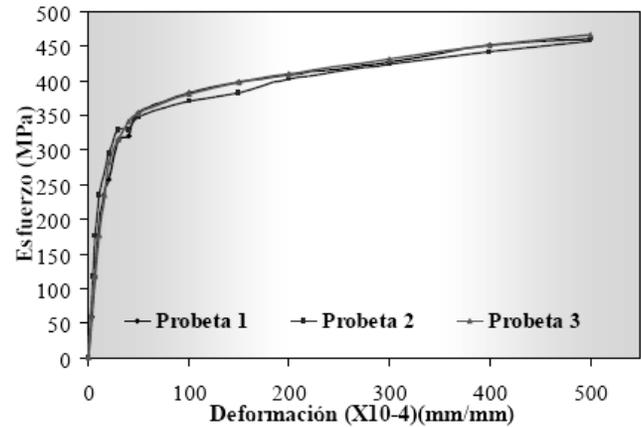
Acero 310	Esfuerzo máximo (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	% Elongación
Probeta 1	660,990	320,000	52.00
Probeta 2	678,640	330,000	56.00
Probeta 3	666,880	345,000	56.00

**Tabla 4.** Resultados del ensayo de tensión de la soldadura aplicada

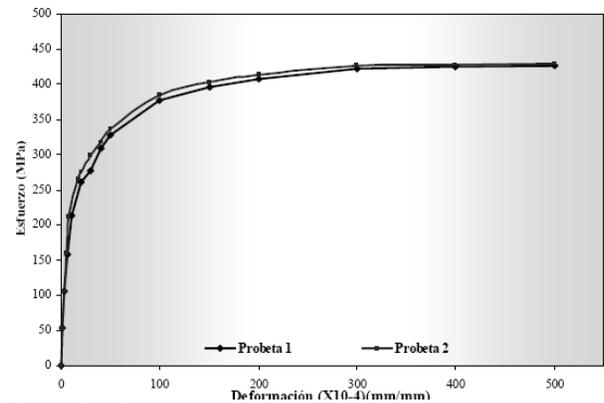
Acero A36	Esfuerzo máximo (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	% Elongación
Probeta 1	420,880	285,000	22.20
Probeta 2	425,410	298,000	23.60



**Figura 7.** Diagrama esfuerzo – deformación del acero A36



**Figura 8.** Diagrama esfuerzo – deformación del acero inoxidable 310



**Figura 9.** Diagramas esfuerzo - deformación correspondientes a los dos probetas ensayadas de la junta de soldadura.

Al analizar los resultados se observa que, como era de esperarse, la falla ocurrió en la junta, del lado del acero al carbono y no en el cordón de soldadura ni en el acero inoxidable, ya que según la American Welding Society, los aceros inoxidables austeníticos tienen mejores propiedades de ductilidad y resistencia que los aceros al carbono y de baja aleación.

Además, tomando en cuenta que según Howard C. (1992), una buena soldadura entre dos metales distintos es aquella que es tan fuerte como el metal menos resistente de los que se unen puesto que su objetivo es transferir esfuerzos a través de estos, lo observado es positivo ya que garantiza que el metal de soldadura no constituirá el punto débil de la junta.

#### Ensayo de microdureza

Los resultados obtenidos en el ensayo de microdureza realizado a la junta de soldadura son presentados en la tabla 5 y gráficamente en la figura 10.



Tabla 5. Resultados de durezas obtenidas en la soldadura disímil

Medición	HV acero al carbono A36	HV Acero inoxidable 310
1	135	172
2	136	175
3	135	185
4	140	185
5	136	179
6	130	179
7	125	175
8	125	181

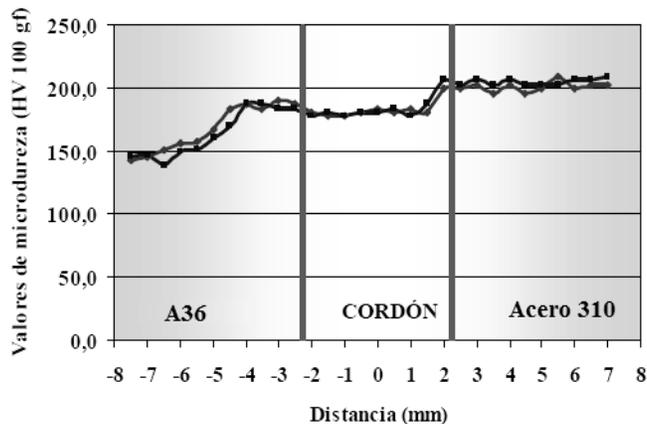


Figura 10. Grafica de durezas obtenidas en la soldadura del material disímil

Inicialmente, en la figura 10, se puede observar que en la zona afectada por el calor del acero estructural ASTM A36, el valor de la dureza se va incrementando conforme está más cerca del cordón de soldadura. Puesto que según Avner S. (1988), las propiedades mecánicas de una aleación dependen de las propiedades de las fases que lo constituyen y de la forma en que estas últimas están ordenadas para formar su microestructura, el incremento de la dureza observado en esta zona de la junta se puede atribuir al aumento del tamaño de los granos perlíticos y son debidos al fenómeno de las altas temperaturas alcanzadas durante la aplicación de la soldadura.

Por esta razón, y debido a que la perlita posee una mayor dureza que la ferrita, al aumentar el tamaño de la fase perlítica conforme

está más cerca del cordón de soldadura en la zona afectada por el calor del citado metal base, el valor de la dureza tendera a incrementarse de la misma manera en esta área.

#### 4. CONCLUSIONES

En la soldadura de aceros inoxidable debe tenerse especial cuidado para que, la microestructura y la composición del cordón de soldadura y la zona afectada por el calor, cambien sustancialmente.

En el diseño de una unión soldada entre el acero inoxidable y aceros al carbón, deben tenerse en cuenta las recomendaciones y los métodos existentes para que dicha unión ofrezca la mejor ductilidad y resistencia mecánica posible.

La unión de los aceros utilizados en esta investigación si cumplen con las especificaciones por norma, seleccionando adecuadamente el metal de aporte, ya que actualmente los fabricantes de electrodos de metales de aporte poseen una amplia soldabilidad, lo cual nos brinda la posibilidad de obtener soldaduras cada vez mejor diseñadas y de mejor calidad.

La unión de soldadura disímil entre los metales base acero A36 y el acero inoxidable 310 cumplió con los distintos criterios de aceptabilidad establecidos por la norma ASME. Por lo que el procedimiento de soldadura diseñado y empleado en esta investigación calificó según el código aplicado.

#### BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- [1]. INDURA S.A. Sistemas y Materiales de Soldadura 1998.
- [2]. Lippold JC, Kotecki DJ. Welding metallurgy and weldability of stainless steels. Ira ed: John Wiley & Sons, Inc. 2005
- [3]. Oates W. y Saitta A. (1998). AWS Welding Handbook. Materials and Applications. Vol. 4. Miami: American Welding Society.
- [4]. ELECTROMANUFACTURAS S.A. Catálogo de Electrodo, 156 páginas, Colombia, 1999.
- [5]. J. Lozano, P. Moreda, C.L. Llorente y P.D. Bilmes. Características de Fusión de Soldaduras GMAW de Aceros Inoxidables Austeníticos. Jornadas SAM 2000 – IV Coloquio Latinoamericano de Fractura y Fatiga, agosto de 2000
- [6]. MONSALBE G, Héctor y otros. Efecto del Amperaje en las Propiedades de Recubrimientos Duros Resistentes a la Abrasión Aplicados por Soldadura. Dyna, Año 71, No 144. Medellín, noviembre de 2004. ISSN 0012-7353.
- [7]. CORTEZ P, Ramón y otros. Estudio de la Soldabilidad y Corrosión del Acero Inoxidable AISI 904L con los Agentes



Utilizados en la Lixiviación del Cobre. Revista Facultad de Ingeniería, U.T.A. Chile, Vol. 12, No 2, 2004.

- [8]. Código ASME sección IX, (2004), pp 3-10, 135-180.
- [9]. Ospina R., Aguirre H., Parra H. (2007). Soldabilidad en Aceros Inoxidables y Aceros Disímiles. *Scientia et Technica* [Revista en Línea], 13(34); 272-278. Disponible:  
<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/849/84934046>.
- [10]. Praxair Engineering, (2003). “Gas Metal Arc Welding of Stainless Steel”. <http://www.praxair.com>.
- [11]. Ospina R., Aguirre H., Parra H. (2007). Soldabilidad en Aceros Inoxidables y Aceros Disímiles. *Scientia et Technica* [Revista en Línea], 13(34); 272-278.  
<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/849/84934046>
- [12]. ASTM E-384-08 “Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials”, Annual book of ASTM Standards, (2002).
- [13]. AVNER, S. (Segunda Edición) 1988. Introducción a la metalurgia física, McGraw-Hill

## INFORMACIÓN ACADÉMICA

**Martín D. Castillo Sánchez:** Ingeniero Mecánico egresado de ESIME IPN, Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica SEPI ESIME IPN, Doctor en Ciencias en Ingeniería Mecánica SEPI ESIME IPN.

**Jesús García Lira:** Ingeniero Metalúrgico egresado del Instituto Politécnico Nacional, Maestro en ciencias en Ingeniería orientación Metal Mecánica, UNAM y candidato a Doctor en Ciencias por la SEPI ESIME IPN.

**Juan José Arenas Romero:** Ingeniero Metalúrgico egresado del Instituto Politécnico Nacional, Maestro en Ciencias en Ingeniería SEPI ESIME IPN y candidato a Doctor en Ciencias por la SEPI ESIME IPN.

