

EFFECTO DEL ÁNGULO DE TRABAJO SOBRE PLACAS DE ACERO A36 SOLDADAS DE FORMA SEMIAUTOMÁTICA BAJO EL AGUA MEDIANTE MMAW USANDO DOS TIPOS DE ELECTRODOS COMERCIALES

¹F. J. García M.^a, ²J. J. Ruíz M.^a, ²J. L. Acevedo D.^a, ²F. M. López^a

^aCorporación Mexicana de Investigación en Materiales; Saltillo, Coahuila. México.

fjgarcia@comimsa.com, jjorge.ruiz@comimsa.com, jacevedo@comimsa.com,

fmacias@comimsa.com

Resumen

La extracción de petróleo es realizada en su mayoría en ambientes marinos, los cuales son más agresivos con los componentes metálicos, por ello de forma frecuente es necesario la reparación o mantenimiento de estos mediante algún proceso de soldadura. El proceso MMAW es a menudo utilizado por su versatilidad, sin embargo dichas aplicaciones tienen una serie de dificultades debido al ambiente húmedo y las condiciones inherentes donde se realizan las operaciones, lo cual repercute en la calidad de las soldaduras, que en diversas ocasiones no cumplen con los estándares requeridos considerándolas temporales. Se tiene conocimiento que el ángulo de trabajo afecta directamente el perfil de distribución de calor en el charco de soldadura así como la geometría del cordón. El objetivo de este trabajo fue la evaluación del efecto que tiene el ángulo de trabajo en la sanidad de cordones de soldadura usando dos tipos de electrodos comerciales. Cabe mencionar que para la realización de los depósitos de soldadura se utilizó un contenedor que simulaba físicamente el ambiente húmedo y dentro del mismo se encontraba un dispositivo para aplicar los cordones de soldadura en posición 1F. Se emplearon dos ángulos de trabajo (50 y 70°) para ambos tipos de electrodos llevando a cabo tres cordones de soldadura sobre placas de acero A36. En los depósitos se evaluó la apariencia, fases presentes, dureza, dimensiones del depósito y ZAC. Se observó que al disminuir el ángulo de trabajo la calidad superficial de los cordones de soldadura aumenta considerablemente, presentando una menor longitud de la ZAC, lo cual beneficia a la calidad de la soldadura. Las uniones realizadas presentan una buena ductilidad ya que la diferencia de dureza entre el metal base y la soldadura es menor a 100H_{v500}.

Introducción

En el mundo se encuentran grandes estructuras de acero. Las cuales se encuentran inmersas en ambientes submarinos, usadas principalmente en la industria de extracción de gas y petróleo, también llamadas plataformas (offshore), estas estructuras son diseñadas para soportar diversos tipos de daños, manteniendo seguras las operaciones del personal y del medio ambiente por largos periodos. Por lo tanto es de suma importancia que el mantenimiento y reparación de tales plataformas cumpla con las exigencias de ingeniería estructural [1].

Debido al ambiente en el cual se encuentran estas estructuras, el proceso de reparación y mantenimiento es difícil, exigiendo procedimientos especiales que han sido desarrollados y aplicados por la industria petrolera en los últimos años [1].

Una de las técnicas usadas ampliamente es la soldadura húmeda con electrodo revestido, ya que es un proceso de reparación y mantenimiento que tiende a presentar el mejor costo-beneficio además de su versatilidad mostrando ventajas en relación con otros métodos disponibles. Sin embargo, la soldadura submarina presenta diferentes desventajas [2,3,4,5,6], como inestabilidad en el arco, atrapamiento de escoria, porosidad, insuficiente penetración, propiedades mecánicas no adecuadas, alta disolución de hidrogeno, etc., lo cual genera uniones de baja calidad.

Debido a esto varias investigaciones con respecto a soldadura submarina se han enfocado en la fabricación de electrodos que permitan disminuir la aparición de defectos así como evitar la pérdida de elementos de aleación mediante la oxidación de los mismos [7, 8, 9]. Se han realizado un gran número de trabajos donde se realiza soldadura con diferentes tipos de electrodos comerciales, en donde se emplea resinas sintéticas para su aislamiento sin embargo, poco avance se ha tenido ya que las uniones presentan un gran número de defectos y con ello bajas propiedades mecánicas [10, 11, 12].

Se tiene conocimiento de que variaciones en composición química del electrodo, profundidad a la cual se lleva a cabo la reparación, variables de operación (amperaje y voltaje) y el ángulo de trabajo son variables que afectan directamente en la calidad superficial del cordón de soldadura [13, 14].

En las diversas investigaciones realizadas en soldadura submarina se manejan diferentes ángulos de trabajo, para realizar los depósitos sin mencionar la justificación de su elección, por otro lado en la literatura se recomienda que el ángulo puede variar de 30 a 60° aunque no es una regla, dependiendo además de las preferencias personales del buzo, lo cual esta

relacionado directamente con su habilidad para aplicar soldaduras de la mejor calidad posible [16, 17].

En este trabajo se realizó el estudio de depósitos de cordones de soldadura en una cámara de simulación sobre placas de acero A36, considerando el uso de dos electrodos diseñados para soldadura húmeda identificados como H y B y dos ángulos de aplicación, a fin de verificar la influencia que tienen estos factores sobre la sanidad del cordón de soldadura. Evaluando la sanidad en función al código AWS D3.6.

Materiales

Fueron empleadas dos placas de acero ASTM A-36 para efectuar los depósitos de soldadura con dimensiones de 220 x 160 x 12.7 mm de espesor. Se utilizaron dos tipos de electrodos de marcas comerciales para soldadura submarina que denominaremos H y B con las características listadas en la tabla 1. La composición química del acero utilizado se muestra en a tabla 2.

Tabla 1. Características generales de los electrodos.

Características/Electrodo	Tipo H	Tipo B
Clasificación (equivalente)	E6013	E7013
Profundidad de aplicación (m)	0-100	0-100
Diámetro (mm)	4	4
Amperaje recomendado (A)	160-220	195-270
Polaridad	(+) ó (-)	(+) ó (-)
Tipo de corriente	CD	CD

Tabla 2. Composición química del acero ASTM A36

Elemento	%
C	0.25-0.29
Cu	0.2
Fe	98
Mn	1.03
P	≤ 0.04
Si	0.28
S	≤ 0.05

Se trabajó con dos ángulos de trabajo (50 y 70°), realizando tres cordones de soldadura para cada condición y para cada tipo de electrodo. En la figura 1 se ilustra la distribución de los cordones, para evitar tener algún tipo de interferencia en las características del

depósito se aplicaron con una separación de aproximadamente dos veces el ancho del cordón entre cada uno de ellos.

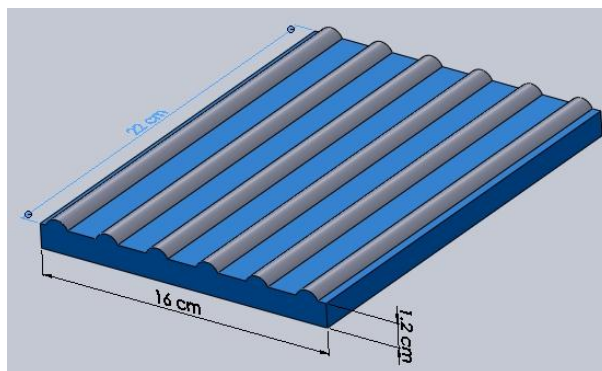


Figura 1. Esquema de la distribución de los cordones de soldadura aplicados sobre la placa de acero.

Equipo y procedimiento experimental

En la figura 2 se muestra una representación esquemática de la cámara para simulación de soldadura húmeda, la cámara consta de un recipiente fabricado de PTR en la base sosteniendo la estructura principal que contiene una mica de acrílico en ambos lados para poder observar el momento en el cual se realizan las soldaduras. Sus dimensiones se indican en el esquema.

Las soldaduras fueron realizadas en la cámara que simulaba físicamente, el ambiente húmedo mediante el llenado de agua del suministro hasta $\frac{3}{4}$ de la capacidad de dicha cámara, lo anterior tomando en cuenta que lo indicado en el código de soldadura AWS D3.6, con respecto a que la salinidad del agua no es una variable esencial. Dentro de este compartimento se encuentra colocado un dispositivo mecánico encargado de depositar los cordones de soldadura por arrastre de forma semiautomática en posición 1F como se puede observar en la figura 2.

El equipo cuenta con una fuente de poder de corriente constante de 400 A de capacidad y se maneja en todos los casos polaridad inversa, colocando el polo positivo de la fuente al electrodo y el polo negativo hacia la placa de trabajo. La velocidad de avance varió de 2 a 3 mm/s dependiendo del ángulo de trabajo.

El procedimiento para llevar a cabo los cordones de soldadura se puede dividir en las siguientes etapas:

1. Posicionar dentro de la cámara las placas de acero.

2. Colocar el electrodo correspondiente en el dispositivo, y ajustar el ángulo de trabajo.
3. Al iniciar el arco eléctrico, el riel donde está colocado el electrodo baja por gravedad conforme se va consumiendo el electrodo, manteniendo constante el ángulo de trabajo.

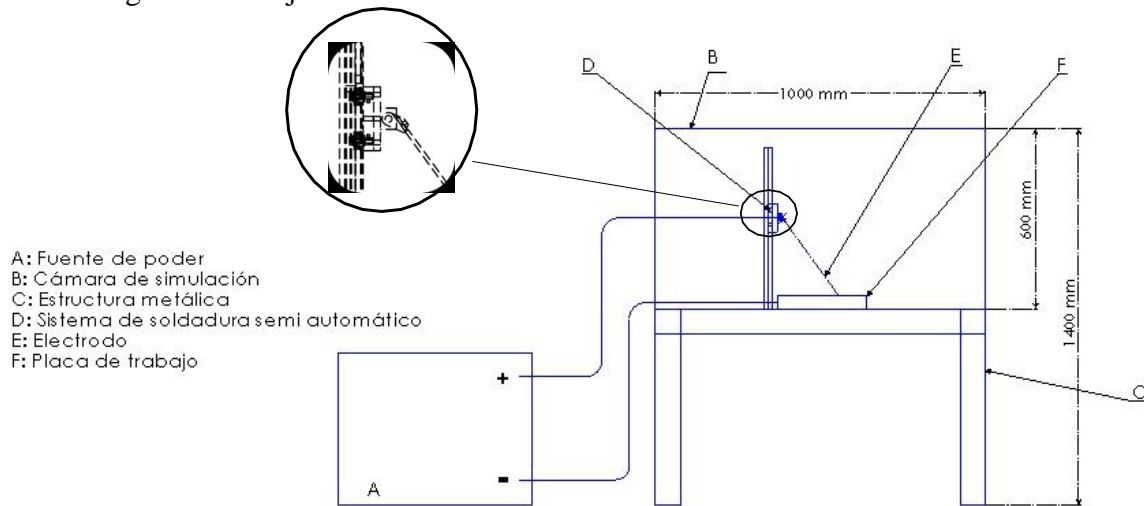


Figura 2. Representación esquemática del equipo de simulación de soldadura submarina.

Teniendo los cupones fueron extraídas probetas de las zonas inicio, medio y final del cordón de soldadura depositado en placa como se muestra en la figura 3. Estas fueron analizadas mediante inspección visual, microscopia óptica y micro dureza.

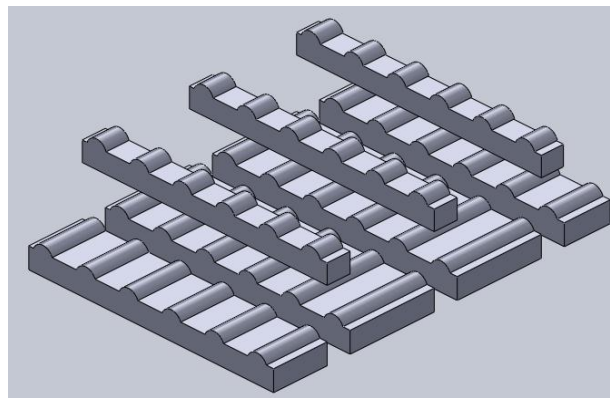


Figura 3. Muestras extraídas para su análisis del inicio medio y final del cordón de soldadura.

Resultados y discusión

En la figura 4(a) y 4(b) se muestran los depósitos realizados con un ángulo de trabajo de 50° y 70° respectivamente para ambos tipos de electrodos (H y B).



Figura 4. Cordones de soldadura aplicados con ángulo de trabajo de 50° (a) y 70° (b).

En la Figura 4(a) se observa que los depósitos aplicados bajo estas condiciones no presentan discontinuidades o defectos fuera de especificación para ambos tipos de electrodo. La Figura 4(b) muestra que el ángulo de trabajo utilizado repercute en la calidad superficial del cordón, generando depósitos irregulares con un mayor número de discontinuidades. Cabe señalar que bajo este ángulo de trabajo se presentó una mayor dificultad en el ajuste de parámetros, trayendo consigo una constante incidencia de corto circuitos.

En la Tabla 1 se enumeran las características de los cordones obtenidos evaluadas según lo especificado con respecto a defectos superficiales en el código de soldadura AWS D3.6 para soldadura submarina. El cordón de soldadura que presentó las mejores características superficiales para el caso de un ángulo de aplicación de 50° fue el tercer cordón usando electrodo tipo B de la Tabla 3. En cuanto al cordón de soldadura con las mejores características superficiales para un ángulo de trabajo de 70° corresponde al tercer depósito usando electrodo tipo H.

Tabla 3. Evaluación mediante inspección visual de los depósitos de soldadura.

Parámetros de operación	Corriente	160-180 A					
	Velocidad de avance	3-4 mm/seg					
	Polaridad	Inversa					
Tipo de electrodo		Ángulo de trabajo					
	Inspección visual	50°			70°		
H	Apariencia regular	x	x	x			x
	Apariencia irregular				x	x	

	Socavado			x		x	
	Porosidad						
	Cráter	x	x		x	x	
B	Apariencia regular	x	x	x			
	Apariencia irregular				x	x	x
	Socavado						
	Porosidad						x
	Cráter					x	
Número de depósito		1	2	3	1	2	3

En los resultados del análisis macro estructural se buscó identificar el comportamiento en la variación de las dimensiones del perfil de soldadura en cuanto al ancho del cordón, la penetración y el área de la zona afectada por el calor. En las Figuras 5 y 6 se muestra la zona transversal del cordón de soldadura dimensionado para los dos tipos de ángulos de trabajo (50 y 70 °) y de electrodos (H y B).

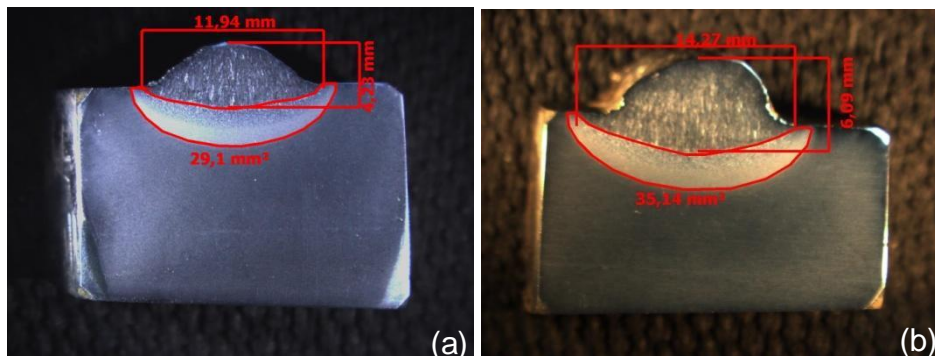


Figura 5. Dimensiones del ancho y penetración del cordón de soldadura y área de la zona afectada por el calor para un ángulo de trabajo de 50° y electrodo tipo B (a), y para un ángulo de trabajo de 70° electrodo tipo B (b).

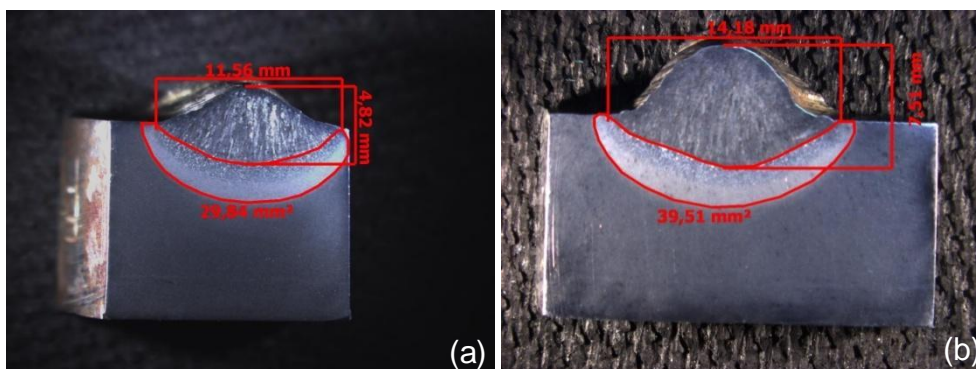


Figura 6. Dimensiones del ancho y penetración del cordón de soldadura y área de la zona afectada por el calor para un ángulo de trabajo de 50° y electrodo tipo H (a), y para un ángulo de trabajo de 70° electrodo tipo H (b).

En las Figuras 5 y 6 se muestra que la penetración y ancho del cordón es mayor para cuando se realizan los depósitos a un mayor ángulo independientemente del tipo de electrodo usado. Lo cual implica también que la zona afecta por el calor tenga una mayor dimensión a mayor ángulo.

En la figura 7 se muestra la variación dimensional en tres cordones de soldadura en los cuales se caracterizaron muestras obtenidas al inicio, centro y fin del cordón. Se observa que no existe una diferencia significativa al tomar la muestra al inicio centro o final del cordón y que la reproducibilidad de los resultados es buena. De las zonas analizadas las dimensiones de la región central muestran resultados con poca variación, esto puede ser debido a la estabilización del arco eléctrico conforme realiza su recorrido a lo largo de la placa, existiendo un mayor desequilibrio al inicio y final del depósito. El comportamiento es independiente del tipo de electrodo usado.

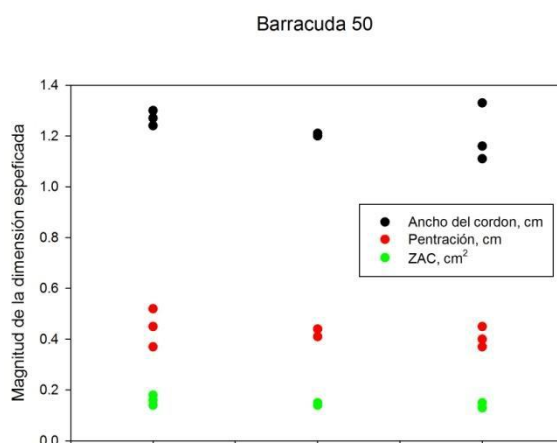


Figura 7. Longitud del ancho, penetración y área de la ZAC en las tres zonas seccionadas para el electrodo tipo B con ángulo de trabajo aplicado de 50°.

En la Figura 8 se muestra los perfiles de microdureza obtenidos para las muestras a 50 y 70° con electrodo B y H. Para el electrodo B se observa que las zonas afectadas por el calor muestran un incremento en la dureza del orden de 100 HV₅₀₀ con respecto al material base independientemente del ángulo. Mientras que las uniones realizadas con el electrodo H el gradiente máximo de dureza encontrado es de 70 HV₅₀₀. No existe una diferencia significativa entre los gradientes máximos obtenidos en función al electrodo y al ángulo.

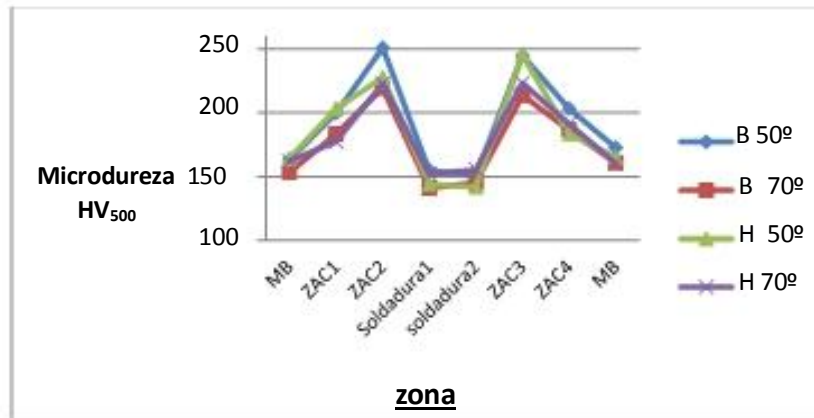


Figura 8. Perfil de mediciones de micro dureza para las muestras a 50 y 70° con electrodo B y H.

Metalografía.

En la figura 9 se muestra el análisis metalográfico para las muestras que fueron soldadas a un ángulo de trabajo de 50 y 70° respectivamente para el electrodo tipo B y H. Cabe señalar que las microestructuras en los cordones aplicados mediante los dos ángulos de trabajo y en ambos tipos de electrodos resultaron similares en las tres regiones que fueron analizadas, las cuales son la soldadura, zona de fusión y ZAC.

En la soldadura presenta la formación de ferrita aliotromórfica en los límites del grano austenítico, así como ferrita Widmanstätten resultado de un enfriamiento rápido. En la zona de fusión presenta trazas de ferrita acicular en una matriz de bainita. En la zona afectada por el calor se logra distinguir crecimiento del grano ferrítico con precipitados de perlita.

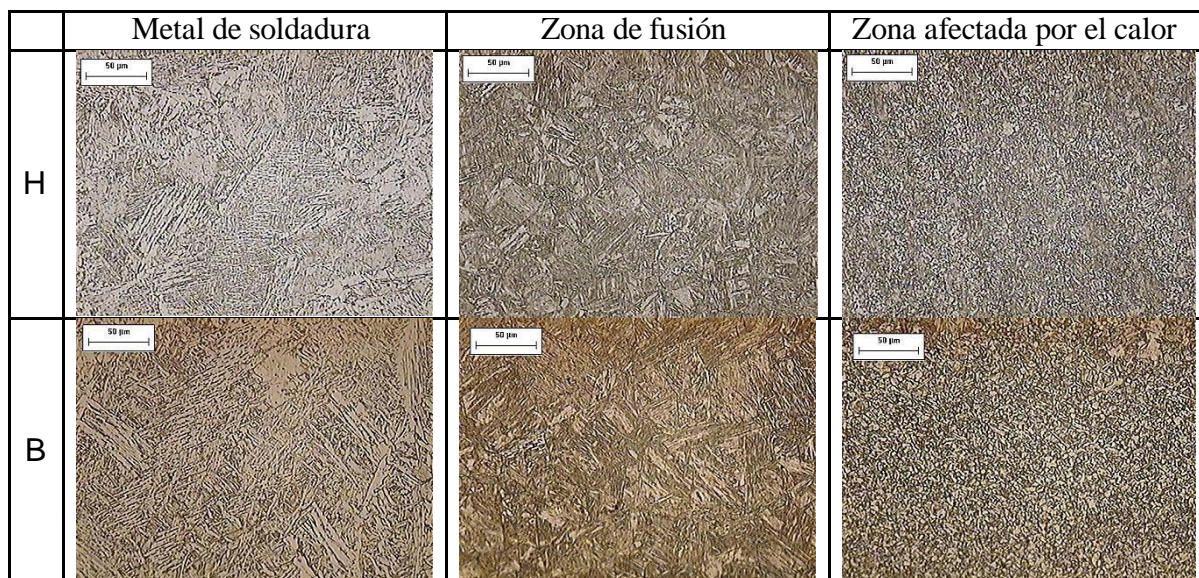


Figura 9. Microestructuras a 20x del metal de soldadura, zona de fusión y ZAC para los depósitos usando electrodo tipo H y B con un ángulo de trabajo de 50° y 70° respectivamente.

Conclusiones

En base a los resultados obtenidos podemos decir que:

- 1) El ángulo de trabajo tiene un efecto directo en la morfología del cordón de soldadura, así como la incidencia de defectos superficiales.
- 2) Los mejores resultados se presentan al utilizar un ángulo de trabajo de 50°, siendo mínima la variación con respecto al tipo de electrodo, H y B.
- 3) El ángulo de trabajo no tiene un efecto en la dureza y microestructura obtenida en las diferentes zonas del perfil del cordón de soldadura.

Referencias

- [1] M. Rowe and S. Liu. 2001. Recent developments in underwater wet welding, Science and Technology of Welding and Joining Vol. 6 No. 6 387
- [2] Alexandre Bracarense. 2009. Estudio comparativo de eletrodos comerciais para soldagem subaquática molhada. Soldag. insp. São Paulo, Vol. 15, No. 4, p.325-335
- [3] K. Masubuchi, Underwater factors affecting welding metalurgy, Proceedings of Underwater welding of offshore platforms and pipelines, pp 81-98, New Orleans, USA, 1980.
- [4] P. Szlagowski, Underwater wet welding part I-wet SMA welding, IIW doc. SCUW, 1990.

- [5] R.T.Brown, K. Masubuchi, Fundamental research on underwater welding, *Welding Journal*, June 1975.
- [6] C.L. Tsai, Underwater welding, cutting and inspection, *Welding Journal*, pp 55-62, February 1995.
- [7] Stephen Liu et al. 2009. Phase IV Enhanced Shielded Metal Arc Electrode Development for Underwater Wet Welding: Technology Transfer to Industry, Colorado School of Mines Golden, Colorado.
- [8] Alexandre Queiroz Bracarense et al. 2009. Development of tubular coated electrodes for underwater wet welding, *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*. Vol. 32, Nº 2, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.
- [9] Mark Rowe y Stephen Liu. 1999. GLOBAL - JIP PHASE II FINAL REPORT, Submitted to: JIP - Technical Activities Committee Global Industries, Inc. Lafayette, Louisiana.
- [10] Stephen Liu y Faustino Perez Guerrero. 2004. Joint Research Program between MMS and Pemex/IMP Underwater Wet Welding for Offshore Structures and Pipelines in the Gulf of Mexico: Process Maturation and Technology Transfer, Colorado School of Mines Golden, Colorado.
- [11] Yasuo Suga y Atshusi Hasui. 1986. Effect of water pressure on formation porosity, *Transaction of the Japan Welding Society*, Vol. 7, No. 1. Keio University.
- [12] Ezequiel Caires Pereira Pessoa et al. 2006. Porosity variation along multipass underwater wet welds and its influence on mechanical properties, *Journal of Materials Processing Technology* 179, Federal University of Minas Gerais - UFMG Brasil.
- [13] Xiao Chen, 2009. Experimental study on strength and ductility of underwater fillet welds in repairing offshore steel structures, Dept. of Civil Engineering, Nagoya University; Nagoya, Japan.
- [14] Luciano G. D. Andrade et al. 2009. Efeito do Teor de Carbono do Metal de Base e da Alma do Eletrodo Revestido Sobre a Porosidade em Soldas Molhadas, *Soldagem Insp.* São Paulo, Vol. 15, No. 2, Piracicaba, SP. Brasil.
- [15] Slobodan Kralj et al. 2009. Investigation into cold cracking in underwater wet welding of API 5L x70 steel, *TRANSACTIONS OF FAMENA XXXIII-3*, Zagreb Croacia.
- [16] Keats D.J., 1990. *Professional Diver's Manual on Wet-Welding*. Woodhead Publishing Limited, West Yorkshire, UK.
- [17] United States Navy, 2002, *U.S. Navy Underwater Cutting and Welding Manual*. Naval Sea Systems Comand, USA.

