

# Análisis de las inclusiones de escoria ESIs e ISIs en la resistencia mecánica de las juntas soldadas

**Carlos Oswaldo Serrano Aguiar, Jonathan Fernando Castro Revelo, Eduardo Francisco García Cabezas, Jhonny Marcelo Orozco Ramos, Carlos José Santillán Mariño.**

*Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
Panamericana Sur, Km 1 1/2, Riobamba-Ecuador*

e-mail: carlos.serrano@esepoch.edu.ec; jonathan.castro@epn.edu.ec; edugarciac\_87@hotmail.com;  
ingjmorozco@gmail.com; c\_santillan@esepoch.edu.ec

## INTRODUCCIÓN

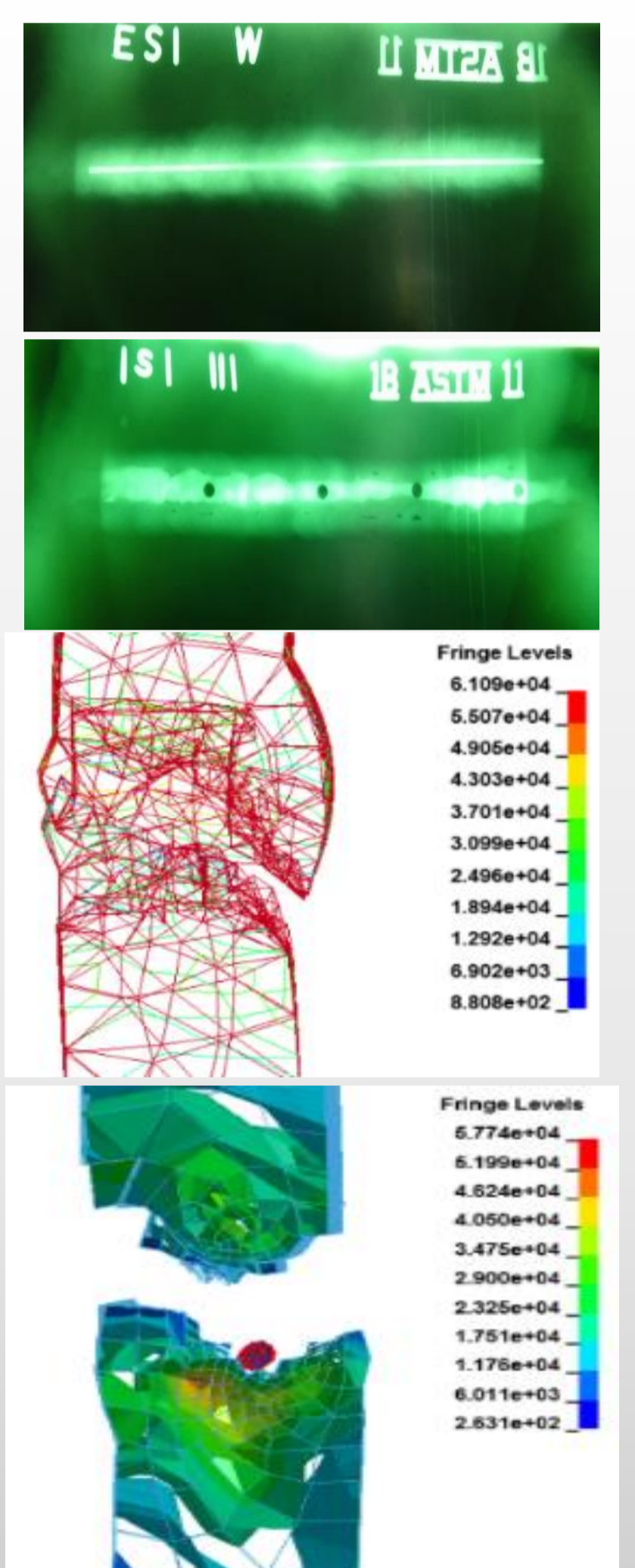
La Norma API 1104 establece una reglamentación sobre las discontinuidades producidas en las uniones soldadas para tuberías de oleoductos y además es reconocida a nivel mundial (Sashi, 2011). Las Normas de Aceptación dadas en la sección 9 de la Norma API 1104 están basadas sobre criterios empíricos de mano de obra y da lugar de mucha importancia a una longitud de imperfección (API, 2003). Sin embargo no existe un estudio profundo que fundamente teóricamente si las discontinuidades producidas en la unión de juntas soldadas sean consideradas como defectos a una determinada medida, en este estudio se definió la fundamentación de discontinuidades producidas por inclusiones de escoria. Una inclusión de escoria es un sólido no metálico atrapado en el metal de soldadura o entre el metal de soldadura y el material base. Las inclusiones de escoria pueden ser alargadas o aisladas. Las inclusiones alargadas (ESIs) son encontradas generalmente en las zonas de fusión. Mientras que, las inclusiones de escoria aisladas (ISIs) tienen forma irregular y pueden ser ubicadas en cualquier lugar de las soldaduras (API, 2013)

## DESARROLLO

Para las inclusiones de escoria alargadas (Esis) se incrusto alambre rígido de tungsteno con un punto de fusión de 3423 °C que al no fusionar con el acero de las placas simula el comportamiento de una inclusión de escoria. El alambre se incorporó en el segundo pase de relleno con una longitud total entre las placas obteniendo longitudes de ESIs de 1 in. de longitud en cada probeta. Para las inclusiones de escoria aisladas se obtuvo de 3 medidas distintas (1, 3 y 5 mm), incorporando en el segundo pase de relleno escoria quemada y pulverizada en taladros realizados con las mismas dimensiones. La verificación de la presencia de las discontinuidades y sus dimensiones tanto ESIs como ISIs se realizó mediante radiografía industrial. Se utiliza la Máquina Universal con una velocidad de 1mm/s, obteniendo la curva Esfuerzo-Deformación de cada discontinuidad. El esfuerzo se determina mediante la fórmula:

$$\sigma = \frac{F \text{ (Fuerza aplicada)}}{A \text{ (Area de la seccion Transeversal)}} \quad \text{Ec. 1}$$

Para medir la resistencia tensil de cada defecto se realiza un análisis estadístico y se determina la media aritmética, estos resultados se comparan con uniones soldadas que no tienen discontinuidades y se especifica en el procedimiento de soldadura calificado, identificando el porcentaje de reducción de resistencia tensil con diferentes tamaños de inclusiones de escoria. Los resultados obtenidos en el laboratorio se deben validar mediante simulación, verificando que son correctos y extrapolando a más dimensiones de inclusiones de escoria para obtener una curva de reducción de resistencia mecánica de las probetas con discontinuidades. El software utilizado es ANSYS Workbench 16.1. Estos resultados son verificados con la sección 9 de la Norma API 1104 y se fundamenta teóricamente si los criterios de aceptación o rechazo son validos para aprobar o desechar un proceso de soldadura en campo, en base a las curvas obtenidas de reducción de resistencia mecánica vs tamaño de la discontinuidad. Las fracturas de algunas probetas dentro de ANSYS se indican en las figuras.



## CONCLUSIONES

Al comparar los resultados del laboratorio con los resultados de las simulaciones tienen un error máximo al 5%, permitiendo extrapolar más dimensiones de inclusiones de escoria en la simulación y obtener la curva de influencia del tamaño de las ISIs y ESIs en la resistencia mecánica. Una inclusión aislada es permitida en un proceso de soldadura hasta una dimensión de 3mm. según al Norma API 1104, el estudio fundamente que con una inclusión de escoria de 3mm no reduce la resistencia tensil de una junta soldada. Inclusiones aisladas de 5, 7 y 9 mm de dimensión representan una caída de la resistencia mecánica de 10, 24% y 38% respectivamente, en comparación con los 64 Ksi de la probeta ensayada sin discontinuidades, lo cual afectara considerablemente a juntas soldadas y debiendo desechar el proceso de soldadura y catalogar como defecto dicha discontinuidad. Las inclusiones alargadas son aceptables hasta un 8% de longitud de una inclusión respecto a la longitud del cordón de soldadura (2mm respecto a 25mm) que no reduce la resistencia mecánica. Con mayores longitudes de inclusiones alargadas se reduce la resistencia a la tracción según el Grafico 12, si se tiene una inclusión alargada que corresponde al 100% de longitud en comparación con la dimensión del cordón de soldadura se reduce un 27% la resistencia mecánica.

## REFERENCIAS

- API. (2003). *Welding of Pipelines and related Facilities*. Estados Unidos: American Petroleum Institute.
- API. (2013). *Welding of pipelines and related facilities*. Estados Unidos: American Petroleum Institute.
- ASME. (2003). *Qualification Standard for welding and brazing procedures, welders, brazers, and welding and brazers operators*. Estados Unidos: ASME.
- ASTM INTERNATIONAL. (2014). *STANDARD SPECIFICATION FOR CARBON STRUCTURAL STEEL*. ASTM, 1-3.
- AWS. (2004). *Welding handbook Volume 2*. Estados Unidos: Americam Welding Society.
- Catro, J., & Serrano, C. (20 de Diciembre de 2016). Tesis previo a la obtencion del grado de Magister en Ingenieria Mecánica con mención en Materiales y procesos de manufactura. *Influencia del tamaño de las discontinuidades en las propiedades mecánicas de las uniones soldadas bajo la Norma API1104*. Quito, Pichincha, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Gao, M., Krishnamurthy, R., Tandon, S., & Arumugam, U. (2013). Critical Strain Based Ductile Damage Criterion and its Application to Mechanical Damage in Pipelines. *13th International Conference on Fracture*, 1-10.
- Jeffus, I. (2012). *Welding: Principles and Applications*. Estados Unidos: Delmar cengage Learnig.
- Sashi, E. (2011). *Pipeline planning and construction field manual*. Estados Unidos: Elsevier.
- Weman, K. (2003). *Welding Processes Handbook*. Cambridge, England: Woodhead Publishing Ltd.