



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

**Resistencia a la fatiga en las juntas soldadas en tuberías de aire
presurizado para equipos de una mina en Pataz**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Mecánico Electricista**

AUTORES:

Cuevas Ríos, Enisaí Natanael (orcid.org/0000-0001-8543-4235)
Del Rosario De la Cruz, Jairo Brayan (orcid.org/0000-0002-3910-4224)

ASESOR:

Mg. Castro Anticona, Walter Miguel (orcid.org/0000-0002-8127-4040)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de los Sistemas Electromecánicos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO – PERÚ

2022

Dedicatoria

A nuestro padre celestial, por ser nuestro soporte espiritual, porque nos acompañó en este largo camino siempre de su mano, ayudándonos a superar cada dificultad presentada en nuestras vidas.

A nuestra alma mater, la Universidad Cesar Vallejo por la oportunidad que nos brinda para alcanzar uno de nuestros sueños mas grandes que es ser ingenieros. A nuestros padres, por ser piezas fundamentales, brindándonos su apoyo en este arduo camino de innumerables obstáculos.

A nuestros amigos y compañeros por ser las mejores críticas en cada cosa que hacemos por ser únicos, como hermanos.

Agradecimiento

Nuestros mas sinceros agradecimientos a la Universidad Cesar Vallejo por brindarnos la oportunidad de continuar con nuestro estudio superior, a todos aquellos que contribuyeron en la elaboración de este trabajo de investigación. Gracias a nuestros padres que nos han apoyado todo el tiempo, ustedes son nuestra fortaleza, nuestra mayor alegría y nuestra vida entera. Queremos extender nuestro agradecimiento a la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, en especial al Ing. Walter Miguel Castro Anticona quien en todo momento nos aportaron con sus conocimientos durante este ciclo 2022-II.

Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de figuras	v
Índice de Tablas	v
Resumen.....	vi
Abstract	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	9
3.1. Tipo y diseño de investigación	9
3.2. Variables y operacionalización.	10
3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis.	10
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	10
3.5. Procedimientos.....	11
3.6. Método de análisis de datos	11
3.7. Aspectos éticos	11
IV. RESULTADOS.....	12
V. DISCUSIÓN.....	17
VI. CONCLUSIONES.....	19
VII. RECOMENDACIONES	20
REFERENCIAS.....	21
ANEXOS	25

Índice de figuras

Figura 1 Esquema de diseño de investigación	9
Figura 2 Diagrama Esfuerzo a la Fatiga	13
Figura 3 Factor de Seguridad en Junta Soldada	13
Figura 4 Vida de la junta en ciclos.....	14
Figura 5 Esfuerzo de Von Misses en función de la distancia	15
Figura 6 Factor de seguridad en función de la posición	15

Índice de Tablas

Tabla 1 Parámetros del metal base.....	12
Tabla 2 Resultados del análisis de laboratorio	16
Tabla 3 Matriz de Operacionalización de Variable: Parámetros de Soldeo.....	25
Tabla 4 Matriz de Operacionalización de Variable: Resistencia a la Fatiga	26

Resumen

En la presente investigación se realizó un análisis de la resistencia a la fatiga en las juntas soldadas de las tuberías para aire presurizado utilizadas en minería. Para su obtención se inició por la obtención de los parámetros de soldeo los cuales se realizaron según la norma AWS A5.1 y API1104. Con dichos parámetros se realizó un análisis por elementos finitos a través del software Autodesk Nastran 2023 con el que se pudo obtener los esfuerzos de Von Mises y los factores de seguridad en la junta soldadas donde se visualiza un decremento de 4 en los factores de seguridad de la zona afectada por el calor con respecto al metal base alejado del cordón.

Después se realizó una gráfica del esfuerzo y los factores de seguridad en cada punto para con ellos calcular la resistencia a la fatiga con un valor de 115 Mpa.

Finalmente se realizaron los ensayos de laboratorio para corroborar la resistencia a la fatiga donde se obtuvo un valor de 118 Mpa el cual validó nuestro modelo.

Palabras clave: Soldadura, Modelado, Fatiga

Abstract

In the present investigation, an analysis of the resistance to fatigue in the welded joints of the pipes for pressurized air used in mining was carried out. To obtain it, it began by obtaining the welding parameters, which were carried out according to the AWS A5.1 and API1104 standards. With these parameters, a finite element analysis was carried out through the Autodesk Nastran 2023 software, with which it was possible to obtain the Von Misses efforts and the safety factors in the welded joint, where a decrease of 4 in the safety factors of the heat affected zone with respect to the base metal away from the bead.

Then a graph of the effort and the safety factors was made at each point to calculate the fatigue resistance with a value of 115 Mpa.

Finally, laboratory tests were carried out to corroborate the resistance to fatigue where a value of 118 Mpa was obtained, which validated our model.

Keywords: Welding, Modeling, Fatigue

I. INTRODUCCIÓN

La Soldadura es uno de los procesos con mayor importancia en la industria metal mecánica. Permite realizar diferentes tipos de juntas y en las distintas posiciones de soldeo tanto para láminas con para tuberías. Sin embargo, un parámetro a tomar en cuenta es la calidad de la junta soldada donde ésta depende de las propiedades mecánicas de la junta, como resistencia a la tracción o dureza, la microestructura o los parámetros de soldeo como la penetración de la soldadura en el metal base. (Gandhe 2019).

Las juntas soldadas en elementos estructurales suelen presentar discontinuidades como porosidad, falta de penetración, socavado y falta de fusión, que pueden tratarse como un defecto. Las grietas pueden iniciarse debido a la alta concentración de tensión en condiciones de carga cíclica para luego iniciar su crecimiento. Sin embargo, según los estándares internacionales no todas las discontinuidades se considerarán defectos si no que irá acorde al proceso que se está trabajando y la norma que se empleará en dicho proyecto. (Adiban and Ramu 2018).

Debido a que las fallas por fatiga son muy comunes se han venido investigando formas en las que se puede prevenir dicho fenómeno sin necesidad de realizar el proceso de soldadura y una posterior inspección. Además, es difícil determinar su vida útil a la fatiga e identificar los lugares donde se generan las grietas por fatiga debido a su geometría complicada.

En el ámbito internacional, existen muchos métodos de simular la transferencia de calor en las juntas soldadas, como por ejemplo el Modelo de fuente de calor de disco circular también llamado distribución de fuente de calor gaussiana. Este modelo se basa en la distribución gaussiana o normal y se denomina modelo de "disco circular", en el que analiza el flujo en un sistema cartesiano considerando el disco como su elemento de análisis. Otro método es la Distribución de calor de densidad de potencia elipsoidal doble donde se soluciona el problema de la distribución de calor en el borde siguiente del baño

de fusión de soldadura subía y bajaba mucho más que las dimensiones experimentales, y en la parte delantera, la distribución de calor no era tan fuerte como se esperaba. Para superar este inconveniente, se proyectan fuentes de calor elipsoidales dobles, en las que hay dos elipsoides, uno de frente y el otro medio, que da la distribución de energía. (Arora, Singh and Brar 2019).

En el ámbito nacional, la soldadura es usada para grandes equipos móviles de minería comúnmente utilizados en la industria de construcción y de gran minería. Las fallas que suele presentar son fatiga y desgaste las cuales se suelen solucionar a través de técnicas de reparación rápida que dilatan tiempo y generan costos. (Barnes, Joseph and Mendez 2015).

El campo de acción de la investigación se centra en los elementos tubulares de acero fabricados mediante soldadura se utilizan ampliamente en estructuras de acero, así como medio de transporte de fluidos compresibles e incompresibles. En el caso de la aplicación como tubería se debe tener en cuenta que se utilizan tubos de gran diámetro, como en el caso de los gaseoductos, con especificaciones acorde a la norma vigente. En estos productos suele presentarse fallas por rotura a causa de fatiga o de una inadecuada ejecución de la soldadura.

La posible causa de la falla es que dicho proceso de soldadura depende de las propiedades del material, así como de los procesos de soldadura y tratamiento post soldadura. Además, las uniones soldadas tienen partes de alta concentración de tensión que resultan no solo de la soldadura sino también de la acción de la carga repetida. Debido a que hay muchos factores que afectan la ubicación de las grietas por fatiga, es difícil identificar los factores de influencia de la investigación experimental. (Chang et al. 2019).

Al no investigar este problema las consecuencias pueden ser pérdidas financieras, demoras en la producción o una amenaza para la seguridad que trabajan en el área don se tiene ubicada la estructura soldada. Hay que añadir que la vida útil de la estructura se ve disminuida y sus parámetros y propiedades mecánicas serán alteradas por la transformación térmica. (Mendoza et al. 2022)

Por lo descrito anteriormente, la investigación en determinar la resistencia a la fatiga de las juntas soldadas de elementos tubulares de aplicación minera. Así mismo la primera variable a analizar son los parámetros de soldeo como temperatura de soldadura, geometría de la junta y número de pasadas (Kutelu et al. 2018) y como segunda variable se tiene la resistencia a la fatiga (Kessal et al. 2020).

Por lo anterior mencionado nos planteamos el siguiente problema, ¿Cómo se comporta la resistencia a la fatiga en las juntas soldadas en tuberías de aire presurizado para equipos de una mina en Pataz? y a su vez las preguntas específicas serían ¿Cuáles son los parámetros de estudio de la fatiga en uniones soldadas en tuberías de aire presurizado?, ¿Cómo se modela el fenómeno de fatiga?, ¿Cuál es la resistencia a la fatiga en puntos específicos en las uniones soldadas?, ¿Cómo contrastar los resultados calculados en el modelo?.

La justificación del proyecto desde el punto de vista teórico está dada por el entendimiento del modelo de fatiga en juntas soldadas, así como la interpretación de las microestructuras obtenidas en su desarrollo. Así mismo, desde el punto de vista técnica se formará un método de prevención de la fatiga a través de una simulación numérica, además de no sólo centrarse en el aspecto mecánico de la fatiga sino en el aspecto térmico de la junta soldada. Finalmente, en el punto de vista económico se tiene el ahorro en los tiempos muertos generados por la reparación de las piezas con falla por fatiga que disminuirá los gastos innecesarios.

El objetivo general de nuestro proyecto es: Analizar la resistencia a la fatiga en las juntas soldadas en tuberías de aire presurizado para equipos de una mina en Pataz. Para lo cual se necesita lograr los siguientes objetivos específicos: Determinar los parámetros de estudio de la fatiga en uniones soldadas en tuberías de aire presurizado, modelar el fenómeno de fatiga en las juntas soldadas, calcular la fatiga en puntos específicos de uniones soldadas y contrastar el modelo.

II. MARCO TEÓRICO

El análisis de la vida a fatiga de elementos mecánicos ha venido siendo analizados a través de los años tomando como referencia la mecánica de daño y termodinámica irreversible. (Peng et al. 2022).

Empezando con búsqueda de información y aportes a nivel internacional tenemos el artículo de (Chiocca et al. 2022) quienes investigaron la influencia de las tensiones residuales en la evaluación de la fatiga de una junta soldada de tubería a placa de acero estructural S355JR sujeta a carga de torsión y flexión totalmente inversa. Para analizar los factores influyentes, como las discontinuidades geométricas y la microestructura heterogénea del material, se consideraron a través de modelos numéricos y análisis microestructural, respectivamente. Llevaron a cabo una simulación de elementos finitos termo estructurales desacoplados para evaluar el campo de tensión residual completo dentro de la muestra generada por un proceso de soldadura por arco metálico con gas. Tanto los datos experimentales como los factores de daño aplicados han mostrado un efecto de las tensiones residuales en la vida de fatiga de las uniones soldadas cuando se aplica la carga de torsión. Los datos coincidieron además en que no se detectó ninguna influencia de las tensiones residuales en el caso de la carga de flexión.

En la investigación de (Yuan et al. 2022) propusieron un modelo de evolución del daño por fatiga basado en la mecánica del meso-daño para evaluar el daño por fatiga de uniones soldadas en puentes de acero. La densidad numérica de las micro fisuras la adoptaron como variable de daño en el modelo de evolución de la fatiga. El modelado de elementos finitos y la subrutina de material del usuario (UMAT) en ABAQUS se combinaron para simular la evolución del daño por fatiga de las uniones soldadas en un puente de acero. El modelo de evolución del daño por fatiga se incorporó en UMAT

mientras que el UMAT se combinó con el modelo de elementos finitos de las uniones soldadas bajo carga cíclica. Luego, el modelo propuesto fue validado mediante pruebas de fatiga. El modelo de evolución del daño por fatiga también se utilizó para investigar el proceso de evolución del daño por fatiga y la predicción de la vida útil por fatiga de las muestras típicas de uniones soldadas en cubiertas de acero ortotrópicas (OSD) de puentes de acero. Los resultados indicaron que las resistencias a la fatiga del método de tensión nominal se estimaron en 65,7 MPa para uniones soldadas típicas. Las grietas por fatiga se iniciaron principalmente en la punta de la soldadura y se propagan a lo largo de la línea de la punta de la soldadura. Los resultados de la simulación indicaron que el modelo de evolución del daño por fatiga proporciona una capacidad superior para evaluar el proceso de daño por fatiga y la vida útil por fatiga de las uniones soldadas en puentes de acero.

Después se obtuvo el artículo de (Tsutsumi et al. 2022) donde ejecutaron estudios numéricos complementarios considerando geometrías de soldadura y propiedades mecánicas no homogéneas. Primero realizaron ensayos de fatiga de ciclo bajo controlados por deformación y de tracción monotónica en las barras redondas recalentadas para caracterizar las propiedades mecánicas de las diferentes zonas de las uniones soldadas a tope. Los resultados numéricos sugirieron la necesidad de considerar los efectos de las propiedades no homogéneas de los materiales al evaluar la fatiga de bajo ciclo de las uniones soldadas. También obtuvieron como conclusión que la disminución de la concentración de la tensión de la punta de la soldadura y el aumento simultáneo de la resistencia del metal de soldadura pueden aumentar al máximo la vida útil de fatiga de ciclo bajo de las uniones soldadas en comparación con los cambios individuales para cualquiera de las dos.

Continuando tenemos la investigación (Wang et al. 2022) donde propusieron una técnica analítica para examinar la fatiga en boca de pozo submarino mediante la combinación del análisis desacoplado de fatiga en boca de pozo submarino con un modelo teórico de acumulación de fatiga no lineal.

Ese método fue utilizado para evaluar la fatiga de la soldadura en cabeza de pozo submarino en un campo de gas en el Mar Bohai de China durante la perforación y finalización. Las curvas de respuesta momento-esfuerzo de flexión y momento de flexión-deformación de las soldaduras se extrajeron mediante un análisis cuasiestático local. Finalmente, el modelo teórico de acumulación de fatiga no lineal y el método tradicional de la curva S-N se utilizaron para evaluar la fatiga de la soldadura en cabeza de pozo submarino, respectivamente. Los resultados indicaron que el daño por fatiga causado por la perforación fue más significativo que la terminación, mientras que el daño por fatiga en la soldadura entre el cabezal de pozo HP y la tubería de revestimiento de 16" superó el de la soldadura entre la carcasa de baja presión (LP) y la tubería de revestimiento de 30". conductor. Además, recomiendan usar este método para evaluar daños por fatiga más extensos que cuando se emplea el método de la curva S-N, lo que indica que los resultados fueron más conservadores y adecuados para aplicaciones prácticas de ingeniería.

Continuando con el análisis tenemos el artículo de (Mikulski y Lassen 2022) quienes investigaron la vida de fatiga esperada y la dispersión asociada para uniones de acero soldadas sujetas a carga de Amplitud Constante (CA). El objetivo fue obtener predicciones de vida más fiables basadas en los avances en el modelo probabilístico ajustado a los datos de vida recopilados. Se propuso un Modelo de Límite de Fatiga Aleatorio (RFLM) para obtener curvas de resistencia a la fatiga a niveles de probabilidad de supervivencia dados. A diferencia de los métodos estadísticos más convencionales, el modelo trató tanto la vida de fatiga como el límite de fatiga como variables aleatorias. La atención se centró en la fatiga de ciclo alto y los datos de larga duración y las desviaciones se incluyen de manera racional y lógica mediante el uso de un método de máxima verosimilitud. Los resultados se compararon con los resultados obtenidos por las curvas S-N convencionales enfatizando la compatibilidad entre los modelos probabilísticos ajustados y los mecanismos de daño por fatiga subyacentes.

Luego se tiene el artículo de (Shin, Chang y Muzaffer 2021) quienes analizaron la unión soldada con filete cruciforme con penetración total e incompleta, con y sin carga, mediante el análisis FEM de fatiga 3D. También llevaron a cabo el estudio experimental de la articulación cruciforme sin carga. el efecto de la profundidad de penetración incompleta, la deformación de la soldadura, las tensiones residuales y la magnitud de la tensión en la iniciación de grietas por fatiga y la vida de fatiga de las uniones cruciformes soldadas con filete. Además, se trazaron las curvas S-N para comparar con los resultados de los experimentos y el esfuerzo de puntos críticos. Los resultados del análisis FEM de fatiga 3D se compararon con las curvas S-N recomendadas por IIW y DNV GL.

Como siguiente artículo se tuvo la investigación de (Adiban y Ramu 2018) quienes se enfocaron en la evaluación de la vida a fatiga de estructuras soldadas en presencia de un nivel aceptable de defectos de soldadura. Antes de intentar la evaluación de la vida útil a la fatiga de un recipiente a presión, se obtuvo una buena confianza en el enfoque de la mecánica de la fractura utilizando un problema de prueba simple. Luego, se simula el análisis numérico de un recipiente a presión tridimensional con diferentes tipos de grietas, grietas en diferentes juntas de soldadura, diferentes tamaños de elementos bajo condiciones de carga cíclica constante usando XFEM en el software ABAQUS. El examen brinda una ayuda básica para estimar la vida a fatiga de estructuras presurizadas y decidir la longitud estándar de la grieta que puede ocurrir en el recipiente a presión, en vista de las estimaciones de los factores de intensidad de tensión (SIF) evaluados en la simulación numérica.

Finalmente tenemos el artículo de (Chang et al. 2019) quienes investigaron los efectos del tipo de junta de soldadura sobre la vida a fatiga y la ubicación de grietas. Simularon el estado mecánico inicial de un elemento tubular soldado para identificar las imperfecciones iniciales de la soldadura, como la tensión residual de la soldadura y la deformación de la soldadura, utilizando FEA de gran deformación elastoplástica térmica tridimensional (3D).

El historial de temperatura, que simularon mediante un FEA de conducción de calor no constante en 3D, se utilizó en el análisis elastoplástico térmico como carga térmica inicial. Los efectos del tipo de junta de soldadura sobre la vida de fatiga y la ubicación de grietas de un miembro tubular se investigaron utilizando FEA de fatiga 3D. También obtuvieron el efecto del tipo de junta de soldadura sobre la resistencia a la fatiga. Aclaró que la vida a la fatiga era diferente según el tipo de unión. El método FEA de fatiga 3D que presentaron útil para identificar la ubicación de grietas por fatiga y determinar la vida útil de fatiga.

Para poder profundizar sobre las variables de estudio se empezó a buscar artículos donde la fatiga se define como un proceso de deformación plástica localizada progresiva que ocurre en un material sometido a esfuerzos y deformaciones cíclicas en lugares de alta concentración de esfuerzos que pueden culminar en grietas o fracturas completas después de un número suficiente de fluctuaciones. (Chang et al. 2019)

La vida a la fatiga se define como el número de ciclos de carga (esfuerzo) de un carácter específico que soporta una muestra antes de que ocurra una falla de una naturaleza específica. (Kwon et al. 2021)

La vida a la fatiga es una combinación de la iniciación de grietas y la posterior propagación de grietas. Para la fatiga de ciclo alto y baja carga, la vida de fatiga está dominada por la fase de iniciación de grietas, es decir, la mayoría de los ciclos de fatiga están asociados con la iniciación de grietas. A menos que haya defectos en el subsuelo, el inicio de grietas por fatiga generalmente ocurre en la superficie y se asocia con mayor frecuencia con una concentración de tensión en la superficie, como un borde, un pie de soldadura u otra discontinuidad similar. (Ogawa et al. 2022)

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación

Considerando la finalidad, la investigación es tipo aplicada porque está buscando la solución de un problema aplicando los conocimientos de la ingeniería. (Guerra y Noll 2021) Además se consideró un enfoque cuantitativo debido a que la hipótesis se contrastará con modelos matemáticos y cuantitativos. (Zaldívar et al. 2022).

Diseño de investigación

El diseño de la investigación es experimental ya que se manipuló las variables de entrada para obtener diferentes valores de la variable de salida, dicha variable se analizará con pruebas de laboratorio de ensayos de fatiga, además es de tipo transversal ya que solo se analizó la toma de datos en un solo instante. (Stemeroff 2022).

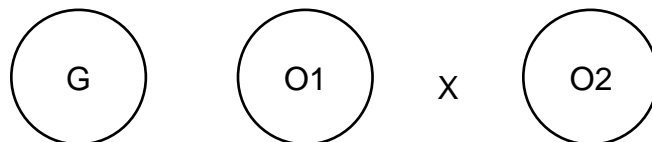


Figura 1 Esquema de diseño de investigación

Donde:

G: Junta soldada

X: Parámetros de soldeo

O1: Resistencia a la fatiga (pre-estímulo)

O2: Resistencia a la fatiga (post estímulo)

3.2. Variables y operacionalización.

Variable 1: Parámetros de soldeo

Son los parámetros que definen las características del proceso de soldadura para su ejecución. (Angaria, Rao and Dhimi 2017).

Variable 2: Resistencia a la fatiga

La resistencia a la fatiga es el esfuerzo más alto que un material puede soportar durante un número determinado de ciclos sin romperse. (Cao et al. 2018).

3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis.

Población:

La población son las tuberías de aire presurizado de minas en Pataz.

- **Criterios de inclusión:** Tuberías soldadas en campo.
- **Criterios de exclusión:** Tuberías con demasiada antigüedad.

Muestra: Una tubería soldada por proceso SMAW (Soldadura por Arco Eléctrico con Electrodo Revestido).

Muestreo: No probabilístico.

Unidad de análisis: Una Tubería soldada de la mina.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas de recolección de datos

La investigación utilizó como técnica la observación para realizar la toma de datos de los procesos de soldadura en campo y en taller sobre las tuberías de aire presurizado. Además, se solicitó los WPS (Especificaciones de Procedimiento de Soldadura) para obtener la data de cada uno de los procedimientos de soldadura que se están ejecutando para que fueran ingresados en el modelo.

Instrumentos de recolección de datos

Se utilizó una Ficha de registro donde se ingresaron los datos tomados de los formatos de soldadura ejecutados en la mina.

3.5. Procedimientos

El estudio se inició con la toma de datos de los WPS que se ejecutan en las tuberías de aire presurizado por los soldadores para poder obtener todos los parámetros de soldeo. En la segunda etapa se realizó el modelado para poder verificar para cada uno de los parámetros de soldeo una diferente resistencia a la fatiga. Finalmente se contrastó los resultados con pruebas en laboratorio a través de una Máquina de Ensayo por Fatiga en tres puntos.

3.6. Método de análisis de datos

En la investigación se planteó el tratamiento de la información con programación en el Software Matlab para poder obtener las diferentes gráficas de trabajo. El modelado fue trabajado también Matlab y a su vez se utilizó el Software ANSYS para el análisis por Elementos Finitos.

3.7. Aspectos éticos

La investigación se realizó contando las buenas prácticas de la investigación tanto en el ámbito internacional como la normatividad considerada por la Universidad César Vallejo.

IV. RESULTADOS

Después de haberse aplicado los instrumentos, se obtuvieron resultados puntuales con respecto a las variables presentadas el cuál se tuvo que hacer un tratamiento de datos.

Objetivo específico 1: Determinar los parámetros de estudio de la fatiga en uniones soldadas en tuberías de aire presurizado

Para dicho objetivo tenemos que utilizar la ficha de datos obtenida de las al analizar la junta soldada en campo que en este caso se trata de un tubo de acero galvanizado de 4 pulgadas.

Tabla 1 Parámetros del metal base

Parámetro	Valor
Tipo de material metal base	Acero Galvanizado
Espesor de metal base	4 mm
Dureza	100 – 110 Brinell
Resistencia a la tracción	330 MPa
Límite elástico	205 MPa

Fuente: Anexo 02

Para el caso del metal de aporte al ser un acero de bajo carbono se utilizará la Norma AWS 5.1 (Sociedad Americana de Soldadura) por lo que se utilizará los electrodos E6011 y E7018 **Interpretación:**

Los parámetros de soldadura son dados a través de los datos dado por el material de trabajo y lo mencionado en la norma AWS 5.1 y la norma API 1104.

Objetivo específico 2: Modelar el fenómeno de fatiga en las juntas soldadas
Se modelará el análisis de fatiga considerando la presión del aire.

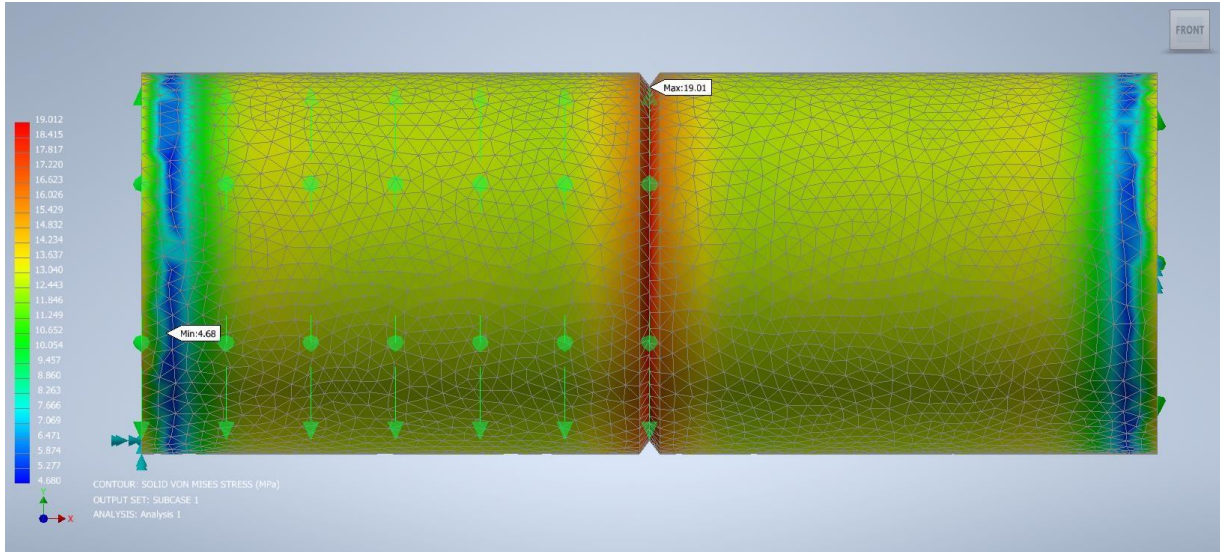


Figura 2 Diagrama Esfuerzo a la Fatiga

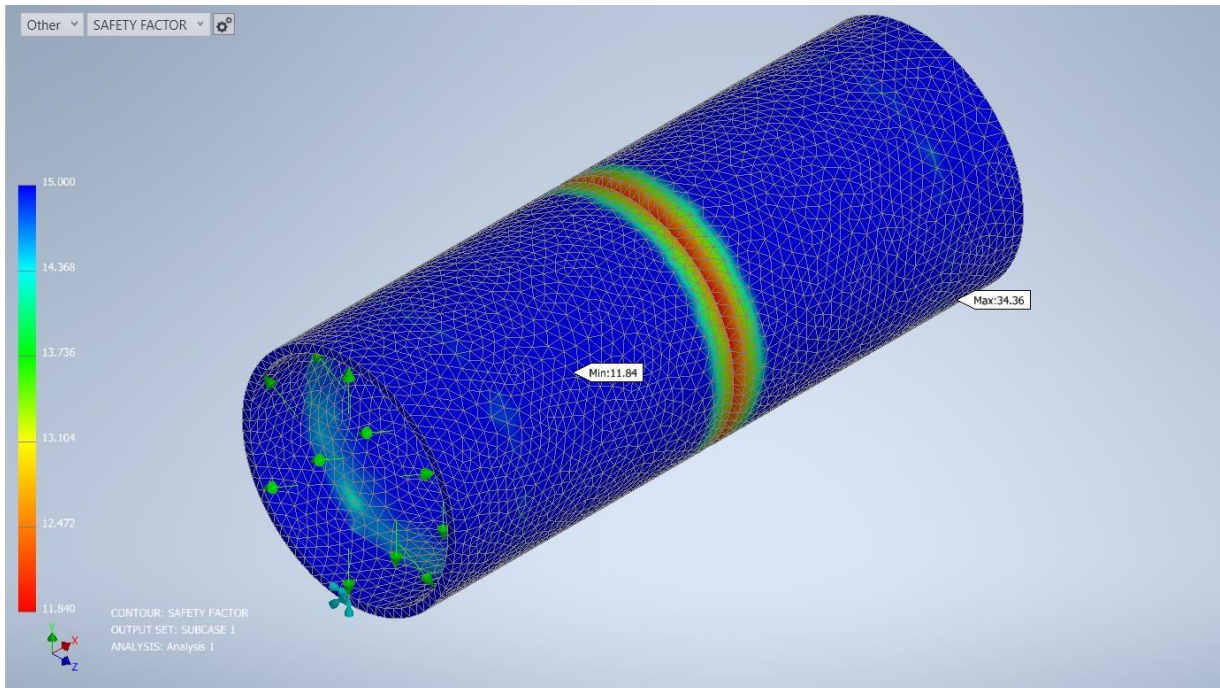


Figura 3 Factor de Seguridad en Junta Soldada

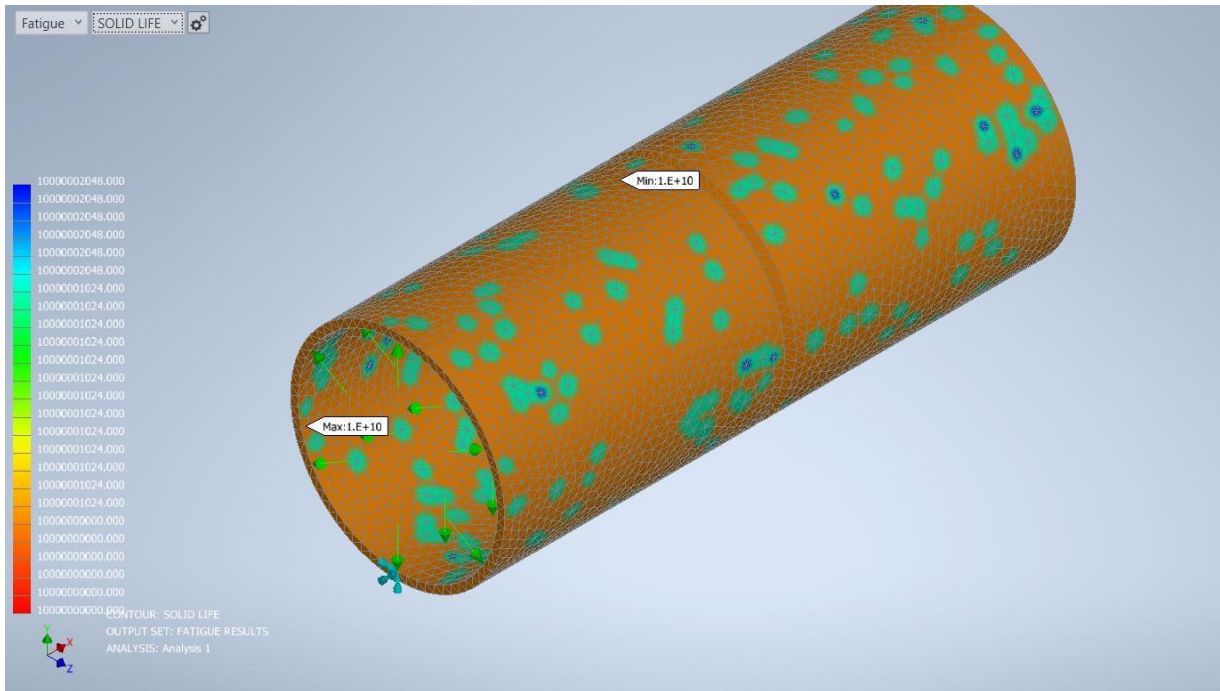


Figura 4 Vida de la junta en ciclos

Interpretación:

Los esfuerzos obtenidos en la figura 02 son visualizados en dos zonas siendo los valores máximos en la zona afectada por el calor, con un valor de 19.01 Mpa, y van disminuyendo a medida que se aleja del cordón de soldadura. Esto hace que el factor de seguridad disminuya de un valor de 15 en la zona sin soldar a 11.84 en la zona afectada por el calor. Estos datos fueron calculados con la presión de aire de trabajo que se utiliza en mina.

Objetivo específico 3: Calcular la fatiga en puntos específicos de uniones soldadas

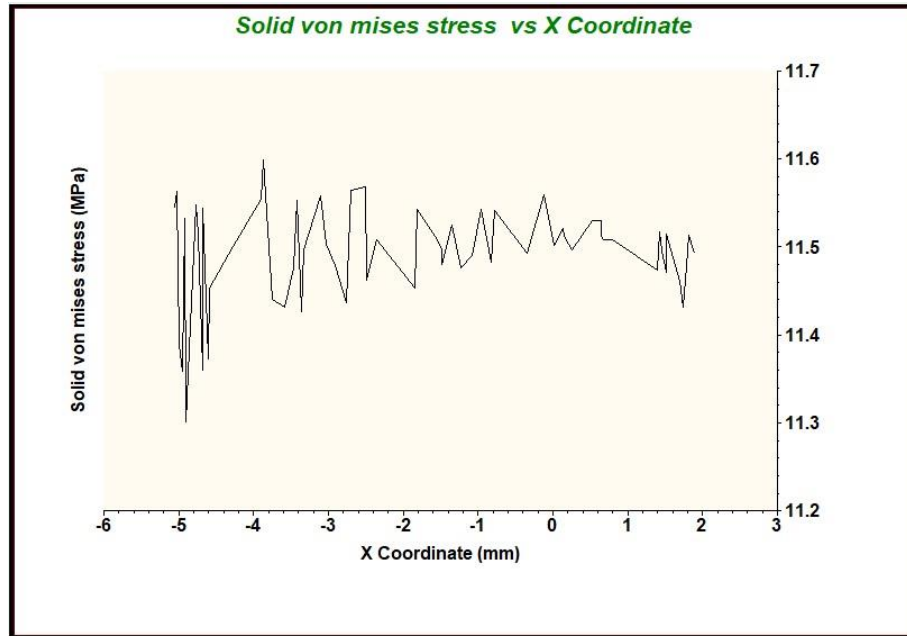


Figura 5 Esfuerzo de Von Misses en función de la distancia

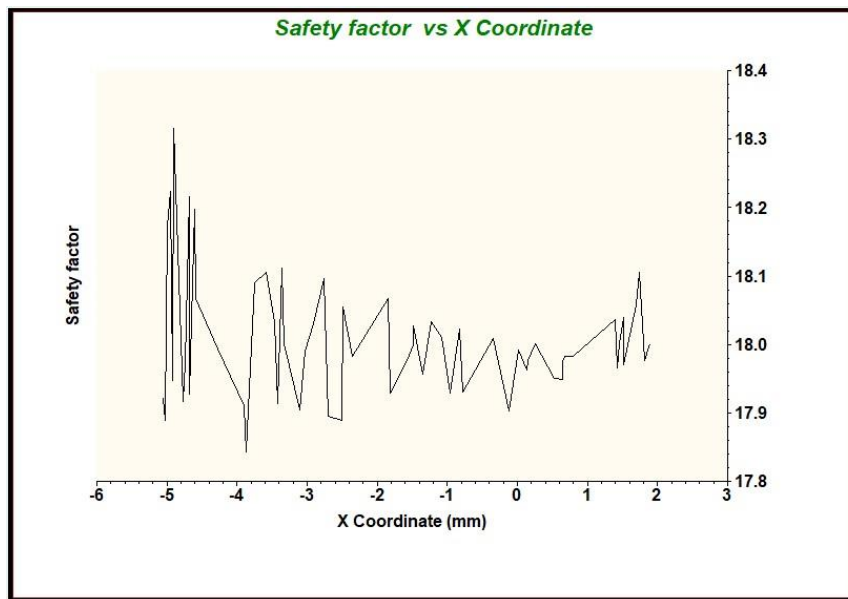


Figura 6 Factor de seguridad en función de la posición

Interpretación:

En la Figura 05 y 06 pudimos observar los valores en función de la distancia siendo el valor de 0 mm la posición del cordón, los valores positivos son puntos a la derecha del cordón y negativos a la izquierda. En estas figuras podemos observar que en los puntos cercanos al cordón se obtuvieron los mayores valores del esfuerzo lo que conlleva a un mínimo valor del coeficiente de seguridad.

Con los valores de la gráfica y utilizando la ecuación de Goodman modificado se obtiene que el Límite de Fatiga de nuestra junta soldada es de 115 Mpa.

Objetivo específico 4: Contrastar el modelo

Tabla 2 Resultados del análisis de laboratorio

Parámetro	Valor
Tipo de material metal base	Acero Galvanizado
Espesor de metal base	4 mm
Resistencia a la tracción	330 MPa
Límite de fatiga	118 MPa

Interpretación:

El valor de límite de fatiga obtenido en laboratorio es de 118 Mpa comparado con el valor de 115 Mpa que obtenemos en el modelado nos da un error del 2.6% que está dentro del margen de error aceptado para pruebas de laboratorio.

V. DISCUSIÓN

Para el desarrollo de la investigación, se planteó como primer objetivo específico que consiste determinar los parámetros de soldadura en la junta de la tubería de aire a presión. Para nuestro caso se tiene que los parámetros fueron dados para un acero de bajo carbono y los electrodos que se recomiendan según la norma AWS. Para el caso (Khamari et al. 2020) analizaron también un acero de bajo carbono por lo que sus resultados son aplicables a nuestra investigación. Para el caso del espesor de nuestra investigación se tomó el valor de 4 mm y con una intensidad de corriente de 120 A para cada una de las pasadas, la cual está cercana a los parámetros de trabajo que para una resistencia a la tracción de 350 Mpa se utiliza un amperaje de 120 a 140 A. Además, se justifica el hecho de que para el amperaje de 120 A se tiene una profundidad de penetración de 4.5 mm en planchas de 5 mm por lo que es viable para nuestro caso de análisis.

Como segundo objetivo se planteó el modelado de fatiga en las juntas soldadas, en las cuales se realizó a través del software Autodesk Nastran (Licencia Educativa) para poder encontrar los esfuerzos y coeficientes de seguridad que se tienen en una tubería soldada que transporta aire. En nuestro modelado podemos observar que el factor de seguridad disminuye de un valor de 15 para la tubería sin soldar a un valor de 10 para la tubería soldada por efecto del cordón de soldadura. (van den Berg, Xin y Veljkovic 2021) de igual manera que nuestro caso también realizó un análisis por elementos finitos para poder determinar la fatiga en juntas soldadas, para su caso también realizaron la validación de su modelo a través de ensayo de fatiga. También se tiene el caso de (Hectors y de Waele 2021) donde analizó también por elementos finitos y poder determinar la influencia de la geometría de la soldadura la cual también fue verificada por análisis de laboratorio. Por ello se puede ver que el método de elementos finitos es útil y válida para el análisis de fatiga.

Para el objetivo específico tercero se analizó el caso de la fatiga en distintos puntos de la junta soldada. En nuestro estudio podemos observar que la resistencia a la fatiga va aumentando a medida que se va alejando de la junta soldada siendo los puntos más crítico la zona de fusión y la zona afectada por el calor. (Maksimovic et al.

2021) también realizaron un análisis por elementos finitos en software ANSYS y se determinó que los puntos críticos están en la zona afectada por el calor principalmente debido a los esfuerzos residuales que se dan debido a la deformación térmica de nuestra tubería. En su caso específico tienen la zona crítica ubicada hasta una longitud de 10 cm donde deja de actuar los esfuerzos residuales.

Finalmente tenemos el último objetivo específico de la investigación que ha consistido en la validación del modelado. Para ello se realizó un ensayo de fatiga en tres puntos de una probeta soldada de acuerdo con norma. Para nuestro caso se obtuvo un límite de fatiga de 118 Mpa.

VI. CONCLUSIONES

Los parámetros de soldadura determinados fueron el uso de un electrodo AWS A5.1 con un amperaje de trabajo de 120 A para un espesor de tubería de 4 a 5 mm con soldadura por electrodo revestido.

El modelado fue realizado por elementos finitos y nos brindó el esfuerzo de Von Mises de 19.04 Mpa y un factor de seguridad de 11.84 en la zona afectada por el calor con lo cual se pudo calcular la resistencia a la fatiga con un valor de 115 Mpa.

La resistencia a la fatiga fue calculada en función de la distancia medida a partir del cordón de soldadura siendo las zonas continuas al cordón con el valor mínimo de 115 Mpa en la zona afectada por el calor que va hasta los 10 mm.

El modelado fue validado con ensayo de fatiga en tres puntos con el que se obtuvo que la resistencia a la fatiga era de 118 Mpa lo que nos da un error porcentual del 2.6 % lo que es aceptable para ensayos de laboratorio

VII. RECOMENDACIONES

Habiendo analizado los resultados en esta investigación, se plantearon las siguientes recomendaciones:

Analizar para otros tipos de modelado en función del tipo de soldadura y sus determinados parámetros, debido a que el modelado sólo fue determinado para la soldadura de electrodo revestido

Complementar con un análisis termográfico en cada una de las posiciones de la junta soldada de la tubería para aire presurizado.

Comprobar a través de galgas extensiométricas para poder medir deformaciones internas y esfuerzos residuales para dar un valor más real del fenómeno.

REFERENCIAS

- ADIBAN, S. v. y RAMU, M., 2018. Study on the effect of weld defects on fatigue life of structures. *Materials Today: Proceedings*. S.l.: s.n., DOI 10.1016/j.matpr.2018.04.119.
- ANGARIA, S., RAO, P.S. y DHAMI, S.S., 2017. Optimization of MIG Welding Process Parameters: A Review. *Research Journal of Engineering and Technology*, vol. 8, no. 3. ISSN 0976-2973. DOI 10.5958/2321-581x.2017.00046.0.
- ARORA, H., SINGH, R. y BRAR, G.S., 2019. Thermal and structural modelling of arc welding processes: A literature review. *Measurement and Control (United Kingdom)*, vol. 52, no. 7-8, pp. 955-969. ISSN 00202940. DOI 10.1177/0020294019857747.
- BARNES, N., JOSEPH, T. y MENDEZ, P.F., 2015. Issues associated with welding and surfacing of large mobile mining equipment for use in oil sands applications. *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 20, no. 6, pp. 483-493. ISSN 17432936. DOI 10.1179/1362171815Y.0000000060.
- CAO, F., ZHANG, T., RYDER, M.A. y LADOS, D.A., 2018. A Review of the Fatigue Properties of Additively Manufactured Ti-6Al-4V. *JOM*, vol. 70, no. 3. ISSN 15431851. DOI 10.1007/s11837-017-2728-5.
- CHANG, K.H., KANG, S.U., WANG, Z.M., MUZAFFER, S. y HIROHATA, M., 2019. Fatigue finite element analysis on the effect of welding joint type on fatigue life and crack location of a tubular member. *Archive of Applied Mechanics*, vol. 89, no. 5, pp. 927-937. ISSN 14320681. DOI 10.1007/s00419-019-01513-4.
- CHIOCCA, A., FRENDI, F., AIELLO, F. y BERTINI, L., 2022. Influence of residual stresses on the fatigue life of welded joints. Numerical simulation and experimental tests. *International Journal of Fatigue*, vol. 162. ISSN 01421123. DOI 10.1016/j.ijfatigue.2022.106901.
- GANDHE, Er.S., 2019. Influence of GMAW Process Parameters and Selection Techniques on the Quality of a Welded Joint. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, vol. 7, no. 12, pp. 741-758. DOI

10.22214/ijraset.2019.12119.

GUERRA, G.F. y NOLL, M., 2021. Scientific Methodology in Integrated High Schools: A Case Study. *International Journal of Instruction*, vol. 14, no. 2. ISSN 13081470. DOI 10.29333/iji.2021.14232a.

HECTORS, K. y DE WAELE, W., 2021. Influence of weld geometry on stress concentration factor distributions in tubular joints. *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 176. ISSN 0143974X. DOI 10.1016/j.jcsr.2020.106376.

KESSAL, B.A., FARES, C., MELIANI, M.H., ALHUSSEIN, A., BOULEDROUA, O. y FRANÇOIS, M., 2020. Effect of gas tungsten arc welding parameters on the corrosion resistance and the residual stress of heat affected zone. *Engineering Failure Analysis*, vol. 107. ISSN 13506307. DOI 10.1016/j.engfailanal.2019.104200.

KHAMARI, B.K., DASH, S.S., KARAK, S.K. y BISWAL, B.B., 2020. Effect of welding parameters on mechanical and microstructural properties of GMAW and SMAW mild steel joints. *Ironmaking and Steelmaking*, vol. 47, no. 8, pp. 844-851. ISSN 17432812. DOI 10.1080/03019233.2019.1623592.

KUTELU, B.J., SEIDU, S.O., EGHABOR, G.I. y IBITOYE, A.I., 2018. Review of GTAW Welding Parameters. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, vol. 06, no. 05. ISSN 2327-4077. DOI 10.4236/jmmce.2018.65039.

KWON, B., CHOE, H., JEONG, J., JU, H., KWEON, J.H. y NAM, Y.W., 2021. Static and fatigue behavior of induction-welded single lap carbon fiber reinforced polyetherketoneketone thermoplastic composite joints. *Journal of Composite Materials*, vol. 55, no. 28, pp. 4183-4193. ISSN 1530793X. DOI 10.1177/00219983211033891.

MAKSIMOVIC, M., MAKSIMOVIC, K., STAMENKOVIC, D. y VASOVIC

MAKSIMOVIC, I., 2021. Initial fatigue life estimation of welded structural components. *Tehnicki Vjesnik*, vol. 28, no. 4, pp. 1099-1104. ISSN 18486339. DOI 10.17559/TV-20200414015501.

MENDOZA, J., BISMUT, E., STRAUB, D. y KÖHLER, J., 2022. Optimal life-cycle mitigation of fatigue failure risk for structural systems. *Reliability Engineering and System Safety*, vol. 222. ISSN 09518320. DOI 10.1016/j.ress.2022.108390.

MIKULSKI, Z. y LASSEN, T., 2022. Probabilistic models for the fatigue resistance of welded steel joints subjected to constant amplitude loading. *International Journal of Fatigue*, vol. 155. ISSN 01421123. DOI 10.1016/j.ijfatigue.2021.106626.

OGAWA, Y., OHARA, I., ARAKAWA, J., AKEBONO, H. y SUGETA, A., 2022. *Effects of welding defects on the fatigue properties of spot-welded automobile steel sheets and the establishment of a fatigue life evaluation method*. 1 abril 2022. S.l.: Springer Science and Business Media Deutschland GmbH.

PENG, Y., LIU, Y., LI, H. y XING, J., 2022. Research on low cycle fatigue life prediction considering average strain. *Materials Research Express*, vol. 9, no. 1. ISSN 20531591. DOI 10.1088/2053-1591/ac4b4d.

SHIN, W.S., CHANG, K.H. y MUZAFFER, S., 2021. Fatigue analysis of cruciform welded joint with weld penetration defects. *Engineering Failure Analysis*, vol. 120. ISSN 13506307. DOI 10.1016/j.engfailanal.2020.105111.

STEMEROFF, N., 2022. Scientific Perspectivism and the Methodology of Modern Mathematical Physics. *Philosophy of Science*, ISSN 0031-8248. DOI 10.1017/psa.2021.34.

TSUTSUMI, S., FINCATO, R., LUO, P., SANO, M., UMEDA, T., KINOSHITA, T. y TAGAWA, T., 2022. Effects of weld geometry and HAZ property on low-cycle fatigue behavior of welded joint. *International Journal of Fatigue*, vol. 156. ISSN 01421123. DOI 10.1016/j.ijfatigue.2021.106683.

VAN DEN BERG, N., XIN, H. y VELJKOVIC, M., 2021. Effects of residual stresses on fatigue crack propagation of an orthotropic steel bridge deck. *Materials and Design*, vol. 198. ISSN 18734197. DOI 10.1016/j.matdes.2020.109294.

WANG, Y., LI, Z., LUO, W., WANG, W., YANG, J., LI, J., SUN, H. y WANG, J., 2022. Fatigue life prediction method for subsea wellhead welds based on the nonlinear fatigue accumulation model. *Ocean Engineering*, vol. 248. ISSN 00298018. DOI 10.1016/j.oceaneng.2022.110828.

YUAN, D., CUI, C., ZHANG, Q., LI, Z. y YE, Z., 2022. Fatigue damage evaluation of welded joints in steel bridge based on meso-damage mechanics. *International Journal of Fatigue*, vol. 161. ISSN 01421123. DOI 10.1016/j.ijfatigue.2022.106898.

ZALDÍVAR, M.A.B., GUERRERO, J.N.P., OJEDA, M.N.N. y PUPO, J.R.P., 2022. METHODOLOGY FOR THE PUBLICATION OF SCIENTIFIC ARTICLES IN INDEXED JOURNALS. *Universidad y Sociedad*, vol. 14, no. S1. ISSN 22183620.

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de Operacionalización de variables

Tabla 3 Matriz de Operacionalización de Variable: Parámetros de Soldeo

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Variable Independiente: Parámetros de soldeo	Son los parámetros que definen las características del proceso de soldadura para su ejecución. (Angaria, Rao and Dhami 2017)	La variable tiene como muestra las juntas soldadas de tubería utilizadas para transporte de aire.	Número de pasadas del cordón de soldadura. Tipo de Soldadura. Tratamientos postsoldo.	WPS. (Especificaciones de Procedimiento de Soldadura)	Razón

Tabla 4 Matriz de Operacionalización de Variable: Resistencia a la Fatiga

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
<p>Variable Dependiente: Resistencia a la fatiga</p>	<p>La resistencia a la fatiga es el esfuerzo más alto que un material puede soportar durante un número determinado de ciclos sin romperse. (Cao et al. 2018)</p>	<p>La variable tiene como muestra las juntas soldadas de tubería. Para analizar el valor de la resistencia a la fatiga se realizará un modelo que se validará por ensayos en laboratorio.</p>	<p>Límite de Fatiga.</p>	<p>Resistencia por ciclos.</p>	<p>Razón</p>

Anexo 02: Ficha Técnica Metal Base



TUBOS LAC

DESCRIPCIÓN:

Son tubos conformados en frío y unidos por el proceso de soldadura por inducción de alta frecuencia (HFIW), a partir de flejes de acero laminadas en caliente o galvanizadas. Los tubos son fabricados en sección redonda.

Son utilizados en estructuras metálicas livianas como Tijerales, Barandas, Portones, Andamios motocars, carros arenero etc.

DOCUMENTOS DE REFERENCIA:

ASTM A1011/A1011M "Standard Specification for Steel, Sheet and Strip, Hot-Rolled, Carbon, Structural, High-Strength Low-Alloy, High-Strength Low-Alloy with Improved Formability, and Ultra-High Strength"

ASTM A653/A653M "Standard Specification for Steel sheet, Zinc-Coated (Galvanized) or Zinc-Iron Alloy-Coated (Galvannealed) by the Hot-Dip Process."

NTP 241.109 "PRODUCTOS DE ACERO. Tubos de acero al carbono laminado en caliente, negros o galvanizados, electro-soldados, de sección circular y para uso general"

COMPOSICIÓN QUÍMICA:

Composición Química (%máximo)			
C	Mn	P	S
0.15	0.60	0.030	0.035

CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES:

Tubo LAC Redondo									Tubo LAC Redondo Galvanizado							
Diámetro Exterior		Espesores (mm)							Diámetro Exterior		Espesores (mm)					
Nominal Pulgada	mm	1.5	1.8	2	2.3	2.5	3.0	3.3	4.0	Nominal Pulgada	mm	1.5	1.8	2.0	2.5	3.0
3/8"	17.2	X	X	X						3/8"	17,2	X	X	X		
1/2"	21.3	X	X	X						1/2"	21,3	X	X	X		
3/4"	26.9	X	X	X						3/4"	26,9	X	X	X		
1"	33.7	X	X	X	X	X	X			1"	33,7	X	X	X	X	X
1 1/4"	42.4	X	X	X	X	X	X			1 1/4"	42,4	X	X	X	X	X
1 1/2"	48.3	X	X	X	X	X	X	X		1 1/2"	48,3	X	X	X	X	X
2"	60.3	X	X	X	X	X	X	X	X	2"	60,3	X	X	X	X	X
2 1/2"	73		X	X	X	X	X	X	X	2 1/2"	73,0			X	X	X
3"	88.9			X	X	X	X	X	X	3"	88,9			X	X	X
4"	114.3			X	X	X	X	X	X	4"	114,3				X	X

LONGITUD:

Los tubos se suministran en 6.4 m de longitud. A solicitud del cliente se pueden suministrar en otras longitudes.

TOLERANCIAS DIMENSIONALES:

Redondo LAC		Redondo GALV	
Dimensiones Exteriores	Diámetros: De 3/8" a 3/4": ± 0.40 mm De 1" a 1.1/2": ± 0.45 mm De 2" ± 0.55 mm De 3" ± 0.75 mm De 4" ± 0.95 mm		
Espesor de pared	- 0 mm + 0.35 mm.	Espesor nominal (e): metal base más recubrimiento según ASTM A924. 1.0 < e ≤ 1.5: ± 0.13 1.5 < e ≤ 2.0: ± 0.15 2.0 < e ≤ 2.5: ± 0.20 2.5 < e ≤ 4.0: ± 0.23	
Rectitud	0.76 mm / m		
Ovalidad	Diferencia del diámetro mayor menos el menor debe estar dentro de la tolerancia de dimensiones exteriores.		
Longitud	- 0 mm/+ 30 mm		

RECUBRIMIENTO DE ZINC:

Los tubos tienen una masa de recubrimiento de zinc mínimo de 90 g/m² (suma de ambas caras).

IDENTIFICACIÓN DE ESPESORES:

Ambos extremos de los tubos son pintados de acuerdo al siguiente código de colores, para identificar los espesores.

Espesor:	1.5	1.8	2.0	2.3	2.5	3.0	3.3	4.0
Color:	Naranja	Rosado	s/pintar	Blanco	Azul	Naranja	Verde	Rosado

MARCADO DEL TUBO:



En la identificación de forma se considera:
RED – Redondos

ACABADO SUPERFICIAL:

Los tubos LAC sin galvanizar tienen el aspecto superficial típico del acero laminado en caliente (negro) y presentan una película de aceite en su superficie externa. Los tubos LAC Galvanizados tienen un acabado típico de una superficie galvanizada libre de defectos como empalmes de soldadura, abolladuras u otro que imposibilite su uso.

Anexo 03: Informe de Ensayo de Laboratorio

INFORME DE ENSAYO N° 008 – 2022

Cliete : Enisai Cuevas Ríos
Laboratorio : Laboratorio de Resistencia de Materiales – Universidad Nacional de Trujillo
Material : Muestra de Juntas Soldadas
Procedencia : Producto enviado por el cliente

Tabla N° 1
Identificación de la muestra

N° de Muestras	Identificación de la muestra	Peso muestra (kg)	Espeor de la muestra (mm)	Largo barra (m)	Tipo producto
5	00203	0.604	4	0.15	platna

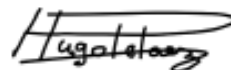
Ensayo : Se realizaron ensayos de tracción a las probetas indicadas en la Tabla N° 1.
Procedimiento : El ensayo de tracción, se realizó de acuerdo con el procedimiento interno según norma ISO 6892 y el ensayo de fatiga según norma ASTM D3479.
Resultados : En la tabla N° 2 se indican los valores obtenidos en los ensayos de tracción

Tabla N° 2
Resultado de los ensayos de tracción

Probeta N°	Límite de Fluencia S_y (MPa)	Límite de Fatiga
1	330	118
2	328	120
3	332	118
4	330	117
5	331	118

Temperatura ensayo de tracción : 20 °C
Desviación a normas de ensayo : No hay.
Tipo de máquina utilizada en el ensayo : INSTRON

Fecha Ensayo : 20 de octubre de 2022
Fecha Informe : 24 de noviembre de 2022



Ms. Victor H. Pelaez Chavez



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, WALTER MIGUEL CASTRO ANTICONA, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Resistencia a la fatiga en las juntas soldadas en tuberías de aire presurizado para equipos de una mina en Pataz", cuyos autores son CUEVAS RIOS ENISAI NATANAEL, DEL ROSARIO DE LA CRUZ

JAIRO BRYAN, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 18.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 06 de Diciembre del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
WALTER MIGUEL CASTRO ANTICONA DNI: 18173382 ORCID: 0000-0002-8127-4040	Firmado electrónicamente por: CASTROA el 16-12- 2022 15:05:04

Código documento Trilce: TRI - 0475641

