

## ANALISIS DE TIPOS DE SOLDADURA MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

### ANALYSIS OF WELDING TYPES THROUGH NON-DESTRUCTIVE

#### Resumen

**Tipo de Publicación:** Artículo Científico

**Recibido:** 10/04/2024

**Aceptado:** 01/06/2024

**Publicado:** 07/06/2024

**Código Único AV:** e313

**Páginas:** 1 (446-465)

**DOI:** <https://doi.org/10.5281/zenodo.11521698>

#### Autor:

**Greta Fernanda Cueva Jiménez**

Ingeniera en Mecánica Automotriz

MBA en Logística Empresarial

 <https://orcid.org/0000-0002-7034-7101>

**E-mail:** [g\\_cueva@marianosamaniego.edu.ec](mailto:g_cueva@marianosamaniego.edu.ec)

**Afiliación:** Instituto Superior Tecnológico Mariano

Samaniego

**País:** Ecuador

La soldadura es uno de los procesos productivos más habituales para la unión de elementos estructurales, especialmente en una de las mayores industrias que existen en la actualidad, como es la carrocería de vehículos automóviles, cabe señalar que la soldadura provoca cambios estructurales significativos en los metales utilizados, por lo tanto se debe analizar los procesos de soldado e implementar una máquina o equipo de soldadura con la cual se va a realizar cordones en acero ASTM A 36 usando electrodo AWS E-6011 y alambre ER70S-6 con gas de protección CO<sub>2</sub> para comparar las propiedades mecánicas de las uniones usando soldadura SMAW, MIG y TIG, Para ello se analizaron las características, elementos y funcionamiento de cada uno de los procesos de soldadura mediante una revisión sistemática de artículos en base de datos Scopus, Google scholar, Redalyc y Scielo, de los cuales se seleccionaron 24 artículos de 85 artículos consultados previamente, donde se analizó el comportamiento de los materiales utilizados, así también los manuales de operación para la utilización de herramientas y equipos., los riesgos sanitarios y estructurarles para cada tipo de soldadora. Los resultados revelan que el proceso de soldadura óptimo en base al acero utilizado para la carrocería y chasis del vehículo automotor, es el proceso MIG de acero ASTM A 36, dado que es la unión con mejores propiedades mecánicas, por lo cual se recomienda para producir los menores cambios en las propiedades del metal y en la estructura soldada, preservando su calidad.

**Palabras Clave:** Tipos de soldadura, electrodos, ensayos no destructivos, proceso productivo

#### Abstract

Welding is one of the most usual productive processes for joining structural elements, especially in one of the major industries that exist today, such as automotive vehicle body, it is worth noting that welding causes significant structural changes in metals used, therefore the welder processes must be analyzed and a welding machine or equipment implemented with which to perform cords in ASTM A 36 steel using AWS E-6011 electrode and ER70S-6 wire with CO<sub>2</sub> shielding gas for compare the mechanical properties of joints using SMAW, MIG and TIG welding, For this purpose the characteristics, elements and operation of each of the welding processes were analyzed through a systematic review of articles in database such as Scopus, Google scholar, Redalyc y Scielo, from which 24 articles were selected from 85 previously consulted articles, where the behavior of the materials used, as well as the operating manuals for the use of tools and equipment., the health risks and structure them for each type of were analyzed welding The results reveal that the optimum welding process on the basis of the steel used for the motor vehicle body and chassis. is the MIG process of ASTM A 36 steel, given that it is the bonding with best mechanical properties, therefore it is recommended to produce the least changes in the properties of the metal and in the welded structure, preserving its quality.

**Keywords:** Types of welding, electrodes, non-destructive testing, production process

## Introducción

La soldadura es uno de los procesos productivos más habituales para la unión de elementos estructurales, especialmente en una de las mayores industrias que existen en la actualidad, como es la carrocería de vehículos automóviles, cabe señalar que la soldadura provoca cambios estructurales significativos en los metales utilizados especialmente debido a cambios en la composición y transiciones de fase durante la solidificación y el enfriamiento (Mohan et al., Zavdoveev et al., 2021), que deben entenderse bien para diseñar y fabricar soldaduras confiables para la resistencia de las superestructuras.

Al desarrollar prácticas de soldadura se observa los siguientes factores de riesgo como: gases tóxicos (Cediell et al., 2021), partículas de material fundido (Jamal et al., 2020), rayos ultravioletas (Takahashi et al., 2020), provocando graves consecuencias a la persona que opera la máquina de soldar, afectando la vista, la piel y partes internas del cuerpo, provocando enfermedades severas e incluso la muerte, es importante utilizar los equipos e instrumentos de protección personal correctamente.

El cumplimiento de los protocolos no solo se limita a problemas de riesgos físicos para las personas, sino la selección de la técnica y equipos inadecuados de soldadura puede tener

consecuencias graves sobre la calidad de los materiales, lo cual pueden afectar la estructura de los mismos y su funcionamiento, poniendo en riesgo la estabilidad y la infraestructuras realizadas a base de acero, de allí, pueden constituir un riesgo para la seguridad de las personas, por lo que se requiere una evaluación continua de las condiciones de seguridad de dichas estructura (Zavdoveev et al., 2020; Yu et al., 2023; ).

Entre los métodos para el análisis de los tipos de soldadura existen los ensayos no destructivos denominados NDT (Deepak et al., 2021; Shaloo et al., 2022), que es cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades mecánicas, físicas, químicas o dimensionales. Su propósito es detectar discontinuidades superficiales e internas en materiales, soldaduras, y partes fabricadas. Los materiales que se pueden inspeccionar son muy diversos, entre metálicos y no-metálicos, utilizados en procesos de fabricación como: fundidos, laminados, forjados, etc. Los ensayos no destructivos suelen ser más económicos para el propietario de la pieza a examinar, ya que no implican la destrucción de la misma y el daño causado a la pieza a analizar, es imperceptible o nulo y buscan únicamente verificar la homogeneidad y continuidad del material.

Entre los ensayos no destructivos están aquellos llevados a cabo con líquidos o tintas

penetrantes (PT), los cuales se realizan por medio de la aplicación de un líquido sobre la superficie del cuerpo a examinar, el mismo penetra por capilaridad en las imperfecciones de la soldadura. Una vez limpiado el exceso, nos revelará el que ha quedado retenido en la imperfección (poros, fisuras, entre otras anomalías (Sumardani et al., 2020), asimismo se ha empleado el uso de moldeos matemáticas e inteligencia artificial (Chen et al., 2020; Li et al., 2020).

Además de identificar las anomalías es necesario seleccionar los equipos y tipo de soldaduras optimas que conlleven a que se presenten menos fallas. Es por eso que se describen los principales tipos de soldadura, los cuales son explicados a continuación, destacando sus ventajas y desventajas.

### ***Soldadura con arco eléctrico (SMAW)***

Es un sistema que utiliza una fuente de calor (arco) y un medio gaseoso creado al quemar un revestimiento de electrodo, que puede lograr la fusión del metal de aporte y la pieza de trabajo (Afriansyah, 2020). Las fuentes de poder de soldadura provienen de máquinas de corriente continua (CC) o corriente alterna (CA) que crean un circuito eléctrico desde el electrodo hasta la pieza de trabajo a través de cables conductores.

Cuando el artículo entra en contacto con el electrodo, el circuito se cierra. El arco que se forma

es la parte del circuito que encuentra más resistencia y es donde se genera el calor, el cual es capaz de soldar materiales diferentes debido a su fácil y equipo sencillo, cuya principal ventaja es que se puede utilizar para todas las combinaciones de metales en soldaduras diferentes, probablemente acero con bajo contenido de carbono y acero inoxidable.

### ***Soldadura MIG***

Es un proceso de corriente continua con polaridad invertida en el que los electrodos consumibles 17 (fijos y desnudos) son aislados de la atmósfera por una atmósfera protectora, generalmente una mezcla de dióxido de carbono, argón o helio (Martínez et al., 2021). Hay dos formas de aplicar este proceso, uno usando soplete manual y otro automático utilizado principalmente para soldadura en posición plana. La transferencia de metal se logra mediante uno de dos métodos: el método de arco rociado y el método de cortocircuito y sus principales ventajas son que: se puede soldar en todas las posiciones; tiene buena apariencia o acabado, se forman pocos gases contaminantes y tóxicos y poseen una alta productividad o alta tasa de metal adicionado.

### ***Soldadura TIG***

Es un proceso de soldadura por fusión con propiedades especiales para producir soldaduras precisas y de alta calidad (Li et al., 2022). El arco de

este electrodo de tungsteno calienta y licua el material de soldadura, al mismo tiempo, el gas de protección fluye desde la boquilla de gas para proteger el material calentado y la piscina líquida fundida de la reacción química con el aire circundante, cuya ventaja es que es un proceso sencillo, no se producen escorias ni gases tóxicos.

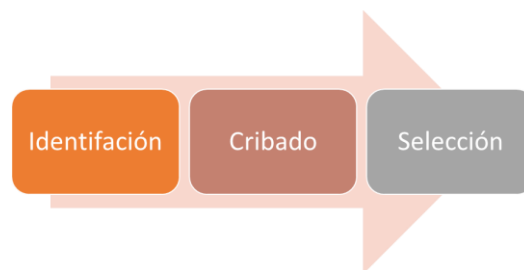
Considerando la importancia de la soldadura en los procesos ingenieriles, así como sus riesgos potenciales, El objetivo de esta investigación fue realizar un estudio de arte de los diferentes procesos, elementos y materiales a utilizar, en el método de soldadura implementar el equipo de soldadura para realizar los diferentes ensayos de soldado y así identificar las anomalías que se pueden durante el proceso de soldadura.

## Metodología

### *Diseño de la investigación*

Este estudio corresponde a la categoría de investigación secundaria, una revisión sistemática que utilizó un enfoque narrativo, y se guio por la declaración PRISMA que proporcionó un marco para presentar de manera transparente los resultados de este estudio. Este proceso de investigación tiene tres fases: la identificación de artículos mediante la búsqueda en las bases datos establecidas, el cribado para la exclusión de los artículos no pertinentes y la selección de los artículos que serán descritos y

analizados en la investigación. Como se puede observar en la Figura 1.



**Figura 1.** Proceso de selección de artículos para la revisión sistemática

Previo a la búsqueda de los artículos y al establecimiento de los criterios de inclusión se utilizó la estrategia PICO para construir la pregunta de investigación en cuanto a la relación entre el tipo de soldadura y los riesgos sanitarios y estructurarles en función de los equipos y tipo de procedimiento usado. A continuación, se describe los elementos de la pregunta:

P (Problema) = anomalías y riesgos que se presentan durante proceso de soldadura.

I (intervenciones) = selección de tipo de soldadura para minimizar anomalías y riesgos durante el proceso

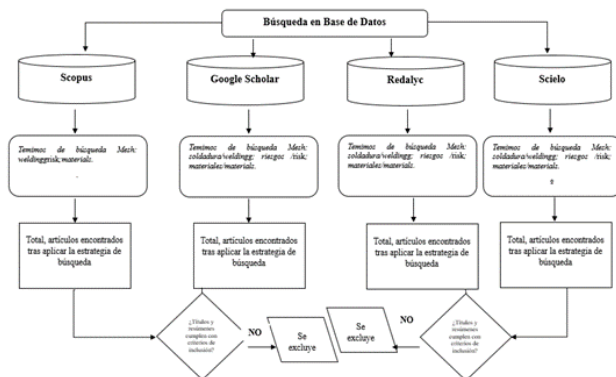
C (comparación) = comparación de riesgos sanitarios y estructurarles n función de tipo de soldadura

O (resultados) = reporte de incidencia de accidentes laborales y daños estructurales usando distintos tipos de soldadura ¿Cuál es la efectividad

del tipo de soldadura los accidentes laborales y daños estructurarles durante el proceso de soldado?

### ***Búsqueda de artículos***

Las estrategias de búsqueda utilizadas en esta revisión sistemática se centraron en el uso de lenguaje controlado a través de los tesauros incluyendo términos lingüísticos relacionados al proceso de soldadura, Además, se utilizaron operadores booleanos como "AND" y "OR" para obtener los resultados, teniendo en cuenta los criterios de la literatura científica en inglés y español, los cuales se describen en la Figura 2.



**Figura 2.** Algoritmo de la búsqueda bibliográfica

Se consideraron trabajos que incluyeron texto con referencia al título del trabajo reseñado, cuyas publicaciones no sólo cumplieron con las condiciones del estudio, sino que además se realizaron dentro del plazo establecido. Durante la búsqueda de información se tuvo en cuenta la terminología, limitándose la búsqueda a los resultados esperados y artículos con relación entre el tipo de soldadura y los riesgos sanitarios y

estructurarles en función de los equipos y tipo de procedimiento usado. Esto fue analizado en revistas digitales dentro de bases de datos como Scopus, Google scholar, Redalyc y Scielo. Los artículos relacionados con estos contenidos abarcaron desde enero de 18 hasta abril de 2024.

### ***Criterios de inclusión***

Se consideraron para su inclusión artículos que contenían texto con referencia al título del artículo revisado. Estas publicaciones no sólo deben cumplir con las condiciones del estudio, sino que además deben haber sido realizadas dentro del plazo establecido desde enero de 2018 hasta abril de 2024.

Durante la búsqueda de información se tuvo en cuenta la terminología, restringiendo la búsqueda a resultados esperados y resultados previos en artículos relacionados con relación entre el tipo de soldadura y los riesgos sanitarios y estructurarles en función de los equipos y tipo de procedimiento usado La búsqueda se realizó en revistas digitales a través de bases de datos como Scopus, Google scholar, Redalyc y Scielo y trabajos de grados reportados en repositorios académicos.

### ***Criterios de exclusión***

No se tomaron en cuenta publicaciones que no responden a la pregunta PICO, año de publicación antes del 2017, duplicados, resúmenes, comunicaciones de congresos y aquellos que carecían de base científica y bases de datos de

referencia derivadas de fuentes no reconocidas, aquellos artículos relacionados con el tipo de soldadura y los riesgos sanitarios y estructurarles en función de los equipos y tipo de procedimiento usado

### *Proceso de selección de estudio*

Para la selección de los artículos se consideraron aquellos que cumplieron los criterios de inclusión que se consideran en las palabras claves de búsqueda y que estuvieron presentes en el título, subtítulo y/o resumen del trabajo, las cuales fueron: soldadura, riesgos, estructura, fisuras, escoria, correspondiente al lapso 2018-2024. Una vez que se seleccionaron los artículos en función de los criterios de inclusión y de exclusión se realizó el cribado considerando los elementos descritos en la Figura 3, se extrajo la información cuyo procedimiento se realizó de la siguiente manera:

1	• Artículos duplicados.
2	• Cartas al editor.
3	• Reportes de casos.
4	• Conflictos de intereses.
5	• Artículos no relacionados a la enfermería.
6	• Tesis de grado.
7	• Año de publicación antes del 2018.
8	• Resúmenes.
9	• Comunicaciones de congresos.

**Figura 3.** Criterios a usar en el cribado de artículos científicos durante la revisión sistemática

La recopilación de la información se realizó de manera minuciosa para garantizar la fiabilidad de la extracción de datos, resolver conflictos potenciales a través de la discusión y el consenso de literatura científica. El hallazgo del estudio sobre la relación entre el tipo de soldadura y los riesgos sanitarios y estructurarles en función de los equipos y tipo de procedimiento usado, ayudo a presentar los resultados de forma coherente y transparente en el informe de evaluación final de acuerdo con las directrices PRISMA. Este proceso de recopilación de datos basado en PRISMA garantiza la precisión y la transparencia en la recopilación y el informe de datos importantes de estudios incluidos en revisiones sistemáticas integradas.

### **Análisis de la información**

La investigación se desarrolló en dos etapas: la revisión bibliográfica que fue descrita en la Figura 1, durante la cual se identificaron fuentes de información para el desarrollo de este trabajo, y la etapa hermenéutica para el análisis e interpretación de los hallazgos de los artículos seleccionados, que es una actividad interpretativa que permite el análisis de la información recopilada durante el proceso bibliométrico, análisis y contenido de los artículos seleccionados sobre la relación entre el tipo de soldadura y los riesgos sanitarios y estructurarles en función de los equipos y tipo de procedimiento usado.

Durante la fase hermenéutica se sintetizó la información y se generaron comentarios basados en fundamentos teóricos. El método utilizado en la investigación permitirá el análisis de publicaciones de diferentes autores y facilitó las comparaciones entre temas. Se detallan las diversas fuentes que permitieran recopilar información bibliográfica, así como sus diferentes perspectivas y estrategias empleadas para la investigación y la hermenéutica. Se explicaron las similitudes y diferencias entre diversos autores con características similares en sus temas de investigación.

### Resultados

De los 85 artículos revisados con relación entre el tipo de soldadura y los riesgos sanitarios y estructurarles en función de los equipos y tipo de procedimiento usado se seleccionaron 24, de los cuales en los 6 primeros se hace una comparación de principales tipos de soldadura en el sector automotriz (Ver Tabla 1).

Karim y Park (2023) señalan la importancia de seleccionar el tipo de soldadura, para evitar la formación de fases intermetálicas frágiles, que serán sensibles a las grietas y a la corrosión, que constituye el principal obstáculo para una calidad de soldadura diferente, es por ello que muchos investigadores han intentado mejorar el rendimiento de soldaduras diferentes, mediante la aplicación de capas intermedias, placa de cubierta, menor aporte de calor, una combinación de soldadura y unión

mecánica, y elementos de aleación de metales de aportación.

Título	Año	Autores	Base de datos
A review on welding of dissimilar metals in car body manufacturing	2023	Karim y Park	Google Scholar
Analysis of Mechanical Properties SMAW Welding Joints of Portable Electric Hydraulic Jack Frame	2020	Wisnujati, A and Andryansyah	Google Scholar
Investigation on mechanical properties of dissimilar metals using MIG welding.	2021	Sakthivel, et al.,	Scopus
Aluminum alloy welding in automotive industry.	2020	Szczucka-Lasota et al.,	Google Scholar
Review of MIG and TIG welding current variation of low-carbon steel materials based on tensile strength.	2024	Drastiwati et al.,	Google Scholar
Tig welding of dissimilar steel: a review.	2021	Echezona et al.	Scopus

**Tabla 1.** Comparación de los principales tipos de soldaduras en el sector automotriz

En este mismo orden de ideas, Wisnujati y Andryansyah (2020) indican que durante el proceso de soldadura es particularmente dominante en juntas estructurales, que varían con el tipo de metal y enfriamiento cuyas variaciones pueden afectar en gran medida la resistencia de la conexión de soldadura, afectando las propiedades de los materiales, como se observó en el análisis realizado en soldaduras SMAW.

En el caso de soldaduras MIG, Sakthivel, et al., (2021) exhibe que, mediante pruebas macro y micro muestran que la misma es de una calidad general de la soldadura y una buena apariencia en la región soldada, ya que, a partir de los resultados de

dureza a la tracción, se evidencia la calidad de la soldabilidad y la resistencia de este tipo de procedimiento. Igualmente, Szczucka-Lasota et al., (2020) demostraron las posibilidades de utilizar la aleación de aluminio en la industria automotriz., dado que las pruebas realizadas demuestran que es posible utilizar este material para fabricar importantes componentes estructurales de vehículos, producto de un aumento de la resistencia a la tracción y del valor del rendimiento.

Por su parte Drastiawati et al., (2024) al comparar las soldaduras MIG y TIG, encontraron que MIG, requiere una mayor corriente para obtener un valor de resistencia a la tracción mayor que la corriente, por lo que recomienda la soldadura TIG en acero ASTM A con bajo contenido de carbono, es por ello que Echezona et al. (2021), afirman que la técnica de soldadura TIG se ha empleado ampliamente para Soldadura de materiales diferentes debido a su bajo costo, estabilidad y alta calidad, dado que en la soldadura TIG, los parámetros del proceso como la corriente, el flujo de gas la velocidad, el voltaje y la velocidad de soldadura juegan un papel vital en la calidad de la soldadura producida

Los siguientes 6 artículos destacan las ventajas y desventajas de los diferentes tipos de soldaduras usados en el sector automotriz (Ver Tabla 2), cuyos principales hallazgos se describen a continuación:

Título	Año	Autores	Base de datos
Studies on impact of welding parameters on angular distortion and mechanical properties of structural steel welded by SMAW.	2020	Yadav et al.,	Google scholar
Comparative study on welding characteristics of FCAW and SMAW welded ASTM A106 Grade B based on ASME standard	2023	Fitriyus et al.,	Google scholar
The study of high-speed MIG welding assisted by compound external magnetic fields for 6N01-T6 aluminum alloy	2022	Wu et al., 2022	Scopus
Comparison of Weld Built-up by FCAW and MIG Welding on Damaged Low Cr-Mo Alloy Steel Tube in Boiler Application	2023	Kumar, and Vijayakumar	Google scholar
Investigation of TIG welding parameters to improve strength.	2020	Shrivastava et al.,	Scopus
ATIG welding: a small step towards sustainable manufacturing.	2021	Patel y Jani	Scopus

**Tabla 2.** Ventajas y desventajas de los diferentes tipos de soldaduras usados

Con relación a la soldadura SMAW Yadav et al., (2020), señalan que los principales factores que afectan la misma son las propiedades mecánicas, de las uniones soldadas son la corriente, el voltaje del arco es la velocidad de soldadura, el diámetro del electrodo y el ángulo de la punta es el espesor del material de relleno utilizado, las formas de la ranura, que ocasionan ciclos de calentamiento y enfriamiento de una manera no uniforme y desigual, la distorsión es inevitabilidad del proceso.

Por su parte, Fitriyus et al., (2023) mostraron que la calidad general de las soldaduras SMAW era buena, sin embargo, pueden ocurrir fracturas de la



zona afectada por el calor y la línea de fusión se identifican como zonas débiles.

En relación a la soldadura MIG, Wu et al., (2022), señalan que el efecto de agitación de los campos magnéticos mejoran la resistencia a la tracción y la tenacidad al impacto de la unión en la soldadura a alta velocidad, lo que demostró que los campos magnéticos externos compuestos asistidos por soldadura con gas inerte fundido eran una tecnología de soldadura de alta velocidad y bajo costo para aleaciones de aluminio, mientras que Kumar, and Vijayakumar (2023) reafirman que la soldadura con gas inerte de metal (MIG) es conocida porque la técnica de soldadura de alta deposición minimiza la posibilidad de defectos.

Por ultimo en cuanto a la soldadura TIG, Shrivastava et al., (2020) descubrieron que los espacios entre electrodos tienen cierta influencia sobre la resistencia a la tracción, mostrando mediante el estudio de microestructura que algunas inclusiones cerca de la zona afectada por el calor debido al cambio en material de soldadura y también cambios en los tamaños de grano que se desarrollan durante el proceso de soldadura se disminuyen con este tipo de soldadura, sin embargo Patel y Jani (2021), afirman que el electrodo de tungsteno empleado con frecuencia durante el proceso de soldadura TIG resulta en un mayor consumo de electrodos.

Los próximos 6 artículos describen las anomalías observadas durante el proceso de

soldaduras usados en la industria automotriz (Ver Tabla 3), cuyos principales hallazgos se presentan a continuación:

Título	Año	Autores	Base de datos
Metallurgical characterization and high-temperature tensile failure of Inconel 617 alloy welded by GTAW and SMAW—a comparative study.	2023	Sirohi et al.,	Google scholar
Factors affecting SMAW pipeline girth weld strength and strain concentration under tensile loading.	2022	Willett y Lehnhoff	Google scholar
Fatigue properties and fracture behavior of Al/steel butt joints fabricated by laser-MIG welding-brazing.	2022	Liu et al.,	Scopus
A review study on fatigue behavior of aluminum 6061 T-6 and 6082 T-6 alloys welded by MIG and FS welding methods.	2023	Arunakumara et al.,	Scopus
Investigation of tensile and high cycle fatigue failure behavior on a TIG welded titanium alloy	2021	Ren et al.,	Scopus
An analysis of pre-fatigued TIG-treated welded structures.	2021	Manai	Scopus

**Tabla 3.** Anomalías observadas durante el proceso de soldaduras usados en la industria automotriz

En primer lugar al analizar la soldadura SMAW, Sirohi et al., (2023) indican que, al hacer la caracterización de la microestructura de la interfaz, encontraron una alta dilución, podría atribuirse a la cercanía en el punto de fusión y la química del metal base y de aporte que condujo a una variación de la microdureza y de tracción, es por ello que Willett y Lehnhoff (2022) destacan la importancia de considerar la resistencia del metal de aportación en relación con la resistencia del material base al

diseñar uniones soldadas, así como la importancia de controlar el aporte de calor de la soldadura.

Con relación a la soldadura MIG, Liu et al., (2022) encontraron que el modo de fractura por fatiga cambió con el aumento de la carga de tensión cíclica, y la zona de inicio de la grieta por fatiga, tendió a comenzar en el pie de la soldadura y luego se propagó a lo largo de la soldadura con una carga de tensión más baja, a pesar de estas fallas Arunakumara et al., (2023), indican que, las aleaciones de aluminio se utilizan ampliamente debido a su peso ligero, resistencia moderada y buena resistencia a la corrosión, las cuales son principalmente usadas para la fabricación de equipos procesamiento de alimentos, contenedores de productos químicos, sistemas de transporte aeroespacial y ferroviario, pero que pudiese ser una alternativa en la industria automotriz en mercados donde existe un alto riesgo de corrosión por condiciones ambientales adversas.

Finalmente, con respecto a la soldadura TIG, Ren et al., (2021), encontraron que el calor aumentó la energía del límite de grano y dificultó el movimiento de dislocación en la prueba de fatiga, lo que provocó una región de desajuste de deslizamiento en la que el material tiene una resistencia a la fatiga débil, por su parte Manai (2021) al usar la soldadura TIG encontraron que la extensión de la vida a fatiga alcanzó 3,4 veces la vida a fatiga soldada. Esto fue particularmente en

los casos en los que el vendaje TIG eliminó por completo las grietas iniciales u omitió grietas de menos de 1 mm de profundidad.

Los últimos 6 artículos describen los riesgos que pueden ocurrir durante el proceso de soldaduras usados en la industria automotriz (Ver Tabla 4), cuyos principales hallazgos se presentan a continuación:

Título	Año	Autores	Base de datos
Chemical pollutants in the respiratory zone of welders: Determination of concentrations and hazard analysis	2020	Mehrifar et al.,	Google Scholar
Exploring the risk of welders' exposure to the gases and metal fumes in a shipbuilding industry: a case study	2020	Mehrifar et al.,	Google Scholar
Risk assessment of welders exposure to the released contaminated gases in different types of welding processes in a steel industry	2019	Mehrifar et al.,	Google Scholar
Occupational exposure to fumes and gases during different arc welding processes.	2019	Dehghan y Mehrifar	Google Scholar
Welding fume exposure and health risk assessment in a cohort of apprentice welders.	2021	Duek et al.,	Google Scholar
The effect of occupational exposure to welding fumes on trachea, bronchus and lung cancer: A protocol for a systematic review and meta-analysis from the WHO/ILO Joint Estimates of the Work-related Burden of Disease and Injury	2020	Pega et al.,	Google Scholar

**Tabla 4.** Riesgos observados durante el proceso de soldaduras usados en la industria automotriz

Con relación a los riesgos que se derivan de la soldadura Mehrifar et al., (2020) afirman que los soldadores MIG y SMAW tienen una alta exposición ocupacional a metales y gases tóxicos en la soldadura, por lo que se deben tomar medidas preventivas, como evaluar el aire del lugar de trabajo, instalar sistemas de ventilación y

proporcionar dispositivos de protección respiratoria adecuados para los soldadores.

Estos riesgos a juicio de Mehrifar et al., (2020), son el resultado del análisis de la emisión de gases contaminantes como el O<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub> mientras que entre los contaminantes metálicos; el metal Mn presentó un nivel de riesgo alto y muy alto en soldadura MIG y SMAW, por lo que se consideran estas más peligrosas que otros tipos de soldadura. Los resultados encontrados reafirman estudios previos de Mehrifar et al., 2019, quienes observaron que el ozono y el dióxido de nitrógeno tenían una clasificación de riesgo muy alto, por lo que los soldadores tienen una alta exposición ocupacional a diversos tipos de gases de soldadura.

Otro problema observado de acuerdo a Dehghan y Mehrifar (2019), es que los niveles promedio de exposición para metales de Cu (soldadura TIG), fueron superiores al límite de exposición ocupacional ponderado por tiempo promedio, por lo tanto, es necesario aplicar métodos preventivos adecuados, como medidas de control de ingeniería, para proteger eficazmente la salud de los soldadores, esto es explicado según Duek et al., (2021) a las fuertes relaciones entre las concentraciones de partículas y metales, lo que sugiere que estas relaciones podrían usarse para estimar la exposición al metal en soldadores de exposición a partículas.

El riesgo por la exposición a estos metales y en especial a los gases según Pega et al., (2020) es que se han encontrado evidencias de que los humos de soldadura son una causa de cáncer de pulmón, lo que han llevado en los últimos años al aumento de la discapacidad por cáncer de tráquea, bronquios y pulmón atribuibles a la exposición ocupacional a humos de soldadura.

### Discusión

La elección de los tipos de soldadura depende de tres factores fundamentales, en primer lugar, la rapidez y el bajo costo como es el caso de las ventajas que se aprecian en la soldadura tipo SMAG (Pagare et al., 2020), el segundo lugar una mejor calidad, resistencia y durabilidad que se puede lograr con la soldadura tipo MIG (Madawi et al., 2022), lo cual es clave en estándares de calidad como en la industria automotriz y finalmente seleccionar un tipo de soldadura que minimice los riesgos sobre la salud de los soldadores como es la TIG (Knobloch et al., 2020) la cual es menos contaminante en comparación a la SMAW y la MIG.

En relación a la calidad es necesario si ha sido determinado, la realización de métodos de evaluación no destructivo como el uso de líquidos penetrantes, cuyo objetivo es detectar las fallas que ocurren con mayor frecuencia en el proceso de soldadura, así mismo en los últimos años la inteligencia artificial mediante el uso de machine

learning (Martínez et al., 2021), redes neuronales (Shin et al., 2020) y Deep learning (Jin et al., 2020), ha podido optimizar el proceso de evaluación de la calidad de la soldadura, para identificar las anomalías más comunes, entre las cuales se han detectado en la revisión.

Falta fusión, la cual se produce en las interfaces de la soldadura, donde las capas adyacentes de metal base y el metal de soldadura no se fusionan debidamente, siendo la causa principal la existencia de una capa muy fina de óxido que se forma en la superficie del metal (Ma et al., 2022), así como salpicaduras o escorias, dado que la soldadura la mayoría de las inclusiones contienen escorias, que han quedado atrapadas en el material que se deposita durante la solidificación., donde se ha identificado que la soldadura TIG no produce este tipo de anomalía (Fandé et al., 2022).

Otras de las anomalías identificadas son las porosidades que son originadas en burbujas de gas incluidas, siendo su ubicación superficial y subsuperficial, cuyas causas de su formación pueden ser reacciones químicas durante la soldadura debido a la presencia de alto contenido de sulfuro en el electrodo o excesiva humedad en la plancha base o en el electrodo (Tao y Yang, 2020).

Los principales parámetros que intervienen en el proceso de soldadura SMAW son la tensión del arco, el diámetro y la posición del electrodo de alambre, así como su composición química y el tipo

de gas utilizado (Ranjan y Jha, 2023). Por otro lado, los principales parámetros del proceso SMAW son el tipo y diámetro de los electrodos utilizados, la corriente de soldadura y la ubicación de los electrodos, los cuales se deben considerar a la hora de mejorar la resistencia de los puntos de soldadura y minimizar estas fallas.

En la soldadura MIG, solo se calienta una pequeña área alrededor de la junta. Se agrega un gas inerte durante la alimentación del alambre para enfriar la superficie y proteger el metal del aire circundante, que previene la oxidación, lo cual es un elemento clave para mantener la calidad de la soldadura en ambientes altamente corrosivos (Liu et al., 2021), así mismo se ha comprobado que la soldadura MIG es una de las más utilizadas en la industria por los grandes beneficios que genera al momento de su operación como: mínima salpicadura, no genera escoria, alta velocidad, eficiencia y rapidez en la deposición, los cables y la pistola son extremadamente ligeros y de fácil manipulación (Ye et al., 2021).

A pesar de las ventajas mencionadas anteriormente en términos de costos, rapidez y calidad tanto con el proceso SMAW y MIG, los altos estándares que exigen los protocolos ambientales y de seguridad laboral exigen que se elija un tipo de soldadura que además de garantizar estas cualidades, repercuta en una mayor seguridad para la preservación del ambiente y la salud de los

trabajadores, en este caso la soldadura TIG (Prabakaran et al., 2021), parece ser la más apropiada, dado que además de reducir la producción de escorias, no genera gases tóxicos que afecten la salud de los trabajadores a largo plazo.

### Conclusiones

Antes de elegir un método de soldadura, es importante comprender las necesidades y propiedades de la unión, así como las propiedades mecánicas, físicas y químicas de los metales a unir. Al desarrollar un plan de aplicación de procesos, también es importante considerar las emisiones financieras que desea o tiene el potencial de realizar

Cualquier tipo de proceso de soldadura producirá soldaduras optimas que tengan las mismas propiedades químicas, metalúrgicas y físicas que el metal base. Para lograr estas condiciones, la soldadura fundida debe protegerse de la atmósfera durante el proceso de soldadura. De lo contrario, el oxígeno y el nitrógeno de la atmósfera se combinarán con el metal fundido y crearán una soldadura débil y porosa.

La utilización del proceso de líquidos o tintas penetrantes presenta varias ventajas en la implementación, entre ellas se tiene la fácil realización, la rápida interpretación de resultados y bajos costes de implementación, en comparación a otros ensayos no destructivos. Además, puede permitir la creación de un laboratorio en la

institución el cual permita incrementar el control de calidad de los procesos de soldadura que se realicen.

### Referencias

- Afriansyah, A. A. (2020). Dissimilar metal welding using Shielded metal arc welding: A Review. *Technol. Rep. Kansai Univ*, 62(4), 1935-1948. Documento en línea. Disponible <https://repository.unsri.ac.id/29881/1/dissimilar-metal-welding-using-shielded-metal-arc-welding-a-review-5ed3c1a237dc9.pdf>
- Arunakumara, K; Walpola, B & Faiz, M. (2023). Gymnema Sylvestre R. Br. Ex Roemer and Schultes; a Review with special reference to conservation through propagation. *Journal of Natural and Applied Sciences Pakistan*, Vol 5(2), 2023 pp 1465-1478. Documento en línea. Disponible [https://www.researchgate.net/publication/377019986\\_Journal\\_of\\_Natural\\_and\\_Applied\\_Sciences\\_Pakistan\\_GYMNEMA\\_SYLVESTRE\\_R\\_B\\_R\\_EX\\_ROEMER\\_AND\\_SCHULTES\\_A\\_REVIEW\\_WITH\\_SPECIAL\\_REFERENCE\\_TO\\_CONSERVATION\\_THROUGH\\_PROPAGATION](https://www.researchgate.net/publication/377019986_Journal_of_Natural_and_Applied_Sciences_Pakistan_GYMNEMA_SYLVESTRE_R_B_R_EX_ROEMER_AND_SCHULTES_A_REVIEW_WITH_SPECIAL_REFERENCE_TO_CONSERVATION_THROUGH_PROPAGATION)
- Deepak, J. R., Raja, V. B., Srikanth, D., Surendran, H., & Nickolas, M. M. (2021). Non-destructive testing (NDT) techniques for low carbon steel welded joints: A review and experimental study. *Materials Today: Proceedings*, 44, 3732-3737. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.578>
- Cediel-Ulloa, A., Isaxon, C., Eriksson, A., Primetzhofer, D., Sortica, M. A., Haag, L., ... & Gliga, A. R. (2021). Toxicity of stainless and mild steel particles generated from gas-metal arc welding in primary human small airway epithelial cells. *Scientific Reports*, 11(1), 21846. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01177-7>
- Chen, F. F., Xiang, J., Thomas, D. G., & Murphy, A. B. (2020). Model-based parameter optimization for arc welding process simulation. *Applied mathematical modelling*, 81, 386-400.

- Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.apm.2019.12.014>
- Dehghan SF, Mehrifar Y, Ardalan A. (2019). The Relationship between Exposure to Lead-Containing Welding Fumes and the Levels of Reproductive Hormones. *Ann Glob Health*. 5;85(1):125. doi: 10.5334/aogh.2617. PMID: 31673512; PMCID: PMC6798783.
- Drastiawati N.; Soekrisno, R.; Kis Agustin, H.; Made Arsana, I. (2024). Comparison of Failure Analysis on Reheater and Waterwall Tube Power Plant Base on Outer Surface. *Mater. Sci. Eng.* 1034 012163doi 10.1088/1757-899x/1034/1/012163
- Duek, O., Spiller, T. R., Pietrzak, R. H., Fried, E. I., & Harpaz-Rotem, I. (2021). Network analysis of PTSD and depressive symptoms in 158,139 treatment-seeking veterans with PTSD. *Depression And Anxiety*, 38(5), 554-562. doi:10.1002/da.23112 Documento en línea. Disponible [https://scholar.google.co.ve/scholar\\_url?url=http://scholarlypublications.universiteitleiden.nl/access/item%253A3633982/download&hl=es&sa=X&ei=hUViZrzjBNWSy9YPhoC8wQk&scisig=AFWwaeZz0\\_eT\\_Osos0HWEIKRTXaS&oi=scholar](https://scholar.google.co.ve/scholar_url?url=http://scholarlypublications.universiteitleiden.nl/access/item%253A3633982/download&hl=es&sa=X&ei=hUViZrzjBNWSy9YPhoC8wQk&scisig=AFWwaeZz0_eT_Osos0HWEIKRTXaS&oi=scholar)
- Echezona, N., Akinlabi, S. A., Jen, T. C., Fatoba, O. S., Hassan, S., & Akinlabi, E. T. (2021). Tig welding of dissimilar steel: a review. *Advances in Material Science and Engineering: Selected articles from ICMMPE 2020*, 1-9. Documento en línea. Disponible <https://www.springerprofessional.de/en/advances-in-material-science-and-engineering/19334038?tocPage=1>
- Fande, A. W., Taiwade, R. V., & Raut, L. (2022). Development of activated tungsten inert gas welding and its current status: A review. *Materials and manufacturing processes*, 37(8), 841-876. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1080/10426914.2022.2039695>
- Fitriyus, G., Zulkarnain, Z., Istana, B., & Nasution, A. K. (2023). Comparative study on welding characteristics of FCAW and SMAW welded ASTM A106 Grade B based on ASME standard. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2601, No. 1). AIP Publishing. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1063/5.0129578>
- Jamal, J., Darras, B., & Kishawy, H. (2020). A study on sustainability assessment of welding processes. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 234(3), 501-512. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1177/0954405419875355>
- Jin, C., Shin, S., Yu, J., & Rhee, S. (2020). Prediction model for back-bead monitoring during gas metal arc welding using supervised deep learning. *IEEE Access*, 8, 224044-224058. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1109/access.2020.3041274>
- Karim, M. A., & Park, Y. D. (2020). A review on welding of dissimilar metals in car body manufacturing. *Journal of Welding and Joining*, 38(1), 8-23. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.5781/JWJ.2020.38.1.1>
- Knobloch, J., Casjens, S., Lehnert, M., Yanik, S. D., Körber, S., Lotz, A., ... & Pesch, B. (2020). Exposure to welding fumes suppresses the activity of T-helper cells. *Environmental Research*, 189, 109913. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109913>
- Kumar, A., & Vijayakumar, P. (2023). Comparison of Weld Built-up by FCAW and MIG Welding on Damaged Low Cr-Mo Alloy Steel Tube in Boiler Application. *International Journal of Science and Research Archive*, 8(2), 492-505. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.30574/ijrsra.2023.8.2.0243>
- Li, Y., Yu, B., Wang, B., Lee, T. H., & Banu, M. (2020). Online quality inspection of ultrasonic composite welding by combining artificial intelligence technologies with welding process

- signatures. *Materials & Design*, 194, 108912. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.108912>
- Li, L., Du, Z., Sheng, X., Zhao, M., Song, L., Han, B., & Li, X. (2022). Comparative analysis of GTAW+ SMAW and GTAW welded joints of duplex stainless steel 2205 pipe. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 199, 104748. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2022.104748>
- Liu, R., Liu, Y., Lei, Z., Tang, H., He, S., Li, Y., & Zhu, Z. (2021). Corrosion Behavior of a Laser-MIG Hybrid Welding-Brazing Joint of 6061 Aluminum Alloy to SUS304 Stainless Steel. *Corrosion*, 77(12), Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.5006/3866>
- Liu, Y., Zhu, Z., Che, X., Li, Y., & Chen, H. (2022). Fatigue properties and fracture behavior of Al/steel butt joints fabricated by laser-MIG welding-brazing. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 45(8), 2187-2199. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1111/ffe.13726>
- Ma, H., Qin, G., Geng, P., Ao, Z., & Chen, Y. (2022). Effect of intermetallic compounds on the mechanical property and corrosion behaviour of aluminium alloy/steel hybrid fusion-brazed welded structure. *Journal of Manufacturing Processes*, 75, 170-180. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2022.01.004>
- Madawi, K. R., Jogi, B. F., & Lohar, G. S. (2022). Metal inert gas (MIG) welding process: A study of effect of welding parameters. *Materials Today: Proceedings*, 51, 690-698. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.06.206>
- Manai, A. (2021). An analysis of pre-fatigued TIG-treated welded structures. *Engineering Failure Analysis*, 121, 105150. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.105150>
- Martínez, R. T., Bestard, G. A., Silva, A. M. A., & Alfaro, S. C. A. (2021). Analysis of GMAW process with deep learning and machine learning techniques. *Journal of Manufacturing Processes*, 62, 695-703. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.12.052>
- Mehrfar, Y., Zeverdegani, S. K., & Rismanchian, M. (2020). Chemical pollutants in the respiratory zone of welders: Determination of concentrations and hazard analysis. *Work*, 67(3), 591-598. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.3233/wor-203272>
- Mehrfar, Y., Mohebian, Z., & Bidel, H. (2020). Exploring the risk of welders' exposure to the gases and metal fumes in a shipbuilding industry: a case study. *Journal of Health and Safety at Work*, 10(2), 15-18. Documento en línea. Disponible <https://www.magiran.com/paper/2131748/exploring-the-risk-of-welders-exposure-to-the-gases-and-metal-fumes-in-a-shipbuilding-industry-a-case-study?lang=en>
- Mehrfar, Y., Zeverdegani, S. K., Faraji, M., & Rismanchian, M. (2019). Risk assessment of welder's exposure to the released contaminated gases in different types of welding processes in a steel industry. *Health Scope*, 8(1). Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.5812/jhealthscope.58267>
- Mohan, D. G., & Wu, C. (2021). A review on friction stirs welding of steels. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 34(1), 137. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1186/s10033-021-00655-3>
- Pagare, R., Awati, D., Mane, S., Teli, V., & Bhandare, A. (2020). Investigating the Effects of Welding Parameters on Mild Steel by SMAW Technique. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 998, No. 1, p. 012052). IOP Publishing. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1088/1757-899x/998/1/012052>

- Patel, D., & Jani, S. (2021). ATIG welding: a small step towards sustainable manufacturing. *Advances in Materials and Processing Technologies*, 7(3), 514-536. Documento en línea. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/2374068X.2020.1785209>
- Pega, F., Chartres, N., Guha, N., Modenese, A., Morgan, R. L., Martínez-Silveira, M. S., & Loomis, D. (2020). The effect of occupational exposure to welding fumes on trachea, bronchus and lung cancer: A protocol for a systematic review and meta-analysis from the WHO/ILO Joint Estimates of the Work-related Burden of Disease and Injury. *Environment international*, 145, 106089. Documento en línea. Disponible Doi: [10.1016/j.envint.2022.107565](https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107565).
- Prabakaran, S. T., Sakthivel, P., Shanmugam, M., Satish, S., Muniyappan, M., & Shaisundaram, V. S. (2021). Modelling and experimental validation of TIG welding of INCONEL 718. *Materials Today: Proceedings*, 37, 1917-1931. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.482>
- Ranjan, R., & Jha, S. K. (2023). Optimization of welding parameters and microstructure analysis of low frequency vibration assisted SMAW butt welded joints. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 1-21. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12008-023-01562-8>
- Ren, D., Jiang, Y., Hu, X., Zhang, X., Xiang, X., Huang, K., & Ling, H. (2021). Investigation of tensile and high cycle fatigue failure behavior on a TIG welded titanium alloy. *Intermetallics*, 132, 107115. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2021.107115>
- Sakthivel, P., Manobbala, V., Manikandan, T., Salik, Z. M. A., & Rajkamal, G. (2021). Investigation on mechanical properties of dissimilar metals using MIG welding. *Materials Today: Proceedings*, 37, 531-536. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.488>
- Shaloo, M., Schnall, M., Klein, T., Huber, N., & Reitingner, B. (2022). A review of non-destructive testing (NDT) techniques for defect detection: application to fusion welding and future wire arc additive manufacturing processes. *Materials*, 15(10), 3697. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ma15103697>
- Shin, S., Jin, C., Yu, J., & Rhee, S. (2020). Real-time detection of weld defects for automated welding process base on deep neural network. *Metals*, 10(3), 389. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.3390/met10030389>
- Shrivastava, S. P., Vaidya, S. K., Khandelwal, A. K., & Vishvakarma, A. K. (2020). Investigation of TIG welding parameters to improve strength. *Materials Today: Proceedings*, 26, 1897-1902. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.416>
- Sirohi, S., Kumar, N., Kumar, A., Pandey, S. M., Adhithan, B., Fydrych, D., & Pandey, C. (2023). Metallurgical characterization and high-temperature tensile failure of Inconel 617 alloy welded by GTAW and SMAW—a comparative study. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 237(9), 2046-2067. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1177/14644207231171266>
- Sumardani, N. I., Setiawan, N. I., Nuryadin, B. W., & Sumardani, D. (2020). The Defect Analysis of Carbonsteel Pipe Welding Connections Using Non-Destructive Testing with the Penetrant Test Method. *Risenologi*, 5(1), 38-47. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.47028/j.risenologi.2020.51.72>
- Szczucka-Lasota, B., Węgrzyn, T., & Jurek, A. (2020). Aluminum alloy welding in automotive industry. *Transport Problems*, 15(3), 67-78. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.21307/tp-2020-034>
- Takahashi, J., Nakashima, H., Fujii, N., & Okuno, T. (2020). Comprehensive analysis of hazard of



- ultraviolet radiation emitted during arc welding of cast iron. *Journal of Occupational Health*, 62(1), e12091. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1002/1348-9585.12091>
- Tao, W., & Yang, S. (2020). Weld zone porosity elimination process in remote laser welding of AA5182-O aluminum alloy lap-joints. *Journal of Materials Processing Technology*, 286, 116826. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2020.116826>
- Willett, E., & Lehnhoff, G. (2022, September). Factors affecting SMAW pipeline girth weld strength and strain concentration under tensile loading. In International Pipeline Conference (Vol. 86588, p. V003T05A023). American Society of Mechanical Engineers. Documento en línea. Disponible [https://www.researchgate.net/publication/257287773\\_Tensile\\_and\\_Toughness\\_Properties\\_of\\_Pipeline\\_Girth\\_Welds](https://www.researchgate.net/publication/257287773_Tensile_and_Toughness_Properties_of_Pipeline_Girth_Welds)
- Wisnujati, A and Andryansyah, J. (2020). Analysis of Mechanical Properties SMAW Welding Joints of Portable Electric Hydraulic Jack Frame. *INTEK Journal Penelitian*, 7(2), 155-159. Disponible en: <https://doi.org/10.31963/intek.v7i2.2134>
- Wu, L., Han, X., Wu, X., Wu, Y., Chen, J., Su, H., & Wu, C. (2022). The study of high-speed MIG welding assisted by compound external magnetic fields for 6N01-T6 aluminum alloy. *Journal of Manufacturing Processes*, 83, 576-589. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2022.09.028>
- Yadav, A. K., Kumar, A., Singh, C. P. N., Singh, A. K., & Nand, M. S. (2020). Studies on impact of welding parameters on angular distortion and mechanical properties of structural steel welded by SMAW. *Int. Res. J. Mod. Eng. Technol. Sci*, 2(5), 445-459. Documento en línea. Disponible [https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper/volume2/issue\\_5\\_may\\_2020/1099/1628083021.pdf](https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper/volume2/issue_5_may_2020/1099/1628083021.pdf)
- Ye, G., Zhang, N., Liu, Q., & Gao, X. (2021, August). Analysis of droplet transition features and weld formation in laser-MIG hybrid welding. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1986, No. 1, p. 012031). IOP Publishing. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1986/1/012031>
- Yu, H., Peng, Z., He, Z., & Huang, C. (2023). Application maturity evaluation of building steel structure welding robotic technology based on multi-level gray theory. *Engineering, Construction and Architectural Management*. Documento en línea. Disponible <https://www.emerald.com/insight/content/>
- Zavdoveev, A., Rogante, M., Poznyakov, V., Heaton, M., Acquier, P., Kim, H. S., ... & Kostin, V. (2020). Development of the PC-GMAW welding technology for TMCP steel in accordance with welding thermal cycle, welding technique, structure, and properties of welded joints. *Reports in Mechanical Engineering*, 1(1), 26-33. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.31181/rme200101026z>
- Zavdoveev, A., Poznyakov, V., Baudin, T., Heaton, M., Kim, H. S., Acquier, P., ... & Denisenko, A. (2021). Welding thermal cycle impact on the microstructure and mechanical properties of thermo-mechanical control process steels. *Steel research international*, 92(6), 2000645. Documento en línea. Disponible <https://doi.org/10.31181/rme200101026z>