

REVISTA DIGITAL



ISSN 2448-8003

Control y Aseguramiento de la Calidad en Soldaduras y Ensamblajes

Quality Control and Assurance in Welding and Assemblies

Edgar-Jearvavi Vázquez-Moreno¹, Alma-Leticia Cruz-Mendez¹

¹ Tecnológico Nacional de México – ITS de Pánuco, Veracruz, México.

Recibido: 12-09-2023
Aceptado: 11-12-2023

Autor correspondiente: edgar.vazquez@itspanuco.edu.mx

Resumen

Este estudio se llevó a cabo en una empresa dedicada a la obra mecánica en la zona sur de Tamaulipas, El objetivo fue identificar y corregir las causas que propician la mala calidad en las soldaduras de tipo GTAW y SMAW, así como en los ensambles de estructuras metálicas.

La calidad de estos procesos es crucial, ya que las líneas de trabajo contendrán posteriormente sustancias altamente corrosivas, explosivas y a temperaturas extremas. Esto representa un riesgo para la integridad física del personal operativo y para las instalaciones mismas.

El estudio buscó aumentar la calidad de las soldaduras y ensambles para reducir el número de defectos encontrados, y mejorar la imagen y confiabilidad de la empresa. Se realizó un análisis de los principales defectos que se presentan en las soldaduras, los factores ambientales y de manejo que afectan su calidad, así como los factores que afectan el ensamble de estructuras metálicas.

Se realizaron inspecciones visuales antes, durante y después de los procesos de soldadura y ensamble. Se estudió el ambiente en el cual se desarrollan estos trabajos y cómo esto afecta la calidad con que se realizan estas tareas. Se utilizaron herramientas como el diagrama de Pareto, el diagrama de Ishikawa y A.M.F.E. para identificar los factores que provocan mayor índice de desperfectos.

Al final del análisis, las propuestas se presentaron a la empresa para su revisión y posteriormente se darán a conocer a los trabajadores involucrados en los trabajos de soldadura y ensamble de estructuras metálicas.

Palabras clave: Soldadura GTAW, Soldadura SMAW, Calidad, Defectos, Mejora Continua

Abstract

This study was carried out in a company dedicated to mechanical work in the southern area of Tamaulipas. The objective was to identify and correct the causes that lead to poor quality in GTAW and SMAW type welds, as well as in the assemblies of metal structures.

The quality of these processes is crucial, as the work lines will later contain highly corrosive, explosive substances and at extreme temperatures. This represents a risk to the physical integrity of the operational staff and the facilities themselves.

The study sought to increase the quality of welds and assemblies to reduce the number of defects found, and improve the image and reliability of the company. An analysis was carried out on the main defects that occur in welds, the environmental factors and handling that affect their quality, as well as the factors that affect the assembly of metal structures.

Visual inspections were carried out before, during and after the welding and assembly processes. The environment in which these works are developed was studied and how this affects the quality with which these tasks are performed. Tools such as the Pareto diagram, Ishikawa diagram, and AMFE were used to identify factors that cause a higher index of defects.

At the end of the analysis, proposals were presented to the company for review and will later be made known to workers involved in welding work and assembly of metal structures.

Keywords: GTAW Welding, SMAW Welding, Quality, Defects, Continuous Improvement.

Introducción

La soldadura es un proceso crítico en la industria de la construcción y la manufactura, y su calidad puede tener un impacto significativo en la seguridad y la eficiencia de las operaciones. En particular, las soldaduras de tipo GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) y SMAW (Shielded Metal Arc Welding) son comúnmente utilizadas en una variedad de aplicaciones, incluyendo la construcción de estructuras metálicas y la fabricación de equipos industriales (Stenberg et al., 2017).

La calidad de la soldadura industrial se verifica por medio de ensayos no destructivos, los cuales se definen como herramienta de inspección efectiva y eficiente, aplicadas durante las diversas etapas de fabricación (Cáceres y Gálvez, 2018); permite detectar falta de cumplimiento con las normas aplicables, defectos en la soldadura o discontinuidades, tales como: socavado, porosidad, falta de penetración, exceso de penetración, falta de fusión, precipitación de carburos de cromo, golpes de arco, reforzamiento de corona bajo/alto, chisporroteo, grietas, entre otros.

La inspección visual es la prueba no destructiva utilizada generalmente, ya que es realizada por el ojo humano y permite obtener de forma rápida la calidad de la soldadura (Morales Barón, 2023). Por medio de esta técnica se permite identificar discontinuidades en cada paso de soldadura; el análisis microestructural realizado en pernos (López, et al., 2018) tuvo como soporte la inspección visual en las uniones de tornillo y perno, con dicha verificación se detectaron fracturas en las uniones, se aplicaron las estrategias de solución y se corroboró visualmente la eliminación de grietas. En el panorama de la industria de la soldadura en Estados Unidos, se indican los requisitos para calificar soldadores de acuerdo con AWS (American Welding Society), destacando que no importa el nivel, básico, avanzado o expertos, es indispensable la inspección visual durante el proceso de cualificación; contar con soldadores acreditados y la utilización de procesos automáticos aumentará la productividad en el proceso de fabricación o montaje (Méndez, 1999).

El presente estudio se llevó a cabo en una empresa ubicada en el sur de Tamaulipas, con el objetivo de identificar y corregir las causas que propician la mala calidad en dichas soldaduras. La importancia de este objetivo radica en el hecho de que las líneas de trabajo que involucran estas soldaduras contendrán posteriormente sustancias altamente corrosivas, explosivas y a temperaturas extremas. Esto representa un riesgo para la integridad física del personal operativo y para las instalaciones mismas.

El estudio buscó aumentar la calidad de las soldaduras y ensambles para reducir el número de defectos encontrados, y mejorar la imagen y confiabilidad de la empresa. Para lograr esto, se realizó un análisis exhaustivo de los principales defectos que se presentan en las soldaduras, los factores ambientales y de manejo que afectan su calidad, así como los factores que afectan el ensamble de estructuras metálicas.

Se realizaron inspecciones visuales antes, durante y después de los procesos de soldadura y ensamble para asegurar la calidad del producto. Además, se estudió el ambiente en el cual se desarrollan estos trabajos y cómo esto afecta la calidad con que se realizan estas tareas. Se utilizaron herramientas como el diagrama de Pareto, el diagrama de Ishikawa y el Análisis Modal de Fallos y Efectos (A.M.F.E.) para identificar los factores que provocan mayor índice de desperfectos.

El diagrama de Pareto es una herramienta de calidad que permite visualizar gráficamente cuáles son las causas que deben ser atacadas con un plan de mejora (Sales, 2021); tal como Rois (2021) realizó un análisis de la calidad en la producción por medio del diagrama de Pareto para identificar el principal defecto (Ríos Ríos, 2021). El diagrama de Ishikawa permite identificar y categorizar visualmente los posibles factores que ocasionan un problema (Inácio, et al., 2023), utilizado ampliamente en el sector metalmeccánico para reducir las desviaciones en los procesos de fabricación, Molina-Barrios et al. (2023) determinó que la falla principal en el cromado duro industrial es la porosidad, utilizó el diagrama de Pareto e Ishikawa para determinar acciones de mejora. Por último, A.M.F.E. es una metodología altamente eficaz para identificar y corregir fallos desde el proceso de diseño hasta el producto terminado (Malvarez, 2023). Lugo Mesa (2023) utilizó A.M.F.E. para determinar los fallos potenciales, modo, causa y efectos de falla, así como las acciones recomendadas para aumentar la productividad y reducir el tiempo de mantenimiento de máquinas en elementos críticos.

Al final del presente análisis, las propuestas se presentaron a la empresa para su revisión y posteriormente se darán a conocer a los trabajadores involucrados en los trabajos de soldadura y ensamble de estructuras metálicas. Este estudio representa un paso importante hacia la mejora continua en los procesos de soldadura y ensamble en la industria.

Materiales y métodos

La metodología de este estudio se desarrolló en varias etapas para identificar y corregir las causas que conducen a la mala calidad en las soldaduras de tipo GTAW y SMAW, así como en los ensambles de estructuras metálicas. A continuación, se detallan estas etapas:

1. Conocimiento de los procedimientos de soldadura: En esta etapa, se realizó un estudio exhaustivo de los procedimientos de soldadura que se estaban aplicando en el lugar de trabajo. Esto implicó una revisión detallada de las técnicas de soldadura utilizadas, los materiales y equipos empleados, y las normas y regulaciones que se seguían (Sampath Madhvacharyula et al., 2022).

2. Conocimiento de los equipos utilizados: Esta etapa implicó un análisis detallado de los equipos utilizados para los procesos de Soldadura GTAW y SMAW. Se revisaron las especificaciones técnicas de los equipos, su mantenimiento y operación, y su adecuación para las tareas requeridas.

3. Inspección Visual de Soldaduras Ejecutadas: Durante esta etapa, se realizaron inspecciones visuales detalladas de las soldaduras ejecutadas (American Welding Society, 2015) durante un período de dos meses realizando 252 inspecciones. Esto permitió identificar cualquier defecto o problema en las soldaduras, y recoger datos sobre la frecuencia y naturaleza de estos problemas, mismos que se muestran en la tabla 1.

Discontinuidad	Diámetro (pulgadas)	Pulgadas Lineales
Socavado	130	408.41
Porosidad	119	373.85
Falta de penetración	88	276.46
Exceso de penetración	81	254.47
Falta de fusión	72	226.19
Precipitación de carburos de cromo	54.5	171.22
Golpe de arco	40	125.66
Reforzamiento de corona bajo	30	94.25
Chisporroteo	24	75.40
Grieta	19	59.69
Reforzamiento de corona alto	13	40.84
Total de soldaduras con discontinuidad	670.5	2106.44
OK. VT.	3291.5	10340.55
Total de soldaduras ejecutadas	3962	12446.99

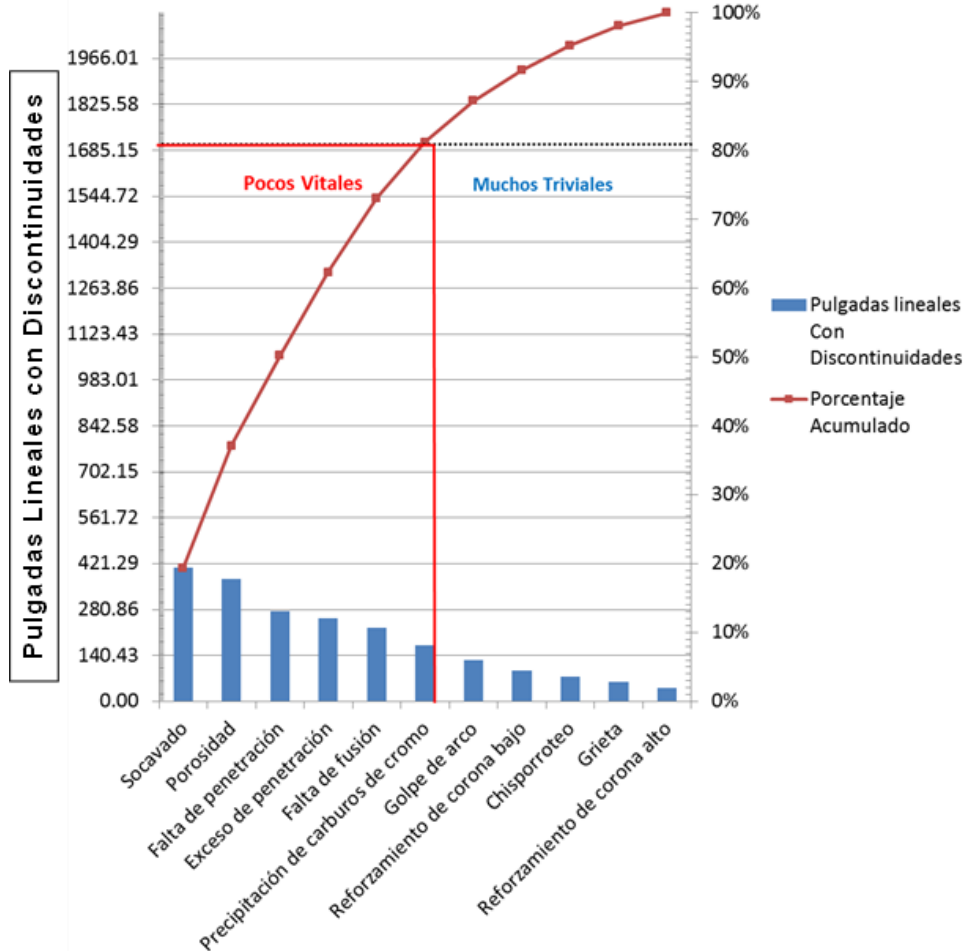
Tabla 1.- Discontinuidades encontradas durante la inspección visual.

4. Aplicación del Diagrama de Pareto: En esta etapa, se utilizó el Diagrama de Pareto para identificar los factores que provocan mayor índice de desperfectos (Global Journal on Quality and Safety in Healthcare, 2021). Este es un gráfico que muestra la frecuencia de los problemas en orden descendente, lo que permite identificar las áreas que requieren atención prioritaria, eso se puede apreciar en la tabla 2 y gráfica 1.

Discontinuidad	Pulgadas Lineales	%	% Acumulado
Socavado	408.407045	19.39%	19.39%
Porosidad	373.8495258	17.75%	37.14%
Falta de penetración	276.4601535	13.12%	50.26%
Exceso de penetración	254.4690049	12.08%	62.34%
Falta de fusión	226.1946711	10.74%	73.08%

Precipitación de carburos de cromo	171.2167996	8.13%	81.21%
Golpe de arco	125.6637061	5.97%	87.17%
Reforzamiento de corona bajo	94.24777961	4.47%	91.65%
Chisporroteo	75.39822369	3.58%	95.23%
Grieta	59.69026042	2.83%	98.06%
Reforzamiento de corona alto	40.8407045	1.94%	100.00%
Total de soldaduras con discontinuidad	2106.437874	100.00%	100.00%

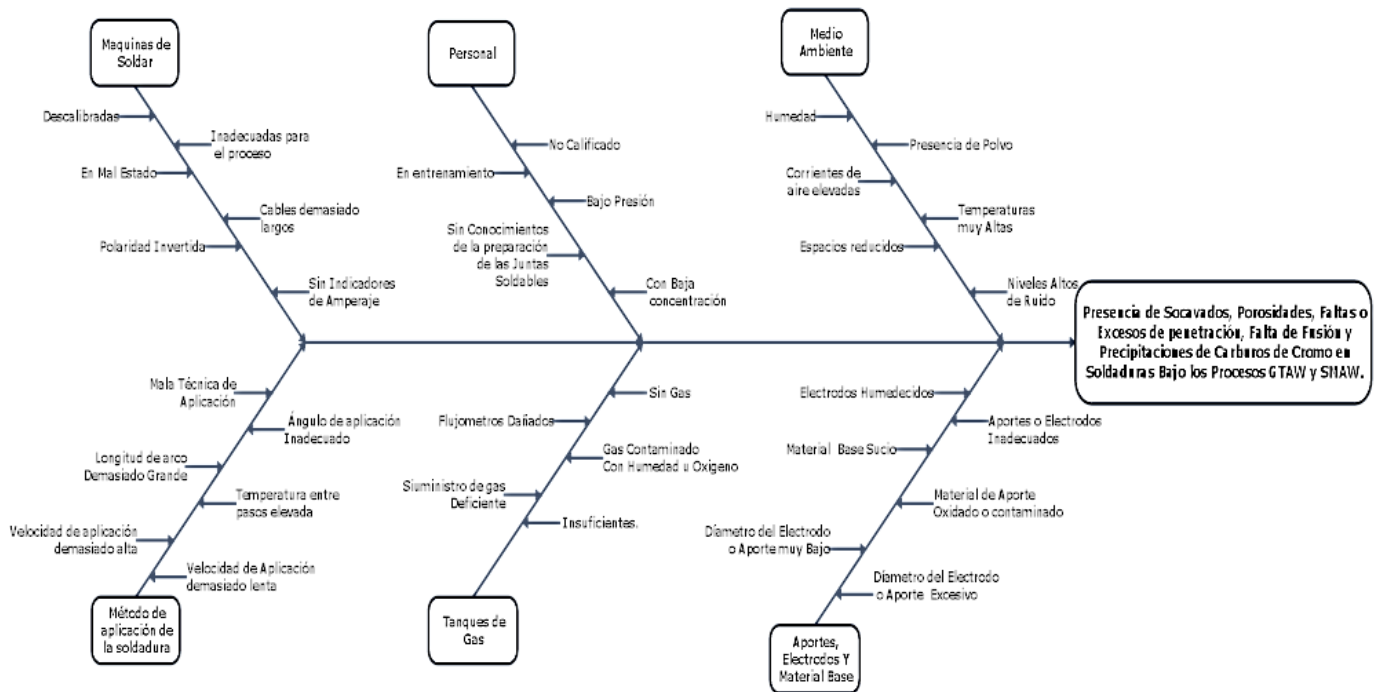
Tabla 2.- Tabla de Pareto para las discontinuidades Encontradas durante la inspección Visual.



Gráfica 1.- Diagrama de Pareto de Pulgadas Lineales con Discontinuidades.

5. Aplicación del Diagrama Causa-Efecto: Durante esta etapa, se aplicó el Diagrama Causa-Efecto (también conocido como Diagrama de Ishikawa) para analizar las causas raíz de los problemas identificados. Este diagrama permite visualizar las relaciones entre las diferentes causas y sus efectos, lo que facilita la identificación de soluciones efectivas (Rodríguez, Canga, & Gallegos, 2021), el diagrama se muestra en la gráfica 2.

Diagrama Causa-Efecto para las Sigüientes Discontinuidades en la Soldadura: Presencia de Socavados, Porosidades, Faltas o Excesos de penetración, Falta de Fusión y Precipitaciones de Carburos de Cromo en Soldaduras Bajo los Procesos GTAW y SMAW.



Grafica 2.- Diagrama Causa- Efecto Aplicado al estudio.

6. Aplicación del A.M.F.E.: Finalmente, se utilizó A.M.F.E. para evaluar los riesgos asociados con los problemas identificados, determinar el número de prioridades de riesgo (NPR) y desarrollar planes de mitigación. Este es un método sistemático para identificar y evaluar los modos potenciales de fallo en un sistema, y desarrollar estrategias para prevenir o reducir su impacto (Mascia et al., 2020), como resultado de esto se elaboró la tabla 3.

Causa Potencial del Fallo	NPR	Defectos Asociados
Cámara de gas Ineficiente o ausencia de esta	640	Precipitaciones de carburos de cromo
Velocidad de aplicación de la soldadura demasiado alta	560	Poros, falta de penetración, falta de fusión
Temperatura entre pasos de soldadura elevada	480	Precipitaciones de carburos de cromo, exceso de penetración
Velocidad de aplicación de la soldadura demasiado lenta	448	Exceso de penetración
Máquina de soldar descalibrada	400	Poros
Amperaje elevado	360	Socavados
Ángulo de aplicación inadecuado	288	Socavados
Mala técnica de aplicación de la soldadura	288	Socavados
Mano de obra no calificada o en entrenamiento	288	Socavados
Cables demasiado largos	250	Falta de penetración
Abertura de raíz muy pequeña	250	Falta de penetración, falta de fusión
Amperaje bajo	250	Falta de penetración, falta de fusión
Diámetro del electrodo o aporte excesivo	250	Falta de penetración
Flujo de gas de protección demasiado bajo	250	Poros
Humedad en el ambiente y electrodos humedecidos	250	Poros
Materia de aporte oxidado o contaminado	250	Poros, falta de fusión
Presencia de polvo	250	Poros
Corrientes de aire elevadas	250	Poros
Material base sucio u oxidado	250	Poros, falta de fusión

Tabla 33.- Resultados del Análisis del A.M.F.E. (Causas con mayor NPR)

Al final del análisis, las propuestas resultantes fueron presentadas a la empresa para su revisión. Posteriormente, estas propuestas fueron comunicadas a los trabajadores involucrados en los trabajos de soldadura y ensamble de estructuras metálicas, dichas propuestas se muestran en la tabla 4.

Causa Potencial del Fallo	NPR	Acciones Sugeridas
Cámara de gas Ineficiente o ausencia de esta	640	Verificación de la hermeticidad de la cámara de Gas y los niveles de gas en el tanque
Velocidad de aplicación de la soldadura demasiado alta	560	Ajustar la velocidad de aplicación de la soldadura conforme al procedimiento
Temperatura entre pasos de soldadura elevada	480	Medir temperatura entre pasos con termómetro infrarrojo
Velocidad de aplicación de la soldadura demasiado lenta	448	Ajustar la velocidad de aplicación de la soldadura conforme al procedimiento
Máquina de soldar descalibrada	400	Verificación más constante de las máquinas de soldar
Amperaje elevado	360	Realizar Verificaciones periódicas de la calibración de las maquinas con amperímetro de gancho
Ángulo de aplicación inadecuado	288	Supervisar a los soldadores durante la aplicación de la Soldadura y aplicar Pruebas de habilidad con mayor frecuencia
Mala técnica de aplicación de la soldadura		
Mano de obra no calificada o en entrenamiento	288	No dejar aplicar soldadura sin supervisión a los soldadores no calificados o en entrenamiento
Cables demasiado largos	250	Colocar lo más cerca posible del área de trabajo las Maquinas de Soldar
Abertura de raíz muy pequeña	250	Verificar la preparación de la junta antes de que se aplique soldadura
Amperaje bajo	250	Verificación más constante de las máquinas de soldar
Diámetro del electrodo o aporte excesivo	250	Verificar el diámetro del electrodo Vs la abertura de la Raíz antes de la aplicación de la soldadura
Flujo de gas de protección demasiado bajo	250	Verificación de los niveles de gas
Humedad en el ambiente y Electroodos Humedecidos	250	verificación de las condiciones ambientales y uso de hornos portátiles para soldadura
Materia de aporte Oxidado o Contaminado	250	Utilizar solo aporte en buenas condiciones y almacenar en su empaque
Presencia de Polvo	250	Vigilar la limpieza y el correcto confinamiento del área de trabajo
Corrientes de aire elevadas	250	Confinar correctamente el área de trabajo
Material Base Sucio u Oxidado	250	Limpieza antes de la aplicación de soldadura y entre pasos

Tabla 44.- Acciones Sugeridas GTAW Welding, SMAW Welding, Quality, Defects, Continuous Improvement

Resultados y discusión

Este estudio fue exitoso en cumplir con el objetivo general y los objetivos específicos establecidos. El objetivo general era identificar los factores principales que causan defectos en las soldaduras y aplicar recomendaciones para reducir significativamente la proporción de pulgadas lineales de soldadura con defectos encontrados durante las inspecciones visuales. Esto resultó en una mejora en la imagen de la empresa y generó un mayor nivel de confianza por parte del cliente directo hacia la empresa.

En cuanto a los objetivos específicos, se logró un conocimiento y entendimiento de los procedimientos de soldadura a través de la lectura de estos y la observación de su aplicación en el campo. También se logró conocer los equipos utilizados para la aplicación de la soldadura a través de recorridos en el área y comunicación con los soldadores y argoneros.

Para el análisis de la información referente a los defectos en la soldadura, se aplicaron herramientas estadísticas básicas, como la observación, recolección de datos y elaboración de gráficos. Con la aplicación de estas herramientas, fue posible recoger y presentar la información utilizada en este estudio.

Se realizó un resumen de los principales factores que causan defectos en la soldadura a través de un A.M.F.E., en el cual se identificaron los factores que causan un mayor riesgo de provocar algún defecto. En este mismo A.M.F.E., se presentaron sugerencias para eliminar o controlar dichos factores.

Los resultados se presentaron mediante la recolección de datos posteriores a la aplicación de las sugerencias hechas a la empresa, y se mostraron en forma de tablas y gráficas. Estos resultados también fueron respaldados mediante un A.M.F.E. de resultados, en el cual se mostró cómo los NPR de los principales factores causantes de defectos en las soldaduras se redujeron significativamente, a continuación, en la tabla 5 se muestran las acciones realizadas por la empresa respecto recomendaciones de la tabla 4, y en la tabla 6 se muestra el comparativo del comportamiento de los NPR antes y después de la aplicación de las recomendaciones.

Causa Potencial del Fallo	NPR	Acciones Realizadas
Cámara de gas Ineficiente o ausencia de esta	640	Plática con soldadores acerca de la aplicación de las cámaras de gas en soldadura y su importancia, así como muestra de defectos comunes por la mala aplicación de esta
Velocidad de aplicación de la soldadura demasiado alta	560	Plática informativa acerca de los procedimientos y las especificaciones de estos, para dar a conocer la velocidad de aplicación adecuada de acuerdo con cada procedimiento y los defectos comunes por utilizar una velocidad menor o mayor a la indicada
Temperatura entre pasos de soldadura elevada	480	Dejar reposar la soldadura entre pasos para no generar sobrecalentamiento de esta
Velocidad de aplicación de la soldadura demasiado lenta	448	Plática informativa acerca de los procedimientos y las especificaciones de estos, para dar a conocer la velocidad de aplicación adecuada de acuerdo con cada procedimiento y los defectos comunes por utilizar una velocidad menor o mayor a la indicada
Máquina de soldar descalibrada	400	No se recibirá ninguna máquina de soldar del proveedor si no cuenta con certificado de calibración, y verificación de las condiciones de estas mensualmente
Amperaje elevado	360	Verificación del amperaje antes de soldar conforme al indicado en los procedimientos de soldadura
Ángulo de aplicación inadecuado	288	Supervisión y asesoramiento constante de los soldadores no calificados o en entrenamiento
Mala técnica de aplicación de la soldadura	288	
Mano de obra no calificada o en entrenamiento	288	Supervisión y asesoramiento constante de los soldadores no calificados o en entrenamiento
Cables demasiado largos	250	Búsqueda de sitios para colocar las máquinas más cercanos al área de trabajo
Abertura de raíz muy pequeña	250	Plática con los tuberos para dar a conocer la abertura de raíz de acuerdo con los procedimientos de soldadura, y con los soldadores para que apoyen en la verificación de esta
Amperaje bajo	250	Verificación de amperaje antes de soldar conforme al indicado en los procedimientos de soldadura
Diámetro del electrodo o aporte excesivo	250	Instrucción a los soldadores para que verifiquen la abertura de raíz para seleccionar el diámetro de aporte o varilla adecuado
Flujo de gas de protección demasiado bajo	250	Inspección por parte del soldador y su ayudante de los niveles de gas en los tanques antes de comenzar los trabajos de soldadura
Humedad en el ambiente y electrodos Humedecidos	250	Uso de hornos portátiles en todos los trabajos donde se utilicen electrodos para soldar
Materia de aporte oxidado o contaminado	250	Inspección visual al material de aporte antes de utilizarlo, y descartar si está contaminado
Presencia de polvo	250	Confinar correctamente el área de trabajo y procurar la limpieza de esta
Corrientes de aire elevadas	250	Vigilar el correcto confinamiento del área de trabajo

Causa Potencial del Fallo	NPR	Acciones Realizadas
Material base sucio u oxidado	250	Realizar limpieza mecánica con cepillo o pulidor antes de comenzar la aplicación de soldadura

Tabla 55.- Acciones Realizadas A.M.F.E.

Causa Potencial del Fallo	NPR Antes de la aplicación de las recomendaciones	NPR Después de la aplicación de las recomendaciones
Cámara de gas Ineficiente o ausencia de esta	640	160
Velocidad de aplicación de la soldadura demasiado alta	560	120
Temperatura entre pasos de soldadura elevada	480	120
Velocidad de aplicación de la soldadura demasiado lenta	448	96
Máquina de soldar descalibrada	400	150
Amperaje elevado	360	108
Ángulo de aplicación inadecuado	288	81
Mala técnica de aplicación de la soldadura	288	81
Mano de obra no calificada o en entrenamiento	288	72
Cables demasiado largos	250	120
Abertura de raíz muy pequeña	250	120
Amperaje bajo	250	40
Diámetro del electrodo o aporte excesivo	250	90
Flujo de gas de protección demasiado bajo	250	90
Humedad en el ambiente y electrodos humedecidos	250	90
Materia de aporte oxidado o contaminado	250	90
Presencia de polvo	250	90
Corrientes de aire elevadas	250	40
Material base sucio u oxidado	250	90

Tabla 6.- NPR de cada factor antes y después de la aplicación de las recomendaciones.

Es importante mencionar que, aunque hubo una mejora significativa con respecto a la calidad en las soldaduras gracias a la aplicación de este proyecto, es posible seguir mejorando continuamente con la aplicación periódica de las herramientas utilizadas en este proyecto. De esta manera, se pueden mantener bajo control los factores que causan los defectos en las soldaduras.

Conclusiones

El estudio logró con éxito identificar y abordar los factores principales que causan defectos en las soldaduras de tipo GTAW y SMAW. A través de la aplicación de diversas herramientas y técnicas, incluyendo la observación directa, la recolección de datos, y el uso de herramientas estadísticas como el Diagrama de Pareto y el Análisis Modal de Fallos y Efectos (A.M.F.E.), se pudo reducir significativamente la proporción de pulgadas lineales de soldadura con defectos.

Estos resultados no solo mejoraron la calidad de las soldaduras, sino que también mejoraron la imagen de la empresa y generaron un mayor nivel de confianza por parte del cliente directo. Sin embargo, el estudio concluye que hay espacio para una mejora continua. La aplicación periódica de las herramientas utilizadas en este proyecto permitirá mantener bajo control los factores que causan los defectos en las soldaduras, asegurando así la calidad y seguridad a largo plazo.

En resumen, este estudio demuestra el valor de un enfoque sistemático y basado en datos para mejorar la calidad en los procesos de soldadura. A través del análisis cuidadoso, la identificación de problemas, y la implementación de soluciones efectivas, es posible hacer mejoras significativas que benefician tanto a las empresas como a sus clientes.

Referencias bibliográficas

American Welding Society. (2015). Guide for the Visual Examination of Welds. Recuperado de https://pubs.aws.org/Download_PDFS/B1.11M-B1.11-2015-PV.pdf

Cáceres, J. L. C., & Gálvez, G. C. S. (2018). Los ensayos no destructivos (END) y su aplicación en la industria. *Revista Campus*, 23(25).

Global Journal on Quality and Safety in Healthcare. (2021). A Practical Guide to Creating a Pareto Chart as a Quality Improvement Tool. Recuperado de <https://meridian.allenpress.com/innovationsjournals-JQSH/article/4/2/83/464611/A-Practical-Guide-to-Creating-a-Pareto-Chart-as-a>

Inácio, L. C. dos R., et al. (2023). Ferramentas básicas da qualidade: folha de verificação, estratificação, fluxograma, diagrama de Ishikawa, diagrama de Pareto, matriz GUT e 5W2H. *Revista De Gestão E Secretariado*, 14(10), 17413–17427. <https://doi.org/10.7769/gesec.v14i10.2890>

Madhvacharyula, A.S., Pavan, A.V.S., Gorthi, S. et al. In situ detection of welding defects: a review. *Weld World* 66, 611–628 (2022). <https://doi.org/10.1007/s40194-021-01229-6>

Malvarez Maure, D. (2023). Implementación de análisis modal de fallos y efectos (AMFE) en la construcción / implementation of failure mode and effect analysis (FMEA) in construction. *Universidad & Ciencia*, 12(1), 118–127. Recuperado a partir de <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/2488>.

Mascia, A., Cirafici, A. M., Bongiovanni, A., Colotti, G., Lacerra, G., Di Carlo, M., Digilio, F. A., Liguori, G. L., Lanati, A., & Kisslinger, A. (2020). A failure mode and effect analysis (FMEA)-based approach for risk assessment of scientific processes in non-regulated research laboratories. *Accreditation and Quality Assurance*, 25, 311–321. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s00769-020-01441-9>

López, J. M. S. et al. (2018). Evaluación de soldadura industrial de pernos empleando análisis microestructural. *Revista NTHE*, 20, 1-7.

Lugo Mesa, J. M. (2023). Diseño e implementación de un plan de mantenimiento de instalaciones eléctricas industriales.

Mendez, P. F. (1999). Investigación en Soldadura en el MIT y Panorama de la Industria de la Soldadura en los Estados Unidos. *Tecnologías de la Soldadura y Unión de Materiales*. San Sebastián, España.

Molina-Barrios, O., et al. (2023). Aplicación de la Metodología de Ishikawa en el Proceso de Cromado en una Empresa del Sector Industrial. *Boletín De Innovación, Logística Y Operaciones*, 5(2), 62–71. <https://doi.org/10.17981/bilo.5.2.2022.06>

Morales Barón, C. C. (2023). Propuesta para la inspección y detección de defectos del proceso de soldadura de arco eléctrico para la fabricación de estructuras metálicas.

Rodríguez, I. X., Canga, L. H., & Gallegos, S. B. (2021). Método general de solución de problemas y Diagrama de Ishikawa en el análisis de los efectos de los femicidios en el entorno familiar. *Conrado*, 17(79). Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1990-86442021000200252

Ríos Ríos, P. J. (2021). Análisis de la calidad en la producción de tablas empresa Industrial Maderera San Juan sac, mediante el diagrama de Pareto, Iquitos–Perú. 2020.

Sales, M. (2021). Procedimiento para la elaboración del Diagrama de Pareto en MS Excel.

Stenberg, T., Barsoum, Z., Åstrand, E. et al. Quality control and assurance in fabrication of welded structures subjected to fatigue loading. *Weld World* 61, 1003–1015 (2017). <https://doi.org/10.1007/s40194-017-0490-5>