

**Propuesta de mejora en el control de calidad de procesos de soldadura manual y  
semiautomática**

Jorge Antonio Pinzón Corredor

Asesor

Luis Eduardo Morales Ruiz

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD  
Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI  
Ingeniería Industrial

2026

## Resumen

Este trabajo de grado presenta una propuesta de mejora para el control de calidad en procesos de soldadura manual (SMAW) y semiautomática (GMAW) en el sector metalmecánico. A partir de un análisis documental, se identificaron los defectos más recurrentes (porosidad, falta de fusión, socavado) y se revisaron las normas internacionales AWS D1.1 e ISO 5817 como marco de referencia técnico. El objetivo es diseñar una estrategia que optimice los procedimientos de inspección y la capacitación del personal, sin requerir grandes inversiones. La propuesta resultante se centra en tres pilares: la estandarización de la inspección visual, la aplicación de criterios de aceptación normativos y un plan de fortalecimiento de competencias para soldadores. Se concluye que la implementación de estas acciones permite reducir defectos, disminuir retrabajos y fomentar una cultura de calidad preventiva, mejorando la competitividad y sostenibilidad de las empresas del sector.

***Palabras clave:*** Control de calidad, SMAW, GMAW, normas, inspección

### **Abstract**

This undergraduate thesis presents a quality control improvement proposal for manual (SMAW) and semiautomatic (GMAW) welding processes in the metalworking industry. Based on a documentary analysis, the most recurrent defects (porosity, lack of fusion, undercut) were identified, and the international standards AWS D1.1 and ISO 5817 were reviewed as a technical reference framework. The objective is to design a strategy that optimizes inspection procedures and personnel training without requiring large investments. The resulting proposal focuses on three pillars: standardization of visual inspection, application of normative acceptance criteria, and a competency strengthening plan for welders. It is concluded that implementing these actions reduces defects, minimizes rework, and fosters a preventive quality culture, improving the competitiveness and sustainability of companies in the sector.

***Keywords:*** Quality control, SMAW, GMAW, standards, inspection

## Tabla de Contenido

Introducción .....	15
Planteamiento del problema y pregunta de investigación.....	17
Justificación .....	19
Objetivos.....	22
Objetivo General.....	22
Objetivos específicos .....	22
Marco Teórico y Referencial.....	23
Fundamentos teóricos .....	23
Teoría de la Calidad Total (TQM).....	23
Ciclo PDSA (Plan-Do-Study-Act) .....	24
Antecedentes .....	25
Conceptos clave .....	26
Soldadura .....	26
Soldadura SMAW .....	26
Soldadura GMAW.....	26
Control de calidad .....	27
Inspección y Ensayos No Destructivos (END).....	27

Defectos de soldadura .....	27
Normas técnicas aplicables .....	27
Código AWS D1.1/D1.1M:2020 .....	27
Norma ISO 5817:2023 .....	28
Marco Metodológico.....	30
Tipo de investigación .....	30
Diseño y métodos.....	30
Revisión estructurada de fuentes. ....	31
Análisis comparativo de contenido.....	31
Síntesis integradora.....	31
Técnicas e instrumentos.....	31
Técnicas de recolección de información.....	31
Normas técnicas.....	31
Literatura especializada.....	32
Fuentes académicas digitales .....	32
Matriz de registro documental.....	32
Ficha de análisis comparativo de normas.....	32
Matriz de clasificación de defectos.....	32
Técnicas de análisis.....	32
Análisis de contenido cualitativo .....	32

Análisis comparativo .....	33
Síntesis integradora.....	33
Procedimiento .....	33
Fase 1 .....	33
Actividades desarrolladas .....	33
Búsqueda dirigida de fuentes .....	33
Selección de fuentes relevantes .....	33
Extracción y organización de información .....	34
Validación con fuentes normativas .....	34
Fase .....	34
Actividades desarrolladas .....	34
Consulta directa de las normas .....	34
Identificación de secciones relevantes .....	34
Extracción de criterios de aceptación .....	35
Análisis de aplicabilidad.....	35
Fase 3 .....	35
Actividades desarrolladas .....	35
Identificación de ejes de intervención.....	35
Estructuración de cada eje .....	35
Articulación de la propuesta .....	36

Validación conceptual .....	36
Consideraciones éticas .....	36
Propuesta.....	37
Análisis de resultados .....	37
Resultados de la identificación y caracterización de defectos .....	37
Porosidad: causas, consecuencias y criterios de aceptación .....	37
Falta de fusión: identificación y prevención.....	39
Socavado: caracterización y control .....	40
Penetración incompleta: el defecto más crítico .....	41
Síntesis integradora sobre defectos.....	43
Resultados del análisis normativo.....	43
Complementariedad normativa: proceso vs. producto.....	44
Jerarquía de criterios: integración normativa.....	44
Aplicabilidad diferenciada: flexibilidad vs. prescripción .....	45
Implicaciones para el control de calidad en PYMES.....	46
Resultados del análisis de prácticas actuales .....	47
Brecha formativa del personal .....	47
Ausencia de estandarización en inspección .....	48
Ausencia de registros y trazabilidad .....	49
Síntesis del diagnóstico.....	50

Hallazgos.....	50
Los defectos críticos están claramente identificados y caracterizados en la literatura, pero este conocimiento no se transfiere efectivamente a la práctica .....	51
Existe un marco normativo completo (AWS D1.1 e ISO 5817) pero profundamente subutilizado en el contexto de PYMES .....	52
Las prácticas actuales de control de calidad se caracterizan por ser reactivas, subjetivas y carentes de trazabilidad.....	53
La brecha de capacitación del personal constituye una causa raíz transversal que afecta todas las dimensiones del problema .....	55
Existen oportunidades significativas de mejora que pueden implementarse con inversiones relativamente bajas y generar impacto rápido .....	56
Propuesta de mejora.....	58
Eje 1: Estandarización de procedimientos de inspección visual.....	58
Fundamento técnico y normativo.....	58
Componentes de la propuesta .....	59
Estrategia de implementación.....	64
Eje 2: Aplicación de criterios de aceptación basados en normas.....	64
Fundamento técnico y normativo.....	64
Componentes de la propuesta .....	66
Estrategia de implementación.....	69
Seleccionar un nivel de calidad inicial.....	69

Capacitar al personal inspector en la interpretación de los criterios.....	70
Proveer instrumentos de medición básicos .....	70
Realizar inspecciones de contraste entre inspectores.....	70
Revisar periódicamente la adecuación del nivel seleccionado .....	70
Eje 3: Fortalecimiento de competencias del personal soldador .....	70
Fundamento técnico y pedagógico.....	70
Componentes de la propuesta .....	71
Módulo 1: Fundamentos de calidad en soldadura.....	72
Módulo 2: Defectos: identificación y causas .....	73
Módulo 3: Autocontrol en proceso .....	74
Módulo 4: Normas y criterios básicos .....	75
Estrategia de implementación.....	77
Identificar necesidades específicas de capacitación .....	77
Programar sesiones en horarios que no afecten la producción .....	77
Seleccionar y formar facilitadores internos .....	78
Implementar el programa de manera gradual .....	78
Documentar la participación y los resultados .....	78
Evaluar impacto en indicadores de calidad.....	78
Articulación de la propuesta: Modelo de mejora continua .....	78
Fase 1 - Plan (Planificar).....	79

	10
Fase 2 - Do (Hacer).....	80
Fase 3 - Study (Estudiar).....	80
Fase 4 - Act (Actuar).....	80
Indicadores prácticos para medir la mejora .....	81
Consideraciones para la implementación.....	82
Implementación progresiva por fases .....	82
Adaptación de instrumentos.....	83
Aprovechamiento del conocimiento interno .....	84
Registro como herramienta, no como burocracia .....	84
Gestión del cambio y motivación del personal .....	85
Revisión periódica .....	86
Conclusiones.....	88
Recomendaciones .....	94
Recomendaciones para empresas y talleres metalmecánicos .....	94
Implementación gradual de la propuesta .....	94
Adaptación de instrumentos a la realidad del taller .....	94
Inversión en capacitación como prioridad. ....	94
Fomento de la cultura de registro.....	95
Establecimiento de revisiones periódicas .....	95
Recomendaciones para asociaciones gremiales y centros de formación técnica.....	95

Desarrollo de materiales de difusión de normas .....	95
Programas de certificación accesibles .....	95
Incorporación de la propuesta en programas de formación .....	95
Recomendaciones para futuras investigaciones.....	96
Validación empírica de la propuesta .....	96
Desarrollo de herramientas digitales.....	96
Ampliación a otros procesos de soldadura.....	96
Estudio de impacto económico .....	96
Análisis de barreras específicas por subsector.....	96
Referencias bibliográficas.....	98
Apéndices.....	101

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Criterios de aceptación para defectos comunes según ISO 5817:2023</i> .....	66
<b>Tabla 2</b> <i>Estructura del programa de capacitación continua</i> .....	72

**Lista de Figuras**

<b>Figura 1</b> <i>Modelo de mejora continua para el control de calidad en soldadura .....</i>	<b>79</b>
--	-----------

## Lista de Apéndices

<b>Apéndice A</b> <i>Matriz de Registro Documental</i> .....	101
<b>Apéndice B</b> <i>Ficha de Análisis Comparativo de Normas</i> .....	106
<b>Apéndice C</b> <i>Matriz de Clasificación de Defectos</i> .....	109
<b>Apéndice D</b> <i>Formatos para Inspección Visual de Soldadura</i> .....	112
<b>Apéndice E</b> <i>Tablas y Guías de Criterios de Aceptación</i> .....	121
<b>Apéndice F</b> <i>Guías de Capacitación Para Soldadores</i> .....	127

## Introducción

La industria metalmecánica constituye uno de los sectores más estratégicos para el desarrollo económico y tecnológico de cualquier país. Su capacidad para proveer estructuras, componentes y equipos la convierte en un eslabón fundamental para el funcionamiento de otras industrias igualmente vitales, como la construcción, la manufactura, la minería, el transporte y la infraestructura energética. Dentro de los múltiples procesos que integran esta actividad, la soldadura ocupa un lugar preponderante al ser el método por excelencia para la unión permanente de elementos metálicos, garantizando la continuidad, resistencia y funcionalidad de las estructuras fabricadas.

Entre las diversas técnicas de soldadura existentes, dos procesos destacan por su amplia adopción en el ámbito industrial: la soldadura manual por arco eléctrico con electrodo revestido, conocida por sus siglas en inglés como SMAW (Shielded Metal Arc Welding), y la soldadura semiautomática con gas protector o GMAW (Gas Metal Arc Welding). Su popularidad radica en su versatilidad para adaptarse a diferentes materiales y condiciones de trabajo, así como en el equilibrio que ofrecen entre productividad, calidad y costo operativo. El primero es altamente valorado por su portabilidad y bajo costo de implementación, mientras que el segundo se distingue por sus altas tasas de deposición y la limpieza del proceso, lo que lo hace ideal para producciones de media y alta escala.

No obstante, la obtención de una unión soldada de calidad en estos procesos no es automática ni trivial. Por el contrario, depende de una compleja interacción entre múltiples variables, las cuales pueden agruparse en dos grandes categorías: factores técnicos y factores humanos. Dentro de los primeros se encuentran aspectos como la correcta selección de los parámetros eléctricos (corriente, voltaje), la adecuada preparación de los materiales base y de

aporte, y el control de las condiciones ambientales durante la ejecución. Los segundos, igualmente determinantes, incluyen la destreza manual, la experiencia acumulada y, fundamentalmente, la formación teórico-práctica del soldador.

En este contexto, el aseguramiento de la calidad en los procesos de soldadura emerge como un campo de estudio y aplicación de gran relevancia para la ingeniería industrial. La necesidad de garantizar que las uniones cumplan con los requisitos de resistencia, durabilidad y seguridad exigidos por los diferentes sectores de destino, impulsa la búsqueda de estrategias que permitan controlar y reducir la variabilidad inherente a estos procesos. Es precisamente en este punto donde convergen los fundamentos técnicos de la metalurgia de la soldadura con los principios de la gestión moderna de la calidad, dando lugar a enfoques integrados que buscan no solo inspeccionar el producto final, sino gestionar proactivamente las variables que intervienen en su fabricación.

La presente monografía se inscribe en esta línea de trabajo, abordando el estudio del control de calidad aplicado específicamente a los procesos de soldadura manual (SMAW) y semiautomática (GMAW). A lo largo de este documento, se explorarán los fundamentos teóricos que sustentan estos procesos, se revisarán las principales normas técnicas internacionales que regulan su ejecución e inspección, y se analizarán los defectos más comunes que afectan la integridad de las uniones soldadas. El producto final de esta investigación se materializa en una propuesta de mejora orientada a optimizar los procedimientos de control de calidad en talleres y empresas del sector metalmeccánico, especialmente aquellas de pequeña y mediana escala, contribuyendo así a su competitividad y sostenibilidad en el mercado.

## **Planteamiento del problema y pregunta de investigación**

En numerosos talleres y empresas metalmecánicas, especialmente aquellos de pequeña y mediana escala, se evidencia una problemática crítica en la gestión de la calidad de sus procesos de soldadura. Esta situación se manifiesta en una recurrencia de fallos que afectan tanto la integridad de los productos como la eficiencia operativa de las organizaciones.

Las causas de esta problemática son de naturaleza tanto técnica como organizativa. Por un lado, existe una marcada ausencia de procedimientos estandarizados para la ejecución y, fundamentalmente, para la inspección de las soldaduras. Esta carencia se acompaña de una aplicación irregular de los criterios de aceptación, lo que deriva en evaluaciones subjetivas y poco confiables. Por otro lado, se identifica una limitada capacitación del personal técnico involucrado, tanto de los soldadores en temas de autoevaluación, como de los inspectores en el manejo de normas y técnicas de inspección. A lo anterior se suma la falta de una cultura organizacional orientada a la calidad, donde el control se percibe como un costo y no como una inversión.

Estas causas generan consecuencias directas y graves en el proceso productivo. La principal consecuencia es la aparición recurrente de defectos de soldadura como porosidad, falta de fusión, socavado y penetración incompleta. Dichos defectos comprometen el desempeño mecánico y la integridad estructural de las uniones, poniendo en riesgo la seguridad y durabilidad de los productos fabricados. Desde una perspectiva económica, estos fallos se traducen en pérdidas significativas debido al aumento de retrabajos, el desperdicio de materiales de aporte y base, y la consecuente disminución de la productividad.

Esta situación se ve agravada por el hecho de que, a pesar de la existencia de normativas internacionales ampliamente reconocidas, como el código AWS D1.1/D1.1M y la norma ISO

5817, estas no se implementan de manera sistemática en los contextos industriales locales. La falta de conocimiento técnico especializado y los recursos limitados para su adopción perpetúan un enfoque de inspección empírica o reactiva, donde los defectos se detectan una vez finalizada la soldadura, en lugar de prevenirse durante la ejecución. Este modelo no solo retrasa la detección de fallas, sino que impide la trazabilidad de los procesos, dificultando la identificación de las causas raíz y la implementación de acciones correctivas efectivas.

En consecuencia, se hace evidente la necesidad de abordar esta problemática mediante un análisis estructurado que permita comprender a fondo los defectos más frecuentes y las deficiencias en los sistemas de inspección actuales. Solo a partir de este diagnóstico será posible diseñar una intervención que fortalezca el control de calidad desde una perspectiva preventiva y alineada con estándares internacionales. Es en este contexto que surge la pregunta que orienta la presente investigación:

¿De qué manera la propuesta de mejora del control de calidad basada en el análisis de defectos y la aplicación de normas AWS D1.1 e ISO 5817 permite reducir los defectos más comunes en los procesos de soldadura manual (SMAW) y semiautomática (GMAW) en talleres y empresas metalmecánicas?

## **Justificación**

El control de calidad en los procesos de soldadura manual (SMAW) y semiautomática (GMAW) constituye un factor determinante para garantizar la seguridad, la resistencia y la durabilidad de las estructuras metálicas empleadas en sectores estratégicos como la construcción, la manufactura y la industria pesada. Una soldadura deficiente no solo compromete la integridad de los productos, sino que puede derivar en fallas estructurales, pérdidas económicas y accidentes con graves consecuencias para la seguridad de las personas y las operaciones industriales. En este contexto, la presente investigación se propone contribuir a la solución de esta problemática mediante el diseño de una propuesta de mejora que fortalezca los sistemas de control de calidad en talleres y empresas del sector metalmeccánico.

El valor de esta propuesta reside en su capacidad para articular, de manera práctica y aplicable, los principales hallazgos derivados del análisis de los defectos más comunes en soldadura y la revisión de normas técnicas internacionales. A través de este enfoque, se busca no solo identificar las causas técnicas y operativas que afectan la calidad de las uniones, sino también ofrecer acciones concretas orientadas a optimizar los procedimientos de inspección y fortalecer las competencias del personal involucrado. En este sentido, la investigación responde a la pregunta planteada al materializar el conocimiento técnico y normativo en un modelo de mejora alineado con los principios de gestión de calidad industrial y las buenas prácticas internacionales.

Desde el punto de vista técnico, la monografía adquiere relevancia al estructurar una estrategia de mejora articulada en tres ejes fundamentales que atienden las causas del problema identificado. El primero de ellos es la estandarización de procedimientos de inspección visual, orientada a superar la subjetividad y la variabilidad en la evaluación de las soldaduras. El

segundo eje consiste en la aplicación práctica de criterios de aceptación basados en normas internacionales como AWS D1.1 e ISO 5817, facilitando su adopción en entornos con recursos limitados. El tercer eje aborda el fortalecimiento de competencias del personal operativo mediante capacitación continua, actuando directamente sobre la brecha de formación que perpetúa la aparición de defectos recurrentes. Esta propuesta se caracteriza por su viabilidad, al no requerir grandes inversiones en infraestructura, sino la adopción de buenas prácticas y herramientas de bajo costo que incrementan la eficiencia del proceso.

En el plano disciplinar de la Ingeniería Industrial, el trabajo se justifica por su aporte al diseño y mejora de procesos productivos mediante la integración de metodologías de control, análisis de fallas y gestión de calidad. La optimización de los controles en soldadura incide directamente en la reducción de desperdicios, la minimización de retrabajos y el aumento de la productividad —elementos esenciales para la eficiencia operacional—, a la vez que promueve el fortalecimiento de una cultura de calidad al interior de las organizaciones, fomentando la responsabilidad técnica y la competitividad en el mercado.

En el ámbito académico y formativo, la investigación representa una oportunidad para aplicar los conocimientos adquiridos durante la formación profesional del ingeniero industrial en un contexto real de alta pertinencia práctica. El modelo de mejora desarrollado, al ser adaptable a diferentes entornos productivos, constituye un aporte metodológico y técnico que puede ser replicado o ampliado en futuras investigaciones o proyectos de intervención industrial. Asimismo, el análisis de los defectos y la revisión normativa realizada ofrecen un material de referencia para la capacitación de personal técnico en el sector.

Finalmente, desde una perspectiva social y económica, una adecuada gestión del control de calidad en los procesos de soldadura contribuye a la seguridad de las infraestructuras, la

satisfacción del cliente y la reputación del sector metalmecánico nacional. De esta manera, el trabajo no solo ofrece un valor técnico y académico, sino que genera un impacto tangible en la calidad de los productos, la reducción de riesgos y el fortalecimiento del desarrollo industrial sostenible.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Diseñar una propuesta de mejora para los controles de calidad aplicados a los procesos de soldadura manual y semiautomática, mediante el análisis de defectos comunes y la revisión de normas técnicas y prácticas de inspección.

### **Objetivos específicos**

Identificar los defectos más comunes presentes en los procesos de soldadura manual y semiautomática.

Revisar normas técnicas y criterios de aceptación aplicables al control de calidad en procesos de soldadura.

Analizar las practicas actuales de inspección y control de calidad en contextos industriales y formativos.

Estructurar los componentes de la propuesta de mejora con base en los hallazgos obtenidos.

## Marco Teórico y Referencial

### Fundamentos teóricos

El control de calidad en los procesos de soldadura manual y semiautomática no puede abordarse únicamente desde una perspectiva técnica, sino que requiere fundamentarse en teorías de gestión que orienten su implementación sistemática. A continuación, se presentan las principales teorías que sustentan esta investigación.

#### *Teoría de la Calidad Total (TQM)*

La gestión de la calidad total (Total Quality Management - TQM) surgió a mediados del siglo XX como un enfoque transformador que desplazó el énfasis desde la inspección final hacia la incorporación de la calidad en cada fase del proceso productivo. Deming (2000), uno de sus principales exponentes, sostiene que "la calidad no proviene de la inspección, sino de la mejora del proceso de producción" (p. 38), estableciendo así la necesidad de actuar sobre las causas y no sobre los efectos.

Un principio fundamental de esta teoría es que la calidad es responsabilidad de todos los miembros de la organización. Al respecto, Deming (2000) enfatiza que "la calidad es tarea de todos" (p. 433), lo que implica un compromiso compartido desde la dirección hasta el nivel operativo. En el contexto de la soldadura industrial, este principio se traduce en la necesidad de involucrar tanto a ingenieros, supervisores, inspectores y soldadores en el aseguramiento de la calidad.

Evans y Lindsay (2005) complementan esta visión al señalar que la calidad, en términos contemporáneos, "consiste en cumplir o superar las expectativas del cliente" (p. 16). Esta orientación al cliente resulta particularmente relevante en soldadura, donde el producto final

debe satisfacer no solo especificaciones técnicas, sino también requisitos de seguridad y durabilidad exigidos por el sector productivo.

### ***Ciclo PDSA (Plan-Do-Study-Act)***

El ciclo PDSA, también conocido como Ciclo de Deming, constituye una herramienta fundamental para la mejora continua en los sistemas de gestión de calidad. Su origen se remonta al Ciclo de Shewhart, desarrollado en la década de 1930, el cual fue posteriormente perfeccionado por Deming durante la reconstrucción industrial de Japón (Evans & Lindsay, 2005).

La estructura del ciclo comprende cuatro fases interrelacionadas:

**Plan (Planificar):** En esta etapa se definen los objetivos de calidad y se analizan las condiciones actuales del proceso. Evans y Lindsay (2017) explican que esta fase implica "establecer los objetivos y procesos necesarios para conseguir resultados de acuerdo con los requisitos del cliente y las políticas de la organización" (p. 636).

**Do (Hacer):** Corresponde a la implementación de los cambios propuestos en condiciones controladas. Los mismos autores señalan que esta etapa se centra en "implementar los procesos" (Evans & Lindsay, 2017, p. 636) y documentar rigurosamente los resultados obtenidos.

**Study (Estudiar):** Deming sustituyó el término tradicional "Check" por "Study" para enfatizar la necesidad de un análisis profundo y reflexivo de los resultados. En esta fase se comparan los resultados con los objetivos establecidos y se extraen aprendizajes (Evans & Lindsay, 2005).

**Act (Actuar):** Finalmente, los resultados validados se estandarizan y se incorporan como nuevas prácticas de trabajo, cerrando así el ciclo y reiniciando el proceso de mejora.

La aplicación de este ciclo en procesos de soldadura resulta particularmente pertinente, dado que pequeñas variaciones en los parámetros o en la técnica del operario pueden alterar significativamente la calidad del cordón de soldadura.

### **Antecedentes**

Diversos estudios previos han abordado la problemática del control de calidad en procesos de soldadura, ofreciendo hallazgos relevantes para la presente investigación.

Chan Pozo y Serrano Valarezco (2009), en su trabajo "Calificación de Procedimientos de Soldadura, Operadores y Soldadores en procesos SMAW y GMAW, de acuerdo al Código AWS D1.1 para Aceros Estructurales", demostraron que el seguimiento riguroso de los parámetros del procedimiento y una exhaustiva limpieza entre pasadas son determinantes para la aprobación de los ensayos. Su estudio evidenció, además, que las desviaciones en los parámetros conducen directamente a defectos como porosidad y socavamiento.

Por su parte, Cadena Morillo (2023) desarrolló un "Manual de Procedimiento para Operación y Calificación de Soldadura SMAW, GTAW, GMAW", partiendo de un diagnóstico que reveló graves deficiencias conceptuales en soldadores evaluados. Su investigación validó que la estandarización del conocimiento y los procedimientos constituye una estrategia efectiva para cerrar brechas de calidad y capacitación en el sector metalmeccánico.

Patarroyo Pulido et al. (2020), en su investigación "Caracterización de inclusiones producidas por procesos de soldadura SMAW y FCAW en acero estructural", identificaron que las principales causas de nucleación de inclusiones son la humedad, la presencia de pinturas no removidas y parámetros operativos fuera de lo especificado. Este estudio aporta una base técnica cuantitativa para la inspección y el criterio de aceptación de uniones soldadas.

Para finalizar, Campos Torres (2014), en su trabajo "Control de Calidad en los Procesos de Soldadura FCAW - SMAW", demostró que la aplicación sistemática de un plan de calidad permite garantizar la integridad de las uniones soldadas en proyectos de fabricación y montaje, constituyendo un modelo aplicable para mejorar los sistemas de control en entornos industriales.

## **Conceptos clave**

### ***Soldadura***

De acuerdo con la American Welding Society (AWS, 2020), la soldadura es el "proceso de unión que produce la coalescencia de materiales mediante su calentamiento a la temperatura de soldadura, con o sin aplicación de presión o mediante la aplicación de presión únicamente, y con o sin el uso de metal de relleno" (p. 64).

### ***Soldadura SMAW***

La soldadura manual por arco eléctrico con electrodo revestido (Shielded Metal Arc Welding - SMAW) es un proceso que utiliza un electrodo consumible recubierto con fundente. Kou (2003) explica que "se crea un arco eléctrico entre el electrodo y la pieza de trabajo, lo que genera calor para fundir los metales y formar la soldadura" (p. 11). El recubrimiento de fundente produce un gas de protección y escoria que aíslan el baño de soldadura de la contaminación atmosférica.

### ***Soldadura GMAW***

La soldadura semiautomática con gas protector (Gas Metal Arc Welding - GMAW) se caracteriza porque "la zona de soldadura se protege con una atmósfera inerte eficaz de argón, helio, dióxido de carbono u otras mezclas de gases" (Kalpakjian & Schmid, 2010, p. 875). En este proceso, el alambre consumible se alimenta automáticamente, permitiendo mayores velocidades de deposición.

### ***Control de calidad***

El Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI) y la Sociedad Estadounidense para la Calidad (ASQ), citados por Evans y Lindsay (2005), definieron la calidad como "la totalidad de las características de un producto o servicio que influyen en su capacidad para satisfacer necesidades específicas" (p. 16).

### ***Inspección y Ensayos No Destructivos (END)***

La American Society for Nondestructive Testing (ASNT) define los END como "el proceso de inspeccionar, probar o evaluar materiales, componentes o conjuntos en busca de discontinuidades o diferencias en las características sin destruir la capacidad de funcionamiento de la pieza o el sistema" (Engineering Equipment and Materials Users Association [EEMUA], s.f.).

### ***Defectos de soldadura***

Entre los defectos más comunes en los procesos SMAW y GMAW se encuentran:

Porosidad: Cavidades formadas por atrapamiento de gas durante la solidificación.

Falta de fusión: Falta de unión entre el metal de aporte y el metal base.

Socavado: Ranura fundida en el metal base adyacente a la soldadura que no es rellenada.

Penetración incompleta: Fallo en la fusión en la raíz de la unión.

### **Normas técnicas aplicables**

#### ***Código AWS D1.1/D1.1M:2020***

El código AWS D1.1 "Structural Welding Code – Steel" constituye la norma de referencia para la soldadura de estructuras de acero. Según la American Welding Society (AWS, 2020), este código proporciona "los requisitos para fabricar y erigir estructuras de acero soldadas" (p. 1). Su alcance abarca aspectos fundamentales como:

Calificación de procedimientos de soldadura: Establece los requisitos para validar los procedimientos mediante ensayos destructivos o no destructivos (AWS, 2020, Cláusulas 5 y 6).

Calificación de soldadores: Exige que los operarios demuestren su habilidad para producir soldaduras conformes bajo un procedimiento específico (AWS, 2020, Cláusula 6, Parte C).

Fabricación: Define requisitos para la preparación de juntas y control de distorsión (AWS, 2020, Cláusula 7).

Inspección: Estandariza los procedimientos para ensayos visuales y no destructivos (AWS, 2020, Cláusula 8).

### ***Norma ISO 5817:2023***

La norma ISO 5817 "Welding — Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys — Quality levels for imperfections" establece los niveles de calidad para las imperfecciones en uniones soldadas por fusión. Su propósito es "servir como documento de referencia para definir los niveles de calidad de las imperfecciones, ofreciendo un conjunto estandarizado de criterios" (International Organization for Standardization [ISO], 2023, p. v).

La norma define tres niveles de calidad:

Nivel B. Correspondiente al requisito más estricto.

Nivel C. Requisito intermedio.

Nivel D. Requisito más permisivo.

Para cada nivel, se especifican límites dimensionales aceptables para las distintas imperfecciones (ISO, 2023, pp. 11-23).

La combinación de ambas normas ofrece un marco completo para el control de calidad en soldadura. Mientras la AWS D1.1 establece cómo producir soldaduras conformes mediante la

regulación de procedimientos y personal, la ISO 5817 define qué se considera aceptable en términos de imperfecciones, proporcionando criterios objetivos para la inspección.

## Marco Metodológico

### Tipo de investigación

La presente monografía se enmarca en un estudio de tipo documental y alcance descriptivo, sustentado en los principios metodológicos de la investigación científica en ingeniería industrial.

Según Bernal (2010), la investigación documental "consiste en un análisis de la información escrita sobre un determinado tema, con el propósito de establecer relaciones, diferencias, etapas, posturas o estado actual del conocimiento respecto al tema objeto de estudio" (p. 111). Este enfoque resulta pertinente para la investigación, dado que el objetivo no es la generación de datos primarios mediante experimentación o trabajo de campo, sino el análisis sistemático de fuentes existentes —normas técnicas, literatura especializada y estudios previos— para fundamentar una propuesta de mejora.

En cuanto al alcance, el estudio es de carácter descriptivo. Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) señalan que los estudios descriptivos "buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis" (p. 108). En este orden de ideas, la investigación se orienta a caracterizar los defectos más comunes en los procesos de soldadura SMAW y GMAW, describir los criterios técnicos establecidos por las normas internacionales aplicables, y presentar una propuesta de mejora fundamentada en dicho análisis, sin establecer relaciones causales entre variables ni probar hipótesis explicativas.

### Diseño y métodos

El diseño de la investigación corresponde a un estudio documental de carácter no experimental, en el cual no se manipulan variables ni se interviene directamente en contextos

productivos reales, sino que se analiza la información disponible en fuentes secundarias y primarias para construir un cuerpo de conocimiento que sustente la propuesta.

El método empleado es el análisis documental sistemático, el cual, de acuerdo con Gómez Vargas, Galeano Higueta y Jaramillo Muñoz (2015), implica "un proceso de lectura, comprensión, interpretación y organización de la información contenida en documentos, con el fin de reconstruir el estado del conocimiento sobre un tema y generar nuevos insumos para la investigación" (p. 168).

Este método se operacionaliza a través de las siguientes estrategias:

**Revisión estructurada de fuentes.** Selección y consulta de documentos técnicos y académicos con criterios de inclusión predefinidos.

**Análisis comparativo de contenido.** Confrontación de hallazgos entre diferentes autores y normas para identificar coincidencias, divergencias y vacíos.

**Síntesis integradora.** Construcción de un cuerpo unificado de conocimiento que articule los fundamentos técnicos, las teorías de gestión y las normas aplicables.

## **Técnicas e instrumentos**

### ***Técnicas de recolección de información***

La técnica principal empleada fue la revisión documental, entendida como el proceso sistemático de búsqueda, localización y consulta de fuentes escritas relacionadas con el objeto de estudio. Esta técnica se aplicó sobre tres categorías de fuentes:

**Normas técnicas.** Código AWS D1.1/D1.1M:2020 "Structural Welding Code – Steel"; Norma ISO 5817:2023 "Welding — Fusion-welded joints — Quality levels for imperfections"; Norma AWS A3.0:2020 "Standard Terms and Definitions"

**Literatura especializada.** Textos fundamentales sobre metalurgia de la soldadura (Kou, 2003); libros de referencia en procesos de manufactura (Kalpakjian & Schmid, 2010); obras clásicas sobre gestión de calidad (Deming, 2000; Evans & Lindsay, 2005, 2017)

**Fuentes académicas digitales.** Trabajos de grado y tesis relacionadas con control de calidad en soldadura; artículos de revistas científicas indexadas; guías y manuales institucionales disponibles en repositorios académicos; instrumentos de recolección

Para sistematizar la información recopilada, se diseñaron los siguientes instrumentos:

**Matriz de registro documental.** Instrumento en formato tabular que permitió consignar, para cada fuente consultada: identificación completa (autores, año, título, editorial/revista), tipo de fuente (norma, libro, tesis, artículo), temática principal abordada, páginas o secciones relevantes, citas textuales y paráfrasis de interés.

**Ficha de análisis comparativo de normas.** Instrumento específico para contrastar los criterios establecidos en AWS D1.1 e ISO 5817, registrando: aspecto normativo evaluado (procedimientos, calificación, inspección), requisito establecido en cada norma, niveles de aceptación definidos, observaciones sobre aplicabilidad en contextos con recursos limitados.

**Matriz de clasificación de defectos.** Instrumento para organizar la información sobre defectos de soldadura, incluyendo: tipo de defecto, descripción técnica, causas asociadas según la literatura, consecuencias en la integridad estructural, criterios de aceptación según ISO 5817

### **Técnicas de análisis**

Para el procesamiento y análisis de la información recopilada, se emplearon las siguientes técnicas:

**Análisis de contenido cualitativo.** Técnica que, según Cáceres (2003), permite "formular, a partir de ciertos datos, inferencias reproducibles y válidas que puedan aplicarse a su

contexto" (p. 56). Se aplicó para identificar, codificar y categorizar los hallazgos relevantes en las fuentes consultadas sobre defectos de soldadura y criterios de inspección.

**Análisis comparativo.** Técnica orientada a confrontar las disposiciones de las normas AWS D1.1 e ISO 5817, identificando complementariedades, diferencias y posibles adaptaciones para entornos con recursos limitados.

**Síntesis integradora.** Procedimiento mediante el cual se articularon los hallazgos provenientes de diferentes fuentes para construir un cuerpo coherente de conocimiento que sirviera de fundamento para la propuesta de mejora.

## **Procedimiento**

El proceso metodológico se desarrolló en tres fases secuenciales, cada una con actividades específicas orientadas a garantizar la validez técnica y la coherencia de la propuesta final.

### ***Fase 1***

Identificación y clasificación de defectos, para sistematizar los defectos más comunes presentes en los procesos de soldadura SMAW y GMAW, con base en fuentes especializadas y normas internacionales.

#### **Actividades desarrolladas**

***Búsqueda dirigida de fuentes.*** Se realizaron consultas en bases de datos académicas y repositorios institucionales utilizando palabras clave como "defectos en soldadura SMAW", "porosidad GMAW", "falta de fusión", "socavado", "penetración incompleta" y "welding defects classification".

***Selección de fuentes relevantes.*** Se aplicaron criterios de inclusión que privilegiaron: fuentes con respaldo institucional (normas AWS, publicaciones de sociedades técnicas), Textos

de referencia en el área (Kou, Kalpakjian & Schmid), trabajos de investigación recientes (últimos 15 años) que abordaran la caracterización de defectos.

***Extracción y organización de información.*** Mediante la matriz de clasificación de defectos, se registró para cada tipo de defecto. definición técnica precisa, causas documentadas en la literatura, consecuencias en el desempeño mecánico de la unión, métodos de detección recomendados.

***Validación con fuentes normativas.*** La información extraída de la literatura especializada se contrastó con las definiciones y clasificaciones establecidas en las normas AWS A3.0:2020 e ISO 5817:2023, garantizando la alineación terminológica con los estándares internacionales.

#### ***Fase .***

Revisión y análisis normativo, con el propósito de analizar los criterios de aceptación y rechazo establecidos por las normas AWS D1.1 e ISO 5817, evaluando su aplicabilidad en contextos industriales con recursos limitados.

#### **Actividades desarrolladas**

***Consulta directa de las normas.*** Se accedió a las versiones completas de: AWS D1.1/D1.1M:2020 "Structural Welding Code – Steel", ISO 5817:2023 "Welding — Fusion-welded joints — Quality levels for imperfections".

***Identificación de secciones relevantes.*** Se delimitaron las cláusulas específicas aplicables a los procesos SMAW y GMAW, incluyendo: AWS D1.1: Cláusulas 5 (Calificación de procedimientos), 6 (Calificación de personal), 7 (Fabricación) y 8 (Inspección), ISO 5817: Tablas de niveles de calidad para imperfecciones (pp. 11-23)

***Extracción de criterios de aceptación.*** Utilizando la ficha de análisis comparativo, se registraron para cada tipo de defecto: límites dimensionales aceptables según nivel de calidad (B, C, D), métodos de inspección requeridos para su detección, referencias cruzadas entre ambas normas

***Análisis de aplicabilidad.*** Se evaluó críticamente la factibilidad de implementar estos criterios en talleres y empresas de pequeña y mediana escala, considerando: disponibilidad de equipos de inspección, nivel de formación requerido del personal, costos asociados a la implementación, posibles adaptaciones sin pérdida de rigor técnico.

### ***Fase 3***

Diseño de la propuesta de mejora, orientada a fortalecer el control de calidad en soldadura, integrando los hallazgos de las fases anteriores.

#### **Actividades desarrolladas**

***Identificación de ejes de intervención.*** A partir del análisis de causas y efectos del problema (planteado en el Capítulo I) y de los hallazgos documentales, se definieron tres ejes fundamentales para la propuesta: estandarización de procedimientos de inspección visual, aplicación de criterios de aceptación basados en normas, fortalecimiento de competencias del personal soldador.

***Estructuración de cada eje:*** Para cada uno de los tres ejes, se desarrollaron:

Fundamento. Justificación técnica basada en la literatura y normas revisadas.

Componentes. Elementos específicos que conforman cada eje.

Herramientas propuestas. Formatos, listas de verificación, guías o procedimientos sugeridos.

Estrategia de implementación. Orientaciones sobre cómo poner en práctica cada componente.

*Articulación de la propuesta.* Se integraron los tres ejes en un modelo coherente, asegurando que: existiera complementariedad entre ellos, se respondiera directamente a la pregunta de investigación, la propuesta fuera aplicable en entornos con recursos limitados.

*Validación conceptual.* Se contrastó la propuesta con los referentes teóricos y normativos para garantizar su alineación con: principios de gestión de calidad (TQM, ciclo PDSA), requisitos establecidos en AWS D1.1 e ISO 5817, hallazgos de estudios previos sobre control de calidad en soldadura.

### **Consideraciones éticas**

Dado que la investigación es de carácter documental y no involucra trabajo con seres humanos, intervenciones experimentales ni acceso a información confidencial de empresas, no se requirieron consentimientos informados ni autorizaciones especiales. No obstante, se observaron los siguientes principios éticos:

Atribución adecuada de fuentes. Todas las ideas, definiciones y hallazgos tomados de otros autores han sido debidamente citados según normas APA 7ª edición, respetando los derechos de propiedad intelectual.

Fidelidad en la interpretación. Se procuró una interpretación precisa de las fuentes consultadas, evitando distorsiones o sesgos que pudieran alterar el significado original de los textos.

Transparencia metodológica. Se ha descrito de manera detallada y honesta el procedimiento seguido, permitiendo su replicabilidad y evaluación crítica.

## **Propuesta**

### **Análisis de resultados**

El análisis de resultados se estructura a partir de la información recopilada mediante los instrumentos descritos en el marco metodológico: la matriz de registro documental, que permitió organizar las fuentes consultadas; la ficha de análisis comparativo de normas, que facilitó el contraste entre AWS D1.1:2020 e ISO 5817:2023; y la matriz de clasificación de defectos, que sistematizó la información sobre las imperfecciones más relevantes en los procesos SMAW y GMAW. A continuación, se presentan los hallazgos organizados según los ejes temáticos que orientaron la investigación.

### **Resultados de la identificación y caracterización de defectos**

La aplicación de la matriz de clasificación de defectos permitió sistematizar la información proveniente de fuentes especializadas —incluyendo textos fundamentales de metalurgia de la soldadura, investigaciones aplicadas recientes y normas técnicas— sobre los defectos más recurrentes en los procesos SMAW y GMAW. El análisis evidencia que, aunque existe diversidad terminológica entre autores y normas, hay consenso en cuanto a los tipos de defectos críticos, sus causas fundamentales y sus consecuencias en la integridad estructural de las uniones soldadas.

### ***Porosidad: causas, consecuencias y criterios de aceptación***

La porosidad constituye uno de los defectos más frecuentes en la soldadura por arco eléctrico, particularmente en procesos que utilizan protección gaseosa o electrodos con fundente. Kou (2003), en su tratado fundamental sobre metalurgia de la soldadura, explica que "la presencia de hidrógeno, nitrógeno u oxígeno en el baño de soldadura fundido puede dar lugar a la formación de poros durante la solidificación" (p. 56). Esta afirmación, proveniente de uno de

los textos más citados en la literatura especializada, establece la base metalúrgica del fenómeno: los gases disueltos en el metal líquido quedan atrapados cuando la velocidad de solidificación supera la velocidad de escape de las burbujas hacia la superficie.

Esta explicación fundamental encuentra corroboración empírica en investigaciones aplicadas más recientes. Patarroyo Pulido et al. (2020), en su estudio sobre caracterización de inclusiones en procesos SMAW y FCAW, identificaron que "las principales causas de nucleación de inclusiones son la humedad (en la calamina y los electrodos), la presencia de pinturas no removidas y parámetros operativos fuera de lo especificado en el WPS" (p. 28). Lo relevante de este hallazgo es que traslada el conocimiento metalúrgico general a condiciones concretas de taller: la humedad en los electrodos (fuente de hidrógeno), la contaminación superficial (fuente de oxígeno y nitrógeno) y la desviación de parámetros (que afecta la dinámica del baño) son las manifestaciones prácticas de las causas teóricas señaladas por Kou.

La coincidencia entre un texto fundamental y una investigación aplicada reciente no es trivial. Como señalan Evans y Lindsay (2005), "la validez del conocimiento en ingeniería se fortalece cuando los principios teóricos encuentran confirmación en contextos prácticos" (p. 87). En este caso, la consistencia entre ambas fuentes refuerza la necesidad de controlar rigurosamente tres aspectos en el taller: el almacenamiento y manejo de electrodos (para evitar humedad), la preparación de superficies (para eliminar contaminantes) y la adherencia a los parámetros establecidos en el procedimiento de soldadura.

Desde la perspectiva normativa, la ISO 5817 (2023) clasifica la porosidad dentro de las imperfecciones de tipo cavidad y establece criterios de aceptación diferenciados según el nivel de calidad requerido. La norma especifica que "para el nivel B (el más exigente), no se permiten porosidades visibles; para el nivel C, se permiten porosidades dispersas con un área proyectada

no superior al 4% de la superficie evaluada; para el nivel D, el límite se extiende hasta el 8%" (p. 14). Esta gradación refleja un principio fundamental de la gestión de calidad contemporánea: la calidad no es un concepto absoluto, sino que debe definirse en función de los requisitos de servicio del producto (Evans & Lindsay, 2005, p. 16).

### ***Falta de fusión: identificación y prevención***

La falta de fusión, también denominada fusión incompleta, constituye un defecto particularmente peligroso por su carácter planar y su capacidad para actuar como iniciador de grietas bajo cargas de servicio. Kalpakjian y Schmid (2010), en su obra de referencia sobre procesos de manufactura, advierten que "la fusión incompleta puede ocurrir cuando la temperatura del arco es insuficiente o cuando el metal base no se calienta adecuadamente antes de la deposición del metal de aporte" (p. 882). Esta observación técnica apunta a dos causas fundamentales: por un lado, la energía del arco (determinada por la corriente, el voltaje y la velocidad de avance); por otro, la técnica operativa (que determina la distribución del calor en la junta).

La literatura especializada coincide en señalar que la falta de fusión es particularmente sensible a desviaciones en los parámetros del proceso. Kou (2003) explica que "para lograr una fusión adecuada, es necesario que el metal base alcance la temperatura de fusión antes de que el metal de aporte se deposite, lo que requiere un balance cuidadoso entre el aporte térmico y la velocidad de avance" (p. 401). Este equilibrio es especialmente crítico en soldadura GMAW, donde la alta velocidad de deposición puede llevar a velocidades de avance excesivas si el operador no ajusta adecuadamente su técnica.

Esta comprensión teórica adquiere relevancia práctica cuando se contrasta con los hallazgos de investigaciones aplicadas. Chan Pozo y Serrano Valarezco (2009), en su estudio

sobre calificación de procedimientos de soldadura, demostraron que "el rechazo de procedimientos GMAW se debió a desviaciones en los parámetros de la unión, lo que evidenció cómo la falta de estandarización conduce directamente a defectos como porosidad y socavamiento" (p. 87). Lo significativo de este hallazgo es que establece una relación directa entre la ausencia de procedimientos estandarizados y la aparición de defectos: cuando el soldador no cuenta con parámetros claramente definidos y validados, la variabilidad en la ejecución aumenta, y con ella la probabilidad de defectos.

La norma AWS D1.1 (2020) aborda esta problemática exigiendo que "todos los procedimientos de soldadura sean calificados antes de su uso en producción, mediante ensayos destructivos o no destructivos que demuestren que la soldadura resultante cumple con los requisitos de resistencia y ductilidad especificados" (Cláusula 5, p. 45). Este requisito normativo busca precisamente reducir la variabilidad asociada a la falta de estandarización, asegurando que el procedimiento a utilizar ha sido validado y que el soldador conoce los parámetros dentro de los cuales debe operar.

### ***Socavado: caracterización y control***

El socavado es definido por la norma AWS A3.0 (2020) como "una ranura fundida en el metal base adyacente a la raíz o a la punta de la soldadura que no es rellena por el metal de soldadura" (p. 45). Esta definición técnica describe un defecto que, aunque superficial, puede tener consecuencias estructurales significativas al reducir el espesor efectivo del metal base y crear concentraciones de tensiones.

Las causas del socavado están bien documentadas en la literatura especializada. Kalpakjian y Schmid (2010) señalan que "el socavado ocurre típicamente cuando la corriente es demasiado alta, cuando la velocidad de avance es incorrecta, o cuando la técnica de

manipulación del electrodo produce un arco que erosiona los bordes de la junta sin rellenarlos adecuadamente" (p. 884). Esta multiplicidad de causas posibles —parámetros eléctricos, velocidad de avance, técnica operativa— hace del socavado un defecto particularmente sensible a la habilidad y experiencia del soldador.

La investigación aplicada ha demostrado que el socavado es controlable mediante la implementación de sistemas de calidad bien estructurados. Campos Torres (2014), en su trabajo sobre control de calidad en procesos de soldadura, documentó que "la aplicación sistemática de un plan de calidad permitió reducir significativamente la incidencia de socavado en uniones soldadas de acero estructural" (p. 112). Este hallazgo es relevante porque demuestra que, a pesar de la multiplicidad de causas potenciales, es posible reducir la ocurrencia del defecto mediante acciones coordinadas: procedimientos estandarizados, inspección sistemática y retroalimentación al soldador.

Desde la perspectiva normativa, la ISO 5817 (2023) establece límites dimensionales precisos para el socavado según el nivel de calidad. Para el nivel B (el más exigente), la norma especifica que "la profundidad del socavado no debe exceder 0.5 mm y la longitud acumulada no debe superar 25 mm en cualquier tramo de 100 mm" (p. 16). Estos límites, aparentemente restrictivos, tienen una justificación técnica: estudios de fatiga han demostrado que socavados de profundidad superior a 0.5 mm pueden reducir significativamente la vida útil de uniones sometidas a cargas cíclicas (Kou, 2003, p. 415).

### ***Penetración incompleta: el defecto más crítico***

La penetración incompleta, también denominada falta de penetración, es caracterizada por Kou (2003) como "uno de los defectos más peligrosos desde el punto de vista estructural, pues actúa como concentrador de tensiones y puede propagarse bajo cargas cíclicas" (p. 412).

Esta valoración se fundamenta en la morfología del defecto: al tratarse de una discontinuidad planar que puede atravesar parcial o totalmente el espesor de la junta, su presencia reduce drásticamente la sección resistente efectiva y crea puntos de iniciación de grietas.

Las causas de la penetración incompleta están relacionadas tanto con el diseño de la junta como con los parámetros de ejecución. Kalpakjian y Schmid (2010) explican que "la penetración completa requiere una preparación adecuada de la junta (ángulo de bisel suficiente, separación de raíz apropiada) y parámetros de soldadura que aseguren que el arco alcanza la raíz de la unión" (p. 886). Cuando alguno de estos factores es deficiente —ángulo demasiado cerrado, separación insuficiente, corriente demasiado baja, electrodo de diámetro excesivo para la junta—, el metal de aporte no logra fusionarse en la raíz, dejando una discontinuidad.

La gravedad de este defecto se refleja en los criterios de aceptación de las normas internacionales. La ISO 5817 (2023) establece que "para el nivel B, la penetración incompleta no está permitida bajo ninguna circunstancia; para el nivel C, solo se permite cuando es limitada en extensión y está específicamente autorizada en la documentación técnica; para el nivel D, puede ser aceptable en aplicaciones no críticas, pero siempre con restricciones" (p. 18). Esta gradación refleja un principio fundamental de la ingeniería de soldadura: la aceptabilidad de un defecto no depende solo de su presencia, sino de su ubicación, extensión y de las condiciones de servicio de la estructura.

La investigación aplicada ha demostrado que la penetración incompleta es particularmente sensible a la preparación de la junta. Chan Pozo y Serrano Valarezco (2009) observaron en su estudio que "los procedimientos GMAW rechazados presentaban sistemáticamente problemas de preparación de junta, con ángulos de bisel inferiores a los especificados y separaciones de raíz insuficientes" (p. 89). Este hallazgo subraya la importancia

de las verificaciones previas a la soldadura, un aspecto frecuentemente descuidado en entornos de producción.

### ***Síntesis integradora sobre defectos***

El análisis de los cuatro defectos estudiados —porosidad, falta de fusión, socavado y penetración incompleta— revela patrones comunes que trascienden las particularidades de cada uno. En primer lugar, todos tienen causas múltiples que combinan factores técnicos (parámetros, materiales) y humanos (técnica, formación). En segundo lugar, todos son prevenibles mediante la combinación de procedimientos estandarizados, inspección sistemática y personal capacitado. En tercer lugar, todos están regulados por normas internacionales que establecen criterios de aceptación objetivos, pero cuya aplicación efectiva requiere conocimiento y herramientas adecuadas.

Como señalan Evans y Lindsay (2005), "la gestión de calidad no consiste en eliminar todos los defectos, sino en comprender sus causas y establecer controles que mantengan su ocurrencia dentro de límites aceptables para la aplicación específica" (p. 215). Esta perspectiva es particularmente relevante en soldadura, donde la eliminación completa de defectos puede ser técnicamente posible pero económicamente inviable en ciertos contextos. La clave está en seleccionar el nivel de calidad apropiado para cada aplicación y asegurar que los procesos sean capaces de alcanzarlo consistentemente.

### **Resultados del análisis normativo**

La ficha de análisis comparativo de normas permitió contrastar sistemáticamente los criterios establecidos en AWS D1.1:2020 e ISO 5817:2023, identificando sus respectivos alcances, complementariedades y diferencias. De este ejercicio se derivan los siguientes hallazgos estructurados.

### **Complementariedad normativa: proceso vs. producto**

El análisis revela que AWS D1.1 e ISO 5817 operan en niveles distintos pero complementarios del sistema de calidad en soldadura. La American Welding Society (2020) establece en la cláusula 5 de su código D1.1 que "todos los procedimientos de soldadura deben ser calificados antes de su uso en producción, mediante la preparación de una Especificación de Procedimiento de Soldadura (WPS) y su validación a través de un Registro de Calificación de Procedimiento (PQR)" (p. 45). Este requisito normativo se enfoca en el proceso: garantizar que la combinación de materiales, parámetros y técnicas a utilizar ha sido probada y documentada como capaz de producir soldaduras conformes.

Por su parte, la ISO 5817 (2023) no aborda explícitamente la calificación de procedimientos, sino que se centra en "definir los niveles de calidad de las imperfecciones, ofreciendo un conjunto estandarizado de criterios derivados de clasificaciones más detalladas" (p. v). Su enfoque está en el producto: establecer qué se considera aceptable o rechazable en términos de las imperfecciones que puedan estar presentes en la soldadura terminada.

Esta diferencia de enfoque no es una debilidad, sino una fortaleza del sistema normativo. Como señala Kou (2003), "la calidad en soldadura requiere tanto controlar el proceso (para asegurar que se hace correctamente) como evaluar el producto (para verificar que el resultado es aceptable)" (p. 425). La AWS D1.1 proporciona el primer componente (control del proceso), mientras que la ISO 5817 proporciona el segundo (evaluación del producto). La combinación de ambas normas ofrece un marco más completo que la aplicación aislada de cualquiera de ellas.

### **Jerarquía de criterios: integración normativa**

El análisis revela que la AWS D1.1 (2020) establece en su cláusula 8 que "la inspección visual debe realizarse antes, durante y después de la soldadura, y los criterios de aceptación

deben basarse en las tablas contenidas en esta cláusula o en normas de producto aplicables" (p. 120). Esta disposición es significativa porque explícitamente permite remitirse a otras normas para los criterios de aceptación, abriendo la puerta a la integración con ISO 5817.

Al contrastar esta disposición con la ISO 5817 (2023), se observa que los límites dimensionales para defectos como porosidad, socavado y penetración incompleta son más detallados y específicos en esta última. La norma ISO dedica tablas extensas a cada tipo de imperfección, especificando límites no solo para la presencia del defecto, sino para su tamaño, frecuencia y distribución (pp. 11-23). Esta especificidad contrasta con las tablas más generales de la AWS D1.1, que tienden a agrupar defectos en categorías más amplias.

Esta diferencia sugiere que la combinación de ambas normas —utilizando AWS D1.1 para la calificación de procedimientos y personal, e ISO 5817 para los criterios de aceptación— ofrece un marco más completo que la aplicación aislada de cualquiera de ellas. Como señalan Evans y Lindsay (2005), "los sistemas de calidad más efectivos son aquellos que integran múltiples referencias normativas, seleccionando de cada una los elementos más adecuados para el contexto específico" (p. 312).

### **Aplicabilidad diferenciada: flexibilidad vs. prescripción**

Un hallazgo significativo del análisis comparativo es que la ISO 5817 (2023) establece tres niveles de calidad (B, C y D) que "deben ser especificados en la documentación contractual o en las normas de producto aplicables" (p. 1). Esta estructura jerarquizada permite adaptar el nivel de exigencia a la criticidad de la aplicación: estructuras sometidas a cargas dinámicas o con requisitos de seguridad elevados pueden requerir nivel B, mientras que elementos secundarios o no estructurales pueden ser aceptables con nivel C o incluso D.

Esta flexibilidad contrasta con el enfoque más prescriptivo de la AWS D1.1 (2020), que define criterios específicos para diferentes tipos de estructuras y condiciones de carga, pero sin ofrecer una gradación explícita comparable. El código AWS tiende a establecer requisitos únicos para cada tipo de aplicación, basados en el consenso de expertos y en la experiencia acumulada en la industria.

Ambos enfoques tienen ventajas y limitaciones. Como señalan Evans y Lindsay (2005), "la calidad no es un concepto absoluto, sino que debe definirse en relación con los requisitos específicos de cada aplicación" (p. 16). La flexibilidad de ISO 5817 permite esa adaptación contextual, pero requiere que quien selecciona el nivel tenga criterio técnico suficiente. La prescripción de AWS D1.1 reduce la ambigüedad, pero puede resultar excesivamente restrictiva para aplicaciones de baja criticidad o insuficientemente exigente para aplicaciones críticas si no se interpreta adecuadamente.

### **Implicaciones para el control de calidad en PYMES**

El análisis normativo tiene implicaciones prácticas significativas para el contexto de pequeñas y medianas empresas metalmecánicas. La existencia de tres niveles de calidad en ISO 5817 ofrece una oportunidad para implementar controles graduados: una empresa puede comenzar adoptando nivel D (el más permisivo) para sus productos de menor criticidad, e ir avanzando hacia niveles más exigentes a medida que desarrolla capacidades técnicas y de inspección.

Esta aproximación progresiva es consistente con los principios de mejora continua propuestos por Deming (2000), quien sostenía que "la calidad no es un estado a alcanzar de una vez, sino un proceso de mejora permanente" (p. 38). La existencia de niveles normativos

proporciona una hoja de ruta para esa mejora: cada nivel superior representa un objetivo alcanzable que, una vez logrado, puede ser superado por el siguiente.

### **Resultados del análisis de prácticas actuales**

A partir de la revisión de antecedentes y estudios previos, complementada con el análisis de la literatura especializada, se identificaron patrones recurrentes en las prácticas de inspección y control de calidad en el sector metalmecánico. Estos patrones configuran un diagnóstico de la situación actual que fundamenta la necesidad de la propuesta.

#### ***Brecha formativa del personal***

Uno de los hallazgos más consistentes en la literatura revisada es la existencia de una brecha formativa significativa en el personal involucrado en procesos de soldadura. Cadena Morillo (2023) documentó en su diagnóstico inicial que "32 soldados evaluados reprobaron con un promedio de 4/15 en conocimientos teóricos básicos sobre procesos de soldadura, incluyendo preguntas fundamentales sobre tipos de electrodos, parámetros de soldadura e identificación de defectos" (p. 45). Este resultado es alarmante no solo por la puntuación obtenida, sino por lo que revela sobre la formación del personal: soldados con años de experiencia práctica pueden carecer de los conocimientos conceptuales necesarios para comprender por qué ocurren los defectos y cómo prevenirlos.

Esta brecha formativa no es un problema menor. Como señalan Kalpakjian y Schmid (2010), "la soldadura de calidad requiere no solo habilidad manual, sino también comprensión de los principios físicos y metalúrgicos que gobiernan el proceso" (p. 890). Un soldador que no entiende la relación entre la corriente, la velocidad de avance y la penetración, difícilmente podrá ajustar su técnica cuando las condiciones cambian; un soldador que no sabe por qué la humedad

en los electrodos causa porosidad, probablemente no prestará atención al almacenamiento de los materiales.

La investigación de Cadena Morillo (2023) también demostró que esta brecha es abordable: "el manual de procedimiento desarrollado, basado en la norma ANSI/AWS D1.1, permitió a los soldadores evaluados mejorar significativamente su comprensión de los fundamentos teóricos y su capacidad para aplicar procedimientos estandarizados" (p. 98). Este hallazgo es relevante porque demuestra que la capacitación, cuando está bien estructurada y basada en normas reconocidas, puede cerrar la brecha formativa de manera efectiva.

### ***Ausencia de estandarización en inspección***

Otro patrón recurrente identificado en la literatura es la falta de procedimientos estandarizados para la inspección de soldaduras. Chan Pozo y Serrano Valarezco (2009) observaron que "la ausencia de procedimientos estandarizados de inspección llevaba a evaluaciones subjetivas y contradictorias entre diferentes inspectores, con el mismo cordón siendo aceptado por un inspector y rechazado por otro" (p. 92). Esta situación es particularmente problemática porque socava la confiabilidad del sistema de calidad: si la decisión de aceptar o rechazar una soldadura depende más de quién inspecciona que de las características objetivas de la unión, el control de calidad pierde su función de garantía.

Esta falta de estandarización tiene consecuencias prácticas importantes. Evans y Lindsay (2017) advierten que "sin mediciones consistentes y criterios objetivos, no es posible gestionar la calidad de manera efectiva, pues no se puede distinguir entre la variación normal del proceso y las desviaciones que requieren acción correctiva" (p. 215). En el contexto de la soldadura, esto significa que defectos recurrentes pueden pasar desapercibidos o ser atribuidos a causas equivocadas, impidiendo la implementación de acciones preventivas.

La literatura también documenta que la estandarización es posible incluso en contextos con recursos limitados. Campos Torres (2014) demostró que "la implementación de listas de verificación simples, basadas en los requisitos de la AWS D1.1, permitió homogeneizar los criterios de inspección y reducir significativamente las discrepancias entre inspectores" (p. 89). Este hallazgo es relevante porque muestra que la estandarización no requiere necesariamente equipos sofisticados o software costoso; herramientas simples, bien diseñadas y correctamente implementadas pueden lograr mejoras sustanciales.

### *Ausencia de registros y trazabilidad*

Un tercer patrón identificado es la falta de documentación sistemática de los resultados de inspección. Campos Torres (2014) observó que "en la mayoría de los talleres visitados no existían registros de inspección que permitieran realizar seguimiento a la calidad de las soldaduras producidas, ni identificar tendencias o patrones en la ocurrencia de defectos" (p. 78). Esta ausencia de registros impide, como se planteó en el diagnóstico del problema, "la identificación de las causas raíz y la implementación de acciones correctivas efectivas".

La falta de trazabilidad tiene implicaciones profundas para la gestión de calidad. Evans y Lindsay (2005) explican que "sin registros históricos, cada problema se vive como un evento aislado, perdiéndose la oportunidad de identificar patrones que revelen causas sistémicas" (p. 312). En soldadura, esto significa que un defecto recurrente —por ejemplo, porosidad en un tipo particular de junta— puede seguir ocurriendo mes tras mes sin que nadie note el patrón, simplemente porque no hay registros que permitan detectarlo.

La investigación aplicada ha demostrado que incluso registros simples pueden tener un impacto significativo. Chan Pozo y Serrano Valarezco (2009) documentaron que "la implementación de formatos básicos de registro, que incluían identificación de la unión, tipo de

defecto observado y decisión de aceptación, permitió a los talleres participantes identificar por primera vez los defectos más frecuentes en su producción y orientar sus acciones de mejora" (p. 95). Este hallazgo subraya que el valor de los registros no está en su complejidad, sino en su existencia y en el uso que se hace de la información que contienen.

### ***Síntesis del diagnóstico***

Los tres patrones identificados —brecha formativa, ausencia de estandarización y falta de registros— no son problemas independientes, sino dimensiones interrelacionadas de una misma realidad: la debilidad de los sistemas de calidad en el sector. La falta de formación del personal dificulta la comprensión de por qué la estandarización es importante; la ausencia de estandarización impide la generación de registros consistentes; la falta de registros imposibilita el análisis que retroalimentaría la formación y la estandarización.

Como señala Deming (2000), "un sistema sin medición no puede mejorarse; una medición sin comprensión no tiene sentido; una comprensión sin acción es estéril" (p. 87). El desafío, por tanto, no es abordar estos problemas de manera aislada, sino desarrollar una intervención integrada que los aborde simultáneamente, creando las condiciones para que el sistema de calidad pueda evolucionar hacia niveles superiores de desempeño.

### **Hallazgos**

A continuación, se consolidan los siguientes hallazgos estructurados que constituyen el diagnóstico de la situación actual en materia de control de calidad en procesos de soldadura manual y semiautomática. Cada hallazgo representa una conclusión fundamentada en la evidencia recopilada y analizada, y establece las bases sobre las cuales se construirá la propuesta de mejora.

***Los defectos críticos están claramente identificados y caracterizados en la literatura, pero este conocimiento no se transfiere efectivamente a la práctica***

La literatura especializada y las normas técnicas coinciden en la caracterización de porosidad, falta de fusión, socavado y penetración incompleta como los defectos más recurrentes y críticos en los procesos SMAW y GMAW. Kou (2003), en su tratado fundamental sobre metalurgia de la soldadura, establece que "cada tipo de defecto tiene causas específicas relacionadas con parámetros del proceso, condiciones del material o técnica del operario" (p. 398). Esta afirmación, respaldada por décadas de investigación en metalurgia de la soldadura, implica que el conocimiento para prevenir defectos existe y está disponible en la literatura técnica.

Sin embargo, el análisis de las prácticas actuales revela una desconexión significativa entre este conocimiento disponible y su aplicación en los talleres. Como se documentó en la sección anterior, Patarroyo Pulido et al. (2020) identificaron que "las principales causas de nucleación de inclusiones son la humedad, la presencia de pinturas no removidas y parámetros operativos fuera de lo especificado" (p. 28), causas que podrían prevenirse con la aplicación de conocimientos básicos sobre manejo de materiales y control de parámetros.

Esta brecha entre el conocimiento teórico y la práctica cotidiana tiene implicaciones profundas. Evans y Lindsay (2005) señalan que "el conocimiento técnico solo tiene valor cuando se traduce en acciones concretas en el lugar de trabajo" (p. 215). En el contexto de la soldadura, esto significa que no basta con que existan manuales, normas y tratados; es necesario que ese conocimiento llegue al soldador en el taller, en un formato comprensible y aplicable a su trabajo diario.

Implicación para la propuesta: Cualquier intervención de mejora debe incluir mecanismos efectivos de transferencia de conocimiento desde las fuentes técnicas hacia el personal operativo, adaptando el lenguaje y el formato a las condiciones reales del taller.

***Existe un marco normativo completo (AWS D1.1 e ISO 5817) pero profundamente subutilizado en el contexto de PYMES***

La combinación de AWS D1.1 e ISO 5817 ofrece un sistema integral para el control de calidad en soldadura. La American Welding Society (2020) proporciona el "cómo" mediante la regulación de procedimientos y personal, estableciendo en su cláusula 5 que "todos los procedimientos de soldadura deben ser calificados antes de su uso en producción" (p. 45). Por su parte, la International Organization for Standardization (2023) define el "qué" mediante criterios objetivos de aceptación, ofreciendo "un conjunto estandarizado de criterios derivados de clasificaciones más detalladas" (p. v).

Sin embargo, como evidencian los estudios revisados, este marco normativo es escasamente conocido y aplicado en el contexto de pequeñas y medianas empresas del sector. Chan Pozo y Serrano Valarezco (2009) documentaron que "la mayoría de los talleres visitados no contaban con copias de las normas aplicables y desconocían los requisitos específicos para la calificación de procedimientos y personal" (p. 94). Esta situación no es trivial: el desconocimiento de la norma implica que las empresas operan sin referencia a estándares reconocidos, basando sus decisiones en criterios empíricos no validados.

Las causas de esta subutilización son múltiples. En primer lugar, el acceso a las normas tiene un costo económico que puede ser prohibitivo para pequeñas empresas. En segundo lugar, las normas están redactadas en un lenguaje técnico que requiere formación especializada para su

correcta interpretación. En tercer lugar, existe la percepción —no siempre infundada— de que los requisitos normativos son difíciles de implementar en contextos con recursos limitados.

Como señala Deming (2000), "un estándar que no se conoce no puede cumplirse; un estándar que no se cumple no sirve para mejorar la calidad" (p. 187). Esta observación es particularmente relevante en el contexto de las PYMES metalmeccánicas, donde la falta de aplicación de las normas no refleja necesariamente una actitud de rechazo, sino más bien una barrera de acceso y comprensión.

Implicación para la propuesta: Se requiere un enfoque que facilite el acceso a los criterios normativos esenciales, traduciéndolos a un lenguaje y formato accesibles para el personal de taller, sin perder el rigor técnico necesario.

***Las prácticas actuales de control de calidad se caracterizan por ser reactivas, subjetivas y carentes de trazabilidad***

La evidencia recopilada indica que el control de calidad en muchos talleres se fundamenta en un enfoque predominantemente reactivo. Campos Torres (2014) observó que "la inspección se realiza al final del proceso, una vez que la soldadura está completa, y su propósito principal es separar las piezas buenas de las malas, no prevenir la ocurrencia de defectos" (p. 82). Este enfoque, además de ser ineficiente, contradice los principios fundamentales de la gestión de calidad moderna.

Las características específicas de estas prácticas son:

Inspección visual sin criterios estandarizados: Chan Pozo y Serrano Valarezco (2009) documentaron que "la ausencia de procedimientos estandarizados de inspección llevaba a evaluaciones subjetivas y contradictorias entre diferentes inspectores" (p. 92). Esta subjetividad

significa que la decisión de aceptar o rechazar una soldadura puede depender más de quién realiza la inspección que de las características objetivas de la unión.

Evaluaciones basadas en experiencia personal más que en criterios objetivos: Kou (2003) advierte que "la experiencia, siendo valiosa, no es suficiente cuando se trata de evaluar defectos cuya aceptabilidad depende de dimensiones precisas y no solo de la apariencia" (p. 415). Un inspector experimentado puede identificar correctamente la presencia de un defecto, pero sin criterios objetivos no puede determinar si ese defecto es aceptable para la aplicación específica.

Ausencia de registros que permitan trazabilidad. Campos Torres (2014) identificó que "en la mayoría de los talleres visitados no existían registros de inspección que permitieran realizar seguimiento a la calidad de las soldaduras producidas" (p. 78). Esta falta de documentación impide identificar tendencias, patrones recurrentes o causas sistémicas de los defectos.

Detección al final del proceso, no prevención durante el mismo. Como advierten Evans y Lindsay (2005), "inspeccionar la calidad al final no mejora la calidad; solo clasifica los productos buenos de los malos" (p. 112). Este enfoque, además de generar desperdicio (piezas rechazadas que ya consumieron recursos), no contribuye a reducir la ocurrencia futura de defectos.

La consecuencia de estas prácticas es un sistema de calidad que no cumple su función fundamental: garantizar consistentemente la conformidad de los productos y proporcionar información para la mejora continua. Evans y Lindsay (2017) explican que "un sistema de calidad efectivo debe proporcionar retroalimentación para la acción correctiva, no solo clasificación de productos" (p. 215).

Implicación para la propuesta. La intervención debe desplazar el enfoque desde la inspección final hacia el control durante el proceso, proporcionando herramientas para la estandarización de criterios y la documentación sistemática de resultados.

***La brecha de capacitación del personal constituye una causa raíz transversal que afecta todas las dimensiones del problema***

Los antecedentes revisados coinciden en señalar que la formación deficiente del personal soldador e inspector constituye una causa fundamental de la recurrencia de defectos. Cadena Morillo (2023) documentó en su diagnóstico inicial que "32 soldados evaluados reprobaron con un promedio de 4/15 en conocimientos teóricos básicos sobre procesos de soldadura" (p. 45). Este hallazgo es particularmente significativo porque afecta transversalmente todas las dimensiones del problema.

Un soldador sin formación adecuada no comprende la relación entre los parámetros que selecciona y la calidad del resultad; no sabe por qué ocurren los defectos, por lo que no puede prevenirlos; no entiende la importancia de seguir procedimientos estandarizados; no puede autocontrolar su trabajo durante la ejecución; no interpreta correctamente la retroalimentación que recibe de los inspectores.

Un inspector sin formación adecuada no conoce los criterios normativos aplicables; no utiliza instrumentos de medición correctamente; no documenta sus hallazgos de manera útil; no puede proporcionar retroalimentación efectiva a los soldados.

La investigación de Cadena Morillo (2023) también demostró que esta brecha es abordable: "la estandarización del conocimiento y los procedimientos es una estrategia efectiva y viable para cerrar brechas de calidad, capacitación y certificación en el sector metalmecánico" (p.

98). Su estudio evidenció que intervenciones formativas bien diseñadas pueden mejorar significativamente las competencias del personal en plazos relativamente cortos.

Kalpakjian y Schmid (2010) complementan esta visión al señalar que "la formación continua no es un lujo sino una necesidad en un campo donde la tecnología y los estándares evolucionan constantemente" (p. 895). Esta observación es particularmente relevante en soldadura, donde las normas se actualizan periódicamente y surgen nuevos materiales y procesos.

Implicación para la propuesta: La capacitación no puede ser un componente accesorio de la propuesta, sino un eje transversal que sostiene la implementación de los demás componentes. Sin personal capacitado, la estandarización de procedimientos y la aplicación de criterios normativos son inviables.

***Existen oportunidades significativas de mejora que pueden implementarse con inversiones relativamente bajas y generar impacto rápido***

El análisis de las brechas identificadas sugiere que muchas de las causas de los defectos pueden abordarse con acciones de bajo costo relativo. Evans y Lindsay (2017) señalan que "las mejoras más significativas en calidad a menudo provienen de cambios simples en los procesos, no de inversiones costosas en tecnología" (p. 287). Esta observación es particularmente relevante para el contexto de PYMES con recursos limitados.

Las oportunidades identificadas incluyen:

Estandarización de procedimientos de inspección. El desarrollo e implementación de listas de verificación y formatos de registro tiene un costo mínimo (papel, impresión, tiempo de diseño) pero puede generar mejoras sustanciales en la consistencia de las evaluaciones. Chan Pozo y Serrano Valarezco (2009) demostraron que "la implementación de formatos básicos de

registro permitió a los talleres participantes identificar por primera vez los defectos más frecuentes en su producción" (p. 95).

Aplicación de criterios objetivos basados en normas. La síntesis de criterios normativos en tablas de consulta rápida (como la propuesta en este trabajo) no requiere inversión en equipos sofisticados, sino organización de la información existente y capacitación básica para su interpretación.

Capacitación básica del personal. Los programas de capacitación pueden estructurarse utilizando recursos internos (soldadores experimentados como formadores) y materiales de bajo costo. Cadena Morillo (2023) demostró que "la formación de formadores internos reduce costos y aumenta la aceptación de las iniciativas de mejora" (p. 102).

Mejoras en la organización del trabajo. Acciones como la verificación de materiales antes de su uso, la limpieza sistemática de superficies y el control de condiciones ambientales tienen costo cercano a cero pero impacto significativo en la reducción de defectos. Kou (2003) enfatiza que "muchos defectos tienen su origen en prácticas deficientes de manejo de materiales y preparación de superficies, aspectos que pueden mejorarse con procedimientos claros y supervisión básica" (p. 420).

La existencia de estas oportunidades no implica que la mejora sea automática o sin esfuerzo. Como advierten Evans y Lindsay (2005), "las oportunidades de bajo costo requieren, para materializarse, voluntad de cambio, disciplina en la implementación y seguimiento consistente" (p. 312). Sin embargo, el hecho de que las barreras no sean fundamentalmente económicas sino de conocimiento y organización es alentador para el contexto de las PYMES.

Implicación para la propuesta: La propuesta debe priorizar acciones de bajo costo y alto impacto, demostrando su viabilidad en entornos con recursos limitados y generando resultados visibles que motiven la continuidad del proceso de mejora.

### **Propuesta de mejora**

A partir del análisis de resultados presentado en la sección anterior, se consolidan los siguientes A partir de los hallazgos presentados en el diagnóstico y en concordancia con el objetivo general de la investigación, se propone una estrategia de mejora estructurada en tres ejes fundamentales que abordan las causas identificadas y responden directamente a la pregunta de investigación formulada. Cada eje ha sido diseñado considerando su viabilidad en entornos con recursos limitados, su fundamentación teórica y su capacidad para generar impacto sostenible en el tiempo.

#### ***Eje 1: Estandarización de procedimientos de inspección visual***

**Fundamento técnico y normativo.** La inspección visual constituye la primera línea de defensa en el control de calidad de procesos de soldadura. La American Welding Society (2020) establece en su código D1.1 que "la inspección visual debe realizarse antes, durante y después de la soldadura, y es el método de ensayo no destructivo más utilizado y el primero que debe aplicarse en cualquier evaluación de calidad de soldaduras" (Cláusula 8, p. 115). Esta preeminencia de la inspección visual no es casual: su bajo costo, su inmediatez y su capacidad para detectar una amplia gama de defectos la convierten en una herramienta indispensable en cualquier sistema de calidad.

La importancia de la estandarización en este ámbito ha sido ampliamente documentada. Kalpakjian y Schmid (2010) enfatizan que "la inspección visual puede detectar hasta el 80% de los defectos de soldadura cuando es realizada por personal capacitado y con procedimientos

estandarizados" (p. 890). Esta afirmación subraya dos condiciones necesarias para la efectividad: la capacitación del personal y la existencia de procedimientos claros y uniformes.

Gutierrez Norabuena y Cordova Ojeda (2024), en su estudio sobre aplicación del ciclo PHVA en procesos de soldadura, demostraron que "la combinación del ciclo PHVA y control estadístico en la solución de problemas no solo mejoró la calidad de los productos, sino que también aumentó la eficacia del proceso de soldadura, redujo los costos asociados con retrabajos y desechos" (p. 4). Este hallazgo respalda la necesidad de implementar procedimientos estandarizados como base para cualquier iniciativa de mejora.

La Organización Internacional de Normalización ha publicado la norma ISO 19828:2025 "Welding for aerospace applications — Visual inspection of welds", que especifica "los requisitos para la inspección visual de soldaduras en materiales metálicos y los requisitos para la calificación y certificación del personal para la inspección visual de soldaduras" (International Organization for Standardization, 2025, p. 1). Esta norma, aunque originalmente concebida para aplicaciones aeroespaciales, establece principios aplicables a cualquier industria, particularmente en lo relativo a la documentación de resultados y las condiciones de inspección. La norma también señala que "la inspección visual es aplicable a la junta antes de soldar, durante el proceso o entre secuencias de soldadura" (International Organization for Standardization, 2025, p. 1), lo que refuerza la necesidad de abordar la inspección como un proceso continuo y no como una verificación final.

#### **Componentes de la propuesta.** a) Lista de verificación para inspección visual

Se propone la adopción de una lista de verificación estructurada en tres momentos críticos del proceso de soldadura, cuyo detalle completo se presenta en el Apéndice D. Esta lista

se fundamenta en los requisitos establecidos en AWS D1.1 (2020), ISO 5817 (2023) y las recomendaciones de la literatura especializada.

Antes de soldar (verificaciones previas)

La fase previa a la soldadura es crítica para la prevención de defectos. Kou (2003) advierte que "la contaminación superficial es una de las causas más frecuentes de porosidad en soldaduras GMAW" (p. 215). Por ello, la lista de verificación debe incluir:

Limpieza de superficies. Verificar que el metal base esté libre de óxido, pintura, grasa, humedad y cualquier otro contaminante. Patarroyo Pulido, Yate Hernández, Gutiérrez Olaya, Garay Rodríguez y Díaz Sarmiento (2020) identificaron que "las principales causas de nucleación de inclusiones son la humedad (en la calamina y los electrodos), la presencia de pinturas no removidas y parámetros operativos fuera de lo especificado en el WPS" (p. 28).

Preparación de la junta. Confirmar que los ángulos de bisel, la separación de raíz y el tipo de junta corresponden a lo especificado en el procedimiento de soldadura (WPS). Chan Pozo y Serrano Valarezco (2009) demostraron que "el rechazo de procedimientos GMAW se debió a desviaciones en los parámetros de la unión" (p. 87).

Estado de los materiales. Verificar que los electrodos estén secos (en SMAW), que el gas de protección tenga flujo adecuado (en GMAW) y que el material de aporte sea el correcto. La humedad en los electrodos es, según Kou (2003), una fuente primaria de hidrógeno que puede causar porosidad (p. 218).

Condiciones del equipo. Confirmar la polaridad correcta, la calibración de los equipos y la seguridad de las conexiones.

Condiciones ambientales. Verificar que la humedad y temperatura del entorno estén dentro de los rangos especificados en el WPS, particularmente en procesos sensibles como GMAW.

Durante la soldadura (verificaciones en proceso):

La observación durante la ejecución permite detectar desviaciones antes de que se conviertan en defectos. Kalpakjian y Schmid (2010) señalan que "un arco inestable puede indicar problemas con la corriente, el gas o la técnica del operador" (p. 883). Los puntos a verificar incluyen:

Estabilidad del arco. Observar si el arco se mantiene constante o presenta fluctuaciones que puedan indicar problemas con los parámetros o la técnica.

Apariencia del cordón. Verificar que el cordón sea uniforme en ancho y altura, sin irregularidades evidentes como mordeduras o acumulaciones.

Control de escoria entre pasadas: En SMAW, asegurar que la escoria se remueva completamente antes de depositar la siguiente capa para evitar inclusiones de escoria.

Posición y técnica del operador: Confirmar que el ángulo del electrodo y la velocidad de avance sean los adecuados según el procedimiento establecido.

Protección gaseosa (en GMAW): Verificar que el flujo de gas sea suficiente y que no haya corrientes de aire que puedan dispersar la protección.

Después de soldar (verificaciones finales):

La inspección final debe ser sistemática y documentada. Campos Torres (2014) observó que "en la mayoría de los talleres visitados no existían registros de inspección que permitieran realizar seguimiento a la calidad de las soldaduras producidas" (p. 78), por lo que esta fase es crítica. Los aspectos a verificar incluyen:

Limpieza de la soldadura. Remover escoria y salpicaduras que puedan ocultar defectos subyacentes.

Inspección visual de la superficie. Buscar porosidad visible, socavado, perfil del cordón inadecuado (exceso o falta de refuerzo), falta de fusión superficial y otros defectos.

Verificación dimensional. Medir ancho del cordón, altura de refuerzo y penetración visible cuando sea aplicable, utilizando galgas y escalas adecuadas.

Identificación de la pieza. Asegurar que la soldadura esté correctamente identificada para su trazabilidad.

#### b) Formato de registro de inspección

Complementariamente, se propone un formato de registro (Apéndice D) que permite documentar los resultados de cada inspección. La importancia de la documentación sistemática ha sido enfatizada por diversos autores. Evans y Lindsay (2005) señalan que "lo que no se documenta no se puede analizar, y lo que no se analiza no se puede mejorar" (p. 215). Este formato debe incluir:

- Identificación de la pieza o unión: Código, proyecto, ubicación y cualquier otro dato que permita la trazabilidad completa.
- Fecha de inspección e identificador del inspector: Para asegurar la responsabilidad y permitir auditorías futuras.
- Parámetros verificados: Con casillas de verificación que confirmen la realización de cada punto de la lista, incluyendo espacio para observaciones cuando sea necesario.
- Defectos observados: Descripción detallada, localización precisa en la pieza y, cuando sea posible, medición de los defectos encontrados.

- Decisión: Aceptado, rechazado o aceptado con observaciones, según los criterios establecidos en el Eje 2.
- Acciones correctivas requeridas: En caso de rechazo, especificar las acciones necesarias (reparación, reemplazo, nueva inspección).
- Firmas: Del inspector y del supervisor (cuando corresponda), como evidencia de revisión y aprobación.

La norma ISO 19828 (2025) dedica una sección específica a la "Documentación del resultado del control visual de soldaduras" (Cláusula 5), estableciendo que "los registros de inspección deben incluir la identificación de la junta, los resultados de la inspección, las desviaciones observadas y la decisión final" (International Organization for Standardization, 2025, p. 5). Esta disposición normativa refuerza la validez del formato propuesto.

#### c) Procedimiento documentado de inspección

Más allá de la lista de verificación, se propone desarrollar un procedimiento documentado que establezca:

- Responsabilidades: Quién realiza la inspección, quién supervisa, quién toma decisiones sobre piezas rechazadas.
- Frecuencia: Cada cuánto se inspecciona (todas las piezas, muestreo, etc.) según el tipo de producción.
- Criterios de muestreo: Cuando no sea posible inspeccionar el 100% de las piezas, definir el plan de muestreo aplicable.
- Acciones ante no conformidades: Protocolo para manejar piezas rechazadas, incluyendo segregación, identificación y disposición final.
- Registros: Cómo se archivan, por cuánto tiempo y quién tiene acceso a ellos.

**Estrategia de implementación.** La implementación del Eje 1 debe realizarse de manera progresiva para asegurar su adopción efectiva:

- Capacitación inicial al personal inspector: Antes de introducir los nuevos formatos, es necesario capacitar al personal en su uso. Esta capacitación debe incluir la interpretación de cada punto de la lista de verificación, la correcta documentación de resultados y la importancia de la consistencia en las evaluaciones.
- Implementación piloto: Se recomienda iniciar con un proyecto o área específica, lo que permite identificar dificultades y realizar ajustes antes de la implementación general. El piloto debe ser monitoreado de cerca y los resultados documentados para su análisis.
- Revisión y ajuste de los formatos: A partir de la retroalimentación del piloto, los formatos deben ser ajustados para maximizar su utilidad y facilidad de uso. Esta revisión debe involucrar a los propios inspectores, quienes son los usuarios finales de las herramientas.
- Adopción progresiva: Una vez validados, los formatos se implementan progresivamente en toda la operación, comenzando por las áreas de mayor criticidad o donde se han identificado mayores problemas de calidad.
- Revisión periódica de los registros: Los registros generados deben ser analizados periódicamente (semanal o mensualmente) para identificar patrones, defectos recurrentes y oportunidades de mejora.

### ***Eje 2: Aplicación de criterios de aceptación basados en normas***

**Fundamento técnico y normativo.** La subjetividad en la inspección solo puede superarse mediante la aplicación de criterios objetivos y verificables. La International

Organization for Standardization (2023) establece en la norma ISO 5817 "límites dimensionales precisos para cada tipo de imperfección, organizados en tres niveles de calidad que permiten adaptar la exigencia al tipo de aplicación" (p. v). Esta norma constituye el referente internacional para la evaluación de la calidad de las uniones soldadas por fusión.

Un aspecto fundamental de la ISO 5817 es su integración con otras normas del sistema de calidad en soldadura. Como se explica en la literatura técnica especializada, ISO 5817 responde a la pregunta "¿Qué es aceptable?", mientras que otras normas complementarias responden "¿Cómo inspeccionamos visualmente?" y "¿Qué método de ensayo no destructivo debemos seleccionar?". Esta estructura jerarquizada permite construir un sistema de calidad coherente y bien fundamentado.

La norma ISO 5817 utiliza como base la ISO 6520-1 para la clasificación de imperfecciones. Esta norma estandariza cómo se clasifican y nombran las imperfecciones, lo que es crucial para eliminar ambigüedades en la comunicación entre inspectores, soldadores y supervisores. Una no conformidad que dice "mala soldadura" es inútil para la mejora; una que dice "imperfección según clasificación ISO 6520-1, con medición específica" es accionable y permite identificar causas raíz.

La American Welding Society (2020), por su parte, establece en su cláusula 8 que "la inspección visual debe realizarse antes, durante y después de la soldadura, y los criterios de aceptación deben basarse en las tablas contenidas en esta cláusula o en normas de producto aplicables" (p. 120). Esta disposición abre explícitamente la puerta a la integración con ISO 5817, reconociendo que diferentes aplicaciones pueden requerir diferentes niveles de exigencia.

Kou (2003) complementa esta visión al señalar que "la aceptabilidad de un defecto no puede determinarse únicamente por su presencia o ausencia, sino que debe evaluarse en el

contexto de la aplicación específica, considerando las cargas de servicio, las condiciones ambientales y las consecuencias de una posible falla" (p. 415). Esta perspectiva refuerza la importancia de contar con criterios graduados como los que ofrece ISO 5817.

**Componentes de la propuesta.** a) Tabla resumen de criterios ISO 5817

A partir del análisis normativo realizado, se ha sintetizado en la Tabla 1 los criterios de aceptación para los defectos más comunes según el nivel de calidad requerido. Esta tabla constituye una herramienta de consulta rápida para inspectores y supervisores, facilitando la toma de decisiones en el taller sin necesidad de consultar la norma completa en cada ocasión.

**Tabla 1**

*Criterios de aceptación para defectos comunes según ISO 5817:2023*

Defecto	Nivel B (estricto)	Nivel C (intermedio)	Nivel D (permisivo)
Porosidad	No permitida	$\leq 4\%$ del área proyectada	$\leq 8\%$ del área proyectada
Socavado (profundidad)	$h \leq 0.5 \text{ mm}$ , $L \leq 25 \text{ mm}$	$h \leq 1 \text{ mm}$ , $L \leq 50 \text{ mm}$	$h \leq 1.5 \text{ mm}$ , $L \leq 75 \text{ mm}$
Penetración incompleta	No permitida	Permitida solo si limitada y especificada	Aceptable en ciertos casos no críticos
Falta de fusión	No permitida	No permitida en juntas críticas	Evaluación caso por caso

*Nota:* La tabla presenta los límites dimensionales para los defectos más frecuentes en procesos SMAW y GMAW según los tres niveles de calidad establecidos en la norma ISO 5817:2023. Los valores permiten al inspector tomar decisiones objetivas sobre la aceptación o rechazo de las uniones soldadas.

Es importante señalar que la elección del nivel de calidad debe basarse en la consecuencia de una posible falla, no en preferencias arbitrarias. En la literatura técnica se recomienda: nivel B para aplicaciones críticas para la seguridad, sensibles a la fatiga, de alta responsabilidad; nivel C para fabricación estructural e industrial general donde la confiabilidad importa, pero las consecuencias son manejables; nivel D para componentes no críticos donde la función es tolerante y el riesgo es bajo.

b) Catálogo de defectos para inspectores

Complementariamente a la tabla resumen, se propone desarrollar un catálogo de defectos (cuyo esquema se presenta en el Apéndice E) que incluya para cada imperfección:

- Nombre de la imperfección con su referencia ISO 6520-1 para asegurar terminología estandarizada.
- Descripción visual de cómo se presenta en la práctica, incluyendo características distintivas que faciliten su identificación.
- Imágenes o esquemas de referencia (fotografías de casos reales o ilustraciones técnicas) que muestren el aspecto típico de cada defecto.
- Método de medición (galga, plantilla, microscopio, etc.) especificando qué instrumento utilizar y cómo aplicarlo correctamente.
- Criterios de aceptación según nivel de calidad, con los límites dimensionales correspondientes.
- Acción recomendada (aceptar, reparar, ensayo complementario) en caso de que el defecto no cumpla con los criterios.

Este catálogo es donde la calidad pasa de ser "conocimiento tribal" a un sistema repetible y objetivo. Su desarrollo requiere invertir tiempo en la captura de imágenes y la definición precisa de criterios, pero los beneficios en consistencia y claridad son significativos a mediano plazo.

### c) Guía para selección del nivel de calidad

Se propone una guía práctica (Apéndice E) que oriente sobre qué nivel de calidad aplicar según:

- Tipo de estructura: estructuras críticas (sometidas a cargas dinámicas, alta responsabilidad, riesgo de falla catastrófica, Nivel B); estructuras semirrígidas (cargas estáticas moderadas, aplicaciones industriales generales, Nivel C); elementos no estructurales (secundarios, ornamentales, baja responsabilidad, Nivel D).
- Requisitos del cliente: Cuando el contrato o especificación técnica define un nivel específico, debe respetarse ese criterio por encima de cualquier recomendación general.
- Normativa aplicable al sector: Algunos sectores (construcción, petroquímico, naval, aeroespacial) tienen requisitos específicos que deben consultarse. Por ejemplo, la norma ISO 19828 (2025) establece requisitos particulares para aplicaciones aeroespaciales que pueden ser más exigentes que los niveles estándar de ISO 5817.
- Consecuencias de la falla: A mayor consecuencia de una posible falla (pérdida de vidas, daños ambientales, costos económicos elevados), más exigente debe ser el nivel de calidad seleccionado.

- Historial de calidad: Si la organización tiene un historial de problemas con cierto tipo de uniones, puede ser apropiado adoptar un nivel más exigente para esas aplicaciones específicas.

d) Integración con procedimientos de soldadura (WPS)

Se sugiere que los procedimientos de soldadura (Welding Procedure Specification - WPS) incluyan explícitamente:

- El nivel de calidad ISO 5817 aplicable a cada tipo de junta, especificado claramente en la documentación.
- Los criterios de aceptación específicos para cada tipo de defecto que se espera puedan presentarse.
- Los métodos de inspección requeridos (visual, ensayos no destructivos según corresponda) y la frecuencia de la inspección.
- Referencia a los documentos complementarios (listas de verificación, catálogo de defectos) que deben utilizarse durante la inspección.

Esta integración asegura que desde la planificación del trabajo se establezcan claramente las expectativas de calidad, evitando interpretaciones posteriores y proporcionando una base objetiva para la aceptación o rechazo de las soldaduras.

***Estrategia de implementación***

**Seleccionar un nivel de calidad inicial.** Para la mayoría de las aplicaciones industriales generales, se recomienda comenzar con Nivel C, que ofrece un equilibrio razonable entre exigencia y viabilidad en contextos con recursos limitados. Este nivel es suficientemente

exigente para garantizar la integridad estructural en aplicaciones típicas, pero no tan restrictivo que resulte imposible de alcanzar sin inversiones significativas.

**Capacitar al personal inspector en la interpretación de los criterios.** La existencia de la tabla no garantiza su correcta aplicación; es necesario formar al personal en la interpretación de cada criterio, en el uso de los instrumentos de medición y en la documentación de resultados. Esta capacitación debe incluir ejercicios prácticos con muestras que presenten diferentes tipos de defectos en distintos niveles.

**Proveer instrumentos de medición básicos.** Galgas para medir socavado y alturas de refuerzo, lupas con aumento suficiente para inspección detallada, escalas graduadas, y cuando sea posible, equipos de medición más sofisticados como micrómetros o proyectores de perfil. La inversión en estos instrumentos es relativamente baja comparada con el beneficio en consistencia de las mediciones.

**Realizar inspecciones de contraste entre inspectores.** Periódicamente, diferentes inspectores deben evaluar las mismas soldaduras de manera independiente y comparar resultados para calibrar criterios y asegurar consistencia. Estas sesiones de calibración son fundamentales para identificar y corregir desviaciones en la interpretación de los criterios.

**Revisar periódicamente la adecuación del nivel seleccionado.** El nivel de calidad no debe ser estático; a medida que la organización madura en sus capacidades técnicas y de inspección, puede aspirar a niveles más exigentes. Se recomienda una revisión anual del nivel seleccionado, considerando los resultados de calidad obtenidos y los requisitos del mercado.

### ***Eje 3: Fortalecimiento de competencias del personal soldador***

**Fundamento técnico y pedagógico.** La calidad en soldadura no se logra exclusivamente mediante inspección; se construye durante la ejecución del proceso. Deming (2000), uno de los

padres de la gestión de calidad moderna, sostiene que "la calidad no proviene de la inspección, sino de la mejora del proceso de producción" (p. 38). En soldadura, esto implica que el soldador debe ser el primer responsable de la calidad de su trabajo, lo que requiere no solo habilidad manual sino también conocimiento conceptual sobre los procesos que ejecuta.

Evans y Lindsay (2017) complementan esta visión al señalar que "la capacitación no es un gasto, sino una inversión que paga dividendos en forma de mayor calidad, menor desperdicio y mayor productividad" (p. 312). Esta perspectiva es particularmente relevante en el contexto de las PYMES, donde los recursos son limitados y cada inversión debe justificarse por su retorno tangible.

La norma ISO 19828 (2025) dedica atención significativa a la cualificación del personal, estableciendo requisitos para la "formación, exámenes y certificación de inspectores visuales" (International Organization for Standardization, 2025, p. 8). Aunque esta norma se enfoca en inspectores, sus principios son aplicables a la formación de soldadores, particularmente en lo relativo a la necesidad de adaptar los contenidos de formación teórica y práctica a las necesidades específicas de cada contexto.

Cadena Morillo (2023) documentó en su diagnóstico inicial que "32 soldadores evaluados reprobaron con un promedio de 4/15 en conocimientos teóricos básicos sobre procesos de soldadura" (p. 45), evidenciando la magnitud de la brecha formativa existente. Este hallazgo subraya la urgencia de implementar programas de capacitación sistemáticos que aborden no solo aspectos prácticos sino también conceptuales.

#### **Componentes de la propuesta.** a) Programa de capacitación continua

Se propone un programa estructurado en cuatro módulos, cuyo detalle completo (contenidos, materiales didácticos y guías para facilitadores) se presenta en el Apéndice F. La

estructura del programa responde a una progresión lógica desde los fundamentos conceptuales hasta la aplicación práctica, permitiendo que los participantes construyan conocimiento de manera gradual y significativa.

**Tabla 2**

Estructura del programa de capacitación continua

Módulo	Contenido	Duración	Metodología	Evaluación
1	Fundamentos de calidad en soldadura	4 horas	Expositivo + discusión de casos	Cuestionario conceptual
2	Defectos: identificación y causas	6 horas	Expositivo + taller con muestras	Prueba de identificación
3	Autocontrol en proceso	4 horas	Demostración práctica + ejercicios	Evaluación de desempeño
4	Normas y criterios básicos	4 horas	Expositivo + ejercicios de aplicación	Estudio de caso

*Nota:* El programa comprende 18 horas totales de formación, distribuidas en cuatro módulos progresivos. Las metodologías combinan exposición teórica con actividades prácticas para asegurar la transferencia del conocimiento al trabajo cotidiano. Los mecanismos de evaluación son específicos para cada módulo y permiten verificar tanto la adquisición de conocimientos como el desarrollo de habilidades aplicadas.

***Módulo 1: Fundamentos de calidad en soldadura.*** Este módulo introductorio busca establecer una comprensión compartida de qué significa calidad en el contexto de la soldadura y por qué es importante. Los temas a cubrir incluyen:

- Concepto de calidad aplicado a productos soldados: Definiciones, dimensiones de la calidad (funcionalidad, confiabilidad, durabilidad).
- Costos de la no calidad: Retrabajos, desperdicios de materiales, pérdida de tiempo, daño a la reputación de la empresa, responsabilidad legal por fallas.
- Responsabilidad del soldador en la calidad del producto final: El soldador como primer inspector de su propio trabajo, importancia del orgullo profesional y el compromiso con la calidad.
- Introducción a los sistemas de gestión de calidad: Conceptos básicos de aseguramiento de la calidad, mejora continua, documentación y registros.
- Relación entre calidad y productividad: Cómo la calidad reduce costos a largo plazo y mejora la competitividad de la empresa.

***Módulo 2: Defectos: identificación y causas.*** Este módulo es central para desarrollar la capacidad del soldador de reconocer defectos y comprender sus orígenes, lo que es condición necesaria para poder prevenirlos. Incluye:

- Clasificación de defectos según normas internacionales: Terminología estandarizada, tipos de defectos (superficiales, internos, geométricos).
- Identificación visual de defectos: Con fotografías de referencia de casos reales, mostrando diferentes presentaciones de cada defecto.
- Causas principales de cada defecto: Relación con parámetros de soldadura (corriente, voltaje, velocidad), condiciones de los materiales (humedad, contaminación) y técnica del operador (ángulo, distancia, manipulación).

- Relación entre parámetros de soldadura y aparición de defectos: Explicación de por qué ciertos parámetros favorecen o previenen determinados defectos.
- Ejercicios prácticos de identificación: Con muestras reales o fotografías, los participantes practican la identificación de defectos y la descripción de sus posibles causas.

***Módulo 3: Autocontrol en proceso.*** Este módulo práctico busca desarrollar habilidades para que el soldador pueda monitorear su propio trabajo durante la ejecución, detectando y corrigiendo desviaciones en tiempo real:

- Verificaciones durante el proceso: Qué observar mientras se suelda (estabilidad del arco, apariencia del cordón, formación de escoria) y qué indican las diferentes señales.
- Ajuste de parámetros según condiciones cambiantes: Cómo adaptar la técnica cuando cambian las condiciones (diferentes posiciones, materiales, espesores) sin perder calidad.
- Importancia de la limpieza entre pasadas: Técnicas adecuadas para remover escoria, evitar inclusiones y preparar la superficie para la siguiente pasada.
- Técnicas para minimizar la aparición de defectos: Prácticas recomendadas para cada tipo de junta y posición, basadas en la literatura especializada y la experiencia de soldadores calificados.
- Ejercicios prácticos de autocontrol: Los participantes ejecutan soldaduras mientras son observados y reciben retroalimentación sobre su técnica y su capacidad de

autocorrección. La importancia del autocontrol ha sido destacada por múltiples autores. Kou (2003) señala que "un soldador consciente de la relación entre su técnica y la calidad del resultado es más propenso a realizar ajustes en tiempo real que previenen defectos, en lugar de simplemente aceptar lo que ocurre y esperar la inspección final" (p. 426).

**Módulo 4: Normas y criterios básicos.** Este módulo introduce al soldador en el lenguaje y los criterios de las normas internacionales, preparándolo para interpretar correctamente las especificaciones y comprender las decisiones de aceptación o rechazo:

- Conceptos básicos de AWS D1.1 e ISO 5817: Qué regulan estas normas, por qué son importantes, cómo se aplican en el contexto local.
- Interpretación de criterios de aceptación: Explicación de los niveles de calidad, qué significan los límites dimensionales, cómo aplicarlos en la práctica.
- Uso de instrumentos básicos de inspección: Demostración y práctica del uso correcto de galgas para medir socavado, altura de refuerzo, penetración; lupas para inspección detallada; escalas para mediciones dimensionales.
- Importancia de los registros y la documentación: Por qué es necesario documentar, qué información debe registrarse, cómo se utilizan los registros para la mejora continua.
- Ejercicios de aplicación: Sobre muestras o fotografías, los participantes aplican los criterios de aceptación para decidir si una soldadura es aceptable o no, justificando su decisión.

## b) Sistema de seguimiento y evaluación

La capacitación no debe ser un evento aislado, sino un proceso continuo con mecanismos de seguimiento que aseguren la transferencia efectiva del conocimiento a la práctica:

- Evaluación práctica al finalizar cada módulo: Verificar la adquisición de competencias específicas mediante pruebas teóricas y ejercicios prácticos.
- Retroalimentación individualizada: Proporcionar a cada participante información detallada sobre su desempeño y áreas de mejora, con recomendaciones concretas.
- Registro de capacitaciones recibidas: Mantener un historial de formación para cada soldador, incluyendo fechas, módulos aprobados y resultados de evaluaciones.
- Refuerzos periódicos: Sesiones de actualización y repaso de conceptos clave, particularmente cuando se identifiquen debilidades recurrentes o cuando se introduzcan cambios en los procedimientos.
- Evaluación de impacto: Medir periódicamente la evolución de los indicadores de calidad (tasa de defectos, retrabajos) y correlacionarlos con la capacitación recibida para evaluar su efectividad.
- La norma ISO 19828 (2025) establece requisitos específicos para el "reexamen y renovación de certificación" (International Organization for Standardization, 2025, p. 10), lo que subraya la importancia del seguimiento continuo y no solo de la formación inicial.

## c) Formación de formadores internos

Para asegurar la sostenibilidad del programa y reducir costos a largo plazo, se propone identificar y formar a soldadores experimentados como facilitadores internos. Estos formadores:

- Recibirán capacitación adicional en técnicas pedagógicas, comunicación efectiva y evaluación de aprendizajes.
- Serán responsables de replicar la formación con nuevos ingresos y de realizar refuerzos periódicos con el personal existente.
- Actuarán como referentes técnicos en el taller, a quienes los demás soldadores pueden consultar ante dudas sobre procedimientos o calidad.
- Participarán en la actualización de los materiales de capacitación, aportando su experiencia práctica para mejorar la relevancia de los contenidos.
- Serán reconocidos formalmente por la organización, lo que contribuye a su motivación y al reconocimiento de su experiencia.

### **Estrategia de implementación**

***Identificar necesidades específicas de capacitación.*** Realizar un diagnóstico inicial para determinar las brechas de conocimiento más significativas en el personal actual. Cadena Morillo (2023) recomienda "evaluar conocimientos teóricos básicos antes de diseñar el programa, para orientar los contenidos a las necesidades reales" (p. 45).

***Programar sesiones en horarios que no afecten la producción.*** La capacitación debe integrarse en la jornada laboral sin interrumpir los compromisos de producción. Sesiones cortas pero frecuentes (por ejemplo, 2 horas semanales) suelen ser más efectivas que jornadas intensivas que desconectan al personal de su trabajo por períodos prolongados.

***Seleccionar y formar facilitadores internos.*** Identificar soldadores con buen desempeño técnico y habilidades de comunicación, y proporcionarles formación adicional en facilitación. Este proceso requiere inversión inicial pero genera capacidad instalada a largo plazo.

***Implementar el programa de manera gradual.*** Comenzar con los módulos 1 y 2, que son la base conceptual necesaria para los módulos prácticos. Una vez consolidados, avanzar a los módulos 3 y 4.

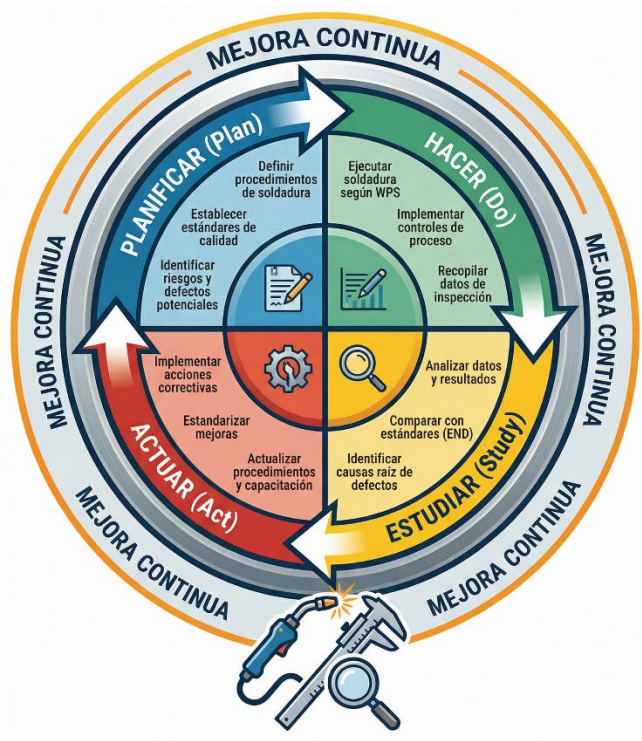
***Documentar la participación y los resultados.*** Mantener registros detallados de quién ha sido capacitado, en qué módulos, con qué resultados y cuándo requieren refuerzos.

***Evaluar impacto en indicadores de calidad.*** Monitorear la evolución de los defectos antes y después de la capacitación para cuantificar su efectividad y justificar la continuidad del programa.

**Articulación de la propuesta: Modelo de mejora continua.** Los tres ejes propuestos no operan de manera aislada, sino que se articulan en un modelo de mejora continua basado en el ciclo PDSA (Plan-Do-Study-Act) desarrollado por Deming (2000) y presentado en el marco teórico. La Figura 1 ilustra esta integración.

**Figura 1**

Modelo de mejora continua para el control de calidad en soldadura



*Nota:* El ciclo integra inspección visual, criterios normativos y capacitación en un proceso de mejora continua basado en PDSA: Planificar (diagnóstico y planificación), Hacer (implementación y capacitación), Estudiar (evaluación de resultados) y Actuar (ajustes y estandarización de mejoras). Imagen generada por inteligencia artificial.

### ***Fase 1 - Plan (Planificar)***

- Diagnosticar situación actual utilizando las listas de verificación del Eje 1 para establecer una línea base de calidad.
- Definir nivel de calidad objetivo según el tipo de aplicación, utilizando la guía de selección del Eje 2.

- Planear necesidades de capacitación y programar sesiones según el diagnóstico de brechas (Eje 3).
- Establecer metas de mejora cuantificables (por ejemplo: reducir la tasa de defectos en un 30% en 6 meses, disminuir retrabajos en un 20%).

### ***Fase 2 - Do (Hacer)***

- Implementar inspección sistemática con listas de verificación y registros (Eje 1) en todas las operaciones.
- Aplicar criterios de aceptación basados en ISO 5817 (Eje 2) durante las inspecciones.
- Ejecutar programa de capacitación continua (Eje 3) según lo planificado.
- Documentar todos los resultados en los formatos establecidos, asegurando la trazabilidad.

### ***Fase 3 - Study (Estudiar)***

- Analizar registros de inspección para identificar patrones de defectos por tipo, causa, ubicación y soldador.
- Evaluar reducción de defectos comparando con la línea base establecida en la fase de planificación.
- Medir impacto de la capacitación mediante evaluaciones de desempeño y observación directa en el taller.
- Comparar resultados con metas establecidas e identificar brechas.

### ***Fase 4 - Act (Actuar)***

- Ajustar procedimientos de inspección según hallazgos (por ejemplo, agregar puntos de verificación donde se detecten problemas recurrentes).

- Reforzar temas de capacitación donde se identifiquen debilidades persistentes.
- Actualizar criterios de aceptación si es necesario (por ejemplo, considerar si el nivel seleccionado es adecuado).
- Estandarizar prácticas exitosas mediante actualización de documentos y procedimientos.
- Reiniciar el ciclo con nuevas metas de mejora basadas en los resultados obtenidos.

Este modelo cíclico asegura que la propuesta no sea estática, sino que evolucione con la organización, adaptándose a nuevos desafíos y oportunidades.

**Indicadores prácticos para medir la mejora.** Para que una propuesta como esta no se quede solo en buenas intenciones, es necesario tener algunas formas concretas de saber si realmente está funcionando en el día a día del taller. Por eso propongo tres indicadores que cualquier empresa pequeña puede ir calculando con lo que ya tiene a la mano, sin necesidad de contratar a nadie ni comprar software especializado.

**Tasa de retrabajos.** Este indicador responde a una pregunta muy sencilla: de cada diez soldaduras que se hacen, ¿cuántas hay que volver a hacer porque salieron mal? Se calcula dividiendo el número de uniones rechazadas entre el total inspeccionado y multiplicando por cien. Por ejemplo, si en un mes se hicieron 200 uniones y 30 salieron rechazadas, la tasa de retrabajos sería del quince por ciento. Sin controles, muchos talleres andan por ahí. Con la propuesta funcionando bien, se puede aspirar a bajar esa cifra al cinco por ciento durante el primer año.

**Rendimiento del material de aporte.** Suena más complejo de lo que es. Básicamente se trata de responder: de todo el alambre o los electrodos que se compran, ¿cuánto termina realmente en las uniones que quedan bien puestas? Si se desperdicia mucho material porque las

soldaduras salen mal y hay que repetirlas, o porque los electrodos se dañan por mal almacenamiento, el rendimiento baja. Un ejemplo: si una empresa compra 100 kilos de electrodo al mes, pero solo 70 kilos terminan en soldaduras aprobadas, el rendimiento sería del setenta por ciento. Llevar este número ayuda a darse cuenta de dónde se está fugando la plata.

Costo de la no calidad. Es simplemente sumar todo lo que cuestan los problemas. Por ejemplo, si un soldador pierde tres horas a la semana reparando piezas que salieron mal, esas tres horas tienen un costo en salario. Si se bota media caja de electrodos porque se humedecieron, eso tiene un costo. Si una pieza entera toca desecharla, ahí se fue el material base y el tiempo que se invirtió en cortarla y prepararla. Con la propuesta bien aplicada, estos costos deberían bajar entre un veinte y un cuarenta por ciento durante el primer año. No es un número mágico: está basado en experiencias documentadas en talleres que han implementado controles similares.

**Consideraciones para la implementación.** Para facilitar la adopción de la propuesta en entornos con recursos limitados, se ofrecen las siguientes recomendaciones prácticas, basadas en la literatura revisada y en las experiencias documentadas en casos similares.

***Implementación progresiva por fases.*** Se sugiere una implementación gradual que permita a la organización asimilar los cambios sin colapsar sus operaciones ni generar resistencia en el personal:

- Fase 1 (meses 1-3). Implementación del Eje 1 (inspección visual básica). Durante esta fase, se introducen las listas de verificación y los formatos de registro, y se capacita al personal inspector en su uso. El objetivo es lograr que la inspección sistemática se convierta en un hábito y que los registros se generen consistentemente.
- Fase 2 (meses 4-6). Incorporación del Eje 2 (criterios normativos). Una vez consolidada la inspección sistemática, se introducen los criterios de aceptación

basados en ISO 5817, comenzando con el nivel C para aplicaciones generales. Se realizan sesiones de calibración entre inspectores para asegurar consistencia.

- Fase 3 (meses 7 en adelante). Desarrollo del Eje 3 (capacitación) de manera continua. La capacitación debe iniciarse temprano (idealmente desde la Fase 1), pero sus efectos completos se evidencian en el mediano plazo. Se recomienda comenzar con los módulos 1 y 2, y luego avanzar a los módulos 3 y 4 a medida que el personal adquiere las bases conceptuales.

***Adaptación de instrumentos.*** Los formatos propuestos en los apéndices deben considerarse como puntos de partida, no como productos terminados. Cada taller o empresa debe adaptarlos a:

- Su vocabulario y formas de trabajo habituales (usar términos que el personal conoce y utiliza diariamente).
- Los tipos de productos que fabrica (juntas, materiales, espesores específicos).
- Los defectos más frecuentes en su contexto específico (priorizar lo que realmente ocurre en la práctica).
- Los recursos de medición disponibles (no exigir instrumentos sofisticados si no se tienen).

Lo importante es mantener la estructura básica que garantiza la sistematicidad: verificación antes-durante-después, documentación de resultados, y criterios objetivos de aceptación. El formato puede simplificarse o adaptarse, pero estos elementos esenciales deben preservarse.

***Aprovechamiento del conocimiento interno.*** Soldadores con experiencia y buen desempeño pueden ser aliados clave en la capacitación de sus compañeros. La formación de formadores internos:

- Reduce costos al no depender exclusivamente de consultores externos para actividades de formación continua.
- Aumenta la credibilidad del programa (el conocimiento viene de alguien que "está en el taller" y enfrenta los mismos desafíos diarios).
- Facilita la transferencia de conocimiento tácito y experiencial que no está en los manuales.
- Crea referentes técnicos dentro de la organización, a quienes los demás pueden consultar ante dudas.

***Registro como herramienta, no como burocracia.*** Uno de los riesgos más significativos en la implementación de sistemas de calidad es que los registros se perciban como un trámite burocrático sin valor, lo que genera resistencia y cumplimiento meramente formal. Para evitarlo:

- Explicar claramente a todo el personal para qué sirve cada registro, mostrando ejemplos concretos de cómo la información ha permitido identificar y solucionar problemas.
- Mostrar ejemplos de cómo los registros han permitido identificar patrones, detectar causas raíz y mejorar procesos.
- Utilizar activamente la información de los registros para tomar decisiones y comunicar los resultados al personal (cerrar el ciclo de retroalimentación).
- Reconocer y valorar los registros bien diligenciados, no como un fin en sí mismos, sino como evidencia de contribución a la mejora.

- Simplificar los formatos al máximo, incluyendo solo lo necesario y eliminando campos redundantes o que nunca se utilizan.

**Gestión del cambio y motivación del personal.** Uno de los riesgos más grandes al implementar algo como lo que se propone aquí es que los soldadores con mucha experiencia, vean las listas de verificación como una pérdida de tiempo o como una señal de desconfianza. Es una reacción comprensible, y si no se maneja bien, la propuesta puede fracasar no porque sea mala, sino porque nadie la usó. Por eso se proponen algunas claves sencillas.

- Involucrarlos desde el principio. Antes de imponer un formato, mostrarles un borrador y preguntarles cosas concretas: "esta lista de verificación tiene ocho pasos antes de soldar, ¿usted cree que faltó alguno o que sobra alguno?". O también: "¿cómo le parece que llamemos a esta columna, 'observaciones' o 'detalles'?". Cuando una persona aporta, termina defendiendo lo que ayudó a construir.
- Que el líder sea el primero en usar los formatos. Nada mata más rápido una iniciativa nueva que el supervisor que la exige, pero no la practica. Si el jefe de taller o el inspector diligencia sus propios registros y los muestra abiertamente, el mensaje es claro: esto es para todos, no solo para los de abajo. Por el contrario, si el soldador ve que el supervisor nunca llena un papel, entenderá que los formatos son un requisito sin importancia y los llenará de cualquier manera, con tal de salir del paso.
- Explicarles que el registro también los protege. Esto es algo que la mayoría de los operarios no sabe. A ver un ejemplo real: un cliente reclama que una estructura falló y dice que la culpa fue de una soldadura mal hecha. Si el soldador tiene su registro donde anotó los parámetros que usó, que la junta estaba limpia, que el electrodo

estaba seco, puede demostrar que su trabajo estaba bien. El formato, bien llevado, no es un arma en contra, es un respaldo. Cuando la gente entiende esto, la actitud cambia por completo.

- Reconocer el esfuerzo, por pequeño que sea. No se necesita dar bonos millonarios. A veces basta con decir en la reunión semanal: "Carlos estuvo todas las semanas con sus formatos al día, gracias por la constancia". O poner una tabla en el panel de noticias con el promedio de formatos diligenciados por cada soldador.
- Empezar sencillo e ir subiendo la exigencia. Si el primer formato que le dan a un soldador tiene diez páginas y treinta campos para llenar, lo va a dejar botado al segundo día. Es mejor empezar con una lista de verificación corta: solo los puntos más críticos. Por ejemplo, al principio solo pedir que marque con una X si verificó la limpieza de la junta y si revisó que el electrodo estuviera seco. Una vez que ese hábito se vuelve automático, se puede agregar otro punto, y luego otro. Así el cambio no asusta y se va consolidando paso a paso.

**Revisión periódica.** Se recomienda realizar revisiones trimestrales del sistema implementado para:

- Evaluar avances en los indicadores de calidad (tasa de defectos, retrabajos, satisfacción del cliente).
- Identificar dificultades en la implementación (resistencia, falta de comprensión, problemas con los formatos).
- Realizar ajustes en los procedimientos basados en la experiencia práctica.

- Compartir lecciones aprendidas y casos de éxito entre las diferentes áreas o turnos.
- Actualizar metas para el siguiente período, elevando gradualmente el nivel de exigencia.

Estas revisiones deben involucrar tanto a la dirección (para asegurar compromiso y recursos) como al personal operativo (que es quien conoce la realidad del día a día), asegurando que la mejora continua sea un compromiso de toda la organización y no solo una iniciativa de la gerencia.

## Conclusiones

A continuación, se presentan las conclusiones derivadas del desarrollo de la presente investigación, estructuradas en correspondencia con los objetivos específicos planteados y los hallazgos obtenidos a lo largo del estudio.

En relación con el objetivo específico 1: Identificar los defectos más comunes presentes en los procesos de soldadura manual y semiautomática

El análisis documental permitió establecer que los defectos más recurrentes y críticos en los procesos SMAW y GMAW son la porosidad, la falta de fusión, el socavado y la penetración incompleta. La literatura especializada y las normas técnicas coinciden en que estos defectos tienen causas múltiples e interrelacionadas, que combinan factores técnicos, como parámetros de soldadura inadecuados, contaminación de materiales o preparación deficiente de juntas, y factores humanos, como técnica incorrecta del operador o falta de formación.

Se evidenció que, aunque existe un conocimiento profundo y bien documentado sobre estos defectos en la literatura técnica, existe una desconexión significativa entre ese conocimiento disponible y su aplicación en la práctica cotidiana de los talleres. Esta brecha entre la teoría y la práctica constituye una de las causas fundamentales de la recurrencia de defectos en el sector.

En relación con el objetivo específico 2: Revisar normas técnicas y criterios de aceptación aplicables al control de calidad en procesos de soldadura

La revisión normativa realizada permitió establecer que las normas AWS D1.1:2020 e ISO 5817:2023 constituyen un marco completo y complementario para el control de calidad en soldadura. Mientras que AWS D1.1 se enfoca en el proceso, estableciendo requisitos para la

calificación de procedimientos y personal, ISO 5817 se centra en el producto, definiendo criterios objetivos de aceptación para las imperfecciones.

Un hallazgo significativo fue que la ISO 5817 ofrece tres niveles de calidad (B, C y D) que permiten adaptar el nivel de exigencia a la criticidad de cada aplicación. Esta estructura jerarquizada facilita la implementación progresiva de controles de calidad en empresas con recursos limitados, constituyendo una oportunidad para el sector de PYMES metalmeccánicas.

Se identificó, sin embargo, que estas normas son escasamente conocidas y aplicadas en el contexto de pequeñas y medianas empresas, debido a barreras de acceso económico, complejidad del lenguaje técnico y percepción de dificultad en su implementación. Esta subutilización del marco normativo existente representa una debilidad crítica en los sistemas de calidad del sector.

En relación con el objetivo específico 3: Analizar las prácticas actuales de inspección y control de calidad en contextos industriales y formativos

El análisis de las prácticas actuales reveló patrones consistentes que configuran un diagnóstico claro de la situación del sector. Se identificó una brecha formativa significativa en el personal, evidenciada por estudios como el de Cadena Morillo (2023), donde 32 soldadores evaluados obtuvieron un promedio de 4/15 en conocimientos teóricos básicos.

Se constató que las prácticas de inspección se caracterizan por ser predominantemente reactivas, con detección de defectos al final del proceso en lugar de prevención durante la ejecución. La ausencia de procedimientos estandarizados de inspección lleva a evaluaciones subjetivas y contradictorias entre diferentes inspectores, socavando la confiabilidad del sistema de calidad.

Adicionalmente, se identificó una falta generalizada de registros de inspección, lo que impide la trazabilidad de los resultados y la identificación de patrones que permitan abordar

causas sistémicas de los defectos. Esta ausencia de documentación sistemática constituye una barrera para la implementación de procesos de mejora continua.

En relación con el objetivo específico 4: 4. Estructurar los componentes de la propuesta de mejora con base en los hallazgos obtenidos.

A partir de los hallazgos del diagnóstico, se diseñó una propuesta de mejora estructurada en tres ejes fundamentales, cada uno de los cuales aborda dimensiones específicas del problema identificado:

El Eje 1 (Estandarización de procedimientos de inspección visual) proporciona herramientas concretas (listas de verificación y formatos de registro) que permiten superar la subjetividad en las evaluaciones y establecer una base documental para la trazabilidad. Su fundamentación en normas internacionales y su diseño práctico facilitan su adopción en entornos con recursos limitados.

El Eje 2 (Aplicación de criterios de aceptación basados en normas) sintetiza los criterios de ISO 5817 en tablas de consulta rápida y guías de selección de nivel de calidad, facilitando el acceso a la información normativa esencial sin requerir el manejo exhaustivo de las normas completas. La tabla resumen de criterios y el catálogo de defectos propuestos constituyen herramientas de aplicación inmediata en el taller.

El Eje 3 (Fortalecimiento de competencias del personal soldador) desarrolla un programa de capacitación continua estructurado en cuatro módulos progresivos, que abordan desde fundamentos conceptuales hasta habilidades prácticas de autocontrol. La inclusión de un sistema de seguimiento y evaluación, así como la formación de formadores internos, asegura la sostenibilidad del programa a largo plazo.

La articulación de estos tres ejes en un modelo de mejora continua basado en el ciclo PDSA garantiza que la propuesta no sea estática, sino que evolucione con la organización, adaptándose a nuevos desafíos y oportunidades.

En relación con el objetivo general: Proponer mejoras en los controles de calidad aplicados a los procesos de soldadura manual y semiautomática

La investigación cumple con su objetivo general al presentar una propuesta integral que responde directamente a la pregunta de investigación formulada: ¿Cómo mejorar el control de calidad en los procesos de soldadura manual y semiautomática en talleres y empresas metalmecánicas?

La respuesta a esta pregunta se materializa en la estrategia de mejora desarrollada, que aborda simultáneamente las tres dimensiones críticas del problema: la estandarización de procedimientos (Eje 1), la aplicación de criterios objetivos (Eje 2) y el fortalecimiento de competencias del personal (Eje 3). La propuesta se caracteriza por su viabilidad en entornos con recursos limitados, su fundamentación en normas internacionales reconocidas y su capacidad para generar impacto sostenible en el tiempo mediante la incorporación del ciclo de mejora continua.

El control de calidad en procesos de soldadura manual y semiautomática en el contexto de pequeñas y medianas empresas metalmecánicas enfrenta desafíos significativos relacionados con la falta de estandarización, la subjetividad en las evaluaciones y las brechas de formación del personal. Sin embargo, estos desafíos son abordables mediante intervenciones de bajo costo relativo que priorizan la organización del conocimiento existente, la simplificación de herramientas normativas y el desarrollo de capacidades internas.

La propuesta desarrollada en esta investigación demuestra que es posible mejorar sustancialmente la calidad de las soldaduras sin requerir inversiones mayores en tecnología o infraestructura, actuando sobre las causas fundamentales de los defectos y creando las condiciones para que el sistema de calidad evolucione hacia niveles superiores de desempeño. La clave está en la combinación de procedimientos claros, criterios objetivos y personal capacitado, articulados en un ciclo de mejora continua que permite a la organización aprender de su propia experiencia y elevar progresivamente su nivel de calidad.

Por último, pero no menos importante, es dejar muy claro en estas conclusiones que una empresa pequeña o mediana no tiene por qué apuntar al nivel más estricto de calidad desde el primer día. Eso sería como querer correr una maratón sin haber caminado nunca. El camino más realista es empezar aplicando el Nivel D de la norma ISO 5817, considerado el más permisivo, en los productos de menor importancia. Fuese el caso de una empresa que fabrica soportes secundarios o barandas puede empezar aplicando controles básicos en esas piezas, donde un pequeño defecto no pone en riesgo la seguridad. Allí la gente aprende a usar los formatos, se acostumbra a hacer los registros y el inspector entrena su ojo sin tanta presión.

Una vez que ese nivel se vuelve parte de la rutina, la empresa puede subir al Nivel C para sus productos estructurales de uso general, como vigas o columnas. Y más adelante, cuando ya hay disciplina y confianza, puede llegar al Nivel B para los trabajos más delicados, como estructuras que soportan cargas en movimiento o recipientes con presión.

Esta manera de avanzar paso a paso no es un invento propio. Es exactamente la misma lógica del ciclo PHVA —Planificar, Hacer, Verificar, Actuar— que ya se explicó en el marco teórico de esta monografía. Cada vez que la empresa decide subir de nivel, está empezando un nuevo ciclo de mejora. El primer ciclo con Nivel D le enseña a caminar. El segundo ciclo con

Nivel C le enseña a trotar. El tercer ciclo con Nivel B le enseña a correr. Así la mejora no se vuelve un salto al vacío que termine en frustración, sino una escalera donde cada peldaño se apoya en el anterior.

## **Recomendaciones**

En virtud de las conclusiones expuestas, se formulan las siguientes recomendaciones dirigidas a diferentes actores del sector metalmecánico.

### **Recomendaciones para empresas y talleres metalmecánicos**

#### ***Implementación gradual de la propuesta***

Se recomienda adoptar la estrategia de implementación por fases sugerida en el Capítulo IV, comenzando con el Eje 1 (inspección visual) durante los primeros meses, para luego incorporar progresivamente los Ejes 2 y 3. Esta aproximación gradual permite que el personal asimile los cambios sin resistencia y que la organización desarrolle capacidades de manera sostenible.

#### ***Adaptación de instrumentos a la realidad del taller***

Los formatos propuestos en los apéndices deben ser adaptados al vocabulario, los productos y las condiciones específicas de cada taller. Lo importante es mantener la estructura básica que garantiza la sistematicidad, no la rigidez en el formato. Se sugiere involucrar a los propios inspectores y soldadores en esta adaptación para aumentar su apropiación de las herramientas.

#### ***Inversión en capacitación como prioridad.***

La evidencia recopilada demuestra que la brecha de formación es una causa transversal de los problemas de calidad. Se recomienda destinar recursos específicos para la implementación del programa de capacitación propuesto, comenzando con los módulos 1 y 2 y avanzando progresivamente. La formación de formadores internos debe ser una prioridad para asegurar la sostenibilidad del programa.

### ***Fomento de la cultura de registro***

Es fundamental que la dirección comunique claramente el valor de los registros como herramienta para la mejora y no como un trámite burocrático. Se recomienda utilizar activamente la información de los registros en reuniones periódicas, mostrando ejemplos concretos de cómo han permitido identificar y solucionar problemas.

### ***Establecimiento de revisiones periódicas***

Se sugiere realizar revisiones trimestrales del sistema de calidad implementado, con participación de dirección, supervisores, inspectores y soldadores. Estas revisiones deben evaluar avances, identificar dificultades y ajustar la estrategia según sea necesario.

### **Recomendaciones para asociaciones gremiales y centros de formación técnica**

#### ***Desarrollo de materiales de difusión de normas***

Dado que el acceso y la comprensión de las normas internacionales constituyen una barrera para su aplicación, se recomienda a las asociaciones gremiales desarrollar materiales de difusión que sintetizen los requisitos esenciales de AWS D1.1 e ISO 5817 en un lenguaje accesible para el personal de taller.

#### ***Programas de certificación accesibles***

Se sugiere diseñar programas de certificación para inspectores visuales y soldadores que sean accesibles económicamente para las PYMES y que reconozcan las competencias desarrolladas en la práctica, complementadas con la formación teórica necesaria.

#### ***Incorporación de la propuesta en programas de formación***

Los centros de formación técnica pueden incorporar los contenidos del programa de capacitación desarrollado en esta investigación (Apéndice F) en sus currículos, adaptándolos a las necesidades específicas del sector local.

## **Recomendaciones para futuras investigaciones**

### ***Validación empírica de la propuesta***

Se recomienda realizar estudios aplicados que implementen la propuesta en casos reales de empresas del sector, documentando los resultados obtenidos en términos de reducción de defectos, disminución de retrabajos y mejora de la productividad. Esta validación empírica permitiría ajustar y enriquecer la propuesta con base en la experiencia práctica.

### ***Desarrollo de herramientas digitales***

Futuras investigaciones podrían orientarse al desarrollo de aplicaciones móviles o herramientas digitales que faciliten la implementación de las listas de verificación y los registros de inspección, así como el análisis automatizado de los datos recopilados para identificar patrones de defectos.

### ***Ampliación a otros procesos de soldadura***

La presente investigación se ha centrado en los procesos SMAW y GMAW por su prevalencia en el sector. Sería valioso extender el análisis a otros procesos como FCAW, GTAW o soldadura por resistencia, adaptando la propuesta a las particularidades de cada proceso.

### ***Estudio de impacto económico***

Se sugiere realizar investigaciones que cuantifiquen el impacto económico de la implementación de sistemas de calidad en soldadura para PYMES, incluyendo la reducción de costos por retrabajos, desperdicios y fallas, así como el retorno de la inversión en capacitación y estandarización.

### ***Análisis de barreras específicas por subsector***

Dado que el sector metalmecánico abarca subsectores con características muy diversas (construcción, manufactura, mantenimiento industrial, etc.), se recomienda investigar las barreras

específicas que enfrenta cada subsector para la implementación de sistemas de calidad, con el fin de desarrollar estrategias diferenciadas.

### Referencias bibliográficas

- American Welding Society. (2020). AWS A3.0:2020 – Standard terms and definitions.  
*<https://dl.gasplus.ir/standard-ha/Standard-AWS/AWS%20A3.0%202020.pdf>*
- American Welding Society. (2020). \*AWS D1.1/D1.1M:2020 – Structural welding code – steel\*.  
*<https://istasazeh-co.com/wp-content/uploads/2022/02/AWS-D1.1-D1.1M-2020.pdf>*
- Bernal, C. A. (2010). Metodología de la investigación (3ª ed.). Pearson Educación.
- Cáceres, P. (2003). Análisis cualitativo de contenido: Una alternativa metodológica alcanzable. *Psicoperspectivas*, 2(1), 53-82.  
*<https://www.psicoperspectivas.cl/index.php/psicoperspectivas/article/view/3>*
- Cadena Morillo, B. A. (2023). Manual de procedimiento para operación y calificación de soldadura SMAW, GTAW, GMAW.  
*[https://rraae.cedia.edu.ec/vufind/Record/UTI\\_ec456ec05798328e4656457dddaa92e0/Details?sid=3108228](https://rraae.cedia.edu.ec/vufind/Record/UTI_ec456ec05798328e4656457dddaa92e0/Details?sid=3108228)*
- Campos Torres, F. L. (2014). Control de calidad en los procesos de soldadura FCAW – SMAW.  
*[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSA\\_b67807a6b36e7763b53c861079dc1e79](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSA_b67807a6b36e7763b53c861079dc1e79)*
- Chan Pozo, M. A., & Serrano Valarezco, O. (2009). Calificación de procedimientos de soldadura, operadores y soldadores en procesos SMAW y GMAW, de acuerdo al código AWS D1.1 para aceros estructurales [Tesis de grado].  
*<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/2259/1/4488.pdf>*
- Deming, W. E. (2000). Out of the crisis. The MIT Press.
- Engineering Equipment and Materials Users Association. (s.f.). Non-destructive testing (NDT).  
*[https://www.eemua.org/glossary/i-\(1\)/ndt](https://www.eemua.org/glossary/i-(1)/ndt)*

- Evans, J. R., & Lindsay, W. M. (2005). *The management and control of quality* (6th ed.). Thomson South-Western. <https://pdfcoffee.com/the-management-and-control-of-quality-1-pdf-free.html>
- Evans, J. R., & Lindsay, W. M. (2017). *Administración y control de la calidad* (10ª ed.). Cengage Learning. <https://pdfcoffee.com/a-d-m-i-n-i-s-t-r-a-c-i-o-n-y-control-de-la-calidad-pdf-free.html>
- Gómez Vargas, M., Galeano Higueta, C., & Jaramillo Muñoz, D. A. (2015). El estado del arte: Una metodología de investigación. *Revista Colombiana de Ciencias Sociales*, 6(2), 423-442. <https://www.redalyc.org/pdf/4978/497856275012.pdf>
- Gutierrez Norabuena, J. L., & Cordova Ojeda, K. R. (2024). Aplicación del ciclo PHVA y control estadístico para mejorar la calidad en procesos de soldadura. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/server/api/core/bitstreams/423b7483-9a8e-5d9b-b833-a1155338d115/content>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). McGraw-Hill.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.
- International Organization for Standardization. (2007). \*ISO 6520-1:2007 Welding and allied processes — Classification of geometric imperfections in metallic materials — Part 1: Fusion welding. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:6520:-1:ed-2:v1:en>
- International Organization for Standardization. (2023). \*ISO 5817:2023 Welding — Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) —

Quality levels for imperfections\*.

[https://weldcalc.ssab.com/sisStandards/ISO%205817\\_Ed\\_4\\_2023.pdf](https://weldcalc.ssab.com/sisStandards/ISO%205817_Ed_4_2023.pdf)

International Organization for Standardization. (2025). ISO 19828:2025 Welding for aerospace applications — Visual inspection of welds.

<https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:19828:ed-2:v1:en>

Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2010). Manufacturing, engineering and technology (6th ed.). Pearson Prentice Hall.

[https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781292422299\\_A42937630/preview-9781292422299\\_A42937630.pdf](https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781292422299_A42937630/preview-9781292422299_A42937630.pdf)

Kou, S. (2003). Welding metallurgy (2nd ed.). John Wiley & Sons.

<https://faculty.kashanu.ac.ir/file/download/course/1558862167-sindo-kou-auth.-welding-metallurgy-second-edition-2002-.pdf>

Patarroyo Pulido, H. A., Yate Hernández, M. T., Gutiérrez Olaya, A. S., Garay Rodríguez, L. Y., & Díaz Sarmiento, R. (2020). Caracterización de inclusiones producidas por procesos de soldadura SMAW y FCAW en acero estructural. Revista de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Centro de Operación y Mantenimiento Minero, 1(2), 19-33.

<https://revistas.sena.edu.co/index.php/RINDECOMM/article/view/4380>

## Apéndices

### Apéndice A

#### *Matriz de Registro Documental*

*Instrumento utilizado para sistematizar las fuentes consultadas durante la investigación*

ID	Tipo de fuente	Autores	Año	Título	Editorial / Revista	Temática principal	Páginas relevantes	Citas de interés
01	Libro	Kou, S.	2003	Welding Metallurgy	John Wiley & Sons	Metalurgia de la soldadura	56, 215, 398, 401, 412, 415, 420, 425, 426	Definición de porosidad, causas de falta de fusión, penetración incompleta
02	Norma	American Welding Society	2020	AWS D1.1/D1.1M:2020 – Structural Welding Code – Steel	AWS	Requisitos para soldadura estructural	Cláusulas 5, 6, 7, 8	Calificación de procedimientos, calificación de soldadores, inspección

ID	Tipo de fuente	Autores	Año	Título	Editorial / Revista	Temática principal	Páginas relevantes	Citas de interés
03	Norma	American Welding Society	2020	AWS A3.0:2020 – Standard Terms and Definitions	AWS	Terminología de soldadura	45, 64	Definición de soldadura, definición de socavado
04	Norma	International Organization for Standardization	2023	ISO 5817:2023 – Quality levels for imperfections	ISO	Criterios de aceptación de defectos	v, 1, 11–23, 14, 16, 18	Niveles de calidad, límites dimensionales
05	Norma	International Organization for Standardization	2025	ISO 19828:2025 – Welding for aerospace applications — Visual inspection of welds	ISO	Inspección visual de soldaduras	1, 5, 6, 8, 10	Requisitos para inspección visual, documentación
06	Libro	Kalpakjian, S. & Schmid, S.	2010	Manufacturing, Engineering and Technology	Pearson	Procesos de manufactura	875, 882, 883, 884,	Descripción GMAW, causas de defectos

ID	Tipo de fuente	Autores	Año	Título	Editorial / Revista	Temática principal	Páginas relevantes	Citas de interés
							886, 890, 895	
07	Libro	Evans, J. & Lindsay, W.	2005	The Management and Control of Quality	Thomson	Gestión de calidad	16, 87, 112, 215, 312, 412	Definición de calidad, mejora continua
08	Libro	Evans, J. & Lindsay, W.	2017	Administración y control de la calidad	Cengage	Gestión de calidad	215, 287, 312	Importancia de registros, mejoras de bajo costo
09	Libro	Deming, W.	2000	Out of the Crisis	MIT Press	Gestión de calidad	38, 87, 92, 187, 433	Calidad desde la dirección, mejora continua

ID	Tipo de fuente	Autores	Año	Título	Editorial / Revista	Temática principal	Páginas relevantes	Citas de interés
10	Tesis	Chan Pozo, M. & Serrano Valarezco, O.	2009	Calificación de Procedimientos de Soldadura	Tesis de grado	Control de calidad en soldadura	87, 89, 92, 94, 95	Rechazo de procedimientos GMAW, estandarización
11	Tesis	Campos Torres, F.	2014	Control de Calidad en Procesos de Soldadura FCAW-SMAW	Trabajo de grado	Control de calidad	78, 82, 89, 112	Ausencia de registros, reducción de socavado
12	Tesis	Cadena Morillo, B.	2023	Manual de Procedimiento para Operación y Calificación	Trabajo de grado	Capacitación en soldadura	45, 98, 102	Brecha formativa, formación de formadores
13	Artículo	Patarroyo Pulido et al.	2020	Caracterización de inclusiones	Revista de Investigación	Defectos en soldadura	28	Causas de inclusiones, humedad, pinturas

ID	Tipo de fuente	Autores	Año	Título	Editorial / Revista	Temática principal	Páginas relevantes	Citas de interés
14	Artículo	Gutierrez Norabuena, R. & Cordova Ojeda, J.	2024	Aplicación del ciclo PHVA	Universidad Peruana	Mejora continua	4	Ciclo PHVA en soldadura
15	Web	EEMUA	s.f.	Non-destructive testing (NDT)	EEMUA	Definición de END	—	Definición de ensayos no destructivos

## Apéndice B

### Ficha de Análisis Comparativo de Normas

Instrumento utilizado para contrastar los criterios de AWS D1.1:2020 e ISO 5817:2023

Aspecto evaluado	AWS D1.1:2020	ISO 5817:2023	Relación / Complementariedad
Enfoque principal	Prescriptivo: establece cómo producir soldaduras conformes mediante la regulación de procedimientos y personal	Evaluativo: define qué se considera aceptable en términos de imperfecciones	Complementarias: AWS regula el proceso, ISO evalúa el producto
Calificación de procedimientos	Cláusula 5: "todos los procedimientos de soldadura deben ser calificados antes de su uso en producción" (p. 45)	No aborda explícitamente	AWS establece el marco para asegurar que el procedimiento es capaz; ISO no interviene
Calificación de personal	Cláusula 6: exige que soldadores e inspectores demuestren su habilidad práctica (Parte C)	No aborda	AWS garantiza la competencia del personal

Aspecto evaluado	AWS D1.1:2020	ISO 5817:2023	Relación / Complementariedad
Fabricación	Cláusula 7: requisitos para preparación de juntas, control de distorsión, tolerancias	No aborda	AWS establece requisitos de ejecución
Inspección	Cláusula 8: "la inspección visual debe realizarse antes, durante y después de la soldadura" (p. 120)	Define criterios de aceptación, no procedimientos de inspección	AWS establece cuándo y cómo inspeccionar; ISO define qué aceptar
Criterios de aceptación	Cláusula 8: remite a tablas propias o a normas de producto aplicables (p. 120)	Define tres niveles de calidad (B, C, D) con límites dimensionales precisos (pp. 11–23)	ISO proporciona mayor detalle y gradación; AWS permite su integración
Niveles de calidad	Define criterios específicos por tipo de estructura, sin gradación explícita comparable	"Deben ser especificados en la documentación contractual" (p. 1): Nivel B (estricto), Nivel C (intermedio), Nivel D (permisivo)	ISO ofrece flexibilidad adaptativa; AWS ofrece prescripción por aplicación

Aspecto evaluado	AWS D1.1:2020	ISO 5817:2023	Relación / Complementariedad
Porosidad – criterios	Tablas generales	Nivel B: no permitida; Nivel C: $\leq 4\%$ área; Nivel D: $\leq 8\%$ área (p. 14)	ISO más detallado
Socavado – criterios	Tablas generales	Nivel B: $h \leq 0.5$ mm, $L \leq 25$ mm; Nivel C: $h \leq 1$ mm, $L \leq 50$ mm; Nivel D: $h \leq 1.5$ mm, $L \leq 75$ mm (p. 16)	ISO más detallado
Penetración incompleta	Requisitos generales	Nivel B: no permitida; Nivel C: limitada y especificada; Nivel D: aceptable en casos no críticos (p. 18)	ISO más detallado
Aplicabilidad en PYMES	Puede resultar compleja por requisitos de calificación	Los niveles graduados permiten implementación progresiva	ISO facilita la adopción gradual

## Apéndice C

### Matriz de Clasificación de Defectos

Instrumento para organizar la información sobre defectos de soldadura en procesos SMAW y GMAW

Defecto	Definición técnica	Causas principales según literatura	Consecuencias en integridad estructural	Métodos de detección	Criterios de aceptación ISO 5817
Porosidad	"Cavidades formadas por atrapamiento de gas durante la solidificación del metal de soldadura" (Kou, 2003, p. 56)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Humedad en electrodos (fuente de H)</li> <li>• Contaminación superficial (óxido, pintura, grasa)</li> <li>• Flujo insuficiente de gas protector</li> <li>• Arco demasiado largo</li> <li>• Velocidad de avance excesiva (Patarroyo et al., 2020, p. 28)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción del área transversal efectiva</li> <li>• Disminución de resistencia mecánica y a la fatiga</li> <li>• Concentración de tensiones</li> </ul>	Inspección visual, Radiografía, Ultrasonido	Nivel B: No permitida Nivel C: $\leq 4\%$ área proyectada Nivel D: $\leq 8\%$ área proyectada
Falta de fusión	"Falta de unión entre el metal de aporte y el	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aporte térmico insuficiente</li> <li>• Velocidad de avance excesiva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción crítica de resistencia mecánica</li> </ul>	Inspección visual,	Nivel B: No permitida Nivel C:

Defecto	Definición técnica	Causas principales según literatura	Consecuencias en integridad estructural	Métodos de detección	Criterios de aceptación ISO 5817
	metal base, o entre capas adyacentes de soldadura" (AWS A3.0, 2020, p. 45)	Ángulo incorrecto del electrodo • Preparación inadecuada de junta • Limpieza deficiente entre pasadas (Kalpakjian & Schmid, 2010, p. 882)	Alto riesgo de falla bajo cargas • Iniciación de grietas	Líquidos penetrantes, Ultrasonido	No permitida en juntas críticas Nivel D: Evaluación caso por caso
Socavado	"Ranura fundida en el metal base adyacente a la raíz o punta de la soldadura que no es rellenada por el metal de	• Corriente excesiva • Velocidad de avance incorrecta • Técnica inadecuada • Ángulo incorrecto del electrodo (Kalpakjian & Schmid, 2010, p. 884)	• Reducción del espesor efectivo • Concentración de tensiones • Iniciación de grietas por fatiga	Inspección visual, Medición con galgas	Nivel B: $h \leq 0.5$ mm, $L \leq 25$ mm Nivel C: $h \leq 1$ mm, $L \leq 50$ mm Nivel D: $h \leq 1.5$ mm, $L \leq 75$ mm

Defecto	Definición técnica	Causas principales según literatura	Consecuencias en integridad estructural	Métodos de detección	Criterios de aceptación ISO 5817
	soldadura" (AWS A3.0, 2020, p. 45)				
Penetración incompleta	"Fallo en la fusión en la raíz de la unión, dejando una discontinuidad que puede atravesar parcial o totalmente el espesor" (Kou, 2003, p. 412)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preparación inadecuada de junta</li> <li>• Separación de raíz insuficiente</li> <li>• Aporte térmico bajo</li> <li>• Electrodo de diámetro excesivo (Kalpakjian &amp; Schmid, 2010, p. 886)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción drástica de sección resistente</li> <li>• Concentrador de tensiones severo</li> <li>• Propagación bajo cargas cíclicas</li> </ul>	Inspección visual, Radiografía, Ultrasonido	Nivel B: No permitida Nivel C: Solo si limitada y especificada Nivel D: Aceptable en casos no críticos

**Apéndice D***Formatos para Inspección Visual de Soldadura*

Lista de verificación para inspección visual

## INSPECCIÓN VISUAL DE SOLDADURA – LISTA DE VERIFICACIÓN

Proyecto: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Pieza/Unión N°: \_\_\_\_\_

Inspector: \_\_\_\_\_

Proceso:  SMAW  GMAW

WPS N°: \_\_\_\_\_

## A. Verificaciones antes de soldar

N°	Aspecto a verificar	Conforme	No conforme	N/A	Observaciones
A.1	Limpieza de superficies: metal base libre de óxido, pintura, grasa, humedad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
A.2	Preparación de la junta: ángulos de bisel según WPS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

N°	Aspecto a verificar	Conforme	No conforme	N/A	Observaciones
A.3	Separación de raíz según especificación WPS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
A.4	Estado de electrodos: secos (SMAW) / sin daños	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
A.5	Gas de protección (GMAW): flujo adecuado, mangueras sin fugas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
A.6	Material de aporte: tipo y diámetro correctos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
A.7	Equipo: polaridad correcta, conexiones seguras	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
A.8	Condiciones ambientales: humedad y temperatura dentro de rangos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

#### B. Verificaciones durante la soldadura

N°	Aspecto a verificar	Conforme	No conforme	N/A	Observaciones
B.1	Estabilidad del arco: constante, sin fluctuaciones	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
B.2	Apariencia del cordón: uniforme en ancho y altura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

N°	Aspecto a verificar	Conforme	No conforme	N/A	Observaciones
B.3	Control de escoria: removida entre pasadas (SMAW)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
B.4	Ángulo del electrodo según técnica establecida	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
B.5	Velocidad de avance adecuada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
B.6	Protección gaseosa (GMAW): flujo constante, sin corrientes de aire	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

### C. Verificaciones después de soldar

N°	Aspecto a verificar	Conforme	No conforme	N/A	Observaciones
C.1	Limpieza final: escoria y salpicaduras removidas				
C.2	Porosidad visible: inspeccionar superficie del cordón				
C.3	Socavado: verificar presencia y medir profundidad				
C.4	Perfil del cordón: altura de refuerzo adecuada				

N°	Aspecto a verificar	Conforme	No conforme	N/A	Observaciones
C.5	Falta de fusión superficial: inspeccionar bordes				
C.6	Mordeduras: verificar en bordes del cordón				
C.7	Identificación: pieza correctamente identificada				

Decisión final

Aceptado

Aceptado con observaciones

Rechazado

Inspector: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

Supervisor: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

Formato de registro de inspección

## REGISTRO DE INSPECCIÓN DE SOLDADURA

Registro N°: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

### 1. IDENTIFICACIÓN

Proyecto: \_\_\_\_\_

Cliente: \_\_\_\_\_

Pieza/Unión: \_\_\_\_\_

Código: \_\_\_\_\_

Proceso:  SMAW  GMAW

WPS N°: \_\_\_\_\_

Material base: \_\_\_\_\_

Espesor (mm): \_\_\_\_\_

Tipo de junta:  A tope  Filete  Otra: \_\_\_\_\_

Posición:

Plana

Horizontal

Vertical

Sobre cabeza

## 2. DATOS DE LA INSPECCIÓN

Inspector: \_\_\_\_\_

Certificación (si aplica): \_\_\_\_\_

Fecha de inspección: \_\_\_\_\_

Hora: \_\_\_\_\_

Instrumentos utilizados:

Galga

Lupa

Escala

Otro: \_\_\_\_\_

Norma de referencia:

AWS D1.1

ISO 5817

Otro: \_\_\_\_\_

Nivel de calidad aplicado:

Nivel B

Nivel C

Nivel D

### RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN

Aspecto evaluado	Conforme	No conforme	Observaciones / Medición
Limpieza previa			
Preparación de junta			
Estado de materiales			
Apariencia del cordón			
Porosidad			
Socavado			(profundidad: ___ mm, longitud: ___ mm)
Perfil del cordón			(altura refuerzo: ___ mm)
Penetración			
Falta de fusión			
Medidas finales			

**DEFECTOS OBSERVADOS (si aplica)**

Tipo de defecto	Ubicación	Dimensión	Fotografía N°

**DECISIÓN Y ACCIONES**

Decisión final:

 Aceptado Aceptado con observaciones Rechazado

Acciones correctivas requeridas (en caso de rechazo):

- Reparación (especificar): \_\_\_\_\_
- Reemplazo de pieza
- Nueva inspección después de reparación
- Ensayo complementario (especificar): \_\_\_\_\_

Observaciones generales:

**6. FIRMAS**

Inspector: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Supervisor: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

**Apéndice E***Tablas y Guías de Criterios de Aceptación**Tabla detallada de criterios ISO 5817 para defectos comunes*

Defecto (código ISO 6520)	Descripción	Nivel B (estricto)	Nivel C (intermedio)	Nivel D (permisivo)	Método de medición
Porosidad (201)	Cavidades esféricas o alargadas formadas por gas atrapado	No permitida	≤ 4% del área proyectada en cualquier sección de 100 mm	≤ 8% del área proyectada en cualquier sección de 100 mm	Inspección visual, comparación con carta patrón
Porosidad agrupada (2013)	Grupo de poros distribuidos localmente	No permitida	Permitida si el área total no supera los límites de porosidad dispersa	Permitida con límites extendidos	Medición de área afectada

Defecto (código ISO 6520)	Descripción	Nivel B (estricto)	Nivel C (intermedio)	Nivel D (permisivo)	Método de medición
Socavado continuo (5011)	Ranura continua en el metal base adyacente a la soldadura	$h \leq 0.5 \text{ mm}$ , $L \leq 25$ mm en cualquier tramo de 100 mm	$h \leq 1 \text{ mm}$ , $L \leq 50 \text{ mm}$ en cualquier tramo de 100 mm	$h \leq 1.5 \text{ mm}$ , $L \leq 75 \text{ mm}$ en cualquier tramo de 100 mm	Galga de socavado, escala
Socavado discontinuo (5012)	Ranura intermitente en el metal base	$h \leq 0.5 \text{ mm}$ , suma de longitudes $\leq 25$ mm en 100 mm	$h \leq 1 \text{ mm}$ , suma de longitudes $\leq 50 \text{ mm}$ en 100 mm	$h \leq 1.5 \text{ mm}$ , suma de longitudes $\leq 75 \text{ mm}$ en 100 mm	Galga de socavado, escala
Penetración incompleta (402)	Falta de fusión en la raíz de la unión	No permitida	No permitida	Aceptable en aplicaciones no críticas con límites especificados	Inspección visual (si accesible), radiografía

Defecto (código ISO 6520)	Descripción	Nivel B (estricto)	Nivel C (intermedio)	Nivel D (permisivo)	Método de medición
Falta de fusión (401)	Falta de unión entre metal de aporte y base o entre capas	No permitida	No permitida en juntas críticas; otras según evaluación	Evaluación caso por caso según criticidad	Inspección visual, líquidos penetrantes, ultrasonido
Exceso de penetración (504)	Metal de soldadura que sobresale excesivamente en la raíz	$h \leq 3 \text{ mm}$	$h \leq 4 \text{ mm}$	$h \leq 5 \text{ mm}$	Escala, galga
Falta de penetración (402)	Raíz de soldadura no alcanza el espesor completo	No permitida	Permitida solo si limitada y especificada	Aceptable en aplicaciones no críticas	Radiografía, ultrasonido
Grieta (100)	Discontinuidad planar por fractura en el cordón o en la ZAC	No permitida en ningún caso	No permitida en ningún caso	No permitida en ningún caso	Inspección visual, líquidos penetrantes, ultrasonido

## Guía para selección del nivel de calidad

## Factores a considerar para la selección del nivel ISO 5817

Factor	Nivel B (estricto)	Nivel C (intermedio)	Nivel D (permisivo)
Tipo de estructura	Crítica: puentes, grúas, estructuras sometidas a fatiga, recipientes a presión	Semicrítica: estructuras industriales generales, edificios, maquinaria estacionaria	No estructural: elementos secundarios, ornamentales, no portantes
Cargas de servicio	Cargas dinámicas, fatiga, impacto, vibraciones	Cargas estáticas moderadas, ciclos bajos	Cargas estáticas bajas, peso propio únicamente
Consecuencia de falla	Catastrófica: pérdida de vidas, daño ambiental grave, pérdidas económicas mayores	Significativa: costos de reparación, parada de producción	Menor: reparación sencilla, sin consecuencias mayores
Accesibilidad para inspección/reparación	Difícil acceso, reparación costosa o imposible	Acceso moderado, reparación posible	Fácil acceso, reparación sencilla
Requisitos del cliente/contrato	Especificación contractual de nivel B	Especificación contractual de nivel C o sin especificación	Especificación contractual de nivel D

Factor	Nivel B (estricto)	Nivel C (intermedio)	Nivel D (permisivo)
Normativa sectorial	Sector nuclear, aeroespacial, petroquímico crítico	Construcción general, industria manufacturera	Elementos decorativos, no estructurales
Experiencia previa	Historial de problemas en uniones similares	Desempeño aceptable en aplicaciones similares	Baja criticidad, historial sin problemas

#### Recomendaciones por tipo de aplicación

Aplicación	Nivel recomendado	Justificación
<b>Estructuras de acero para edificios (vigas, columnas) según norma NSR-10</b>	<b>Nivel C</b>	Equilibrio entre seguridad y viabilidad de fabricación
<b>Puentes y estructuras de puentes grúa</b>	<b>Nivel B</b>	Fatiga y consecuencias graves de falla
<b>Recipientes a presión y calderas</b>	<b>Nivel B</b>	Riesgo de explosión, normativa específica
<b>Estructuras industriales menores (plataformas, pasarelas)</b>	<b>Nivel C</b>	Cargas moderadas, acceso para inspección

Aplicación	Nivel recomendado	Justificación
Elementos no estructurales (barandas, rejillas, soportes secundarios)	Nivel D	Baja responsabilidad estructural
Reparaciones y mantenimiento en sitio	Nivel C	Equilibrio entre calidad y condiciones de campo
Prototipos y piezas únicas	Nivel C	Permite ajustes sin sobrecostos

## **Apéndice F**

### *Guías de Capacitación para Soldadores*

#### F.1 Programa detallado de capacitación

#### **PROGRAMA DE CAPACITACIÓN: CONTROL DE CALIDAD EN SOLDADURA PARA OPERARIOS**

##### Objetivo general:

Desarrollar en los soldadores las competencias conceptuales y prácticas necesarias para comprender, prevenir y autocontrolar los defectos en procesos SMAW y GMAW, contribuyendo a la mejora de la calidad en su trabajo diario.

##### Dirigido a:

Soldadores de procesos SMAW y GMAW con experiencia práctica, independientemente de su nivel de formación académica.

##### Metodología:

Combinación de sesiones expositivas con apoyo visual, talleres prácticos con muestras reales, demostraciones en taller y ejercicios de aplicación. Se utilizará un lenguaje accesible y ejemplos contextualizados a la realidad del taller.

##### Duración total:

18 horas (distribuidas en sesiones de 4 horas semanales).

### MÓDULO 1: FUNDAMENTOS DE CALIDAD EN SOLDADURA

Aspecto	Detalle
Duración	4 horas
Objetivo	Comprender el concepto de calidad aplicado a soldadura y su importancia para el producto final y la competitividad de la empresa
Contenidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Qué significa calidad en una soldadura? Definiciones prácticas.</li> <li>• Costos de la no calidad: retrabajos, desperdicios, pérdida de tiempo, imagen de la empresa.</li> <li>• Responsabilidad del soldador: el soldador como primer inspector.</li> <li>• Introducción a sistemas de calidad: procedimientos, registros, mejora continua.</li> <li>• Relación entre calidad y productividad: hacerlo bien a la primera.</li> </ul>
Materiales	Presentación con ejemplos visuales de fallas y costos asociados; videos cortos de casos reales
Actividad práctica	Discusión grupal sobre experiencias propias con retrabajos y sus causas
Evaluación	Cuestionario conceptual de 10 preguntas de opción múltiple

**MÓDULO 2: DEFECTOS – IDENTIFICACIÓN Y CAUSAS**

Aspecto	Detalle
Duración	6 horas
Objetivo	Identificar visualmente los defectos más comunes en SMAW y GMAW, y comprender sus causas para poder prevenirlos
Contenidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clasificación de defectos según normas internacionales.</li> <li>• Porosidad: identificación, causas (humedad, contaminación, gas).</li> <li>• Falta de fusión: identificación, causas (parámetros, técnica, preparación).</li> <li>• Socavado: identificación, causas (corriente, velocidad, ángulo).</li> <li>• Penetración incompleta: identificación, causas (preparación, parámetros).</li> <li>• Relación entre parámetros y defectos.</li> </ul>
Materiales	Colección de muestras con defectos reales; fotografías de alta resolución; galgas y lupas
Actividad práctica	Taller de identificación: los participantes reciben estaciones con diferentes muestras y deben identificar el defecto y proponer causas posibles
Evaluación	Prueba de identificación con 10 muestras o fotografías; deben acertar al menos 8

**MÓDULO 3: AUTOCONTROL EN PROCESO**

Aspecto	Detalle
Duración	4 horas
Objetivo	Desarrollar habilidades para monitorear la propia soldadura durante la ejecución y realizar ajustes en tiempo real
Contenidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificaciones durante el proceso: qué observar (estabilidad del arco, apariencia del cordón, formación de escoria).</li> <li>• Ajuste de parámetros según condiciones.</li> <li>• Importancia de la limpieza entre pasadas.</li> <li>• Técnica correcta: ángulo, longitud de arco.</li> <li>• Señales de advertencia: indicadores de que algo está mal.</li> <li>• Técnicas para minimizar defectos antes de la inspección final.</li> </ul>
Materiales	Equipos de soldadura para demostración; piezas de prueba
Actividad práctica	Demostración del instructor: soldadura con y sin autocontrol, mostrando diferencias. Ejercicio: los participantes ejecutan soldaduras mientras reciben retroalimentación.
Evaluación	Evaluación de desempeño durante la práctica: capacidad de identificar desviaciones y ajustar

**MÓDULO 4: NORMAS Y CRITERIOS BÁSICOS**

Aspecto	Detalle
Duración	4 horas
Objetivo	Conocer los conceptos básicos de las normas AWS D1.1 e ISO 5817, y aplicar criterios sencillos de aceptación
Contenidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Qué son las normas y por qué son importantes?</li> <li>• Conceptos básicos de AWS D1.1: procedimientos, calificación de soldadores.</li> <li>• Conceptos básicos de ISO 5817: niveles de calidad (B, C, D).</li> <li>• Interpretación de límites de aceptación (dimensiones).</li> <li>• Uso de instrumentos de medición: galgas de socavado, galgas de altura de refuerzo, lupas.</li> <li>• Importancia de registros y documentación.</li> </ul>
Materiales	Tablas resumen de criterios (Apéndice E); galgas y lupas para práctica; ejemplos de registros diligenciados
Actividad práctica	Ejercicio de aplicación: sobre muestras o fotografías, los participantes aplican los criterios para decidir aceptación/rechazo, justificando su decisión
Evaluación	Estudio de caso: se presentan 5 situaciones con descripción y mediciones; deben decidir y justificar

## F.2 Formato de registro de capacitación

## REGISTRO DE CAPACITACIÓN – PERSONAL SOLDADOR

Empresa: \_\_\_\_\_

Área: \_\_\_\_\_

## DATOS DEL PARTICIPANTE

Nombre completo: \_\_\_\_\_

Cédula: \_\_\_\_\_

Cargo: \_\_\_\_\_

Experiencia en soldadura (años): \_\_\_\_\_

Procesos que domina:

 SMAW     GMAW     Otros: \_\_\_\_\_

## REGISTRO DE MÓDULOS APROBADOS

Módulo	Fecha	Duración	Resultado evaluación	Instructor	Firma participante
Fundamentos de calidad		4 h	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Reprobado		
Defectos: identificación y causas		6 h	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Reprobado		

Autocontrol en proceso || 4 h | [ ] Aprobado [ ] Reprobado ||

Normas y criterios básicos || 4 h | [ ] Aprobado [ ] Reprobado ||

### OBSERVACIONES GENERALES

- Fortalezas observadas:
- Áreas de mejora:
- Recomendaciones:

### CERTIFICACIÓN

Fecha de finalización: \_\_\_\_\_

Total horas: \_\_\_\_\_

Instructor responsable: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_

Vo.Bo. Supervisor: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_

### F.3 Guía para formadores internos

#### Guía rápida para facilitadores internos

Perfil recomendado del formador interno:

- Soldador con al menos 5 años de experiencia en SMAW y/o GMAW.
- Reconocido por su calidad y constancia en el trabajo.
- Habilidad para comunicarse claramente con sus compañeros.
- Actitud positiva y disposición para enseñar.
- Conocimiento básico de las normas y procedimientos (o disposición para capacitarse).

#### Recomendaciones para la facilitación

##### *Antes de la sesión:*

1. Revisar los materiales del módulo con anticipación.
2. Preparar ejemplos prácticos de la experiencia propia que ilustren los conceptos.
3. Asegurar disponibilidad de muestras, equipos y materiales necesarios.
4. Verificar el espacio y condiciones para la actividad práctica.

##### *Durante la sesión:*

1. Usar lenguaje sencillo y accesible; evitar tecnicismos innecesarios.
2. Relacionar cada concepto con situaciones del trabajo diario.
3. Fomentar la participación y las preguntas.
4. Demostrar, no solo explicar (particularmente en módulos prácticos).
5. Dar retroalimentación constructiva, destacando aciertos antes que errores.

6. Verificar comprensión preguntando periódicamente.

*Después de la sesión:*

1. Completar los registros de capacitación.
2. Identificar participantes que puedan requerir refuerzo.
3. Documentar observaciones para mejorar futuras sesiones.
4. Compartir retroalimentación con supervisores.

Manejo de situaciones difíciles:

Situación	Recomendación
Participante que no comprende	Usar otro ejemplo, preguntar qué parte no entendió, verificar si el problema es terminología.
Participante resistente o escéptico	Reconocer su experiencia, pedir su opinión, mostrar cómo lo que se enseña puede ayudarle en su trabajo.
Participante que domina el tema	Pedirle que comparta su experiencia, asignarle el rol de apoyo en ejercicios prácticos.
Errores frecuentes en práctica	Detener la actividad, demostrar nuevamente la técnica correcta, dar retroalimentación individual.