



FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC PARA LA OPTIMIZAR EL
PROCESO DE SOLDADURA EN LA EMPRESA FIRA S.A.C.

Línea de investigación:

Competitividad industrial, diversificación productiva y prospectiva

Trabajo de Suficiencia Profesional para optar el Título Profesional de
Ingeniero Industrial

Autor

Acevedo Ramírez, Roberto Juan

Asesor

Castro Retes, Augusto Ángel

ORCID: 0000-0002-0130-3527

Jurado

Batallanos Casas, Williams Hernán

Carlos Reyes, Gabriel Jorge

Meza Armas, Orlando Eleodoro

Lima - Perú

2025



IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC PARA LA OPTIMIZAR EL PROCESO DE SOLDADURA EN LA EMPRESA FIRA S.A.C.

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
2	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	Submitted to Universidad Nacional Federico Villarreal Trabajo del estudiante	1%
4	Submitted to Universidad TecMilenio Trabajo del estudiante	1%
5	repositorio.upse.edu.ec Fuente de Internet	1%
6	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Integración Blackboard Trabajo del estudiante	<1%
8	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	<1%
9	www.cdhis.org.mx Fuente de Internet	<1%
10	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1%
11	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS
IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC PARA LA OPTIMIZAR
EL PROCESO DE SOLDADURA EN LA EMPRESA FIRA S.A.C.

Línea de investigación:

Competitividad industrial, diversificación industrial y prospectiva

Experiencia profesional para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

Autor:

Acevedo Ramírez, Roberto Juan

Asesor:

Castro Retes, Augusto Ángel

ORCID: 0000-0002-0130-3527

Jurado:

Batallanos Casas, Williams Hernán

Carlos Reyes, Gabriel Jorge

Meza Armas, Orlando Eleodoro

Lima - Perú

2025

ÍNDICE

RESUMEN	5
ABSTRACT.....	6
I. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1. Trayectoria del autor.....	7
1.2. Descripción de la empresa.....	8
1.3. Organigrama de la empresa.....	10
1.4. Áreas y funciones desempeñadas.....	11
II. DESCRIPCIÓN DE UNA ACTIVIDAD ESPECÍFICA	13
2.1. Planteamiento del Problema.....	13
2.2. Justificación de la Investigación.....	18
2.3. Limitaciones.....	18
2.4. Delimitación.....	18
III. APORTES MÁS DESTACABLES A LA EMPRESA	60
IV. CONCLUSIONES	61
V. RECOMENDACIONES.....	62
VI. REFERENCIAS	63
VII. ANEXOS.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Organigrama de la institución	10
Figura 2. Diagrama SIPOC	21
Figura 3. Expectativas de calidad	24
Figura 4. Defectos visibles	25
Figura 5. Cumplimiento de plazos	26
Figura 6. Recomendación de servicios	27
Figura 7. Aspecto a mejorar	28
Figura 8. Análisis de causas raíz	29
Figura 9. Diagrama de Ishikawa	31
Figura 10. Diagrama de Pareto	34
Figura 11. Especificación de procedimiento de soldadura (WPS)	36
Figura 12. Especificación de procedimiento de soldadura 2	37
Figura 13. Informe de fabricación	40
Figura 14. Registro de calificación de soldador	42
Figura 15. Calificación de soldador ANSI/AWS D1.1	43
Figura 16. Informe de ensayo	46
Figura 17. Ensayo de tracción	47
Figura 18. Curva Fuerza-Alargamiento	48
Figura 19. Aprobación de ensayo	49
Figura 20. Registro de calificación de procedimiento 1	53
Figura 21. Registro de calificación de procedimiento 2	54
Figura 22. Registro de calificación de procedimiento 3	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de metodologías	16
Tabla 2. Expectativas de calidad	24
Tabla 3. Defectos visibles	25
Tabla 4. Cumplimiento de plazos	26
Tabla 5. Recomendación de servicios	27
Tabla 6. Aspecto a mejorar	28
Tabla 7. Control y sostenibilidad del proyecto	57
Tabla 8. Ahorros por implementación	58
Tabla 9. Reducción de gastos en recurso humano	59

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo optimizar el proceso de soldadura en acero HARDOX 450 dentro de la empresa FIRA S.A.C., mediante la aplicación de la metodología DMAIC de Six Sigma. En la fase **Definir**, se identificó como problemática central una tasa de defectos del 30% en las soldaduras, generando pérdidas económicas mensuales alrededor de S/.350 y una disminución en la satisfacción del cliente. En la fase **Medir**, se recolectaron datos de producción y encuestas de la Voz del Cliente (VOC), confirmando la magnitud de los defectos: fisuras, porosidad y falta de fusión fueron los más recurrentes. En la fase **Analizar**, mediante herramientas como el Diagrama de Pareto y el Diagrama de Ishikawa, se establecieron las causas raíz: falta de estandarización del proceso, inadecuado control de insumos, deficiencias en la capacitación, variaciones en equipos, condiciones ambientales adversas y ausencia de registros de medición. En la fase **Mejorar**, se implementaron acciones correctivas: creación de un WPS (Welding Procedure Specification) para HARDOX 450, control de almacenamiento de electrodos e insumos, talleres de capacitación para soldadores, ajustes y mantenimiento de máquinas mediante ensayos mecánicos, control de temperatura y humedad en el taller, y protocolos de medición con formatos estandarizados. Finalmente, en la fase **Controlar**, se desarrolló un plan de control con checklists de verificación, indicadores clave de desempeño (KPI), bitácoras de parámetros críticos, y auditorías periódicas, asegurando la sostenibilidad de los resultados y evitando la recurrencia de defectos.

Palabras clave: DMAIC, HARDOX 450., WPS, defectos de soldadura, VOC, Pareto, Ishikawa, KPI, control de procesos

ABSTRACT

The objective of this project is to optimize the welding process for HARDOX 450 steel at FIRA S.A.C. by applying the Six Sigma DMAIC methodology. In the Define phase, a 30% defect rate in welds was identified as a central problem, generating monthly economic losses of S/ 350 and a decrease in customer satisfaction. In the Measure phase, production data and Voice of the Customer (VOC) surveys were collected, confirming the magnitude of the defects: cracks, porosity, and lack of fusion were the most recurrent. In the Analyze phase, using tools such as the Pareto Chart and the Ishikawa Diagram, the root causes were established: lack of process standardization, inadequate control of inputs, deficiencies in training, equipment variations, adverse environmental conditions, and absence of measurement records. In the Improve phase, corrective actions were implemented: creation of a WPS (Welding Procedure Specification) for HARDOX 450, electrode and consumables storage control, welder training workshops, machine adjustments and maintenance through mechanical testing, temperature and humidity control in the workshop, and measurement protocols with standardized formats. Finally, in the Control phase, a control plan was developed with verification checklists, key performance indicators (KPIs), critical parameter logs, and periodic audits, ensuring the sustainability of results and preventing the recurrence of defects.

Keywords: DMAIC, HARDOX 450, WPS, welding defects, VOC, Pareto, Ishikawa, KPI, process control

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Trayectoria del autor

PERFIL

Gerente de producción responsable de la gestión y organización, encargado de la producción, supervisión del personal, desempeño de actividades diversas, como la asignación de responsabilidades para la organización del flujo de trabajo y la elaboración de informes de calidad y reportes de trabajos terminados.

CONTACTO

Teléfono: 998846141

Correo electrónico: Beto.fira.srl@hotmail.com

EXPERIENCIA LABORAL

Gerente de Producción – *FIRA SAC* (2002 / Actualidad)

- Comunicación al personal de instrucciones claras y precisas sobre el trabajo a desarrollar.
- Realización del cierre de la documentación técnica y de las órdenes sobre el trabajo de producción.
- Supervisión de los trabajos finales y de la calidad del producto y control de los defectuosos.
- Implantación de nuevas tecnologías y medios de producción renovados para la mejora de los procesos.

FORMACIÓN ACADÉMICA

Universidad Nacional Federico Villareal (1989 / 1996)

- Grado bachiller en Ingeniería Industrial

CARACTERÍSTICAS Y COMPETENCIAS CLAVE

- Gestión y elaboración de presupuestos
- Supervisión de procesos de producción
- Control de calidad
- Gestión y contratación de personal
- Planificación de mejoras tecnológicas
- Mantenimiento de máquinas y equipos

1.2. Descripción de la empresa

Información General de la Empresa:

- **Nombre de la Empresa:** FIRA S.A.C. (Factoría Industrial Roberto Acevedo S.A.C.).
- **Experiencia:** Más de 20 años de experiencia.
- **RUC:** 20308467458.
- **Dirección:** Av. Maquinarias 2130 - Lima (Altura Cuadra 20 Av. Argentina).
- **Sitio Web:** firasac.com.

Información de Contacto:

- **Teléfonos:** 336-7572 / 336-8139.
- **Entel Ventas:** 998241851.
- **Correos Electrónicos:**
 - fira.srl@hotmail.com.
 - produccion@firasac.com.
 - Administracion@firasac.com.

Servicios Ofrecidos:

- **Rolado:**

- En planchas de Fe, inoxidables, T1-400, T1 500 y otros materiales como HARDOX 450.

- Capacidad de hasta 3 metros de longitud.
- Rolado de tubos de Ø estándar SCH 40 hasta 4".
- Rolado de canales "C" y ángulos.
- Fabricación de chaquetas para molinos y serpentines.

- **Corte:**

- **Guillotina Hidráulica (Cizalla):** Desde 1.2 mm hasta 1 ½" de espesor y hasta 3 metros de longitud.

- **Oxicorte (Carrito de corte):** Hasta 6" de espesor.
- **Plasma:** Hasta 1" de espesor.
- **Corte CNC con Plasma y Oxicorte.**

- **Doblez:**

- Con plegadora hidráulica.
- Hasta ¾" de espesor y 3 metros de longitud.

- **Soldadura:**

- Procesos de Electrodo, MIG y TIG.
- Se cuenta con soldadores homologados.
- Se realiza pruebas de líquidos penetrantes.

- **Maestranza:**

- Servicios de torno, cepillo y taladro de columna.
- Maestranza en general.

Productos y Fabricaciones:

- **Fabricación de Ductos:** Incluyendo conos y codos de 90°.
- **Bombeado y Rebordeado:** De tapas toriesféricas.

- **Fabricación, Instalación y Montaje:** De estructuras, tuberías y ductos.
- **Equipos Diversos:** Autoclaves, ablandadores, mezcladoras, tanques (incluyendo estacionarios), tolvas, chutes, crisoles y ciclones.

- **Otros Productos:** Molinos de bolas, digestores y carritos mineros.

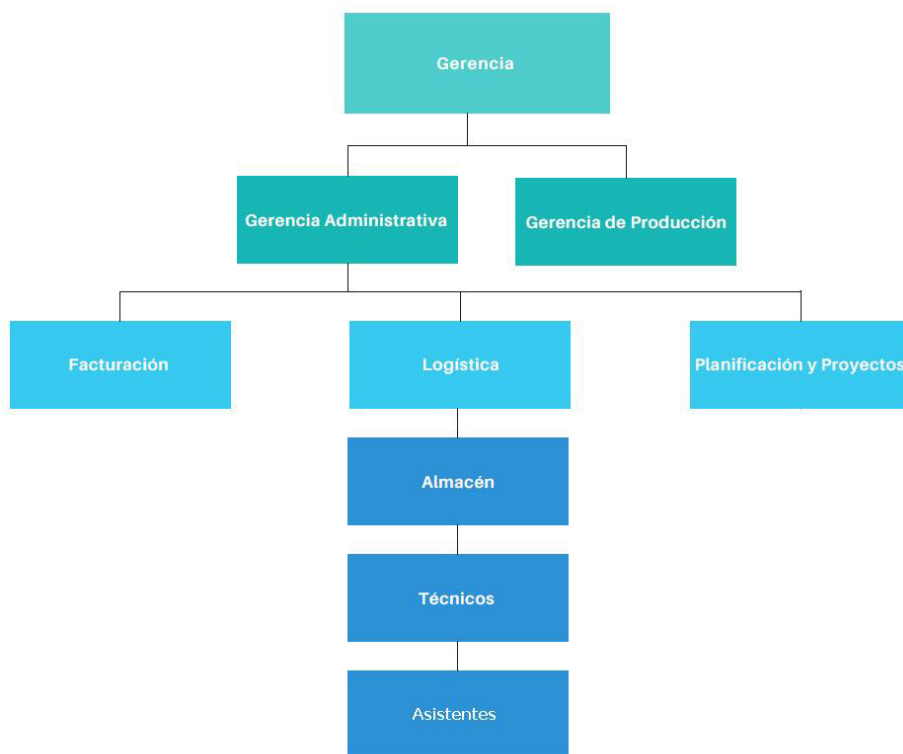
Clientes:

- Diversos sectores como minería, metalurgia, papeleras, farmacéutica, de los cuales algunos son: Aceros Arca, Aceros BOHELER, Ceming Est, Minera laytaruma, Minera Paraíso, Panamerican, Perufarma, Famesa, y Etna, Euromin, Tratar Perú, Minera Vicus, Polimetales, Acero Import, Pesquera Exalmen, Fundición Central, Pesquera Centinela, Exportadora El Sol, Setafe S.A.C., Minera Cristo Morado, Fishman, Minaceros, Voestalpine, Diplasac, Minera Jerusalén, Enerjet.

1.3. Organigrama de la empresa

Figura 1

Organigrama de la institución



1.4. Áreas y funciones desempeñadas

Gerencia general

Máxima autoridad administrativa de la empresa, es el representante legal, responsable de la dirección y supervisión de todas las áreas. Su papel es crucial porque define la visión estratégica de la empresa, garantiza la coordinación entre áreas y asegura el cumplimiento de las normativas legales.

Gerencia administrativa

Encargada de la parte administrativa y económica de la empresa, el manejo de los clientes, deudas por cobros y por pagos, el pago de planillas y todas las obligaciones económicas de la empresa (impuestos, bancos, aportaciones y obligaciones). Asegura la estabilidad financiera y el cumplimiento de compromisos económicos, permitiendo la sostenibilidad de la organización.

Gerencia de producción

Elaboración de costos y presupuestos. Distribución y supervisión de trabajos en planta. Trazado y metrado de materiales para elaboración de trabajos (lectura e interpretación de planos). Supervisión, en planta, de la ejecución de procesos de fabricación y servicios. Realiza informe de trabajos terminados. Realiza dossier de calidad de trabajos terminados. Realizar proceso e informes de Prueba de ensayo no destructivos (líquidos penetrantes). Realizar informe de pruebas hidrostática para recipientes a presión o tanques a presión. Encargado del personal de planta. Garantiza que los productos cumplan estándares de calidad, optimiza recursos en la producción y asegura el cumplimiento de plazos.

Facturación

Encargado de la recepción de trabajos, facturación de los mismos y elaboración de guías de remisión. Lleva el control y archivo de los presupuestos y órdenes de trabajo. Asegura la

correcta gestión financiera y documental, siendo vital para el flujo de caja y la transparencia administrativa.

Logística

Encargados de las compras de materiales e insumos necesarios para la fabricación de trabajos, así como para el funcionamiento de la empresa. Permite la continuidad de los procesos productivos mediante el abastecimiento oportuno y eficiente de recursos.

Planificación y proyectos

Encargado del control del mantenimiento de la maquinaria. Planifica los trabajos y proyectos relacionados con la empresa y se encarga del desarrollo de planos y proyectos. Facilita la organización y anticipación de necesidades, mejorando la eficiencia y reduciendo riesgos de fallas técnicas.

Almacén

Lleva el control y administración de los materiales que ingresan, el control de las herramientas y máquinas manuales, así como la existencia de insumos para los procesos productivos. Mantiene la trazabilidad de inventarios y garantiza que los insumos estén disponibles sin retrasos en producción.

Técnicos

Son el personal o mano de obra calificada necesaria para la realización de trabajos: Maestro armador, Maestro soldador (homologado), Maestro corte y doblado, Maestro tornero. Son esenciales para la ejecución directa de los trabajos, ya que su experiencia y habilidades aseguran la calidad de los productos finales.

Asistentes

Personal que ayuda en el proceso de fabricación de productos terminados y asisten a los maestros en planta en los trabajos en proceso. Su apoyo es clave para mantener la fluidez en las tareas diarias y aumentar la productividad en planta.

II. DESCRIPCIÓN DE UNA ACTIVIDAD ESPECÍFICA

Objetivo General

Implementar la metodología DMAIC para optimizar los procesos de soldadura en acero en la empresa FIRA S.A.C., con el fin de reducir la tasa de defectos, minimizar costos por retrabajo y garantizar la satisfacción de los clientes

Objetivos Específicos

- Diagnosticar los principales problemas de calidad en el proceso de soldadura de HARDOX 450.
- Implementar un sistema de medición confiable para cuantificar la magnitud de los defectos.
- Analizar las causas raíz que originan los defectos de soldadura mediante herramientas de calidad.
- Desarrollar e implementar acciones de mejora para reducir la variabilidad en el proceso de soldadura.
- Establecer un plan de control que asegure la sostenibilidad de los resultados obtenidos.

2.1. Planteamiento del Problema

La empresa FIRA S.A.C., dedicada a la fabricación de estructuras metálicas para los sectores de minería y construcción, presenta en su proceso de soldadura de aceros de alta resistencia una elevada tasa de defectos que influye en la producción mensual. Los defectos más frecuentes son fisuras, porosidad y falta de fusión, los cuales generan piezas defectuosas en las fabricadas.

Esta situación ocasiona pérdidas económicas además de retrabajos que demandan entre seis y ocho horas adicionales cada mes, afectando la productividad y el cumplimiento de plazos

de entrega. La recurrencia de estos problemas impacta de manera directa en la satisfacción de los clientes, tal como se refleja en las encuestas de la Voz del Cliente (VOC), donde se manifestó haber recibido piezas con defectos en alguna ocasión. Esta percepción negativa debilita la confianza de clientes estratégicos en sectores altamente exigentes como la minería y la construcción, poniendo en riesgo la sostenibilidad de los contratos y la competitividad de la empresa frente a otras del mercado. Asimismo, la ausencia de un procedimiento estandarizado de soldadura (WPS) provoca que cada operario trabaje de manera empírica, generando variabilidad en los resultados. (Carrillo-Vargas et al., 2022) A ello se suma la falta de controles ambientales adecuados en el taller, como el registro sistemático de temperatura y humedad, y la ausencia de un plan de calibración y mantenimiento preventivo de las máquinas de soldar, lo que incrementa el riesgo de defectos recurrentes. Para Castro y Correa (2023) estos factores limitan la capacidad de la empresa para garantizar la calidad de sus productos, generando sobrecostos, retrasos e insatisfacción de los clientes. En este contexto, la falta de implementación de una metodología de mejora estructurada como DMAIC conduce a la permanencia de un proceso ineficiente y costoso, sin capacidad de sostener resultados de calidad en el tiempo. Esta situación constituye la principal problemática que debe ser atendida con urgencia para asegurar la sostenibilidad económica, operativa y comercial de FIRA S.A.C.

Problema:

- ¿Cómo implementar la metodología DMAIC para reducir los defectos de soldadura en aceros especiales en la empresa MetalMecánica Andina S.R.L., de manera que se disminuyan los costos por retrabajos y se garantice la calidad del producto?

Marco Teórico

La metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) se presenta como la herramienta más adecuada para enfrentar esta problemática, dado que permite abordar los defectos de soldadura desde una perspectiva estructurada y basada en datos.

Definir: Facilita precisar el problema central (exceso de defectos en soldadura) y establecer metas claras de mejora orientadas a la reducción de pérdidas económicas y aumento de la confiabilidad. (Prieto, 2015)

Medir: Permite cuantificar el nivel actual de defectos y calcular su impacto en los costos, proporcionando una línea base objetiva para medir los avances.

Analizar: Identifica las causas raíz de las fallas mediante herramientas sencillas como el diagrama de Ishikawa o Pareto, lo que asegura que las soluciones se enfoquen en los factores que realmente influyen en el problema.

Mejorar: Ofrece un marco para diseñar soluciones de bajo costo y alto impacto, como la estandarización de parámetros de precalentamiento, el control de insumos y la capacitación interna del personal.

Controlar: Establece mecanismos de seguimiento sostenibles —listas de chequeo, registros periódicos y auditorías internas— que permiten mantener las mejoras en el tiempo y evitar la reincidencia de defectos.

A continuación, se detalla una comparación respecto a otras metodologías

Tabla 1*Comparación de metodologías*

Criterio	DMAIC	PDCA (Plan-Do-Check-Act)	5S
Origen	Six Sigma	Control de calidad (Deming)	Metodología Lean japonesa
Objetivo principal	Reducir defectos y variabilidad en procesos críticos	Ciclo de mejora continua general	Orden, limpieza y disciplina en el lugar de trabajo
Enfoque	Rigurosamente estadístico y analítico	Cíclico, simple y repetitivo	Organizativo y visual
Fases / pasos	Definir – Medir – Analizar – Mejorar – Controlar	Planificar – Hacer – Verificar – Actuar	Clasificar – Ordenar – Limpiar – Estandarizar – Mantener
Profundidad del análisis	Muy alto, con herramientas estadísticas (Pareto, Ishikawa, regresiones)	Medio, análisis más cualitativo	Bajo, se centra en aspectos visibles y de organización
Aplicabilidad a soldadura	Alta: permite detectar causas raíz de defectos y reducir variabilidad en parámetros de soldadura	Media: útil para implementar un ciclo de mejora, pero sin tanta robustez en el análisis	Baja: ayuda a ordenar el área de trabajo, pero no ataca directamente la causa de los defectos

Criterio	DMAIC	PDCA (Plan-Do-Check-Act)	5S
Orientación a resultados	Reducción cuantificable de la tasa de defectos	Mejora progresiva en cada ciclo	Orden, limpieza y disciplina, que generan eficiencia indirecta
Sostenibilidad	Alta: fase de control asegura resultados en el tiempo	Media: depende de la constancia en aplicar el ciclo	Media: puede perderse si no se mantiene la disciplina
Ventaja diferencial	Ideal para procesos industriales críticos y de alta exigencia de calidad como la soldadura	Simplicidad y facilidad de implementación	Base sólida para disciplina y orden en planta
Metodología	Limitación principal en procesos de soldadura		
PDCA	General y cíclica, no profundiza en análisis estadístico de parámetros críticos (voltaje, amperaje, temperatura).		
5S	Optimiza orden y limpieza, pero no aborda causas raíz de defectos de soldadura ni control de variables del proceso.		
DMAIC	Rigurosa y estadística , identifica y controla causas raíz, reduciendo de forma sostenible la tasa de defectos.		

Análisis:

La metodología DMAIC es la más adecuada porque ofrece un enfoque estadístico riguroso, orientado a la reducción de defectos y sostenibilidad de resultados. PDCA, Kaizen y 5S pueden complementarla, pero no tienen la misma capacidad para optimizar un proceso industrial complejo como la soldadura.

2.2. Justificación de la Investigación

La implementación de DMAIC no solo busca reducir los costos por retrabajos, sino también garantizar que la empresa logre un proceso más predecible y competitivo, con capacidad de cumplir plazos de entrega y fortalecer su reputación en el mercado. Además, se trata de una metodología que se adapta a las limitaciones de una pequeña empresa, ya que no requiere de grandes inversiones en infraestructura, sino de una gestión más eficiente de los recursos disponibles. (Ramírez-Pinto et al., 2024)

2.3. Limitaciones

- El estudio se centrará únicamente en el proceso de soldadura de planchas de acero, así como sus derivados relacionados.
- La información dependerá en gran medida de los registros internos de producción y del personal de soldadura, lo que puede influir en la disponibilidad y confiabilidad de los datos.
-

2.4. Delimitación

- **Espacial:** El estudio se desarrollará en el taller de producción de la empresa MetalMecánica Andina S.R.L., ubicada en Lima Metropolitana.
- **Temática:** Se enfocará en la reducción de defectos de soldadura en aceros y sus derivados mediante la metodología DMAIC.

FASE 1: DEFINIR (DEFINE)

El propósito principal es formalizar el problema, asegurar que el equipo tenga una comprensión clara y unificada de lo que se busca lograr, y establecer los límites del proyecto para evitar esfuerzos innecesarios. esto significa convertir el problema planteado en un proyecto estructurado y manejable, se detectó que el proceso de soldadura en acero de alta resistencia presenta una tasa de defectos cercana al 30%, reflejada en fisuras y fallas en las uniones soldadas. Este problema genera pérdidas mensuales económicas, así como retrasos en la entrega de pedidos, lo que afecta la competitividad de la empresa y la confianza de sus clientes.

Elementos clave de la fase Definir:

- **Problema identificado:** Se detectaron una tasa de defectos en soldaduras, que ocasiona sobrecostos y retrasos.
- **Meta del proyecto:** Reducir la tasa de defectos hasta niveles cercanos a cero, con el fin de eliminar las pérdidas económicas y mejorar la confiabilidad del proceso.
- **Alcance:** El estudio se centrará en los procesos de corte, preparación de bordes y soldadura de planchas que se realizan en la planta.
- **Impacto esperado:**
 - Disminución significativa de costos por retrabajos.
 - Incremento en la satisfacción de clientes gracias a una mejora en la calidad de las uniones soldadas.
 - Aumento de la eficiencia operativa y mejor uso del tiempo de producción.

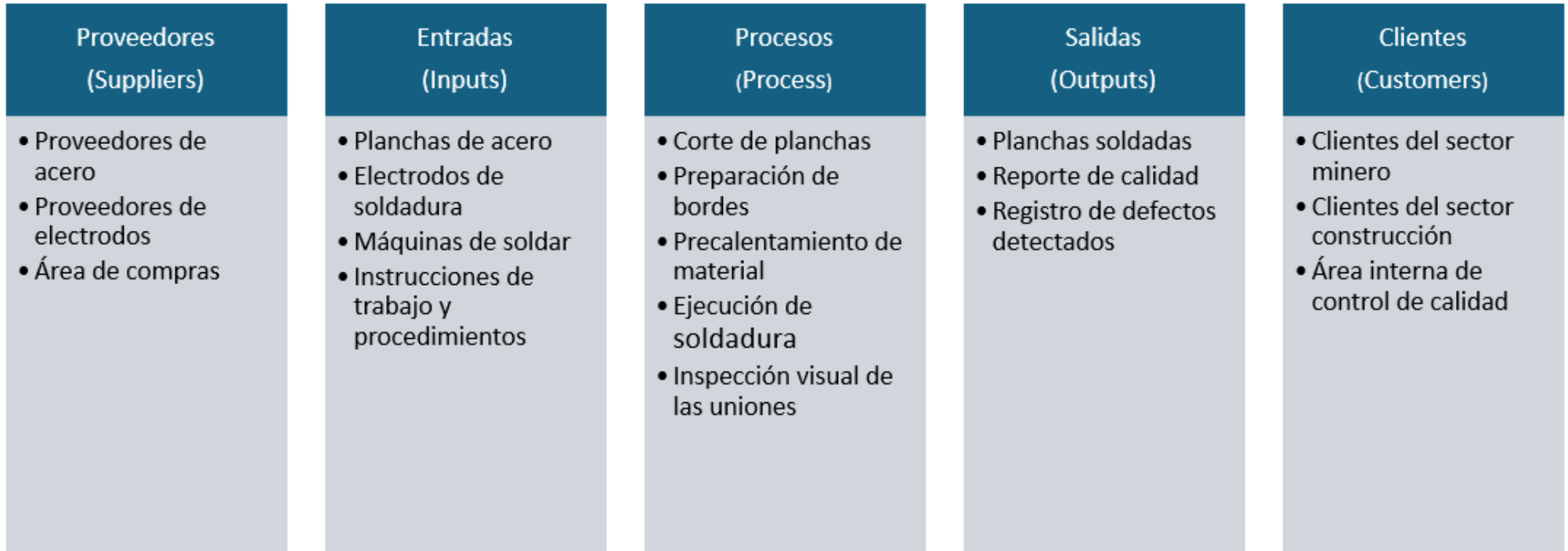
Herramientas aplicables en esta fase:

- **SIPOC** (Supplier, Input, Process, Output, Customer): Para mapear de manera general el proceso de soldadura y sus actores principales.

Diagrama SIPOC

El diagrama SIPOC del proceso de soldadura contiene:

- **Proveedores:** abastecen acero, electrodos y equipos.
- **Entradas:** materiales, insumos y procedimientos necesarios.
- **Proceso:** corte, preparación, precalentamiento, soldadura e inspección.
- **Salidas:** planchas soldadas, reportes y registros de defectos.
- **Clientes:** tanto externos (minería, construcción) como internos (control de calidad).

Figura 2*Diagrama SIPOC*

FASE 2: MEDIR (MEASURE)

La fase **Medir** tiene como propósito establecer con precisión la situación actual del proceso de soldadura, cuantificar los defectos y determinar el impacto económico y operativo que estos generan. Esta etapa garantiza que las decisiones posteriores se basen en datos objetivos y no en percepciones subjetivas. (Varela-López, 2023)

Indicadores definidos (KPI)

Para esta fase se establecen los siguientes indicadores de desempeño:

a. **Porcentaje de defectos por lote (%):**

$$\text{Defectos (\%)} = (\text{Número de piezas observadas} / \text{Total de piezas producidas}) \times 100\}$$

○ Línea base: entre 8 y 10 piezas con observaciones de 40 producidas →
≈ 30%.

b. **Costo mensual por retrabajos (S/):**

○ Línea base: entre S/ 350

c. **Tiempo adicional por reparaciones (horas):**

○ Línea base: entre 6 y 8 horas mensuales invertidas en retrabajos.

d. **Nivel de satisfacción del cliente (% de clientes satisfechos):**

○ Línea base obtenida con encuesta VOC: 28% satisfechos totalmente, 52% parcialmente satisfechos, 20% insatisfechos.

Recolección de datos

Los datos se obtendrán a través de:

- **Hojas de verificación de defectos:** registro diario del número de piezas inspeccionadas y el número de piezas con fisuras, porosidad o falta de fusión.
- **Reportes de costos internos:** registro de horas-hombre dedicadas a retrabajos y consumo de insumos.

- **Encuesta VOC a 25 clientes:** percepción sobre calidad y cumplimiento de plazos.
- **Inspección visual estandarizada:** realizada en cada lote de producción por el área de calidad.

Voz del Cliente (VOC)

La **Voz del Cliente (VOC)** es una herramienta clave en la fase **Definir** del DMAIC, porque permite recoger las necesidades, expectativas y quejas de los clientes para traducirlas en requisitos de calidad del proceso, la VOC se puede aplicar mediante entrevistas breves, encuestas, análisis de reclamos y retroalimentación post-servicio.

Encuesta VOC – Proceso de Soldadura (FIRA S.A.C.)

Objetivo

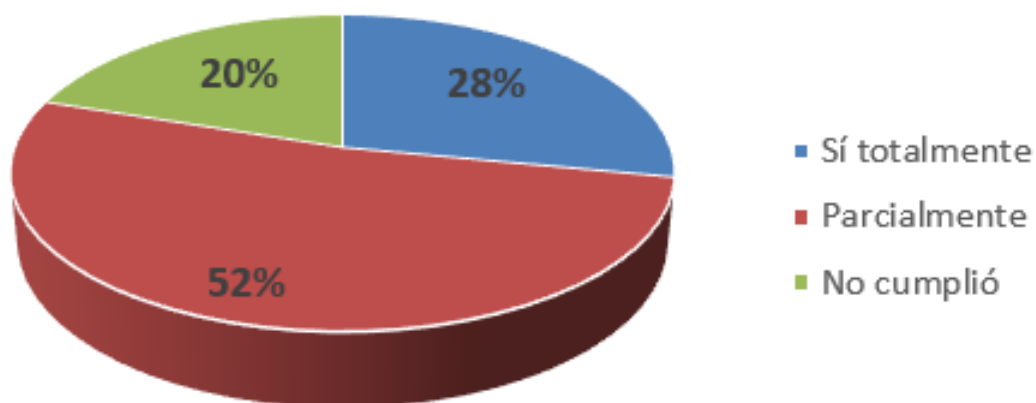
Identificar las percepciones de los clientes sobre la calidad de las soldaduras y el cumplimiento en los plazos de entrega, para traducirlas en requisitos críticos de calidad (CTQ).

Preguntas de la encuesta

- a. ¿El producto recibido cumplió con sus expectativas de calidad en las soldaduras?
 - Sí, totalmente
 - Parcialmente
 - No cumplió

Tabla 2*Expectativas de calidad*

Respuesta	Cantidad
Sí totalmente	7
Parcialmente	13
No cumplió	5
TOTAL	25

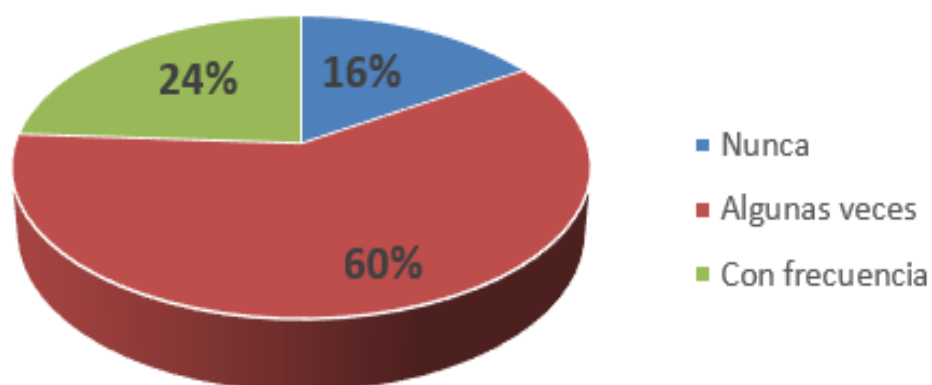
Figura 3*Expectativas de calidad*

b. ¿Ha encontrado defectos visibles (fisuras, porosidad, falta de fusión) en las piezas recibidas?

- () Nunca
- () En algunas ocasiones
- () Con frecuencia

Tabla 3*Defectos visibles*

Respuesta	Cantidad
Nunca	4
Algunas veces	15
Con frecuencia	6
TOTAL	25

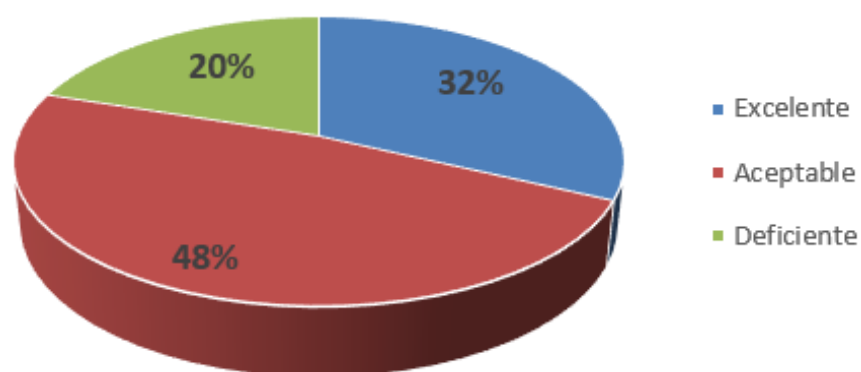
Figura 4*Defectos visibles*

c. ¿Cómo califica el cumplimiento de plazos de entrega de FIRA S.A.C.?

- () Excelente
- () Aceptable
- () Deficiente

Tabla 4*Cumplimiento de plazos*

Respuesta	Cantidad
Excelente	8
Aceptable	12
Deficiente	5
TOTAL	25

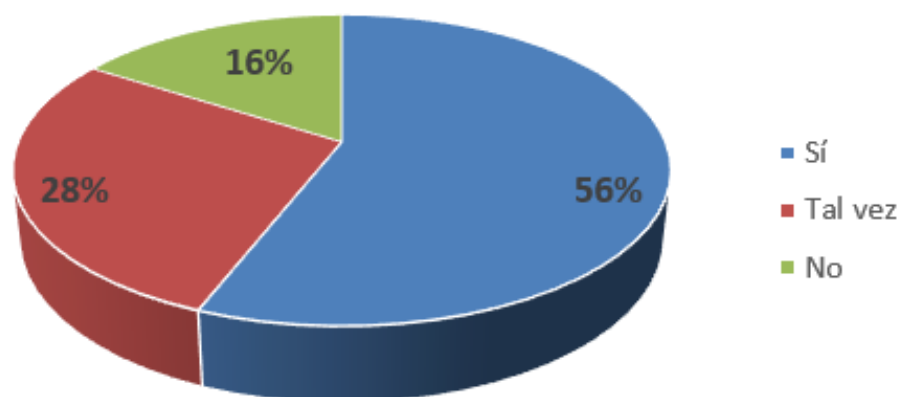
Figura 5*Cumplimiento de plazos*

d. ¿Recomendaría los servicios de la empresa a otros clientes?

- () Sí
- () Tal vez
- () No

Tabla 5*Recomendación de servicios*

Respuesta	Cantidad
Sí	14
Tal vez	7
No	4
TOTAL	25

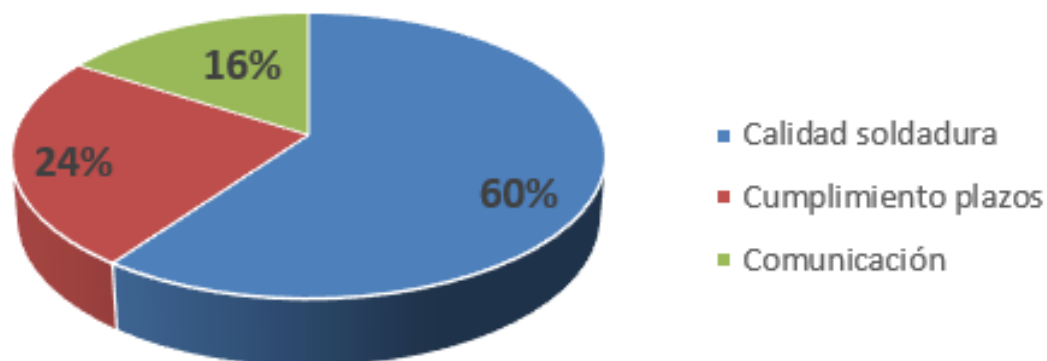
Figura 6*Recomendación de servicios*

e. ¿Qué aspecto considera más importante mejorar?

- () Calidad de soldadura
- () Cumplimiento de plazos
- () Comunicación con el cliente

Tabla 6*Aspecto a mejorar*

Aspecto	Cantidad
Calidad soldadura	15
Cumplimiento plazos	6
Comunicación	4
TOTAL	25

Figura 7*Aspecto a mejorar*

- La mayoría de clientes reconoce que la soldadura cumple parcialmente, confirmando que la estandarización es urgente.
- Casi todos los clientes han recibido piezas con defectos en alguna ocasión (83% entre “algunas veces” y “con frecuencia”).
- El cumplimiento de plazos es aceptable, pero hay un 17% que lo considera deficiente, lo que puede afectar la reputación.
- Pese a los problemas, más de la mitad de los clientes seguirían recomendando la empresa, lo cual muestra que hay confianza, pero con mejoras urgentes.

- El factor crítico a mejorar es la calidad de soldadura, alineado al objetivo del proyecto DMAIC.

FASE 3: ANALIZAR (ANALYZE)

Para hallar defectos más relevantes, se elaboró un diagrama de Ishikawa considerando seis categorías principales: Método, Material, Mano de obra, Máquina, Medio ambiente y Medición. También se realizará el diagrama de Pareto; para clasificar los tipos de defectos más frecuentes

Figura 8

Análisis de causas raíz



Diagrama de Ishikawa

Con el fin de identificar las causas raíz de los defectos más relevantes, se elaboró un diagrama de Ishikawa considerando:

- **Método:** Precalentamiento no estandarizado, ausencia de especificaciones de soldadura (WPS) y secuencia de pases inconsistente.
- **Material:** Electrodo almacenados con humedad, contaminación en bordes (óxido o aceite) y uso de consumibles inadecuados.
- **Mano de obra:** Variabilidad en las técnicas de los operarios, capacitación insuficiente en soldadura de aceros de alta resistencia y técnica de avance inestable.
- **Máquina:** Calibración irregular de los equipos, falta de mantenimiento preventivo y control térmico impreciso.
- **Medio ambiente:** Excesiva humedad en el taller, almacenamiento inadecuado de insumos y presencia de polvo o suciedad en el área de trabajo.
- **Medición:** Ausencia de termómetros infrarrojos para controlar la temperatura, registros incompletos del proceso y una inspección visual no estandarizada.

Interpretación:

El análisis de causas muestra que la variabilidad en el método de precalentamiento, la falta de control en los electrodos y la ausencia de estandarización en la inspección son las principales causas raíz de los defectos críticos identificados en el Pareto. Estos hallazgos orientan las acciones de la fase de **Mejorar**, en donde se propondrán soluciones de bajo costo y alto impacto, como el estudio de parámetros y de los problemas.

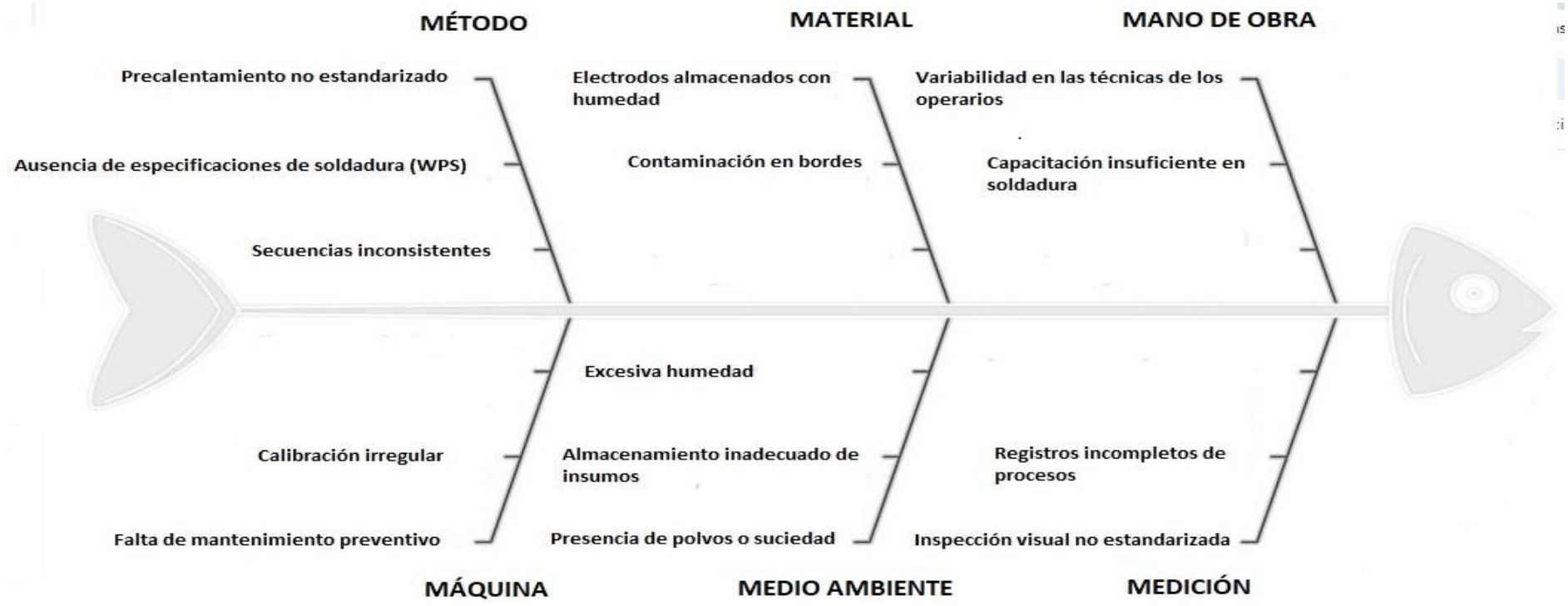
Figura 9*Diagrama de Ishikawa*

Diagrama de Pareto

Durante la fase de análisis se elaboró un diagrama de Pareto para clasificar los defectos encontrados en las uniones soldadas de planchas en la empresa FIRA S.A.C. El registro acumulado de tres meses evidenció los siguientes tipos de defectos: fisuras (12 casos), porosidad (7 casos), falta de fusión (5 casos), socavado (2 casos), inclusiones de escoria (1 caso) y salpicaduras (1 caso).

Los resultados muestran que los tres primeros tipos de defectos (fisuras, porosidad y falta de fusión) concentran aproximadamente el 86% del total de los problemas, superando claramente el umbral del 80% que establece el principio de Pareto. Esto implica que, si se intervienen y reducen estas tres categorías principales, se logrará un impacto significativo en la disminución general de defectos.

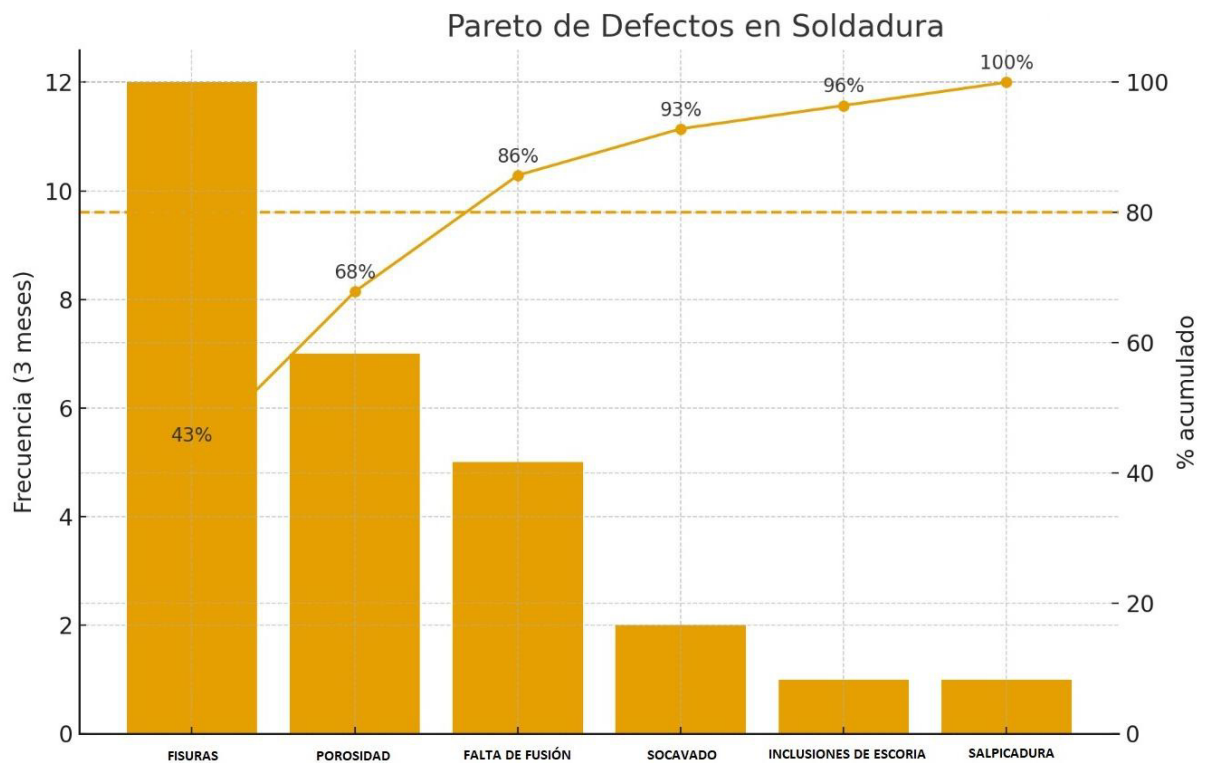
Interpretación:

- El defecto más crítico corresponde a las fisuras, asociadas principalmente a la falta de control en la temperatura de precalentamiento.
- En segundo lugar, aparece la porosidad, vinculada al uso de electrodos húmedos o a la presencia de contaminación en los bordes.
- Finalmente, la falta de fusión se relaciona con parámetros inadecuados de soldadura y técnicas variables entre operarios.

Este análisis permite priorizar los esfuerzos de mejora en los tres tipos de defectos más relevantes, en lugar de dispersar recursos en problemas de baja incidencia.

En tres meses de producción de soldaduras en planchas (\approx 120 piezas inspeccionadas), se registraron los siguientes defectos acumulados:

- a. **Fisuras** → 12 casos (43%)
- Son el defecto más frecuente.
 - Se producen por precalentamiento deficiente o variable, tensiones térmicas mal controladas y secuencia inadecuada de pases.
 - Representan casi la mitad de todos los defectos.
- b. **Porosidad** → 7 casos (25%)
- Ocurren cuando hay humedad en los electrodos o contaminación en la superficie de los bordes (óxido, aceite, suciedad).
 - Generan debilidad en la unión y necesidad de retrabajos.
- c. **Falta de fusión** → 5 casos (18%)
- Relacionada con parámetros incorrectos de corriente y velocidad, o con técnicas de avance inconsistentes entre operarios.
 - Provoca que el metal de aporte no se adhiera correctamente al material base.
- d. **Socavado** → 2 casos (7%)
- Se presenta cuando la técnica de soldadura genera un surco lateral.
 - Tiene menor incidencia en la línea base.
- e. **Inclusiones de escoria** → 1 caso (4%)
- Ocurre por limpieza deficiente entre cordones de soldadura.
 - Incidencia mínima.
- f. **Salpicaduras** → 1 caso (4%)
- Aparecen cuando no se ajustan los parámetros eléctricos o hay deficiencia en la manipulación.
 - De bajo impacto en comparación con otros defectos.

Figura 10*Diagrama de Pareto***Análisis**

Con el propósito de identificar los defectos más relevantes en el proceso de soldadura de planchas se elaboró un diagrama de Pareto a partir de la información recopilada.

Los resultados mostraron que los defectos más frecuentes fueron: fisuras (12 casos, 43%), porosidad (7 casos, 25%) y falta de fusión (5 casos, 18%). En conjunto, estos tres tipos de defectos representaron aproximadamente el 86% del total de fallas registradas, mientras que defectos de menor incidencia como socavado (2 casos, 7%), inclusiones de escoria (1 caso, 4%) y salpicaduras (1 caso, 4%) apenas sumaron el 14% restante.

La concentración de defectos en tres categorías principales confirma la validez del principio de Pareto (80/20), el cual sostiene que una minoría de causas genera la mayoría de los efectos. En este caso, atender los problemas asociados a fisuras, porosidad y falta de fusión permitiría eliminar la mayor parte de los defectos, logrando un impacto significativo en la reducción de retrabajos y costos.

En términos prácticos, el análisis evidencia que, si la empresa concentra sus esfuerzos en controlar el precalentamiento, mejorar el almacenamiento y secado de electrodos, y estandarizar los parámetros de soldadura mediante procedimientos claros (WPS), se reducirá de manera sustancial la cantidad de piezas defectuosas, acercándose al objetivo de alcanzar una tasa de fallas cercana a cero.

FASE 4: MEJORAR (IMPROVE)

Tras el análisis de los defectos críticos, se establecieron acciones concretas para abordar las causas raíz identificadas. Estas acciones se organizan en seis apartados, en coherencia con las categorías analizadas en el Diagrama de Ishikawa: Método, Material, Mano de obra, Máquina, Medio ambiente y Medición.

a. Método


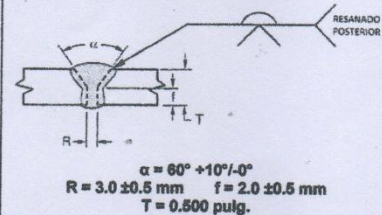
Se procede a elaborar un formato de WPS (Welding Procedure Specification) que detalla los parámetros necesarios para ejecutar una soldadura de manera estandarizada. Contiene apartados sobre:


- Identificación del procedimiento (número de WPS, empresa, proceso de soldadura).
- Material base (tipo de acero, espesor).
- Consumibles (tipo de electrodo, clasificación AWS).
- Preparación de bordes (ángulos, limpieza).
- Parámetros eléctricos (amperaje, voltaje, polaridad).
- Condiciones térmicas (precalentamiento, temperatura interpaso).
- Posiciones de soldadura permitidas.
- Métodos de inspección y criterios de aceptación de la unión.


La figura muestra el formato técnico estándar que debe utilizarse para formalizar y controlar los parámetros críticos del proceso de soldadura.

Figura 11

Especificación de procedimiento de soldadura (WPS)

 ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) <small>Formato INPESER-PQR-001-Revision 12</small>		Fecha: 8/02/2025	
PROYECTO: PROTECCIÓN MARGEN RÍO MADRE DE DIOS		Página: 1 de 2	
Compañía: Factoría Industrial Roberto Acevedo S.A.C. – FIRA		WPS No.: WPS-FIRA-001 Rev.1	
Norma: ASME B&PVC SECTION IX - 2025		PQR de soporte No.: PQR-FIRA -001 Rev.1	
Proceso de soldadura: GMAW		Tipo: Semiautomático	
JUNTA (QW-402) Diseño de la junta: A Tope con Ranura en V Abertura de raíz: 3.0 ±0.5 mm Cara de raíz: 2.0 ±0.5 mm Angulo de ranura: 60° +10°/-0° Radio (J-U): N/A Respaldo: N/A Material del respaldo (tipo): N/A <input type="checkbox"/> Metálico <input type="checkbox"/> Metálico no fundible <input type="checkbox"/> No Metálico <input type="checkbox"/> Otro		Detalles 	
METALES BASE (QW-403) No. P 1 No. Grupo 1 a No. P 1 No. Grupo 1 Especificación y tipo / grado o Número UNS: ASTM A572 Grado 50 a Especificación y tipo / grado o Número UNS: ASTM A572 Grado 50 Análisis químico y Prop. mecánicas: N/A a Análisis químico y Prop. mecánicas: N/A Rango de Espesor: Metal Base: Ranura: 4.76 – 25.40 mm Filete: Todos Máximo Espesor de Pase ≤ ½ pulg. (13 mm): Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Otros: Límite de espesor para GMAW-Cortocircuito: N/A (espesor del cupón 12.7 mm)			
METALES DE APORTE (QW-404)			
No. Especificación (SFA)	1	2	3
No. Clasificación (AWS)	5.18	—	—
Metal de aporte - No. F	ER70S-6	—	—
Análisis del metal depositado - No. A	6	—	—
Forma del metal de aporte	1	—	—
Tamaño de metal de aporte	Alambre sólido	—	—
Espesor de metal de soldadura:	Ø1.2 mm	—	—
Espesor depositado - Ranura	Espesor depositado - Filete	—	—
Espesor depositado - Ranura	Hasta 25.40 mm	—	—
Espesor depositado - Filete	Todos	—	—
Electrodo-Fundente (clasificación)	—	—	—
Tipo de fundente	—	—	—
Marca del fundente	—	—	—
Inserto consumible	—	—	—

Elaborado por:  Revisado por: Aprobado por:

 **Hugo Acevedo**
CWI 10071301
QC1 EXP.

A continuación, se presenta la figura 11, que presenta un ejemplo aplicado de un WPS con parámetros ya definidos para un procedimiento de soldadura específico. Incluye:

- El tipo de proceso (SMAW – Shielded Metal Arc Welding, o soldadura con electrodo revestido).
- El material a soldar (acero de alta resistencia).
- El electrodo recomendado (con código AWS).
- Los rangos de amperaje y voltaje a utilizar.
- Las condiciones de precalentamiento para evitar fisuras.
- La secuencia de pases y posiciones.
- La temperatura de interpaso y control de enfriamiento.

La figura 11 sirve como ejemplo práctico de cómo se implementa un WPS complementando el formato genérico del primer archivo

Figura 12

Especificación de procedimiento de soldadura 2


ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

Formato INPESER-PQR-001-Revision 12

PROYECTO: PROTECCIÓN MARGEN RÍO MADRE DE DIOS

Fecha: 8/02/2025

Página: 2 de 2

POSICIONES (QW-405)		TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDEO (QW-407)																	
Posición(es) de ranura: Todas		Rango de temperatura: N/A																	
Progresión: Ascendente <input checked="" type="checkbox"/> Descendente <input checked="" type="checkbox"/>		Rango de tiempo: N/A																	
Posición(es) de filete: Todas		Otros: N/A																	
Otros: N/A																			
PRECALENTAMIENTO (QW-406)		GAS (QW-408)																	
Temp. de precalentamiento, mínima: 20 °C		Composición %																	
Temp. entre pases, máxima: 180 °C																			
Mantenimiento del precalentamiento: N/A		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Gas(es)</th> <th>Mezcla</th> <th>Caudal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Protección</td> <td>Argón / CO₂</td> <td>80% / 20%</td> <td>10-15 Lt/min</td> </tr> <tr> <td>Arrastre</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>Respaldo</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </tbody> </table>			Gas(es)	Mezcla	Caudal	Protección	Argón / CO ₂	80% / 20%	10-15 Lt/min	Arrastre	---	---	---	Respaldo	---	---	---
	Gas(es)	Mezcla	Caudal																
Protección	Argón / CO ₂	80% / 20%	10-15 Lt/min																
Arrastre	---	---	---																
Respaldo	---	---	---																
Otros: N/A																			
<small>(Calentamiento en forma continua o especial, si es aplicado, debería ser especificado)</small>																			
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409)																			
Corriente pulsada: N/A																			
Calor de aporte (máx.): N/A																			
Tamaño y tipo del electrodo de tungsteno (puro, 2% toriado, etc.): N/A																			
Modo de transferencia GMAW (FCAW): Cortocircuito																			
Otros: Ver tabla al final																			
TÉCNICA (QW-410)																			
Cordón recto u oscilado: Oscilado																			
Orificio, boquilla o tamaño de la tobera de gas: N/A																			
Limpieza inicial y entre pasadas: Esmerilado y escobillado																			
Método de resane de raíz: Esmerilado																			
Oscilación: N/A																			
Distancia del tubo de contacto a pieza: 19 mm																			
Pasada múltiple o única (por lado): Múltiple																			
Electrodo múltiple o único: Único																			
Espaciamiento de electrodos: N/A																			
Martillado: N/A																			
Otros: N/A																			

Pase	Proceso	Metal de aporte		Corriente		Rango de Voltaje (V)	Rango de Velocidad (Pulg/min)	Otros
		Clase	Diám. (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)			
Raíz	GMAW	ER70S-6	1.2	CC-EP	120 - 160	16 - 20	5 - 6	Ascendente
Caliente	GMAW	ER70S-6	1.2	CC-EP	130 - 180	17 - 20	6 - 7	Ascendente
Relleno	GMAW	ER70S-6	1.2	CC-EP	130 - 150	17 - 20	3 - 4	Ascendente
Presentación Anverso	GMAW	ER70S-6	1.2	CC-EP	140 - 160	17 - 20	3 - 4	Ascendente
Presentación Reverso	GMAW	ER70S-6	1.2	CC-EP	120 - 150	17 - 20	4 - 6	Ascendente

Elaborado por:


 Hugo L. Hernández
 CWI 0071301
 QC1 EXP.

Revisado por:

Aprobado por:

b. Material

Se detalla en la figura 6, la cual evidencia que la empresa logró prácticas de control de materiales e insumos en una fabricación en la cual se detalla:

i. Selección de material base de calidad (ASTM A-36):

Garantiza propiedades mecánicas adecuadas y uniformidad en el proceso de soldadura. Esto refuerza la idea de que la optimización inicia en la materia prima, evitando fallas por aceros de baja especificación.

ii. Consumibles adecuados (alambre MIG Q 71 RC Ø1.2, gas CO₂):

Se documenta claramente el uso de insumos específicos para la soldadura. Esto coincide con la necesidad planteada de controlar la humedad de electrodos o garantizar la calidad del gas protector, ya que ambos influyen directamente en defectos como la porosidad.

iii. Ensayos de control de calidad (líquidos penetrantes e hidrostática):


Son acciones de verificación de materiales y uniones soldadas, que aseguran la confiabilidad estructural del producto final. Este punto se alinea con la optimización en DMAIC: medir y verificar antes de liberar producción.

iv. Condiciones ambientales:

El reporte incluye la temperatura y humedad durante el proceso. Este control ambiental es crucial porque, como vimos en el Ishikawa, la humedad del taller puede generar defectos. Documentar estas condiciones refleja una buena práctica como parte de la estandarización.

Figura 13

Informe de fabricación



FIRA
FACTORIA INDUSTRIAL
 ROBERTO ACEVEDO S.A.C.

FIRA S.A.C.

Av. Maquinarias 2130 - Lima (Altura Cuadra 20 Av. Argentina)
Tel.: 336-7572 / 336-8139
CELULARES: 988918654 / 998374761
E-mail: fira.srl@hotmail.com

Lima, 22 de Febrero del 2025


INFORME DE FABRICACIÓN DE TANQUE

Se fabricó 01 tanque pulmón con las siguientes características:


- material plancho de fe. Astm A-36 d espesor ½”.
- Øext 1500 mm.
- altura cilíndrica 2400 mm.
- 2 tapas toriesferica de espesor ½”.3
- 4 patas de tubo de Ø 6”
- Conexiones bridadas en la tapa superior
 - 2 bridas de Ø 6”, 1 de ellas con tubo de ingreso de vapor de 2 mt.
 - En el centro 1 brida de la tapa niple bridado de Ø ½”
- En la tapa inferior niple bridado de Ø 2”
- En parte superior del cuerpo niple bridado de Ø2”
- En parte inferior del cuerpo niple bridado de Ø1/2”
- Todo el proceso de soldadura se realizo con mig tubular
- Alambre mig Q 71 rc Ø1.2
- Gas CO2

- Durante el proceso de fabricación se realizó inspección visual de la soldadura y pruebas de líquidos penetrantes (se adjunta registro fotográfico)
- El tanque fue sometido a prueba hidrostática (presión con agua) (se adjunta video de la prueba)
- El tanque se fabrico siguiendo plano aprobado por el cliente

- Temperatura ambiente 17° (promedio)
- Humedad relativa 85%



**DAVID LEONARDO
 PADILLA MURGUETYIO**
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
 Reg. CIP 192655



ATENTAMENTE

Ing. ROBERTO ACEVEDO

Análisis

- La estandarización del material base (ASTM A-36) y del consumible de soldadura se convierte en parte del protocolo de control de insumos (checklist previo al inicio de fabricación).
- La inclusión de ensayos de verificación (líquidos penetrantes e hidrostática) demuestra la importancia de incorporar controles de calidad en insumos y materiales como parte de la mejora continua.
- La referencia a las condiciones ambientales valida la necesidad de que en el proceso también se documenten variables como precalentamiento, humedad y limpieza de bordes

c. Mano de Obra

El registro de calificación de soldador (WPQ), en la figura 7, demuestra que la empresa invierte en la calificación de la mano de obra de personal, y esto se relaciona en la fase **Mejorar**

- El hecho de que los soldadores tengan certificación internacional (ASME IX) garantiza que la mano de obra tiene un nivel óptimo de desempeño.
- Por tanto, los talleres de capacitación interna se justifican para adaptar el conocimiento general al caso concreto

Figura 14

Registro de calificación de soldador





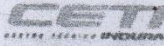
		REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE SOLDADOR (WPQ) <small>Formato INPESER-WPQ-002-Revision 11</small>		Fecha: 8/02/2025	
PROYECTO: PROTECCIÓN MARGEN RÍO MADRE DE DIOS				Página: 1 de 1	
Nombre del soldador:		ALEX SÁNCHEZ LAURA		ID:	DNI 41351136
Estampa:		W01			
No. Registro:	WPQ-FIRA -001 Rev.0	No. Procedimiento:	WPS-FIRA-001 Rev.1	Cupón:	<input checked="" type="checkbox"/>
Producción:					
VARIABLES DE LA PRUEBA y LÍMITES DE LA CALIFICACIÓN					
VARIABLES DE SOLDADURA (QW-360)		VALORES ACTUALES		RANGO CALIFICADO	
Proceso(s) de Soldadura		GMAW		GMAW	
Tipo		SEMIAUTOMÁTICO		SEMIAUTOMÁTICO	
Diseño de junta		A TOPE CON RANURA EN V		---	
Respaldo		CON RESPALDO		CON RESPALDO	
Diámetro de tubería		---		---	
Número P a Número P		P1 a P1		P1 hasta P15F, P34 y P41 hasta P49	
Metal Base		A572 Gr. 50 a A572 Gr. 50		---	
Aporte (OFW, GTAW, PAW)		---		---	
Metal de aporte - Número F		6		6	
Insertos consumibles (GTAW o PAW)		---		---	
Forma del metal de aporte (GTAW o PAW)		Alambre sólido		---	
Espesor depositado - Proceso 1		0.500 pulg.		Hasta 1 pulg.	
Espesor depositado - Proceso 2		---		---	
Espesor límite (GMAW Corto circuito)		---		---	
Especificación-Metal de aporte o electrodo (SFA)		E6010		---	
Clasificación-Metal de aporte o electrodo (AWS)		ER70S-6		---	
Posición		3G		---	
Ranura-Plancha y Tubería de DE > 24 pulg.		---		Plana y Vertical	
Ranura-Tubería de DE ≤ 24 pulg. y ≥ 2.875 pulg		---		Plana	
Filete - Plancha y Tubería		---		Plana, Horizontal y Vertical	
Progresión de la soldadura		ASCENDENTE		ASCENDENTE	
Gas de protección		Ar 80% - CO ₂ 20%		---	
Gas de respaldo (GTAW, PAW o GMAW)		SIN GAS		CON y SIN GAS	
Modo de transferencia (GMAW)		CORTOCIRCUITO		CORTOCIRCUITO	
Tipo de corriente y polaridad (GTAW)		---		---	
RESULTADO EXAMINACIÓN VISUAL (QW-302.4) ACEPTABLE Inspector: Hugo Lean S. - CWI 10071301					
RESULTADOS ENSAYO DE DOBLADO GUIADO (QW-452.1(a))					
No. Probeta y Tipo	Resultado	No. Probeta y Tipo	Resultado		
DL1	ACEPTABLE	DL3	ACEPTABLE		
DL2	ACEPTABLE	DL4	ACEPTABLE		
ENSAYOS A SOLDADURA DE FILETE (QW-452.5)					
Prueba de Fractura - Resultado:	---	Longitud y porcentaje de defectos:	---		
Macro-Ataque - Resultado:	---	Tamaño del filete:	---		
		Concaoidad / Convexidad:	---		
Laboratorio:	Universidad Católica - PUCP	No. Informe:	MAT-NOV-1249/2017		
RESULTADO EXAMINACIÓN VOLUM. (QW-302.2) RT UT Reporte:					
Certificamos que la información contenida en este registro es correcta y que las probetas fueron preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo con los requerimientos del ASME B&PVC Sección IX - 2015					
Elaborado por:		Revisado por:			
	Hugo Lean S. CWI 10071301 QC1 EXP.	Aprobado por:			

Figura 15

Calificación de soldador ANSI/AWS D1.1




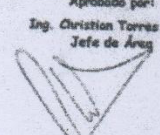
INDURA
Grupo ARI PRODUCTS



CETI
CENTRO TECNICO INDURA

CALIFICACION DE SOLDADOR ANSI/AWS D1.1/D1.1M:2025

N°: CETI-05/0817-011

EMPRESA FACTORIA INDUSTRIAL ROBERTO ACEVEDO SA ALEX SANCHEZ LAURA DNI : 41351136 ESTAMPA N° : ASL36 PROCESO DE SOLDADURA : GMAW IDENTIFICACION WPS : WPS- GMAW 36-023 MATERIAL BASE : ASTM A36	TIPO : SEMIAUTOMATICO ESPESOR : 9.5 mm	
VARIABLES PROCESO / TIPO DE JUNTA Electrodo(único o múltiple) Corriente / Polaridad POSICIÓN Posición de Pruebas Progresión de Soldadura Respaldo (SI O No) METAL BASE / ESPEC. Tipo de unión y preparación (X) Plancha , () Colaris Espesor del metal base Abertura / Talón METAL DE APORTE Especificación N° Clase F N° Diámetro de Electrodo (s) Gas / Tipo de Fundente Flujo de Gas de protección	Valor Real Utilizado GMAW - A TOPE - Único CC / PI 36 Ascendente Cordón de Reverso ASTM A 36 A tope con bisel Plancha 10 mm 2.5 mm / 3 mm A 5.18 INDURA ER 705-6 N/A Ø 1.0 mm 80% Ar / 20% CO ₂ 15 lt/min	Rango Certificado GMAW Único CC / PI - F, N, V Ascendente Trazado(Reverso) Grupo 1 A tope y Filete Plancha/Tubos(610 mm 3 mm a 20 mm 2.5 mm / 0-2 mm A 5.18 INDURA ER 705-6 N/A Ø 1.0 mm 80% Ar / 20% CO ₂
INSPECCION VISUAL: Aceptable SI X O NO		
RESULTADOS ENSAYO DOBLADO GUIADO: 087-2025		
Tipo Resultado Observaciones	Tipo Resultado Observaciones	
ARL36 - DC-1 ACEPTABLE	ASL36 - DC-2 ACEPTABLE	
Ensayos Conducidos por: Genial Simari Guerra CWI N° 16012851 Fecha: 08/02/2025		
RESULTADOS TESTS FILETES. Apariencia --- Tamaño de Filete --- Test Fractura Penet. de Raíz --- Macro ataque ---		
RESULTADO RADIOGRAFICO		
Número Rx Resultado Observaciones	Número Rx Resultado Observaciones	
--- --- ---	--- --- ---	
Certificar que los resultados y antecedentes, expuestos en esta informe, son correctos y que los probetas de soldadura fueron preparadas, sometidas y ensayadas, de acuerdo con los procedimientos de la Norma ANSI/AWS STRUCTURAL WELDING CODE STEEL - AWS D1.1 - 2025		
Fecha: 08 / 02 / 2025	Genial Simari Guerra CWI N° 16012851  Genial Simari Guerra CWI 16012851	Aprobado por: Ing. Christian Torres Altez Jefe de Área  Firma

Av. El Pacifico 401-423 Independencia-Lima, Teléfonos: 706-9208 / Fax: 605-1510 email: ctorres@indura.net

d. Máquina

i. Procesos observados en los informes

Las figuras 9,10,11 y 12 muestran que se realizaron ensayos mecánicos normalizados bajo la norma ASME IX-2015 y ASTM A370-15, aplicados a probetas soldadas:

- **Ensayo de tracción:**

- Se midieron cargas máximas aplicadas a probetas (132 kN en promedio).
- Los esfuerzos alcanzados fueron 579 y 602 MPa, lo que confirma resistencia adecuada.

- En las observaciones, ambas probetas se fracturaron en el metal base y no en la unión soldada, lo que indica que la soldadura fue más resistente que el propio material.

- **Curva fuerza–alargamiento:**

- Las gráficas (T1 y T2) muestran un comportamiento dúctil antes de la fractura.

- El alargamiento en torno a 20–25 mm evidencia buena tenacidad.

- **Ensayo de doblado:**

- Se aplicó un ángulo de 180° en cuatro probetas.

- Ninguna presentó discontinuidades visibles (grietas o fisuras).

- Todas fueron calificadas como “**Conforme**”.

ii. Observaciones de Conformidad


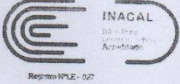
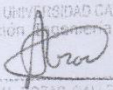
- **Integridad de las soldaduras:** No hubo fisuras en el cordón ni en la zona afectada por el calor, lo que confirma la correcta aplicación de parámetros eléctricos y técnicas.
- **Resistencia superior de la unión soldada:** Como las fracturas ocurrieron en el metal base y no en la soldadura, se concluye que el procedimiento de soldadura fue adecuado.
- **Control ambiental:** Los ensayos se realizaron a temperatura ambiente de 21,1 °C, condiciones estables que no afectan la confiabilidad de los resultados.
- **Normas internacionales aplicadas:** Se cumplieron estándares ASTM y ASME, lo que valida la confiabilidad de los ensayos.

iii. Relación con el DMAIC – Fase Mejorar (Máquina)

- Los ensayos no solo sirven para certificar calidad, sino como una forma de mantenimiento preventivo de los equipos de soldadura: si los equipos estuvieran mal calibrados (corriente o voltaje inestable), los resultados de resistencia serían deficientes.
- Al obtener resultados conformes, se demuestra que la máquina de soldadura está trabajando dentro de parámetros adecuados.
- Estos ensayos pueden institucionalizarse como parte del plan de mejora continua:
 - **Tracción y doblado** → verificar resistencia de la unión.
 - **Curvas de alargamiento** → asegurar ductilidad del material.
 - **Inspección periódica** → confirmar que las máquinas de soldar se mantienen calibradas y operativas.

Figura 16

Informe de ensayo

 PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ	LABORATORIO DE MATERIALES CITEmateriales LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N°LE-027	 INACAL <small>IN - Perú</small> <small>Organismo de</small> <small>Acreditación</small> <small>Registro N°LE-027</small>
CON SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD SEGÚN NTP ISO/IEC 17025		
<h2 style="margin: 0;"><u>INFORME DE ENSAYO</u></h2>		
<p>Informe N° : MAT-NOV-1249-1/2025</p> <p>Número de Páginas : 3</p> <p>Solicitado por : FACTORIA INDUSTRIAL ROBERTO ACEVEDO S.A.C.</p> <p>Dirección : Av. Maquinarias 2130-Lima.</p> <p>Fecha de Emisión : 2025.02.08.</p>		
<hr/> <p>1. CONDICIONES DE ENSAYO</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tipo de Ensayo : Tracción ▪ Norma de Ensayo : ASTM A370-15. ▪ Fecha de Ejecución : 2025.02.08. 		
<p>2. CONDICIONES AMBIENTALES</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Lugar de Ensayo : Laboratorio de Materiales (PUCP). ▪ Temperatura : Temperatura Ambiente (21,1°C) 		
<p>3. OBSERVACIONES</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Las muestras ensayadas fueron proporcionadas por el solicitante. 		
<p>1 de 3</p>		
<p style="font-size: small;">PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Sección Ingeniería Mecánica</p>  <p style="font-size: x-small;">MSc. ANIBAL ROZAS HALLENROS CIP. 123020 Jefe de Laboratorio de Materiales</p>		
<p style="font-size: x-small;">Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales - PUCP.</p>		
<p style="font-size: x-small;">Av. Universitaria 1801 - San Miguel. Lima - Perú http://www.pucp.edu.pe</p>	<p style="font-size: x-small;">Apartado Postal N° 1761 Lima 100 - Perú labmat@pucp.edu.pe</p>	<p style="font-size: x-small;">Teléfono (511) 626 - 2000 Anexo: 4842</p>
<p style="font-size: x-small;">Telefax (511) 626 - 2855</p>		

AB - 42435

Figura 17

Ensayo de tracción

	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ	LABORATORIO DE MATERIALES CITE materiales																							
CON SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD SEGÚN NTP ISO/IEC 17025																									
MAT-NOV-1249-1/2025																									
ENSAYO DE TRACCIÓN INFORME DE LABORATORIO		MAT-Lab-4.04 Rev.6																							
Número Total de Páginas: 3																									
REALIZADO POR	: Laboratorio de Materiales - Analista 03.																								
MUESTRA	: Probetas soldadas																								
FECHA DE EJECUCIÓN	: 2025.02.08.																								
RESULTADOS:																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">MUESTRA</th> <th style="text-align: center;">T1</th> <th style="text-align: center;">T2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3" style="text-align: center; vertical-align: middle;">SECCIÓN TRANSVERSAL</td> <td style="text-align: center;">ANCHO (mm)</td> <td style="text-align: center;">19,00</td> <td style="text-align: center;">19,09</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ESPELOR (mm)</td> <td style="text-align: center;">12,00</td> <td style="text-align: center;">11,50</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ÁREA (mm²)</td> <td style="text-align: center;">228,0</td> <td style="text-align: center;">219,5</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">CARGAS (kN)</td> <td style="text-align: center;">MÁXIMA</td> <td style="text-align: center;">132,0</td> <td style="text-align: center;">132,1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ESFUERZOS (MPa)</td> <td style="text-align: center;">MÁXIMA</td> <td style="text-align: center;">579</td> <td style="text-align: center;">602</td> </tr> </tbody> </table>				MUESTRA		T1	T2	SECCIÓN TRANSVERSAL	ANCHO (mm)	19,00	19,09	ESPELOR (mm)	12,00	11,50	ÁREA (mm²)	228,0	219,5	CARGAS (kN)	MÁXIMA	132,0	132,1	ESFUERZOS (MPa)	MÁXIMA	579	602
MUESTRA		T1	T2																						
SECCIÓN TRANSVERSAL	ANCHO (mm)	19,00	19,09																						
	ESPELOR (mm)	12,00	11,50																						
	ÁREA (mm²)	228,0	219,5																						
CARGAS (kN)	MÁXIMA	132,0	132,1																						
ESFUERZOS (MPa)	MÁXIMA	579	602																						
Incertidumbres (factor de cobertura K=2, para un nivel de confianza de 95%)																									
• Esfuerzo máximo (MPa)		± 4,8	± 5,0																						
OBSERVACIONES:																									
<ul style="list-style-type: none"> • Condición de las muestras: • Las probetas ensayadas fueron proporcionadas por el solicitante. • Norma de Soldadura: "Boiler and Pressure Vessel" ASME IX - 2015. • La muestra T1 se fracturó en el metal base. • La muestra T2 se fracturó en el metal base. 																									
 MSc. ANIBAL ROZAS CALLEIROS CIP. 121229 <small> jefe de Laboratorio de Materiales</small>																									
<small>Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales. Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.</small>																									
2 de 3																									
<small>Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales - PUCP</small>																									
<small>Av. Universitaria 1801 - San Miguel. Lima - Perú http://www.pucp.edu.pe</small>	<small>Apartado Postal N° 1761 Lima 100 - Perú labmat@pucp.edu.pe</small>	<small>Teléfono (511) 626 - 2000 Anexo: 4842</small>	<small>Telefax (511) 626 - 2855</small>																						

AB-20722

Figura 8

Curva Fuerza-Alargamiento

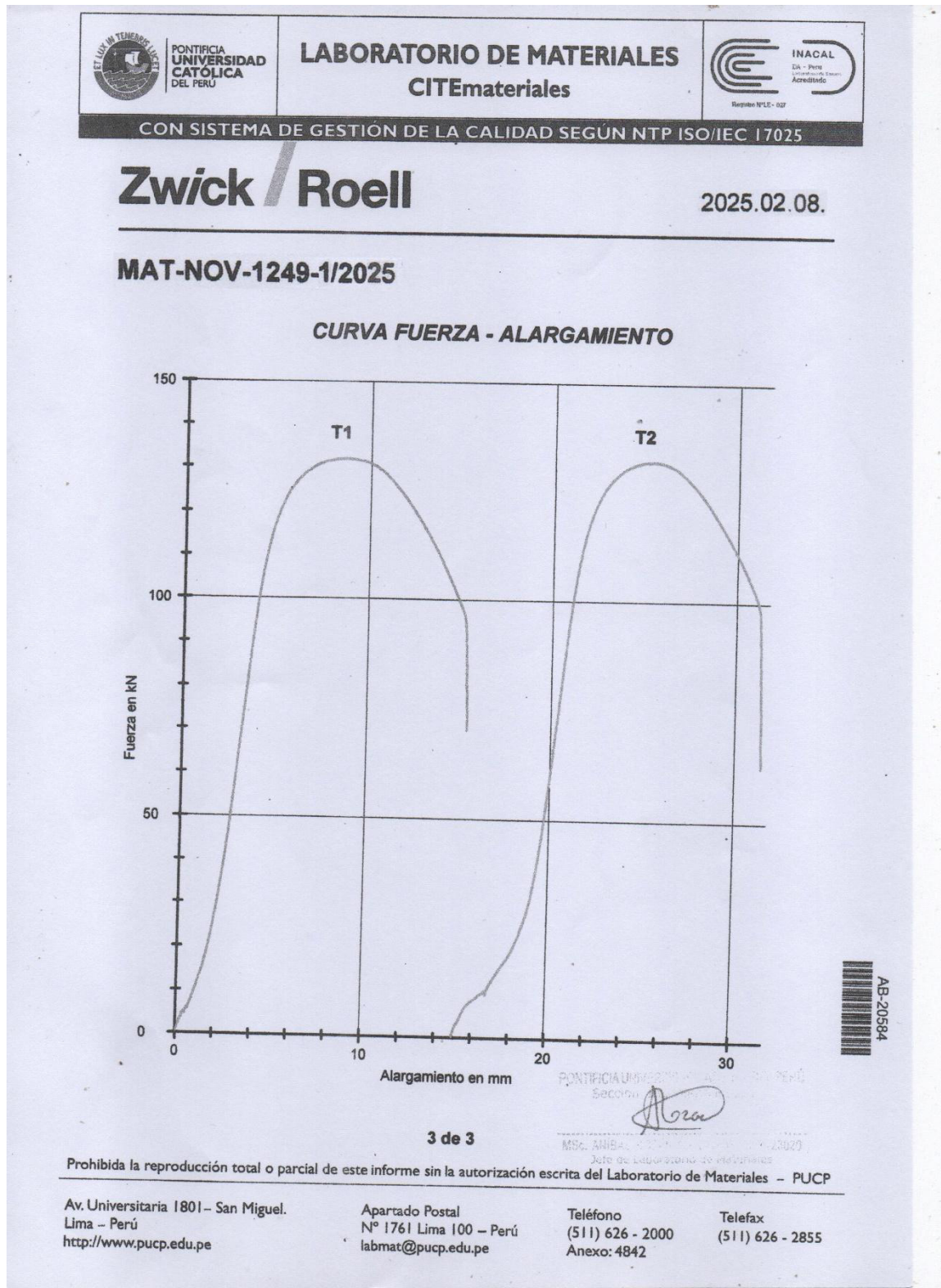



Figura 19

Aprobación de ensayo

LABORATORIO DE MATERIALES
CITEmateriales
 Departamento de Ingeniería
 Sección Ingeniería Mecánica



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

CON SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD SEGUN NTP ISO/IEC 17025

MAT-NOV-1249-2/2025

ENSAYO DE DOBLADO MAT-Lab-4.04 Rev.6

INFORME DE LABORATORIO

Número Total de Páginas: 1

SOLICITADO POR : FACTORIA INDUSTRIAL ROBERTO ACEVEDO S.A.C.

DIRECCIÓN : Av. Maquinarias 2130-Lima.

REALIZADO POR : Laboratorio de Materiales – Analista 03.

MUESTRA : Probetas Soldadas

FECHA DE EMISIÓN : 2025.02.08.

RESULTADOS:


MUESTRA	ÁNGULO DE DOBLADO	PRESENCIA DE DISCONTINUIDADES	OBSERVACIONES
DL1	180°	---	CONFORME
DL2	180°	---	CONFORME
DL3	180°	---	CONFORME
DL4	180°	---	CONFORME

Fecha de Ejecución: 2025.02.08.

OBSERVACIONES:

- Condición de la muestra: Visualmente en buen estado.
- Las muestras ensayadas fueron proporcionadas por el solicitante.
- Norma de Ensayo: ASME IX -2025
- Temperatura ambiente durante el ensayo: 21.1°C

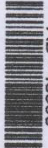
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
 Sección Ingeniería Mecánica



MDC. ANIBAL ROZAS GALLEGOS CIP. 193007
 Jefe de Laboratorio de Materiales

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
 Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.
 Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

1 de 1



AB - 48990

e. **Medio Ambiente**

i. Factores ambientales observados en los documentos

- **Informe de fabricación de tanque:** se registró una temperatura ambiente promedio de 17 °C y humedad relativa de 85%. Esto muestra que la empresa reconoce la importancia de controlar y documentar las condiciones ambientales durante la fabricación.

- **Ensayos de laboratorio (PUCP):** se realizaron a 21,1 °C de temperatura ambiente, condiciones estables que permiten obtener resultados confiables y repetibles.

- **WPQ de soldadores:** se valida el uso de gas protector (Ar 80% + CO₂ 20%), que además de cumplir una función técnica, compensa parcialmente variaciones en el ambiente del taller.

ii. Impacto del medio ambiente en la calidad de soldadura

- **Humedad excesiva (85%):** Favorece la absorción de humedad por parte de los electrodos, aumentando la probabilidad de **porosidad** en la soldadura. Esto se vincula directamente con los defectos observados en el Pareto.

- **Temperatura ambiente baja o variable:** afecta el precalentamiento de incrementando el riesgo de fisuras por tensiones térmicas.

- **Contaminación del aire y polvo en el taller:** puede depositarse en las superficies a soldar, dificultando la adherencia del metal de aporte y aumentando la probabilidad de falta de fusión.

- **Condiciones estandarizadas en laboratorio:** al comparar los resultados de ensayos realizados en condiciones controladas, se evidencia que la soldadura responde de manera óptima cuando no existen interferencias ambientales.

iii. Acciones de mejora propuestas

Para estandarizar las condiciones del taller y reducir la variabilidad ambiental:

- **Almacenamiento controlado de electrodos y alambres:** utilizar hornos o recipientes sellados con sílica gel para evitar la absorción de humedad.
- **Control de humedad del taller:** instalar deshumidificadores o ventilación adecuada en épocas críticas.
- **Zona de preparación de materiales:** mantener áreas limpias y libres de polvo o grasa antes de soldar.
- **Registro de condiciones ambientales:** anotar temperatura y humedad en una bitácora diaria de producción, similar a como se hace en los informes de ensayo de laboratorio.
- **Simulación de condiciones controladas:** replicar en taller las buenas prácticas del laboratorio (ambiente seco y estable), lo que reduce la diferencia entre los resultados de campo y los de ensayo.

iv. Relación con DMAIC (fase Mejorar)

- **Definir/Medir:** se identificó la humedad y la variabilidad térmica como factores de riesgo en el taller.
- **Analizar:** El diagrama de Ishikawa los clasificó como causas secundarias de porosidad y fisuras.
- **Mejorar:** se proponen medidas de control ambiental simples pero efectivas.
- **Controlar:** registrar periódicamente las condiciones del taller y vincularlas con la tasa de defectos para asegurar la sostenibilidad de la mejora.

f. Medición

Esta fase asegura, con evidencia medible y trazable, que el procedimiento de soldadura aplicado está definido (WPS), calificado (PQR/WPQ) y verificado mediante ensayos e inspecciones. Se integra al ciclo DMAIC para cerrar el bucle: lo que se definió en 4.1 (método) y se mejoró en 4.2–4.5 se controla aquí con registros, tolerancias y criterios de aceptación


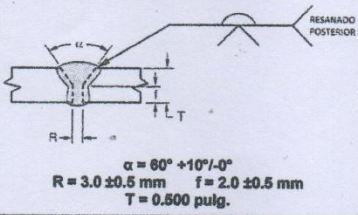


La figura 19 funciona como ficha de procedimiento: identifica el proceso de soldadura, materiales base y de aporte, posiciones, espesores y rangos calificados; además lista variables esenciales (parámetros eléctricos/termo-mecánicos) y la ruta de verificación (examen visual, ensayos y aceptación). En la práctica, es el formato primario que convierte el WPS en control operativo: lo que allí figura se usa como referencia para inspección en piso y para aceptar/rechazar resultados de producción.

Cómo se usa en el control diario

- Trazabilidad: cada lote se asocia a un código de procedimiento.
- Conformidad: El supervisor coteja en piso los parámetros reales con los rangos de la ficha.
- No conformidades: toda desviación se registra y dispara acción correctiva (recalibración, reentrenamiento o repetición de ensayos).

Figura 20

Registro de calificación de procedimiento 1


	ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) <small>Formato INPESER-PQR-001-Revision 12</small>		Fecha: 8/02/2025
	PROYECTO: PROTECCIÓN MARGEN RÍO MADRE DE DIOS		Página: 1 de 2
Compañía: Factoría Industrial Roberto Acevedo S.A.C. – FIRA		WPS No.: WPS-FIRA-001 Rev.1	
Norma: ASME B&PVC SECTION IX - 2025		PQR de soporte No.: PQR-FIRA -001 Rev.1	
Proceso de soldadura: GMAW		Tipo: Semiautomático	
JUNTA (QW-402)		Detalles	
Diseño de la junta: A Tope con Ranura en V Abertura de raíz: 3.0 ±0.5 mm Cara de raíz: 2.0 ±0.5 mm Angulo de ranura: 60° +10°/-0° Radio (J-U): N/A Respaldo: N/A Material del respaldo (tipo): N/A <input type="checkbox"/> Metálico <input type="checkbox"/> Metálico no fundible <input type="checkbox"/> No Metálico <input type="checkbox"/> Otro			
METALES BASE (QW-403)			
No. P 1	No. Grupo 1	a	No. P 1 No. Grupo 1
Especificación y tipo / grado o Número UNS:		ASTM A572 Grado 50	
a Especificación y tipo / grado o Número UNS:		ASTM A572 Grado 50	
Análisis químico y Prop. mecánicas:		N/A	
a Análisis químico y Prop. mecánicas:		N/A	
Rango de Espesor:			
Metal Base:		Ranura: 4.76 – 25.40 mm	Filete: Todos
Máximo Espesor de Pase ≤ ½ pulg. (13 mm):		Si <input checked="" type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Otros: Límite de espesor para GMAW-Cortocircuito: N/A (espesor del cupón 12.7 mm)			
METALES DE APORTE (QW-404)	1	2	3
No. Especificación (SFA)	5.18	—	—
No. Clasificación (AWS)	ER70S-6	—	—
Metal de aporte - No. F	6	—	—
Análisis del metal depositado - No. A	1	—	—
Forma del metal de aporte	Alambre sólido	—	—
Tamaño de metal de aporte	Ø1.2 mm	—	—
Espesor de metal de soldadura:			
Espesor depositado - Ranura	Hasta 25.40 mm	—	—
Espesor depositado - Filete	Todos	—	—
Electrodo-Fundente (clasificación)	—	—	—
Tipo de fundente	—	—	—
Marca del fundente	—	—	—
Inserto consumible	—	—	—
Elaborado por:		Revisado por:	Aprobado por:
  Humberto Acevedo CWI 10071301 QC1 EXP			


La figura 20 recoge resultados de ensayos e inspecciones sobre probetas soldadas (p. ej., tracción, doblado, inspección visual/volumétrica), reportando cargas/esfuerzos logrados, presencia de discontinuidades y apreciación de conformidad. Es el “tablero objetivo” con el que demostramos que el procedimiento funciona: si las probetas cumplen, el proceso se considera capaz dentro del rango calificado; si no, se corrigen variables del WPS o del equipo.

Figura 10

Registro de calificación de procedimiento 2

POSICIONES (QW-405)		TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDEO (QW-407)						
Posición(es) de ranura: Todas		Rango de temperatura: N/A						
Progresión: Ascendente <input checked="" type="checkbox"/> Descendente <input checked="" type="checkbox"/>		Rango de tiempo: N/A						
Posición(es) de filete: Todas		Otros: N/A						
Otros: N/A								
PRECALENTAMIENTO (QW-406)		GAS (QW-408)						
Temp. de precalentamiento, mínima: 20 °C		Composición %						
Temp. entre pases, máxima: 180 °C								
Mantenimiento del precalentamiento: N/A								
Otros: N/A								
(Calentamiento en forma continua o especial, si es aplicado, debería ser especificado)								
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409)								
Corriente pulsada: N/A								
Calor de aporte (máx.): N/A								
Tamaño y tipo del electrodo de tungsteno (puro, 2% toriado, etc.): N/A								
Modo de transferencia GMAW (FCAW): Cortocircuito								
Otros: Ver tabla al final								
TÉCNICA (QW-410)								
Cordón recto u oscilado: Oscilado								
Orificio, boquilla o tamaño de la tobera de gas: N/A								
Limpieza inicial y entre pasadas: Esmerilado y escobillado								
Método de resane de raíz: Esmerilado								
Oscilación: N/A								
Distancia del tubo de contacto a pieza: 19 mm								
Pasada múltiple o única (por lado): Múltiple								
Electrodo múltiple o único: Único								
Espaciamento de electrodos: N/A								
Martillado: N/A								
Otros: N/A								
Pase	Proceso	Metal de aporte		Corriente		Rango de Voltaje (V)	Rango de Velocidad (Pulg/min)	Otros
		Clase	Diám. (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)			
Raíz	GMAW	ER70S-6	1.2	CC-EP	120 - 160	16 - 20	5 - 6	Ascendente
Caliente	GMAW	ER70S-6	1.2	CC-EP	130 - 180	17 - 20	6 - 7	Ascendente
Repleno	GMAW	ER70S-6	1.2	CC-EP	130 - 150	17 - 20	3 - 4	Ascendente
Presentación Anverso	GMAW	ER70S-6	1.2	CC-EP	140 - 180	17 - 20	3 - 4	Ascendente
Presentación Reverso	GMAW	ER70S-6	1.2	CC-EP	120 - 150	17 - 20	4 - 6	Ascendente


Elaborado por: 
 Revisado por:
 Aprobado por:

 Hugo L. Jimenez
 CWI 10071301
 QC1 EXP.

La figura 21 es la constancia de calificación: consolida que el procedimiento y/o el desempeño del soldador cumplen con la norma de referencia (ASME B&PVC Section IX – 2015), incluye la declaración/validación de resultados, identificación de probetas, condiciones de ensayo y el respaldo de la entidad/firmas responsables. Es la pieza con la que se libera formalmente el uso del procedimiento en producción

Figura 11

Registro de calificación de procedimiento 3

	REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR)	
	Formato INPESER-PQR-002-Revisión 6	
	PROYECTO: PROTECCIÓN MARGEN RÍO MADRE DE DIOS	Fecha: 8/02/2025
		Página: 3 de 3

ENSAYO DE TRACCIÓN (QW-150)							
No. Probeta	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm²)	Carga de Rotura (kN)	Resistencia a la Tracción (MPa)	Tipo de Rotura y Ubicación	Resultado
T1	19.00	12.00	228.0	132.0	679	Rompió en el material base	ACEPTABLE
T2	19.09	11.60	219.5	132.1	602	Rompió en el material base	ACEPTABLE

ENSAYO DE DOBLADO GUIADO (QW-160)		
No. Probeta y Tipo de Doblado	Observaciones	Resultado
DL1	---	ACEPTABLE
DL2	---	ACEPTABLE
DL3	---	ACEPTABLE
DL4	---	ACEPTABLE

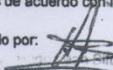
ENSAYO DE IMPACTO (QW-170)							
No. Probeta	Ubicación de la Entalla	Tamaño de la Probeta (mm)	Temperatura de Ensayo (°C)	Resultados			Carga de Rotura
				J (lb-pie)	% de Corte	mm (Mils)	
---	---	---	---	---	---	---	---


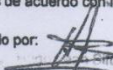
ENSAYO A SOLDADURA DE FILETE (QW-180)			
Resultado de la Prueba:	---	Penetración en Material Base:	---
Resultado de Macro-ataque:	---		

OTROS ENSAYOS (QW-190)	
Tipo de Ensayo:	Inspección Visual : ACEPTABLE
Análisis del Depósito:	---
Otros:	---

PERSONAL			
Nombre del Soldador 1:	Alex Sánchez Laura	ID:	DNI 41361136
Nombre del Soldador 2:	---	ID:	---
Inspector:	CWI - Hugo Lean S.	Laboratorio:	PUCP
		Reporte No.:	MAT-NOV-1249/2025

Certificamos que la información contenida en este registro es correcta y que las probetas fueron preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo con los requerimientos del ASME B&PVC Section IX - 2025

Elaborado por:  Revisado por: Aprobado por:



CWI - Hugo Lean S.
QC1 EXP.

FASE 5: CONTROLAR

La fase **Controlar** tiene como finalidad asegurar la sostenibilidad de las mejoras alcanzadas en el proceso de soldadura de HARDOX 450, evitando la recurrencia de defectos y garantizando la estabilidad del sistema. Para ello, se implementaron mecanismos de supervisión y estandarización que permiten mantener los parámetros definidos en el WPS y las acciones correctivas aplicadas en fases anteriores. De igual manera, se programaron auditorías internas periódicas, recertificaciones anuales de soldadores y un plan de mantenimiento preventivo para equipos de soldadura, asegurando la confiabilidad técnica y operativa. En conjunto, estas acciones consolidan una cultura de mejora continua, reducen los defectos a niveles mínimos, disminuyen las pérdidas económicas y fortalecen la competitividad en sectores de alta exigencia como minería y construcción. La siguiente tabla representativa que resume los principales mecanismos de control, indicadores, frecuencia y responsables, mediante la cual sirve como evidencia práctica de cómo se asegura la sostenibilidad de la mejora en la empresa.

Tabla 7*Control y sostenibilidad del proyecto*

Aspecto controlado	Indicador / Herramienta	Meta / criterio de aceptación	Frecuencia	Responsable (según organigrama)
Procedimiento de soldadura	Checklist de verificación WPS HARDOX-450	100% cumplimiento de parámetros del WPS	Diario / por lote	Gerencia de Producción
Insumos de soldadura	Control de electrodos y consumibles	Electrodos secos y almacenados en condiciones seguras	Semanal	Almacén
Mano de obra (soldadores)	Recertificación y talleres internos	100% del personal capacitado y recertificado	Anual / Semestral	Técnicos de Producción
Máquinas de soldar	Calibración y mantenimiento preventivo	100% equipos calibrados y operativos	Mensual	Logística
Condiciones ambientales	Bitácora de temperatura y humedad	HR < 70%, Precalentamiento ≥ 180 °C	Diario	Asistentes de Producción
Defectos por lote	Gráfica de control (u-chart)	≤ 1 pieza defectuosa por 40 producidas	Diario / Mensual	Gerencia de Producción
Costo por retrabajo	Registro de costos en S/	\leq S/ 50 mensuales	Mensual	Gerencia Administrativa
Satisfacción del cliente	Encuesta VOC	$\geq 80\%$ satisfacción	Trimestral	Planificación y Proyectos

Justificación Económica del Proyecto

Tabla 8

Ahorros por implementación

Concepto	Valor estimado (S/.)	Explicación técnica y económica
Costo actual por retrabajos (antes del proyecto)	S/ 350 mensuales	Defectos de soldadura generan retrabajos y pérdidas de tiempo, insumos y horas-hombre.
Pérdida anual actual	S/ 4,200 al año	350×12 meses. Pérdidas mensuales que en largo plazo acumulan valor
Costo de implementación del proyecto DMAIC	S/ 1,000	Incluye capacitación interna, elaboración de WPS, control básico de insumos, checklists y ajustes en taller.
Ahorro anual estimado después del proyecto	S/ 2,400 al año	Se estima reducción de defectos del 30% a $\approx 10\%$. La pérdida baja de 350 a aprox. 150 mensuales. Ahorro mensual = 200 \rightarrow anual = 2,400.
Costo operativo adicional anual	S/ 300	Control ambiental básico, calibraciones ligeras y consumibles de baja inversión.
Beneficio económico neto anual	S/ 2,100	$2,400 - 300$.
ROI del proyecto	210%	$ROI = (2,100 / 1,000) \times 100$.
Periodo de recuperación (Payback)	5 meses	$1,000 / 200 \approx 5$ meses para recuperar la inversión.

Después de aplicar DMAIC, se reduce la necesidad de un ayudante a medio tiempo debido a:

- Estandarización del proceso (WPS)

Menos supervisión manual, menos tiempo de verificación.

- Reducción de defectos y retrabajos

Antes había 30% de defectos → ahora cerca del 10% → menos carga de corrección.

- Checklists y bitácoras automáticas

Menos necesidad de apoyo en la preparación y control de parámetros.

- Mejor control de insumos y ambiente

Reduce tareas de revisión que hacía un asistente.

Tabla 9

Reducción de gastos en recurso humano

Concepto	Monto (S/)
Sueldo mensual del ayudante	600
Ahorro anual (12 meses)	7,200
Ahorro por reducción de retrabajos (DMAIC)	2,400
Ahorro total anual estimado	9,600

III. APORTES MÁS DESTACABLES A LA EMPRESA

3.1 Se logró una definición estratégica del problema y objetivos delimitando la problemática de la alta tasa de defectos en soldadura, estableciendo metas claras alineadas con la voz del cliente y los requerimientos del mercado.

3.2. Se elaboró una medición y diagnóstico confiable, que fue implementada mediante un sistema de recolección de datos, aplicó herramientas estadísticas (Pareto, Ishikawa) y respaldó con datos recopilados la magnitud y causas de los defectos.

3.3. Se logró la estandarización técnica del proceso por medio del desarrollo de WPS específicos, definiendo parámetros de soldadura, control de insumos y protocolos ambientales para reducir la variabilidad.

3.4. Se mejoró el fortalecimiento de la mano de obra y recursos, se organizaron capacitaciones de soldadores, además de establecer controles en el uso y almacenamiento de materiales, optimizando el rendimiento del personal y los insumos.

3.5. Se implementó la confiabilidad de equipos y sostenibilidad del sistema, que impulsaron planes de calibración, mantenimiento preventivo y checklists de verificación, asegurando que la mejora se mantenga en el tiempo.

3.6. Fueron comprobados los resultados económicos y cultura de mejora continua, debido a la reducción de pérdidas económicas a niveles mínimos y consolidó una cultura de mejora continua basada en indicadores (KPI), auditorías y seguimiento sistemático.

IV. CONCLUSIONES

- 4.1. Se identificó que los defectos más recurrentes fueron fisuras, porosidad y falta de fusión, los cuales representaban el 86% de los problemas
- 4.2. Se estableció una línea base con una tasa de defectos del 30% y pérdidas mensuales económicas, confirmando la necesidad de aplicar un método de mejora.
- 4.3. La metodología permitió vincular los problemas a factores de método, material, mano de obra, máquina, medio ambiente y medición, validando hipótesis
- 4.4. La creación de la especificación de procedimientos de soldadura (WPS), la capacitación de soldadores, el control de insumos, los ajustes de máquinas y la gestión ambiental redujeron el porcentaje de la tasa de defectos
- 4.5. Se implementó un Plan de Control con KPI, checklists, auditorías internas y recertificaciones, logrando minimizar pérdidas económicas

V. RECOMENDACIONES

- 5.1. Mantener actualizado el WPS (Welding Procedure Specification) y asegurar que todos los operarios lo utilicen como referencia obligatoria en cada lote
- 5.2. Establecer un plan anual de recertificación y talleres prácticos enfocados en aceros de alta resistencia incluyendo simulaciones de defectos comunes para reforzar la detección temprana y la corrección en campo.
- 5.3. Incorporar controles ambientales simples (higrómetros y termómetros IR) y mantener registros diarios de temperatura y humedad en el taller
- 5.4. Establecer un calendario mensual de calibración de máquinas de soldar y registrar todas las actividades en una bitácora de mantenimiento
- 5.5. Continuar midiendo la tasa de defectos, costos de retrabajo, satisfacción del cliente y horas de improductividad que sean visualizados en gráficas de control
- 5.6. Integrar reuniones de análisis de calidad trimestrales en las que participen todas las áreas involucradas (producción, calidad, logística y comercial) con posibilidad de realizar reconocimientos internos por cumplimiento de objetivos

VI. REFERENCIAS

- Carrillo, M., Vargas, M., Severiche, D., Peralta, I. y Ortega, I. (2022). Metodología DMAIC de Lean Seis Sigma: Una revisión en el contexto del ruido industrial - sector metalmecánico. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(2), 3148-3163. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i2.2081
- Castro, S. y Correa, S. (2023). Solución de problemas de calidad aplicando la metodología six sigma. Caso de estudio: proceso productivo de soldadura. *Revista Semilleros De Investigación*, 6(1), 1–10. <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/seminve/article/download/3710/7900/17152>
- Prieto, A. (2015). *Metodología DMAIC: Herramientas para la mejora de procesos industriales*. Editorial Universidad Politécnica.
- Ramírez, J., Pinto, J., Rodríguez, M. y Valles, A. (2024). Aplicación de la metodología DMAIC en Sistema de Medición como estrategia para fortalecer el conocimiento individual.: Revisión de Literatura. *Revista Electrónica Del Desarrollo Humano Para La Innovación Social*, 11(22). <https://www.cdhis.org.mx/index.php/CAGI/article/view/234>
- Varela, J., López, A., Franco, A. y García, B. (2023). Aplicación de la metodología DMAIC para mejorar el proceso de fabricación de reguladores en la industria automotriz. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 3885-3902. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4699

VII. ANEXOS

Anexo A: Presentación de la empresa



**FACTORIA INDUSTRIAL
ROBERTO ACEVEDO S.A.C.**

FIRA S.A.C.

Av. Maquinarias 2130 - Lima (Altura Cuadra 20 Av. Argentina)

Tel.: 336-7572 / 336-8139

Nextel: 837*4761 / 824*1851

E-mail: fira.srl@hotmail.com

**SOMOS UNA EMPRESA CON MAS
DE 20 AÑOS DE EXPERIENCIA EN
EL RUBRO DE LA
METALMECÁNICA.**

- Entel : 998374761 / 998241851
- RPM : #988918654
- TELE FIJO : 3367572 - 3368139
- CORREO ELECTRONICO :
 - * Ventas @ firasac.com
 - * producción @ firasac.com
 - Administración @ firasac.com
 - fira.srl@hotmail.com
- DIRECCION : Av. Maquinarias 2130 - Lima
(ALTURA CUADRA 20 AV. ARGENTINA)
- Factoría Industrial Roberto Acevedo sac.
- Fira sac.
- Ruc: 20308467458

Anexo B: Servicios de Rolado

SERVICIOS EN PL. FE. , INOXIDABLES, T1 -400, T1 500 Y OTROS.



ROLADO:

- HASTA 3 MT. DE LONGITUD
- TUBOS DE Ø ESTANNDAR SCH 40 HASTA 4"
- ROLADO DE CANALES "C" Y ANGULOS



ROLA DE 3 METROS DE LONG.



CHAQUETAS PARA MOLINOS



TANQUE FE.



MOLINO



SERPENTIN



TUBOS



PL. ROLADAS



YIRA SAC.

Anexo C: Servicios de corte, doblado y soldadura

CORTE:

- CON GUILLOTINA HIDRAULICA (CIZALLA)
 - + DESDE 1.2 MM HASTA ½" DE ESPESOR
 - + HASTA 3 MT. DE LONGITUD
- CON CARRITO DE CORTE (OXICORTE)
 - + HASTA 6" DE ESPESOR
- CON PLASMA
 - + HASTA 1" DE ESPESOR



DOBLEZ:

- CON PLEGADORA HIDRAULICA
 - + HASTA ½" DE ESPESOR
 - + HASTA 3 MTY DE LONGITUD



SOLDADURA:

- PROCESOS DE SOLDADURA:
 - + ELECTRODO
 - + MIG
 - + TIG
- SOLDADORES HOMOLOGADOS

MAESTRANZA:

- TORNO
- CEPILLO
- TALADRO DE COLUMNA
- MAESTRANZA EN GENERAL.



BOMBEADO Y REBORDEADO DE TAPAS TORIIESFERICAS



FABRICACION DE DUCTOS:

- Conos
- Transiciones
- Uniones
- Tés
- Pantalones
- Tolvas Etc .



MODELOS DE DUCTOS



CODO 90°

