



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

T E S I S

**EFFECTO DEL TIPO DE PROCESO DE SOLDADURA
EN LA CALIDAD DE UNIONES SOLDADAS EN
TUBERÍA DE ACERO A-53, MOQUEGUA,
PERÚ, 2022**

PRESENTADA POR

BACHILLER FRANLEE DENIS PUMACAHUA ZEBALLOS

ASESOR:

ING. VIGIL WUILBER MAMANI CORI

PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

MOQUEGUA - PERÚ

2023

CONTENIDO

	Pág.
PÁGINA DE JURADO	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
CONTENIDO	iv
CONTENIDO DE TABLAS	vii
CONTENIDO DE FIGURAS	ix
CONTENIDO DE APÉNDICES	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad problemática	1
1.2. Definición del problema.....	5
1.2.1. Problema general.....	5
1.2.2. Problemas específicos.	5
1.3. Objetivos de la investigación	5
1.3.1. Objetivo general.	5
1.3.2. Objetivos específicos.	5
1.4. Justificación y limitaciones de la investigación	6
1.4.1. Justificación.....	6
1.4.2. Importancia.	7

1.5. Variables	7
1.6. Hipótesis de la investigación.....	8
1.6.1. Hipótesis general.....	8
1.6.2. Hipótesis específicas.....	8

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación	9
2.2. Bases teóricas	12
2.2.1. La soldadura.....	12
2.2.2. El acero.....	31
2.3. Marco conceptual.....	33

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1. Tipo de investigación	35
3.2. Diseño de investigación	36
3.3. Población y muestra	36
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	36
3.4.1. Técnicas.....	36
3.4.2. Instrumentos.....	36
3.4.3. Evaluación de la calidad de la soldadura.....	37
3.5. Equipo utilizado en las pruebas.....	38
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	39

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados	43
4.1.1. Calidad de uniones soldadas en tubería de acero A-53 con proceso de soldadura SMAW.....	43
4.1.2. Calidad de uniones soldadas en tubería de acero A-53 con proceso de soldadura GTAW.	47
4.2. Contrastación de hipótesis	54
4.3. Discusión de resultados	62

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones	64
5.2. Recomendaciones.....	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
APÉNDICES.....	71
MATRIZ DE CONSISTENCIA	74

CONTENIDO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Operacionalización de variables	8
Tabla 2 Principales propiedades mecánicas de los aceros	31
Tabla 3 Criterios de evaluación de la calidad de la soldadura	38
Tabla 4 Resultados de ensayos a tracción para proceso de soldadura SMAW	43
Tabla 5 Resistencia a la tracción para proceso de soldadura SMAW: estadísticos descriptivos	44
Tabla 6 Límite de fluencia para proceso de soldadura SMAW: estadísticos descriptivos	45
Tabla 7 Nivel del aspecto de soldadura para proceso de soldadura SMAW	46
Tabla 8 Resultados de ensayos a tracción para proceso de soldadura GTAW	47
Tabla 9 Resistencia a la tracción para proceso de soldadura GTAW: estadísticos descriptivos	48
Tabla 10 Límite de fluencia para proceso de soldadura GTAW: estadísticos descriptivos	48
Tabla 11 Nivel del aspecto de soldadura para proceso de soldadura GTAW	49
Tabla 12 Resistencia a la tracción, límite de fluencia y prueba visual para procesos de soldadura SMAW y GTAW	50
Tabla 13 Comparación de estadísticos descriptivos para tracción y límite de fluencia en procesos de soldadura SMAW y GTAW	52
Tabla 14 Comparación del nivel del aspecto de soldadura para procesos de soldadura SMAE y GTAW	53

Tabla 15 Resistencia a la tracción: Prueba t para muestra única en proceso	
SMAW	55
Tabla 16 Límite de fluencia: Prueba t para muestra única en proceso SMAW	55
Tabla 17 Resistencia a la tracción: Prueba t para muestra única en proceso	
GTAW	57
Tabla 18 Límite de fluencia: Prueba t para muestra única en proceso GTAW.....	58
Tabla 19 Resistencia a la tracción: Prueba t para medias de las muestras con	
procesos GTAW y SMAW	60
Tabla 20 Límite de fluencia: Prueba t para medias de las muestras con procesos	
GTAW y SMAW	60
Tabla 21 Aspecto de soldadura para muestras con procesos GTAW y SMAW ...	60

CONTENIDO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Soldadura para la unión de metales ferrosos y no ferrosos	12
Figura 2 Soldadura por electrodo revestido o soldadura SMAW	14
Figura 3 Electrodo revestido para la soldadura SMAW	15
Figura 4 Equipo para soldadura de arco eléctrico o denominada SMAW.....	16
Figura 5 Diagrama del proceso de soldadura GTAW	17
Figura 6 Equipo de soldadura por proceso GTAW.....	18
Figura 7 Muestra del desarrollo del proceso de la soldadura FCAW	19
Figura 8 Sección transversal de alambres FCAW	20
Figura 9 Equipo para el soldeo por arco con alambre tubular	21
Figura 10 Medidor de filete	22
Figura 11 Ensayo de doblado.....	23
Figura 12 Cabezales de sujeción y maquina universal de tracción.....	24
Figura 13 Dilución entre A y B.....	26
Figura 14 Posiciones de uniones soldadas en soldaduras de tubería a tope.....	28
Figura 15 Posiciones de uniones soldadas en soldaduras de tubería a tope 1G....	29
Figura 16 Posiciones de uniones soldadas en soldaduras de tubería a tope 2G....	29
Figura 17 Posiciones de uniones soldadas en soldaduras de tubería a tope 5G....	30
Figura 18 Posiciones de uniones soldadas en soldaduras de tubería a tope 2G....	30
Figura 19 Ficha de registro de datos	37
Figura 20 Máquina de Ensayos de tracción Metrotec MTE-300.....	38
Figura 21 Esquema del ensayo de tracción API 1104.....	39
Figura 22 Imagen obtenida del ensayo de tracción API 1104	39

Figura 23 Resistencia a la tracción y límite de fluencia para proceso de soldadura SMAW	45
Figura 24 Nivel del aspecto de soldadura para proceso de soldadura SMAW	46
Figura 25 Resistencia a la tracción y límite de fluencia para proceso de soldadura GTAW	49
Figura 26 Nivel del aspecto de soldadura para proceso de soldadura GTAW.....	50
Figura 27 Resistencia a la tracción y límite de fluencia para procesos de soldadura SMAW y GTAW	51
Figura 28 Aspecto de soldadura para procesos de soldadura SMAW y GTAW ..	53

CONTENIDO DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice A Matriz de datos.....	70
Apéndice B Muestra de PQRs usados en análisis de datos en soldadura GTAW	71
Apéndice C Muestra de los PQRs usados en análisis de datos en soldadura SMAW	73

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo analizar el efecto del tipo de proceso de soldadura en la calidad de uniones soldadas en tubería de acero A-53. Se consideró la evaluación de dos tipos de proceso de soldadura: SMAW y GTAW. Los ensayos experimentales se realizaron en la ciudad de Moquegua, en el sur del Perú. Para ello se realizó una investigación de tipo aplicado y explicativa, con diseño experimental causal comparativo. Se trabajó con dos muestras de 10 observaciones para cada uno de los procesos de soldadura aplicados. Para el registro de los datos recogidos se aplicó la observación y se diseñó una ficha de registro utilizando Excel como soporte informático. Como resultados, se encontró que tanto el proceso SMAW como el GTAW superan significativamente los valores hipotéticos de resistencia a la tracción y de límite de fluencia; además, se encontró que en el caso del proceso SMAW, la mayor frecuencia se distribuye en el nivel de aspecto aceptable, mientras que, en el caso del proceso GTAW, la mayor frecuencia se distribuye en el nivel de aspecto bueno. Como conclusión general se encontró que el tipo de proceso de soldadura tiene un efecto diferente en la calidad de uniones soldadas en tubería de acero A-53, Moquegua, Perú, 2022, con ventaja para el proceso GTAW respecto del SMAW.

Palabras clave: Soldadura, proceso de soldadura, calidad de soldadura, calidad de uniones soldadas, tubería de acero.

ABSTRACT

This study aims to analyze the effect of the type of welding process on the quality of welded joints in A-53 steel pipe. The evaluation of two types of welding process was considered: SMAW and GTAW. The experimental trials were carried out in the city of Moquegua, in southern Peru. For this, an applied and explanatory type of research was carried out, with a comparative causal experimental design. We worked with two samples of 10 observations for each of the applied welding processes. For the recording of the data collected, observation was applied and a record sheet was designed using Excel as computer support. As results, it was found that both the SMAW and the GTAW processes significantly exceed the hypothetical values of tensile strength and yield strength; In addition, it was found that in the case of the SMAW process, the highest frequency is distributed in the acceptable aspect level, while, in the case of the GTAW process, the highest frequency is distributed in the good aspect level. As a general conclusion, it was found that the type of welding process has a different effect on the quality of welded joints in A-53 steel pipe, Moquegua, Peru, 2022, with an advantage for the GTAW process compared to SMAW.

Keywords: Welding, welding process, weld quality, quality of welded joints, steel pipe.

INTRODUCCIÓN

Este estudio se desarrolla en un contexto en el cual las actividades extractivas que caracterizan el país, se apoyan en el levantamiento y uso de estructuras metálicas que requieren diferentes tipos de aceros y procesos de soldadura efectivos en el mediano y largo plazo. En ese marco, la atención otorgada a los procedimientos seguidos para conseguir uniones de soldadura que satisfagan los requerimientos de las organizaciones que se dedican a estos rubros, se constituye en un desafío permanente de su actividad extractiva. En ese sentido, atender a la calidad de las uniones de soldadura se convierte en una necesidad que trasciende las operaciones más inmediatas y puede llegar hasta los mismos espacios de la gestión y de la toma de decisiones.

Este estudio nace en ese marco. Y aunque se reconoce que en los procesos seguidos por las empresas del giro se utilizan diferentes materiales para la construcción de estructuras, aquí se enfoca la atención en la tubería de acero A-53, de amplio uso en diferentes operaciones. Bajo esa intención, se prueban dos tipos de procesos de soldadura, SMAW y GTAW, con el propósito de evaluar cuál de los dos lleva a una mejor calidad de uniones soldadas. Se parte de la hipótesis que existe diferencia en el efecto en la calidad de las uniones soldadas, a partir de los procesos de soldadura aplicados.

Para la evaluación se tomaron en cuenta tres indicadores: resistencia a la tracción, límite fluencia y aspecto de la soldadura. Una respuesta de esta naturaleza es conveniente no sólo en términos de conocimiento, sino sobre todo en términos de información para las empresas, extractivas o de otro giro, que deben trabajar sus procesos operativos con el auxilio de estructuras metálicas de diferente magnitud.

Para el desarrollo del estudio, se planteó un diseño experimental sobre la base de dos muestras de 10 ensayos cada una. Al finalizar la experiencia, se comparan los valores promedio obtenidos en los ensayos con el objeto de verificar si estos se diferencian entre sí, y si alguno de los procesos ofrece mayores ventajas respecto del otro.

Para efectos de presentación, este informe se ha subdividido en cinco capítulos, a los que se ha añadido un apartado final de anexos, en el que se recoge información que complementa la comprensión de los análisis realizados. El primer capítulo está destinado a la exposición del planteamiento del problema; se presentan en este apartado la descripción del problema, las preguntas y objetivos de investigación, las razones que justifican el estudio, la operacionalización de las variables y las hipótesis del estudio. El segundo capítulo expone el marco teórico que sustenta las variables. El tercer capítulo expone los aspectos metodológicos seguidos para dar cumplimiento al estudio. El cuarto capítulo presenta los resultados del estudio y el procedimiento seguido para la contrastación de las hipótesis planteadas. Y el quinto capítulo presenta las conclusiones y recomendaciones que se derivan de la investigación realizada.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad problemática

El Perú es un país minero (Quinde, 2020) o por lo menos un país con tradición minera, que se remonta incluso más atrás del establecimiento del virreinato (Ministerio de Energía y Minas, 2022); en algunos años, más del 5% de su PIB se sustenta principalmente en actividades directa o indirectamente vinculadas con las operaciones de grandes empresas extractivas (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2022); otras fuentes consideran que su aporte al PBI se sitúa en el orden del 10% (Instituto Peruano de Economía, 2021). En el caso de este tipo de empresas, sus actividades involucran varias etapas de trabajo, desde las acciones de prospección hasta la construcción de infraestructura necesaria tanto para el inicio de operaciones de extracción como para la extensión de estas en el tiempo (Gotelli, 2022).

En la etapa de preparación de infraestructura, entre otras, se suceden dos tipos de construcciones, que se van erigiendo a medida que, desde las esferas de gestión, se va consiguiendo organizar los procesos previos a las acciones propiamente de explotación: levantamiento de estructuras metálicas y construcción de obras civiles. Las primeras, por regla general, anteceden a las segundas; es más, proporcionan las bases para que, a medida que avanza el proyecto minero, se puedan proyectar y llevar a cabo las obras civiles (Agencia Nacional de Minería Colombia, s.f.). En consecuencia, tanto en los momentos vinculados a la apertura e inicio de los proyectos mineros nuevos, como en los que suponen ampliación de proyectos ya en operaciones, el levantamiento de estructuras metálicas se constituye en un proceso necesario e insustituible de las actividades relativas a nuevas intenciones de explotación de los recursos mineros (Ramírez, 2021).

Esas estructuras utilizan diferentes materiales metálicos, desde fierro corrugado hasta tubería de acero de diferente composición, diseño y propósito estructural. Cabe señalar que, si bien en buena parte de las estructuras a construir se podrían unir sus piezas en base al uso de pernería, las grandes dimensiones y requerimientos específicos de estabilidad frente a posibles movimientos o deslizamientos de tierra en las zonas de operación, en el caso de estructuras para operaciones mineras, la unión de tubería de acero se hace fundamentalmente en base a soldadura (Alonso, 2017). En otras palabras, la estabilidad, firmeza y durabilidad para el periodo considerado que se requiere de las estructuras metálicas que se levantan en los proyectos mineros, depende de la calidad de uniones soldadas que se practican en la tubería de acero que se utiliza para su construcción (Flores, 2019).

Considerando que, en el ámbito nacional y regional (en este caso, la región Moquegua), la tubería de acero más utilizada en el levantamiento de estructuras metálicas que requieren los proyectos mineros de mediana y gran envergadura es el acero A53. De aquí que en el marco de los proyectos mineros, cuando se habla de estructuras metálicas y, sobre todo, de uniones soldadas en esas estructuras metálicas, se presume que éstas se realizan con tubería de acero A53, dando por sentado que lo que se busca con uniones de soldadura de la mejor calidad (Chan, 2009), a fin de que las estructuras metálicas requeridas en el proyecto puedan soportar efectivamente las demandas específicas que implican las acciones de preparación y las condiciones de trabajo que imponen las actividades en campo.

Si bien la calidad de las uniones de soldadura depende de las características específicas del material utilizado que se consigue (como la fluencia o la resistencia a la tracción), en realidad, esas uniones toman cuerpo a partir de los procesos de soldadura que se utilizan cuando se ejecutan las uniones. Teóricamente, se presume que los tipos de procesos de soldadura aplicados debieran tener efectos relativamente similares o muy próximos entre sí en lo que se refiere a calidad de las uniones soldadas (Gutiérrez, 2017), razón por la cual las empresas que proveen esas estructuras metálicas o se encargan de su levantamiento, tienden a utilizar indistintamente los diferentes procesos de soldadura. Sin embargo, ese supuesto se acepta como válido por su condición de información proporcionada por los fabricantes de los materiales utilizados y por quienes diseñaron los procedimientos seguidos (Chan, 2009); pero no porque se haya arribado a estándares actuales, contextualizados in situ, es decir, ejecutados en los terrenos específicos y particulares condiciones de operación donde se les requiere.

Dado que un proyecto minero de envergadura, como cualquier proyecto de gran impacto, implica una inversión considerable de dinero y recursos, que deben producir resultados positivos en un periodo razonable de tiempo (Viñán, Puente, Ávalos y Córdova, 2018), el conocimiento que una empresa minera pueda adquirir sobre la eficacia de los procesos de soldadura que utiliza en la construcción de las estructuras metálicas que competen a sus actividades de preparación para la explotación, y sobre todo la información que pueda adquirir respecto al fundamento constructivo de esas estructuras (Flores, 2019), es decir, la calidad de las uniones soldadas en la tubería de acero que utiliza, son clave para asumir operaciones sin mayores riesgos de siniestralidad, demandas y suspensiones. Es más, en ese marco, pueden considerarse un factor importante para la mejora de las acciones operativas y proporcionar información que puede traducirse en ahorros significativos para la empresa, en relación al supuesto de que todos los procesos de soldadura en tuberías de acero tendrían un impacto similar en la calidad de las uniones soldadas en el acero utilizado en los proyectos mineros (Morales, 2016).

Si bien los procedimientos de soldadura conocidos y aplicados en diferentes proyectos constructivos en cuanto a estructuras metálicas son varios, este estudio, por el carácter inicial que supone en cuanto a acercamiento a la noción de calidad de las uniones soldadas, constituye un primer paso en el propósito de evaluar la eficacia de esos procesos en las uniones de soldadura de las estructuras metálicas que se utilizan en los proyectos mineros. En ese sentido, se propone el siguiente problema de investigación:

1.2. Definición del problema

1.2.1. Problema general.

¿Cuál es el efecto del tipo de proceso de soldadura en la calidad de uniones soldadas en tubería de acero A-53, Moquegua, Perú, 2022?

1.2.2. Problemas específicos.

¿Cuál es la calidad de uniones soldadas en tubería de acero A-53, Moquegua, Perú, 2022, con el proceso de soldadura SMAW?

¿Cuál es la calidad de uniones soldadas en tubería de acero A-53, Moquegua, Perú, 2022, con el proceso de soldadura GTAW?

¿Cuál es la calidad de uniones soldadas en tubería de acero A-53, Moquegua, Perú, 2022, en función del proceso de soldadura?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general.

Analizar el efecto del tipo de proceso de soldadura en la calidad de uniones soldadas en tubería de acero A-53, Moquegua, Perú, 2022.

1.3.2. Objetivos específicos.

Determinar la calidad de uniones soldadas en tubería de acero A-53, Moquegua, Perú, 2022, con el proceso de soldadura SMAW.

Determinar la calidad de uniones soldadas en tubería de acero A-53, Moquegua, Perú, 2022, con el proceso de soldadura GTAW.

Comparar la calidad de uniones soldadas en tubería de acero A-53, Moquegua, Perú, 2022, en función del proceso de soldadura.

1.4. Justificación y limitaciones de la investigación

1.4.1. Justificación.

Esta investigación implica la identificación de por lo menos dos criterios de relevancia para su justificación. En ese sentido, este estudio se justifica desde una perspectiva práctica y desde una perspectiva socioeconómica. Desde una perspectiva práctica, criterio señalado por Hernández, Fernández y Baptista (2014) por el cual la realización de una investigación supone algún tipo de beneficio institucional u organizacional, los resultados de este estudio contribuirán con información que las empresas del sector que operan a nivel de región y del país puedan utilizar para optimizar los procesos de construcción involucrados en las etapas de preparación previas a las actividades de extracción propiamente dichas.

En segundo lugar, este estudio se justifica desde una perspectiva socioeconómica. Este criterio supone identificar razones por las cuales la realización de una investigación deriva en algún tipo de impactos favorables para la sociedad, sea ésta vista a nivel de comunidad o grupo al interior de ésta. En ese sentido, este estudio se justifica en tanto la posibilidad de contar con información que mejora los procesos de explotación en las empresas mineras, supone implícitamente la reducción de los índices de accidentabilidad y siniestrabilidad al interior de las empresas extractivas que operan en la región, así como la reducción de errores en los procesos constructivos y la reducción de desperdicio de recursos, que se traducen en beneficios indirectos para las poblaciones aledañas a los centros mineros que operan en la región.

1.4.2. Importancia.

Este estudio es importante por la contribución que hace al cuerpo de conocimientos disponible respecto de los tipos de procesos de soldadura utilizados en empresas que requieren de estructuras metálicas de dimensiones significativas. Al mismo tiempo, como se ha señalado, la información obtenida también contribuye al propósito de optimizar resultados en lo que se refiere a los procedimientos de soldadura aplicados en esas estructuras, lo cual repercute en situaciones de mejoramiento de procesos, y reducción de situaciones de vulnerabilidad interna de trabajadores y equipos, en la medida que conociendo los mejores procesos de soldadura, las empresas del sector minero contaría con una mejor información para la toma de decisiones.

1.5. Variables

Variable independiente : Tipo de proceso de soldadura

Variable dependiente : Calidad de uniones soldadas

Tabla 1*Operacionalización de variables*

Variable	Dimensión	Indicadores	Unidad de medida	Categoría
Independiente:	Proceso de soldadura	Tipo de soldadura aplicado	Denominación de tipo de soldadura	SMAW GTAW
Dependiente:	Tracción	Resistencia a la tracción	MPa= N/m ² x10 ⁶	
Calidad de uniones soldadas	Fluencia	Límite de fluencia	MPa= N/m ² x10 ⁶	
	Aspecto	Aspecto general por prueba no destructiva	Nivel de calificación	Mala
				Aceptable
				Buena
				Muy buena

1.6. Hipótesis de la investigación

1.6.1. Hipótesis general.

El tipo de proceso de soldadura tiene un efecto diferente en la calidad de uniones soldadas en tubería de acero A-53, Moquegua, Perú, 2022.

1.6.2. Hipótesis específicas.

La calidad de uniones soldadas en tubería de acero A-53, Moquegua, Perú, 2022, con el proceso de soldadura SMAW, es alta.

La calidad de uniones soldadas en tubería de acero A-53, Moquegua, Perú, 2022, con el proceso de soldadura GTAW, es alta.

La calidad de uniones soldadas en tubería de acero A-53, Moquegua, Perú, 2022, es mayor con el proceso de soldadura GTAW que con SMAW.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Flores (2019), en su tesis titulada “Implementación de un Sistema de Control de Calidad para Procesos de Soldadura según las Normas AWS D1.1 y Códigos ASME B31.1/B31.3/ IX para Tuberías de Acero al Carbono en la Empresa ERMI Instalaciones & Mantenimiento S.A.C.”, que tuvo como objetivo general, aplicar e implementar un sistema de control de calidad para la mejora de las calidades de los procesos de las soldaduras en la empresa ERMI y reducir los tiempos en el proceso, siendo una investigación de tipo descriptivo y no experimental, donde finalmente se concluyó que aplicando un sistema de controles de calidades basadas en las normas AWS D1.1, ASME IX, ASME B31.3 Y ASME 31.1, en la empresa ERMI se mejoró considerablemente la eficiencia de los procesos de soldadura como son el montaje, fabricación de tuberías, estructuras y tanques; con este implementación se mejoró los tiempos minimizando los tiempos en un 85,93% de horas hombre y 86,58 % de horas máquina.

Barrera y Rojano (2015), en su tesis titulada “Elaboración de un procedimiento específico de soldadura (WPS) para la construcción de poliductos en tuberías de acero al carbono instalado bajo la técnica de perforación horizontal dirigida para la empresa Montecz S.A.”, que tuvo como objetivo general, la elaboración de procedimientos específicos de soldadura (WPS) y de soportes calificado (PQR) en uniones de las juntas a topes con ranuras en V, en tubería de acero de bajos contenidos de carbono para una línea de transporte de hidrocarburo, siendo una investigación de tipo descriptivo y no experimental, donde finalmente se concluyó que se logró elaborar los procedimientos de soldadura (WPS) con un registro calificativo (PQR) según la condición establecida en el estándar API1104 en las construcciones de poliductos de la empresa Montecz.

Morales (2016), en su tesis titulada “Diseño y fabricación e instalaciones de tuberías en los procesos industriales, con el empleo de tecnología de punta y ensayos para mejorar la calidad de los proyectos”, que tuvo como objetivo general, establecer los métodos y criterios de aceptación para inspeccionar con radiografías en las soldaduras de penetraciones completas, cumpliendo también con la norma o código ASME B31.3 , siendo una investigación de tipo descriptiva, donde finalmente se concluyó que con la aplicación de las tecnologías, las normas y ensayos de punta ha facilitado la construcción de grandes complejos de diversas índoles logrando optimizar los tiempos y los procesos, produciéndose una mejor calidad en toda la producción.

Muñoz (2013), en su tesis titulada “Elaboración de un Plan de Aseguramiento de Calidad para la Fabricación de Sistemas de Tuberías para una Central Turbo - Generadora de 100MW”, que tuvo como objetivo general, la

elaboración y la puesta en práctica de un plan de aseguramiento de calidades el cual está incluido los procedimientos de pruebas e inspecciones, de acuerdo a los códigos de construcción aplicativos que garantice la calidad, siendo una investigación de tipo descriptiva-aplicativa, donde finalmente se concluyó que se logró preparar un plan de aseguramiento de calidades para la ejecución de pruebas de sistemas de tuberías, montajes e inspecciones, lo que trajo como beneficios mejorar el trabajo de manera integral y dar mejores calidades a los productos.

Gutiérrez (2017), en su tesis titulada “Aplicación de la norma AWS D1.1 en la inspección de soldaduras en las uniones de las estructuras metálicas, del proyecto de ampliación de la refinería de Talara”, que tuvo como objetivo general, analizar si se mejora la calidad en la soldadura de las uniones de las estructuras metálicas en la refinería Talara mediante la aplicación correcta de las normas AWS D1.1 2010, siendo una investigación de tipo descriptiva-no experimental, donde finalmente se concluyó que se mejoró considerablemente la calidad de las estructuras metálicas en el proyecto de la refinería Talara mediante la aplicación de los procedimientos de la norma AWS D1.1 2010; lo que queda demostrado que es posible la implementación de estos procedimientos para mejorar las calidades de los procesos en la refinería Talara.

Guanilo (2017), en su tesis titulada “Estudio de los procesos de electro fusión y termofusión en unión de tuberías de HDPE en una refinería”, que tuvo como objetivo general, analizar y estudiar los procesos de termofusión y electro fusión para la unión de tuberías HDPE en una refinería del Perú, siendo una investigación de tipo descriptiva-no experimental, donde finalmente se concluyó que el análisis permitió ayudar a realizar las uniones de manera sencilla y

cumpliendo con los requisitos de calidad y estándares en el proceso de termofusión y electro fusión; también se logró controlar los parámetros de cada proceso permitiendo ahorrar tiempos y dinero en los trabajos.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. La soldadura.

2.2.1.1. Qué es la soldadura: Definición.

Para Segovia (2012), la soldadura es una técnica que consiste en el nexo o unión de dos elementos de forma constante mediante presión, calor o la combinación de ambos todo con el objetivo de transformarlos en una nueva parte o pieza. Para juntar dos metales de forma permanente la forma más económica es mediante la soldadura. La soldadura oxiacetilénica para el proceso de unión de dos metales utiliza el calor producido por la llama y la soldadura por arco utiliza o emplea la energía eléctrica para producir el calor y presión necesaria para unir metales y fundir.

Figura 1

Soldadura para la unión de metales ferrosos y no ferrosos



Nota: Horwits (2002)

2.2.1.2. Tipos y métodos de soldadura.

Los tipos y métodos de soldaduras que existen son los siguientes:

- Soldadura con arco eléctrico
- Soldadura por gas
- Soldadura con energía

Tipos de soldadura eléctrica

- Soldadura por resistencia
- Soldadura por rayo de energía concentrada
- Soldadura de estado sólido
- Soldadura de forja
- Tipos de soldadura para materiales metálicos (homogénea y heterogénea).

2.2.1.3. Procesos de soldadura.

Según D'Addario (2017), los procesos de soldadura son los distintos medios, métodos y herramientas que se utilizan para transmitir calor y generar el nexo o unión deseada entre dos metales o elementos.

- *Proceso SMAW.*

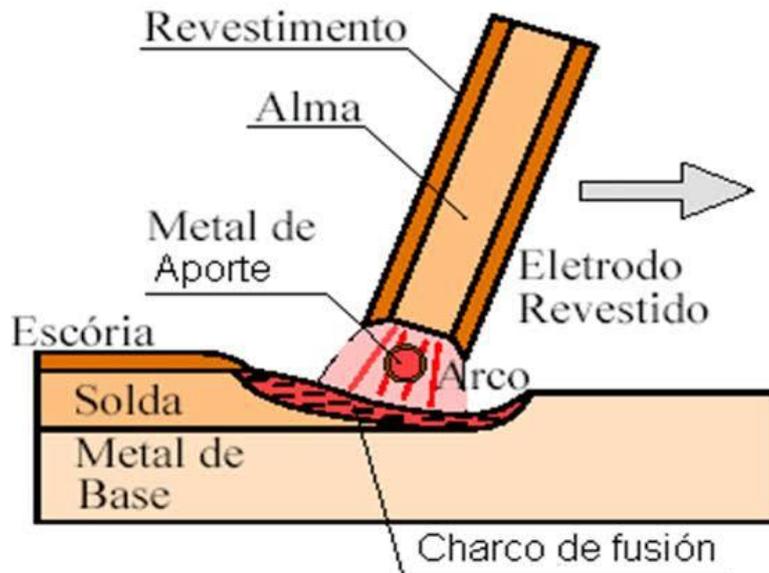
Para Rodríguez (2010), la soldadura SMAW o conocida también como soldadura por arco es uno de los métodos más utilizados y se caracteriza por tener variedades de técnicas. El término de soldadura SMAW significa soldadura por arco con electrodos metálicos revestidos también se lo suele conocer como soldadura en arco con electrodos recubiertos, soldadura de varillas o soldadura manual de arcos metálicos.

Se trata de un proceso en el que el calor de soldadura utilizado es originado a través de un arco eléctrico en medio de la pieza de trabajo que viene a hacer el metal

base y un electrodo metálico que viene hacer el metal de aporte cubierto de materiales químicos en una combinación idónea. El proceso lo podemos representar en la siguiente figura:

Figura 2

Soldadura por electrodo revestido o soldadura SMAW



Nota: Rodríguez (2010)

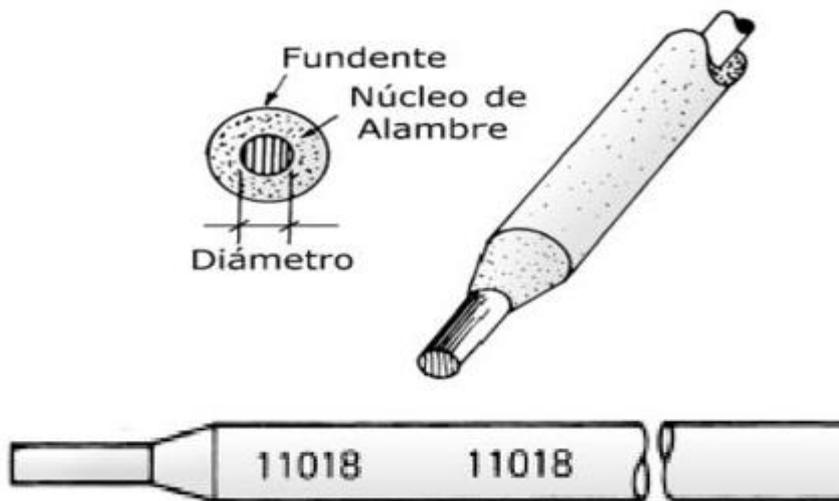
a. Electrodo (material de aporte).

Para Horwits (2002), el electrodo es un núcleo o varilla metálica que se funde en el proceso de la soldadura y se solidifica en el metal base, añadiendo suficiente metal para la realización de la unión; estos electrodos tienen las características similares a los del metal base o suelen ser mejores, con la finalidad de lograr soldaduras homogéneas. Las varillas o denominadas también almas o núcleos están cubiertos por una envoltura denominada revestimiento o recubrimiento, en la que solo queda una zona desnuda en uno de los extremos en donde se aloja o ajusta a la pinza porta-electrodos y es lugar por donde se envía la corriente eléctrica.

El revestimiento del electrodo es la parte que reviste el alma o núcleo de los electrodos y los componentes más usados para los revestimientos son: sales de potasio, manganeso, celulosa, silicatos de aluminio, silicatos de sodio, rutilo, titanio, óxido de hierro y polvo de hierro; todos estos se funden al mismo tiempo del alma o núcleo y su objetivo es mejorar las características metalúrgicas.

Figura 3

Electrodo revestido para la soldadura SMAW



Nota: Horwits (2002)

Factores principales que se toman en cuenta para la selección de electrodos en la soldadura por arco eléctrico:

- Identificar el metal base.
- Tipos de corrientes disponibles para la soldadura, o sea, si se cuenta con corrientes alternas o continuas para las operaciones.
- Posiciones en las cuales debe efectuarse las soldaduras.
- Espesores y formas de metales base.

- Diseños de las juntas.
- Especificaciones de los servicios requeridos para el trabajo.
- Rapidez y eficiencia requeridas para las operaciones.

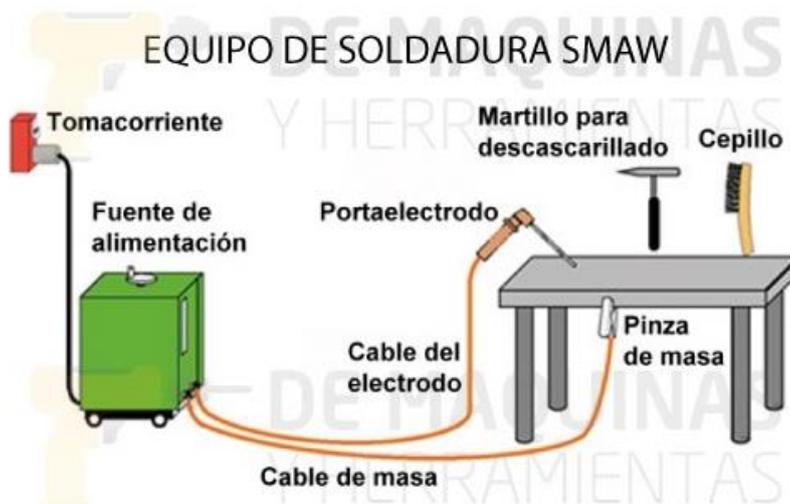
b. Equipo.

Para Hermógenes (2007), los equipos de soldadura son herramientas importantes en los procesos de soldadura, son los encargados de producir la fusión de dos o más materiales ya sean termoplásticos o metálicos, mediante las aplicaciones de presiones o de calor más la adición de electrodos o materiales aportantes para la obtención de la unión de las piezas.

Estas máquinas originan un arco eléctrico entre el metal base y el electrodo aportante. Los equipos constan de un regulador de amperaje, botón de apagado y encendido, pinza porta electrodo, carcasa con una pintura anti chispas, cables de fuente de energía y de alimentación, pinza maza, se puede trabajar con corriente continua y alterna.

Figura 4

Equipo para soldadura de arco eléctrico o denominada SMAW



Nota: Horwits (2002)

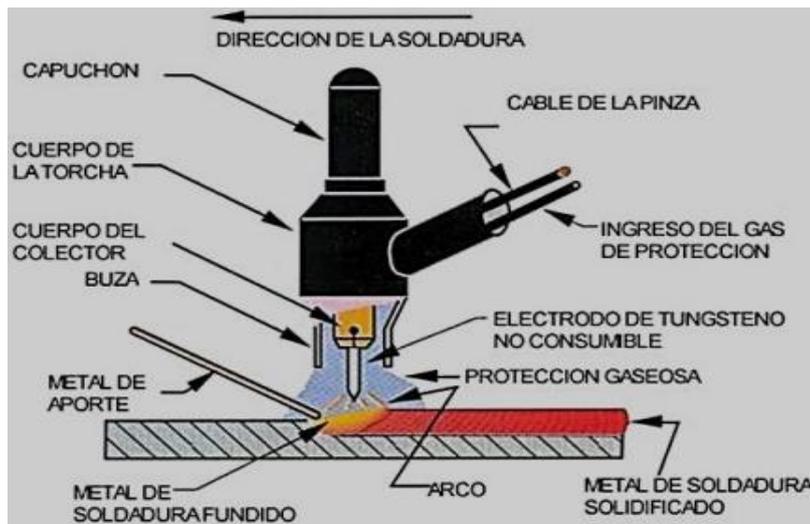
- *Proceso GTAW.*

Para Horwits (2002), el proceso de soldadura GTAW que tiene significado en inglés Gas Tungsten Arc Welding o conocida también como TIG (Tungsten inert Gas); es una técnica por arco eléctrico que se da entre la pieza o metal base a soldar y un electrodo de tungsteno bajo la protección de un gas inerte que impide el contacto entre el baño de fusión y el aire con el electrodo que está a altas temperaturas.

Este proceso de soldadura se realiza o aplica en todos los tipos de fabricación en los mercados, comerciales, alimenticios, aeroespaciales y automotriz.

Figura 5

Diagrama del proceso de soldadura GTAW



Nota: Hermógenes (2007)

a. Electrodo.

Para Alonso (2017), en la soldadura GTAW la denominación tungsteno hace referencia al tungsteno puro y a las diferentes aleaciones de tungsteno usados como electrodos. El electrodo de tungsteno es no consumible si el proceso se realiza adecuadamente ya que este no se derrite ni es transferido a la soldadura. El punto de fusión del electrodo de tungsteno es de 3410 °C.

Se tienen los siguientes electrodos:

- electrodos EW Th
- electrodos EW Ce
- electrodos EW La
- electrodos EW Zr

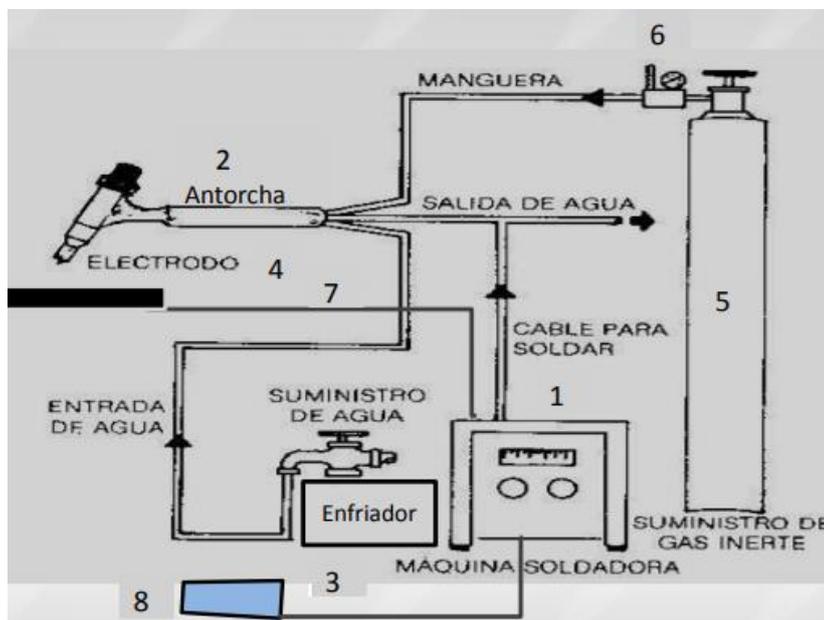
b. Equipos.

Los equipos utilizados en el proceso de la soldadura están compuestos por una antorcha, fuente de poder, suministros de gases protectores de mangueras, cables eléctricos, control de pedal y suministros de agua para el enfriamiento.

Las fuentes de poder utilizados son los tipos de corriente constante:

Figura 6

Equipo de soldadura por proceso GTAW



Nota: Hermógenes (2007)

- *Proceso FCAW.*

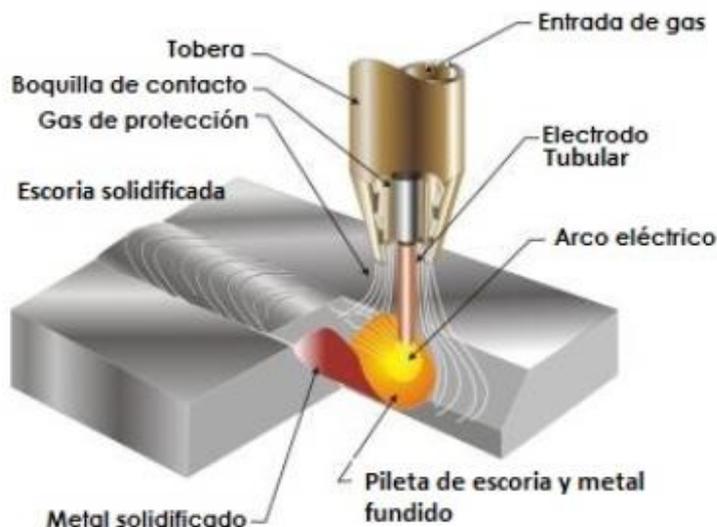
Según Larry (2009), este proceso de soldadura FCAW se la conoce como la soldadura por arco con núcleos fundentes, consiste en la unión o nexo de los

componentes(metales) por calentamiento mediante el arco, un electrodo tubular y la pieza.

Este proceso es utilizado frecuentemente en aceros de carbón inoxidables y aleaciones, no es apto para los elementos no ferrosos; este proceso combina las propiedades aplicadas en las soldaduras por arcos de los metales protegidos (SMAW), la soldadura por arco metal y gas (GMAW) y la soldadura por arco sumergido (SAW).

Figura 7

Muestra del desarrollo del proceso de la soldadura FCAW



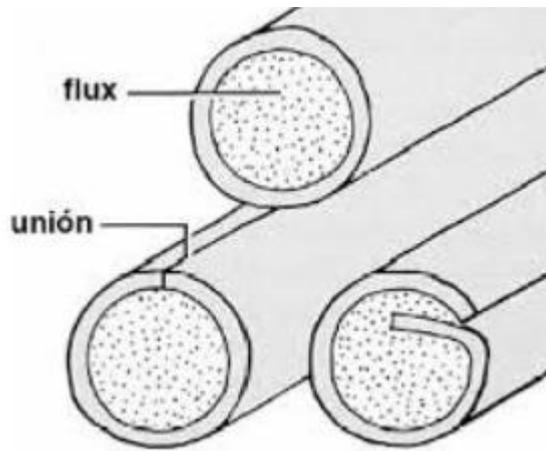
Nota: Larry (2009)

a. Alambres tubulares.

Para Larry (2009), el alambre tubular es un electrodo continuo o un tipo de alambre que está compuesto con un relleno fundente conformado por polvo metálico y agentes desoxidantes. Estos alambres se dan en frío hasta que adopten la forma en U a partir de láminas finas y luego se rellenan con fundentes o polvos metálicos. A continuación, se extrusionan hasta un diámetro que se requiere en los procesos de soldadura.

Figura 8

Sección transversal de alambres FCAW



Nota: Larry (2009)

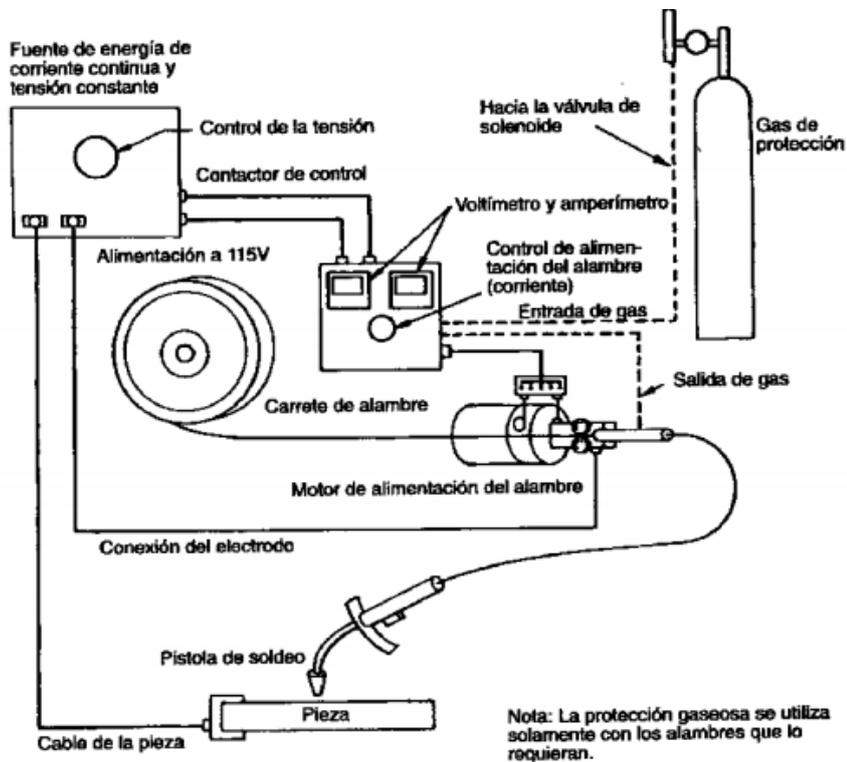
b. Equipos.

Los principales equipos utilizados para la soldadura FCAW son los siguientes:

- Rodillos. Para la realización de este proceso es necesario el uso de los rodillos que no causen la deformación ni el aplastamiento del alambre tubular. Para estos procesos es preferible usar los rodillos con bisel en V o moleteados en lugar de los clásicos lisos.
- Pistola. La pistola utilizada por arco con alambres tubulares en este tipo de soldadura es similar a las que se emplean para la soldadura por arco con protección de gas.

Figura 9

Equipo para el soldeo por arco con alambre tubular



Nota: Hermógenes (2007)

2.2.1.4. Tipos de ensayos de soldadura.

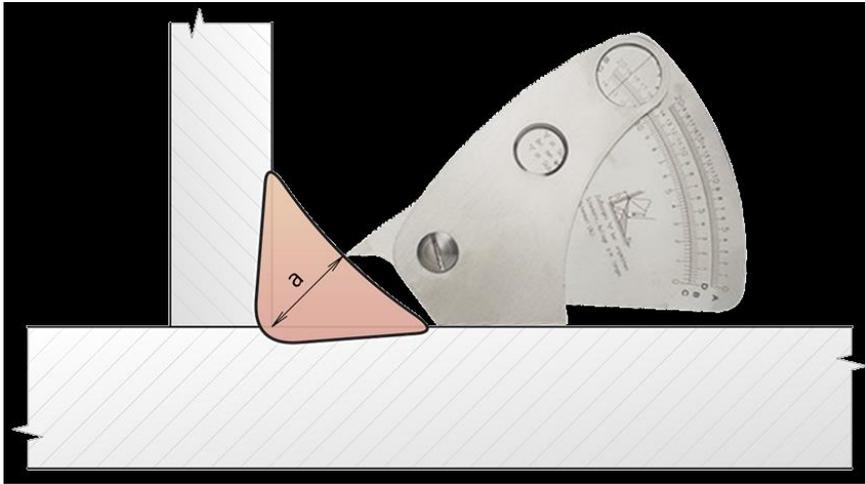
Para Larry (2009), los tipos de ensayos que se realizan son con el objetivo de determinar la dureza, calidad, composición, etc. En la soldadura los ensayos se dividen en dos tipos principalmente:

- Ensayos destructivos
- Ensayos no destructivos
- *Inspección visual.*

La soldadura debe de realizarse de acuerdo a los tamaños especificados en el plano y los procedimientos. Los principales defectos a detectar son: cráteres, poros, socavaciones, rugosidad, escorias, sobre rellenos, grietas y bajos rellenos.

Figura 10

Medidor de filete



Nota: Hermógenes (2007)

- *Doblado.*

Esta prueba consiste en doblar la probeta que tenga la unión soldada para determinar la rigidez, la soldabilidad cuando llega a los 180° de doblabilidad u obtenga la forma en U y la ductilidad. Para este ensayo se usan herramientas de doblado montados en una prensa que tengan la fuerza necesaria para la deformación de la probeta.

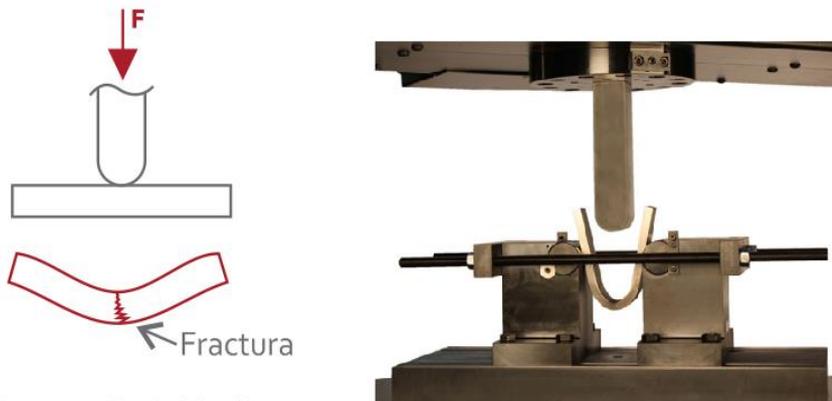
Las prensas tienen indicadores de fuerzas que se ejercen durante los ensayos; las herramientas usadas son adaptadas de acuerdo a los espesores de las probetas que se desean ensayar que viene hacer la abertura de la base de la herramienta y el radio del mandril doblado.

Generalmente las probetas utilizadas son de la forma rectangular maquinada a partir de tubos y placas.

Los ensayos de doblado se suelen aplicar en caliente o frio para alambres, tubos, chapas y cintas con el objetivo de la determinación de la capacidad del metal de soportar el doblado hasta llegar a un ángulo requerido.

Figura 11

Ensayo de doblado



Nota: Larry (2009)

- *Tracción.*

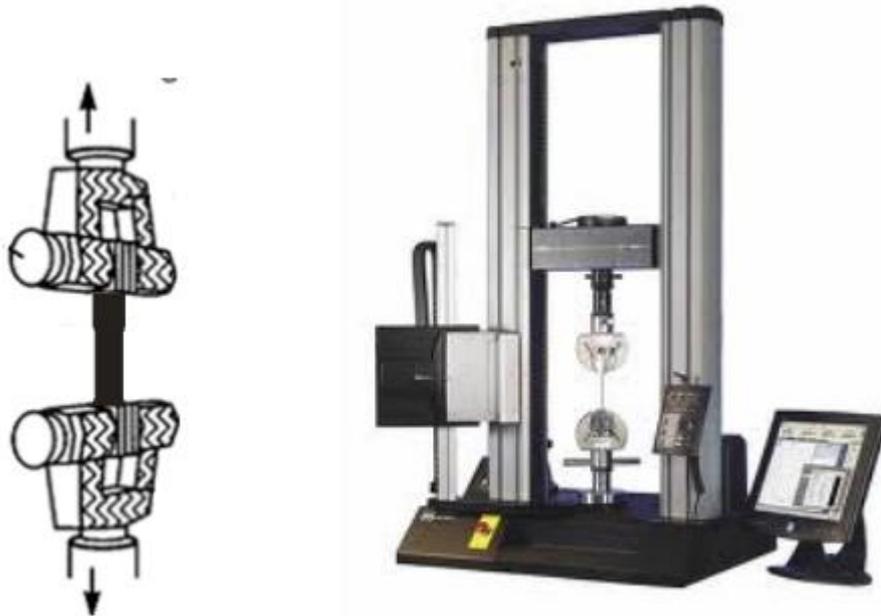
Este tipo de ensayos son los que mediante su aplicación se miden las propiedades mecánicas los cuales son: resistencia a la tracción o límite de fluencia, alargamiento que el material ofrece cuando se somete a las dos fuerzas contrarias u opuestas. En otras palabras, es analizar el comportamiento que presentan los materiales cuando son sometidos a fuerzas y velocidades determinadas.

Los datos o mediciones obtenidos durante la prueba son:

- Límite fluencia
- Resistencia a la tracción
- El alargamiento

Figura 12

Cabezales de sujeción y maquina universal de tracción



Nota: Larry (2009)

2.2.1.5. Especificaciones del proceso de soldadura.

Para Giaghino y Wicks (2000), los procedimientos de soldadura WPS o Welding Procedure Specification son documentos que proveen los pasos para realizar las soldaduras de acuerdo a las bases y requerimientos de los códigos; proporciona la información necesaria para la orientación del operador o soldador para que pueda cumplir y asegurar los requerimientos de acuerdo a los códigos. Este procedimiento describe las variables no esenciales y esenciales y cuando se necesite también las variables suplementarias de cada procedimiento de las soldaduras y debe de estar firmado por el inspector de soldadura.

VARIABLES QUE SE ENCUENTRAN EN LA ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS).

- Uniones
- Metales base.

- Metal de Aporte.
- Posiciones.
- Pre calentamientos.
- Tratamientos térmicos después de soldar.
- Gases (Atmosfera de protección).
- Característica eléctrica.
- Se anota la corriente de soldadura y si es alterna (CA) o directa (CD).
- Técnicas.
- Registros de clasificaciones de procedimientos

2.2.1.6. Registro de Calificación de Procedimiento de Soldadura (PQR).

Para Chan (2009), el PQR es un procedimiento que consiste en probar de una manera objetiva a través de ensayos mecánicos que las soldaduras descritas en el WPS son capaces de proveer las características y propiedades que se requieren en una aplicación, así también comprobar que se cumplen con las propiedades mecánicas (tenacidad, ductilidad, resistencia, etc.).

2.2.1.7. Norma ASME B31.3.

Para la American Society of Mechanical Engineers (2010), la norma ASME es un estándar nacional estadounidense que significa Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos son una asociación de profesionales que han generado un código de construcción, inspección, diseño y pruebas para equipos.

La norma ASME B31.3 decreta los requisitos en el uso de materiales y componentes para el ensamblaje, diseño, fabricación, la inspección, instalación y pruebas en las tuberías; incluye productos derivados del petróleo, del aire, vapor,

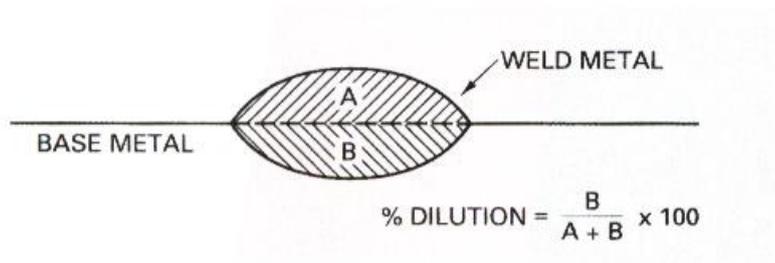
gas, fluidos criogénicos y agua refrigerantes. Esta norma ASME es una de las más utilizadas en todo el mundo sobre todo en las industrias petroquímicas.

2.2.1.8. Dilución.

Para D'Addario (2017), este es un parámetro que permite la cuantificación del porcentaje de fusión, también analizar la superficie que se obtiene durante el proceso que se deposita el material aportante sobre el metal base de acuerdo a las dimensiones y propiedades establecidas. La gran diferencia probablemente entre la soldadura de un a junta y los materiales depositados es concerniente a la dilución. Las propiedades de la superficie de los materiales son fuertemente influenciadas por la dilución.

Figura 13

Dilución entre A y B



Nota: D'Addario (2017)

2.2.1.9. Formas de soldadura en tuberías.

En el caso de tuberías de acero, las uniones soldadas pueden clasificarse básicamente en función de la posición relativa de las piezas a unir. Con ese criterio, se distinguen algunos tipos básicos. Pero en cuanto a las soldaduras propiamente dichas, pueden clasificarse atendiendo a dos conceptos: por la forma de la unión, y por la posición de la soldadura.

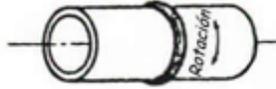
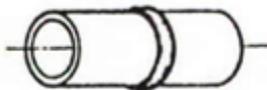
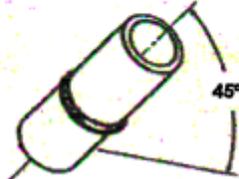
En lo que se refiere a la forma de la unión, se identifican las soldaduras a tope y las soldaduras en ángulo. Las primeras, las soldaduras a tope son las más usadas en los procedimientos de soldadura debido a su bajo índice de tensión y deformación que presentan, por cuanto son rápidas de hacer y porque no es necesario gastar mucho para aplicarlas.

Por otro lado, las soldaduras en ángulo se utilizan en procedimientos de soldadura de distintas planchas que tienen bordes elaborados previamente. Éstas generalmente se utilizan en soldadura de depósitos. Las uniones en ángulo en ocasiones también se sueldan por la parte interior

Y en lo que se refiere a la posición de la soldadura durante la operación de soldeo (posiciones de soldeo), desde el punto de vista del diseñador ocupa la primera clasificación y es la que más interés tiene, dado que el estado tensional que se genera en la unión soldada viene fuertemente condicionado por la geometría y forma de la soldadura (Hernández, 2016). En la Figura 14 se indican las descripciones y denominaciones de las diferentes posiciones de las uniones soldadas, tales como aparecen en las reglamentaciones más utilizadas.

Figura 14

Posiciones de uniones soldadas en soldaduras de tubería a tope

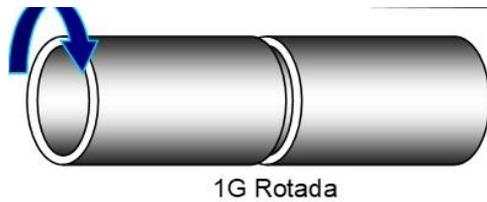
POSICIONES DE LAS UNIONES SOLDADAS SOLDADURAS DE TUBERÍAS A TOPE		
DENOMINACIÓN AWS	DESCRIPCIÓN	CROQUIS
1G	TUBERIA HORIZONTAL TUBERIA MOVIMIENTO ROTACION SOLDADURA PLANA	
2G	TUBERIA VERTICAL SIN MOVIMIENTO SOLDADURA EN CORNISA	
5G	TUBERIA HORIZONTAL SIN MOVIMIENTO SOLDADURA PLANA, VERTICAL Y EN TECHO	
6G	TUBERIA INCLINADA SIN MOVIMIENTO SOLDADURA VERTICAL	

Nota: Hernández (2016)

Posición plana, 1G. La posición de soldadura 1G es la posición de soldadura de tubería más fácil, ya que la tubería está en posición horizontal. En una posición de soldadura de tubería 1G, la tubería se puede girar contra su eje horizontal (eje X). El soldador realiza la soldadura de tuberías desde la parte superior sin cambiar su posición, mientras la tubería gira lentamente, en forma manual o con ayuda de un equipo (Hernández, 2016)

Figura 15

Posiciones de uniones soldadas en soldaduras de tubería a tope 1G



Nota: Hernández (2016)

Posición Horizontal, 2G. En la posición de soldadura de tubería 2G, la tubería se ubica en posición vertical (eje de la tubería en la dirección Y) y el eje de soldadura en la dirección horizontal. El soldador realizara la soldadura desde el lateral permaneciendo inmóvil o moviéndose alrededor de la tubería (Hernández, 2016).

Figura 16

Posiciones de uniones soldadas en soldaduras de tubería a tope 2G



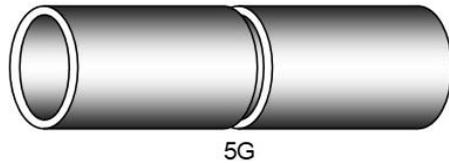
Nota: Hernández (2016)

Posición Múltiple, 5G. La posición de soldadura de tuberías 5G es una posición de soldadura en la que el eje de la tubería se fija en una posición horizontal y el soldador suelda verticalmente hacia abajo o hacia arriba. En esta posición de soldadura, la tubería se mantiene fija y no se puede girar, a diferencia de la

soldadura 1G. La posición de soldadura 5G es difícil ya que la tubería no se puede girar (Hernández, 2016)

Figura 17

Posiciones de uniones soldadas en soldaduras de tubería a tope 5G

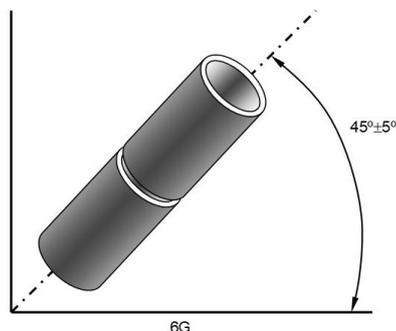


Nota: Hernández (2016)

Posición Múltiple, 6G Tubo con su eje inclinado a 45° con relación a la horizontal. En la posición de soldadura de tuberías 6G, la soldadura se realiza en una tubería inclinada. La pendiente de la tubería es normalmente de 45 grados desde un eje horizontal o vertical. Las posiciones de soldadura 6G, al ser las posiciones de soldadura de tuberías más difíciles, requieren soldadores certificados y con mucha experiencia. La tubería permanece fija y el soldador necesita moverse alrededor de la tubería para soldar. Esta es la posición de soldadura de tuberías más complejas para los soldados (Hernández, 2016)

Figura 18

Posiciones de uniones soldadas en soldaduras de tubería a tope 6G



Nota: Hernández (2016)

2.2.2. El acero.

2.2.2.1. *Qué es el acero.*

Según Malishev, Nikolaiev y Shuvalov (1985), los aceros son aleaciones de hierro con una cierta cantidad de carbono que suele estar en el rango de 0.03 % y 1.075 % en peso de su composición que depende del grado; y suele contener otros componentes en pequeñas cantidades como son manganeso, silicio, cromo, entre otros. Presenta mayor dureza, resistencia y elasticidad que el hierro puro.

Las características que se identifican en los aceros son:

- Ductilidad
- Dureza
- Resistencia
- Maleabilidad
- Tenacidad

Tabla 2

Principales propiedades mecánicas de los aceros

Material	Módulo de elasticidad	Límite elástico YP (MPa)	Límite a la tensión TS (MPa)	Elongación en 50 mm (%)
Aceros	190-200	250-690	400-860	12-50

Nota: Bowles (2010)

- *Clasificación del acero.*

Para Bowles (2010), los aceros se clasifican teniendo en consideración los elementos que conforman la aleación y le producen cambios o efectos diferentes.

- Aceros de carbono: de todos los aceros más del 90 % son de carbono.

- Aceros aleados: Estos aceros contiene proporciones determinadas de molibdeno, vanadio, entre otros elementos.
- Aceros de baja aleación ultrarresistentes: Esta familia de aceros es la más reciente creada y la más barata.
- Aceros inoxidables: Estos aceros están conformados por níquel, cromo y otros elementos de aleación para mantenerlos brillantes, resistentes, duros e inoxidables.

2.2.2.2. Tuberías de acero.

Para Frankland (2008), las tuberías de acero son fabricados a partir de tres procedimientos, en primera instancia se tiene el acero sin costura o estirado es decir sin soldadura. Los tubos son calentados en hornos antes de ser extruidas; luego durante el proceso extrusivo la pieza se introduce en el interior del dado cilíndrico para después hacer el hoyo o agujero de las tuberías de acero con penetradores. Este tipo de fabricación es la más comercial y la que más suele realizarse y aplicarse para la fabricación de tubos de acero.

En segundo lugar, tenemos los tubos de acero realizado con una costura longitudinal. Por último, se tiene un proceso bastante extendido en la fabricación de las tuberías de acero en la soldadura espiral y helicoidal.

Entre sus usos y aplicaciones, se tienen los siguientes:

- Construcción e ingeniería
- Industria y maquinaria
- Industria del automóvil
- Electrodomésticos
- Mobiliario

- Industria aeronaval, aeroespacial y militar
- Instrumental médico

2.3. Marco conceptual

- Soldadura

Técnica que permite unir dos elementos de forma constante mediante procedimientos de presión o calor, o una fusión de ambos, con el propósito de transformarlos en un nuevo componente o nueva pieza.

- Proceso de soldadura

Se define como cada uno de los diferentes medios, métodos y herramientas que se utilizan para generar calor suficiente para producir la unión requerida entre dos elementos, por lo general, metales.

- Proceso de soldadura SMAW

Se define como aquel tipo de soldadura que se ejecuta por medio del procedimiento de soldadura por arco con electrodos revestidos, que genera calor con un arco eléctrico en medio de la pieza que se trabaja.

- Proceso de soldadura GTAW

Se define como aquel tipo de soldadura que se ejecuta por medio de un arco eléctrico que se produce entre la pieza que se requiere soldar y un electrodo de tungsteno, que se encuentra protegido por un gas inerte que no permite que el baño de fusión y el aire se pongan en contacto con el electrodo.

- Calidad de uniones soldadas

Se define como la efectividad alcanzada en la soldadura practicada en una unión, la que se evalúa en función de tres indicadores: la resistencia a la tracción, el límite de fluencia y el aspecto de la soldadura.

- *Resistencia a la tracción*

Se define como la carga máxima que puede resistir una probeta dividida entre el corte de sección que presenta en un inicio la probeta.

- *Límite de fluencia*

Se define como el valor que alcanza la tensión que se ejerce sobre la probeta en el momento en el cual se produce la fluencia, es decir, el fenómeno que ocurre en la zona de paso entre las deformaciones de carácter elástico y las de carácter plástico.

- *Aspecto de la soldadura*

Aspecto general que presenta la soldadura en una unión, que se evalúa en función de la opinión que ofrece un experto calificado, y que da lugar a cuatro categorías visuales: mala, aceptable, buena, muy buena.

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

Según el criterio de finalidad de la investigación, ésta se tipifica como investigación aplicada (Ander-Egg, 2011). Eso significa hacer uso de conocimientos ya establecidos en torno a un campo de estudio (en este caso, la calidad de las uniones de soldadura y los tipos de procesos de soldadura) para ver sus posibilidades de uso en la solución de un problema de la realidad fáctica. En este caso, se trata de responder a la inquietud sobre cuál de los procedimientos de soldadura utilizados tienen un mejor resultado en cuanto a calidad de las misma.

Por otro lado, considerando el criterio de alcance de la investigación (Hernández, Fernández y Baptista, 2014), este estudio se tipifica como investigación explicativa, tipo de investigación que se caracteriza por establecer relaciones de causalidad entre las variables, entre las cuales se pueden identificar efectos, alteraciones, cambios en una variable dependiente por causa de una variable independiente.

3.2. Diseño de investigación

Esta investigación recurre a los diseños experimentales, lo que implica la manipulación intencional de los valores que asume la variable para verificar su impacto en la variable dependiente. En este caso, los valores que se le asigna a la variable independiente, tipo de proceso de soldadura, corresponden a cada uno de los dos tipos de proceso a utilizar (SMAW y GTAW). En el marco de los diseños experimentales, se aplicará un diseño causal comparativo sobre la base de dos grupos de comparación (se identifica como grupo las muestras de cada uno de los procesos de soldadura a aplicar).

3.3. Población y muestra

Se considera como población el conjunto total de ensayos de soldadura efectuados con los dos procedimientos a comparar. Se considera un máximo total de 20 ensayos, 10 por cada uno de los procesos; de donde $N=20$. Y para efectos del estudio, se trabajó con una muestra igual a la población; es decir, $n=20$.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas.

Se utilizó la técnica de la observación, en dos formas complementarias: la primera, como observación directa del aspecto general de la soldadura en base a criterios de calidad preestablecidos; y la segunda, como observación instrumental en base al uso de una máquina de ensayos de tracción.

3.4.2. Instrumentos.

Se utilizó una ficha de registro de datos de las mediciones a efectuar, cuyo diseño es el siguiente:

Figura 19

Ficha de registro de datos

N°	FECHA	Tipo Proceso: SMAW			OBSERVACIONES	Tipo Proceso: GTAW			OBSERVACIONES
		Límite Fluencia	Resistencia Tracción	Apariencia		Límite Fluencia	Resistencia Tracción	Apariencia	
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

3.4.3. Evaluación de la calidad de la soldadura.

En el presente estudio, la calidad de la soldadura se evalúa en función de tres indicadores: resistencia a la tracción, límite fluencia y aspecto de la soldadura. La resistencia a la tracción y el límite fluencia se evalúan considerando como base el valor teórico que corresponde a estas variables para el material utilizado (tubería de acero A-53); en ese sentido, se siguen tres criterios de base: si la media obtenida empíricamente es menor, igual o mayor que el valor teórico referencial.

Por otro lado, para evaluar el aspecto de la soldadura, se utilizó una escala de cuatro categorías: malo, aceptable, bueno, y muy bueno, tomando como criterio de base esta última en tanto corresponde a trabajos automatizados de industria. La mayor o menor aproximación de un trabajo no automatizado al aspecto que ofrece la soldadura en procesos automatizados, define el resto de categorías.

Para la evaluación de la calidad de la soldadura se ha seguido los siguientes criterios:

Tabla 3

Criterios de evaluación de la calidad de la soldadura

Nivel	Indicador	Criterio
Baja	RT o LF	Significativamente menor que valor teórico referencial
	Aspecto	Cualquier aspecto de soldadura
Aceptable inferior	RT y LF	No diferente estadísticamente del valor teórico referencial
	Aspecto	Malo o aceptable
Aceptable superior	RT y LF	No diferente estadísticamente del valor teórico referencial
	Aspecto	Bueno/ muy bueno
Alta	RT y LF	Significativamente mayor que el valor referencial (de fábrica)
	Aspecto	Aceptable, bueno, muy bueno

3.5. Equipo utilizado en las pruebas

Para los ensayos, se utilizó una máquina de ensayos de tracción Metrotec MTE-300, que pertenece al Instituto de Educación Superior Tecnológico Público “José Carlos Mariátegui”, de la ciudad de Moquegua (Perú) (Figura 19).

Figura 20

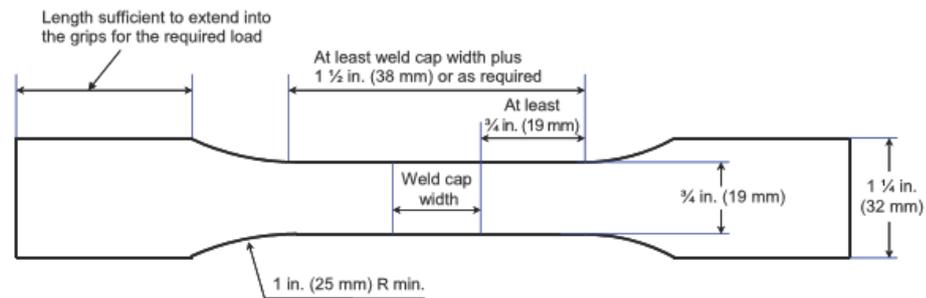
Máquina de Ensayos de tracción Metrotec MTE-300



Por otro lado, siguiendo la norma aplicable, se realizó ensayo de tracción API 1104, que se representa como sigue:

Figura 21

Esquema del ensayo de tracción API 1104



NOTE Dimensions are approximate.

b) Reduced Section Tensile Strength Test Specimen

La imagen de los resultados de las pruebas se muestra en la Figura 22:

Figura 22

Imagen obtenida del ensayo de tracción API 1104



3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento de la información se utilizaron herramientas informáticas; se trabajó principalmente en base a los programas Excel y SPSS. Excel, conocida como la hoja de cálculo de la suite Microsoft Office, se utilizó en diferentes actividades, desde la organización de los datos recogidos de la variable de estudio

para su análisis, hasta la realización de algunas pruebas estadísticas utilizadas en el procedimiento de contrastación de hipótesis. Y SPSS se utilizó para efectos de algunas pruebas estadísticas que debieron realizarse. Los procedimientos específicos en los que se utilizó Excel son los siguientes:

- Construcción de una matriz de sistematización de datos generales y de las matrices de recolección de datos para cada uno de los dos tipos de procesos de soldadura. En función de los datos recogidos en esas matrices, se efectuaron procedimientos estadísticos más específicos.
- Elaboración de tablas y gráficos para la presentación resumida y organizada de los datos.
- Obtención de estadísticas descriptivas de los dos tipos de procesos de soldadura.
- Prueba t para el caso en el cual se presume que dos muestras podrían presentar varianzas distintas.

Por otro lado, SPSS se utilizó en el siguiente procedimiento:

- Prueba t para una muestra.

En cuanto a análisis de datos, se realizaron los siguientes cálculos y procedimientos:

- Estadísticas descriptivas. Aunque se obtuvieron varias medidas (media aritmética, mediana, desviación estándar, varianza, curtosis, asimetría, entre otras), fueron relevantes para este estudio la media o promedio, la desviación estándar, la mediana y el intervalo de confianza. Las otras medidas se presentan en el supuesto de que haya un interés posterior en analizar esos datos.

- Prueba t para una muestra. Este procedimiento se utilizó para determinar si una muestra obtenida de datos correspondientes a cada uno de los procesos de soldadura aplicados, difiere en cuanto a su promedio respecto de un valor hipotético, valor teórico o valor crítico, según sea el propósito de su aplicación, extraído generalmente de la información teórica que se tiene respecto del desempeño de la variable evaluada (Mendenhall, Beaver y Beaver, 2010). En ese sentido, se pueden tener tres casos de resolución: primero, la media empírica, es decir, la obtenida en la muestra, es significativamente menor que el valor hipotético; en ese caso se asume que el procedimiento evaluado no alcanzó el valor esperado. Segundo, la media empírica alcanza un valor similar o próximo al valor hipotético y no es estadísticamente diferente de él; en ese caso, se asume que el procedimiento evaluado cumple las expectativas que se tenían de su comportamiento. Y tercero, la media empírica sobrepasa el valor hipotético y es estadísticamente diferente de él; en ese caso, se asume que el procedimiento evaluado no sólo cumple las expectativas que se tenían de su comportamiento empírico, sino que supera con creces esas expectativas.
- Prueba t para dos muestras. Este procedimiento se utilizó para determinar si las muestras obtenidas de los datos correspondientes a los procesos de soldadura aplicados, difieren en cuanto a sus promedios. Esta prueba determina si los promedios difieren entre sí (Mendenhall, Beaver y Beaver, 2010) lo cual indicaría, en este estudio, que uno de los dos procesos de soldadura obtiene un mejor rendimiento en la variable a evaluar, en relación al otro; o si por el contrario, no hay razones para sostener diferencia entre

ellos, lo cual indicaría que ninguno de los procesos de soldadura aplicados es superior al otro.

CAPÍTULO IV
PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados

4.1.1. Calidad de uniones soldadas en tubería de acero A-53 con proceso de soldadura SMAW.

Tabla 4

Resultados de ensayos a tracción para proceso de soldadura SMAW

N° Muestra	Proceso de calificación	Material Base	Resistencia a tracción (Mpa)	Límite de fluencia (MPa)	de Aspecto
1	SMAW	ASTM A 53	483	335	Acceptable
2	SMAW	ASTM A 53	496	369	Acceptable
3	SMAW	ASTM A53	492	380	Acceptable
4	SMAW	ASTM A53	486	372	Acceptable
5	SMAW	ASTM A53	490	377	Acceptable
6	SMAW	ASTM A53	488	373	Acceptable
7	SMAW	ASTM A53	494	312	Acceptable
8	SMAW	ASTM A53	498	303	Acceptable
9	SMAW	ASTM A53	485	384	Acceptable
10	SMAW	ASTM A53	494	387	Acceptable

En la tabla se presenta el detalle de los 10 ensayos efectuados para evaluar los tres indicadores de calidad de la soldadura considerando el proceso de soldadura SMAW. En cuanto a resistencia a la tracción, los valores obtenidos varían entre un mínimo de 483 Mpa y 498 Mpa, que corresponden al primero y octavo ensayo. En cuanto a límite de fluencia, los valores obtenidos varían entre un mínimo de 303 Mpa y 387 Mpa, que corresponden al primero y segundo ensayo. Y en cuanto a aspecto de soldadura, en los 10 ensayos se encontró un nivel aceptable.

Tabla 5

Resistencia a la tracción para proceso de soldadura SMAW: estadísticos descriptivos

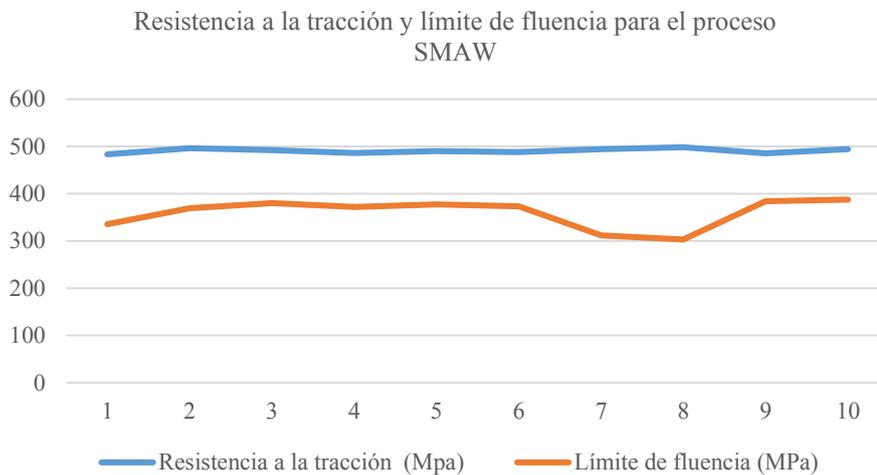
Estadístico	Valor	Estadístico	Valor
Media	490,60	Coefficiente de asimetría	-0,09
Error típico	1,59	Rango	15
Mediana	491	Mínimo	483
Desviación estándar	5,02	Máximo	498
Varianza de la muestra	25,16	Cuenta	10
Curtosis	-1,26	Nivel de confianza (95,0%)	3,59

En la tabla se presentan los estadísticos descriptivos de la resistencia a la tracción para el proceso de soldadura SMAW. Considerando los 10 ensayos efectuados, el promedio se ubica en 490,60 Mpa, con una desviación estándar de 5,02 Mpa, y un intervalo de confianza para la media que se ubica entre los valores 498,26 y 512,15 Mpa. Por otro lado, la mediana se ubica en 491 Mpa.

Tabla 6*Límite de fluencia para proceso de soldadura SMAW: estadísticos descriptivos*

Estadístico	Valor	Estadístico	Valor
Media	359,20	Coefficiente de asimetría	-1,14
Error típico	9,75	Rango	84
Mediana	372,5	Mínimo	303
Desviación estándar	30,84	Máximo	387
Varianza de la muestra	951,07	Cuenta	10
Curtosis	-0,33	Nivel de confianza (95,0%)	22,06

En la tabla se presentan los estadísticos descriptivos del límite de fluencia para el proceso de soldadura SMAW. Considerando los 10 ensayos efectuados, el promedio se ubica en 359,20 Mpa, con una desviación estándar de 30,84 Mpa, y un intervalo de confianza para la media que se ubica entre 392,42 y 416,74 Mpa. Por otro lado, la mediana se ubica en 372,5 Mpa.

Figura 23*Resistencia a la tracción y límite de fluencia para proceso de soldadura SMAW*

En la figura se presenta el comportamiento de la resistencia a la tracción y el límite de fluencia para el proceso de soldadura SMAW a lo largo de los 10 ensayos. En cuanto a resistencia a la tracción, se observa un comportamiento poco disperso, en correspondencia con la baja desviación estándar señalada anteriormente. Y en lo que concierne a límite de fluencia, se identifica una mayor variación, con valores que se mantienen por debajo de los 400 Mpa y otros que caen incluso hasta muy cerca de los 300 Mpa.

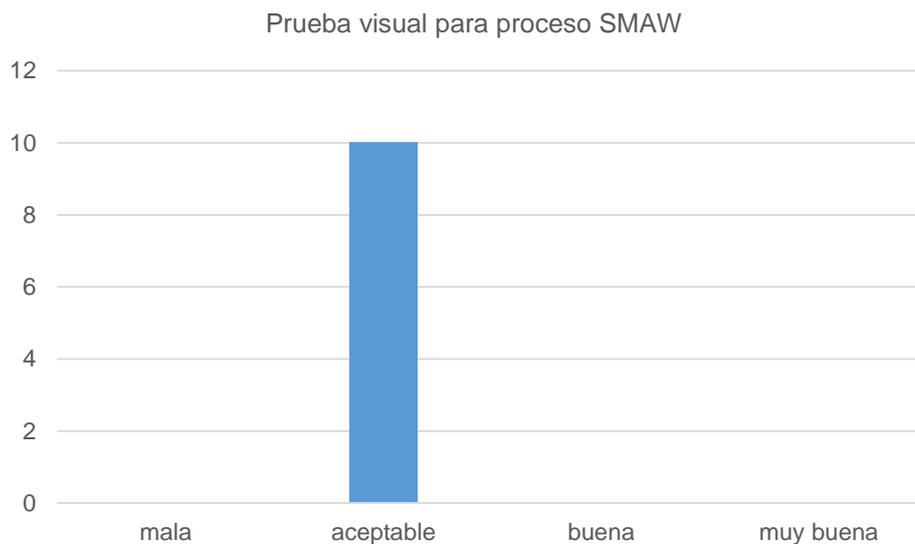
Tabla 7

Nivel del aspecto de soldadura para proceso de soldadura SMAW

Nivel	Frecuencia	Porcentaje
Mala	0	0
Aceptable	10	100
Buena	0	0
Muy buena	0	0
Total	10	100

Figura 24

Nivel del aspecto de soldadura para proceso de soldadura SMAW



En la tabla se presenta el aspecto de la soldadura para el proceso SMAW. En todos los ensayos (100%), la calificación del aspecto sólo alcanzó el nivel aceptable. No se reportaron casos en los niveles malo, bueno o muy bueno. La figura da cuenta también de esta concentración total en el nivel aceptable.

4.1.2. Calidad de uniones soldadas en tubería de acero A-53 con proceso de soldadura GTAW.

Tabla 8

Resultados de ensayos a tracción para proceso de soldadura GTAW

Nº Muestra	Proceso de calificación	Material Base	Resistencia a tracción (Mpa)	Límite de fluencia (MPa)	de Aspecto
1	GTAW	ASTM A 53	498,62	385	Bueno
2	GTAW	ASTM A 53	504,46	416	Bueno
3	GTAW	ASTM A53	524,33	426,72	Bueno
4	GTAW	ASTM A53	520,52	413,02	Bueno
5	GTAW	ASTM A53	502,56	419,04	Bueno
6	GTAW	ASTM A53	505,04	420	Bueno
7	GTAW	ASTM A53	495,4	382	Bueno
8	GTAW	ASTM A53	499,7	386	Bueno
9	GTAW	ASTM A53	496,82	390	Bueno
10	GTAW	ASTM A53	504,64	408	Bueno

En la tabla se presenta el detalle de los 10 ensayos efectuados para evaluar los tres indicadores de calidad de la soldadura considerando el proceso de soldadura GTAW. En cuanto a resistencia a la tracción, los valores obtenidos varían entre un mínimo de 495,4 Mpa y 524 Mpa, que corresponden al tercero y sétimo ensayo. En cuanto a límite de fluencia, los valores obtenidos varían entre un mínimo de 382 Mpa y 426,72 Mpa, que corresponden también al tercero y sétimo ensayo. Y en cuanto a aspecto de soldadura, en los 10 ensayos se encontró un nivel bueno.

Tabla 9*Resistencia a la tracción para proceso de soldadura GTAW: estadísticos descriptivos*

Estadístico	Valor	Estadístico	Valor
Media	505,21	Coficiente de asimetría	1,30
Error típico	3,07	Rango	28,93
Mediana	503,51	Mínimo	495,4
Desviación estándar	9,71	Máximo	524,33
Varianza de la muestra	94,26	Cuenta	10
Curstosis	0,71	Nivel de confianza (95,0%)	6,95

En la tabla se presentan los estadísticos descriptivos de la resistencia a la tracción para el proceso de soldadura GTAW. Considerando los 10 ensayos efectuados, el promedio se ubica en 505,21 Mpa, con una desviación estándar de 9,71 Mpa, y un intervalo de confianza para la media que se ubica entre 487,01 y 494,19 Mpa. Por otro lado, la mediana se ubica en 503,51 Mpa.

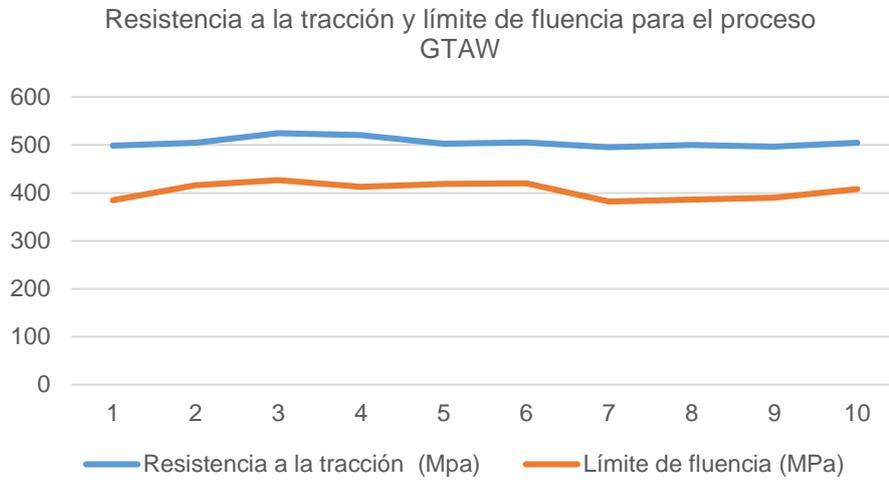
Tabla 10*Límite de fluencia para proceso de soldadura GTAW: estadísticos descriptivos*

Estadístico	Valor	Estadístico	Valor
Media	404,58	Coficiente de asimetría	-0,25
Error típico	5,38	Rango	44,72
Mediana	410,51	Mínimo	382
Desviación estándar	17,00	Máximo	426,72
Varianza de la muestra	289,05	Cuenta	10
Curstosis	-1,90	Nivel de confianza (95,0%)	12,16

En la tabla se presentan los estadísticos descriptivos del límite de fluencia para el proceso de soldadura GTAW. Considerando los 10 ensayos efectuados, el promedio se ubica en 404,58 Mpa, con una desviación estándar de 17 Mpa, y un intervalo de confianza para la media que se ubica entre 337,14 y 381,26 Mpa. Por otro lado, la mediana se ubica en 410,51 Mpa.

Figura 25

Resistencia a la tracción y límite de fluencia para proceso de soldadura GTAW



En la figura se presenta el comportamiento de la resistencia a la tracción y el límite de fluencia para el proceso de soldadura GTAW a lo largo de los 10 ensayos. En cuanto a resistencia a la tracción, se observa un comportamiento relativamente poco disperso, en correspondencia con una desviación estándar más bien moderada detectada entre los estadísticos descriptivos. Y en lo que concierne a límite de fluencia, se identifica una mayor variación, con valores que sobrepasan los 400 Mpa y otros que están por debajo de los 400 Mpa.

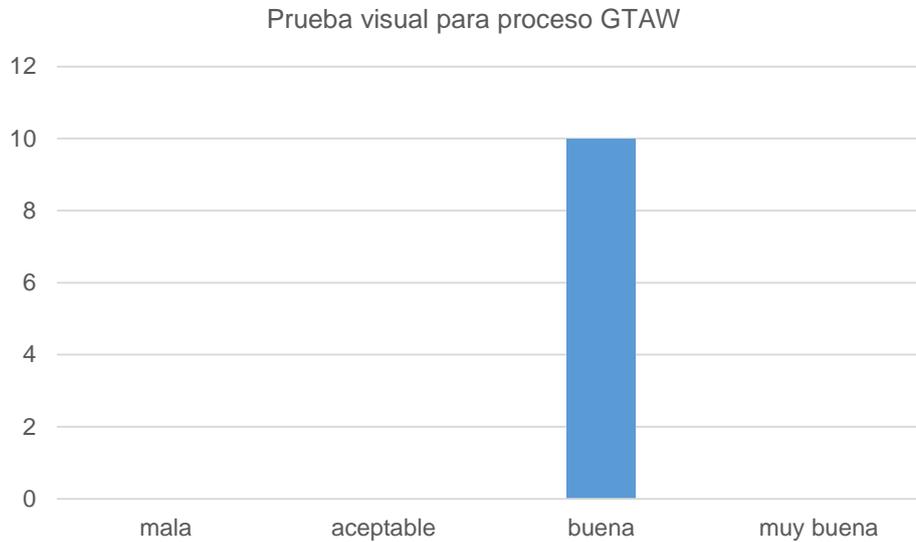
Tabla 11

Nivel del aspecto de soldadura para proceso de soldadura GTAW

Nivel	Frecuencia	Porcentaje
Mala	0	0
Aceptable	0	0
Bueno	10	100
muy bueno	0	0
Total	10	100

Figura 26

Nivel del aspecto de soldadura para proceso de soldadura GTAW



En la tabla se presenta el aspecto de la soldadura para el proceso GTAW. En todos los ensayos (100%), la calificación del aspecto alcanzó el nivel bueno. No se reportaron casos en los niveles malo, aceptable o muy bueno. La figura también da cuenta de esta concentración total en el nivel bueno.

4.1.3. Comparación de uniones soldadas en tubería de acero A-53 con procesos de soldadura SMAW y GTAW.

Tabla 12

Resistencia a la tracción, límite de fluencia y prueba visual para procesos de soldadura SMAW y GTAW

N° Muestra	SMAW			GTAW		
	Resistencia a tracción (MPa)	Límite de fluencia (MPa)	de Prueba visual	Resistencia a tracción (MPa)	Límite de fluencia (MPa)	de Aspecto
1	483	335	Aceptable	498,62	385	Buena
2	496	369	Aceptable	504,46	416	Buena
3	492	380	Aceptable	524,33	426,72	Buena
4	486	372	Aceptable	520,52	413,02	Buena

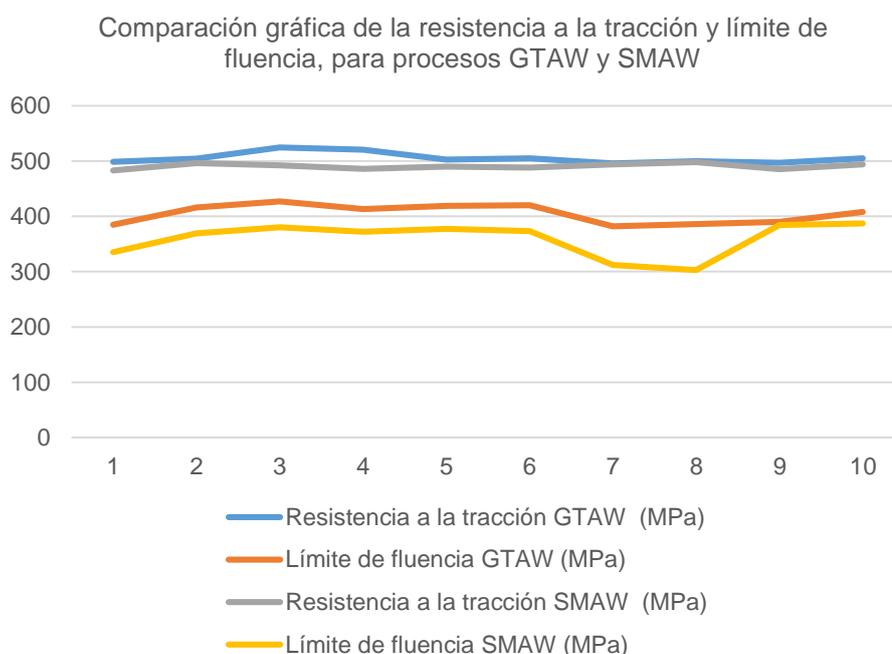
5	490	377	Aceptable	502,56	419,04	Buena
6	488	373	Aceptable	505,04	420	Buena
7	494	312	Aceptable	495,4	382	Buena
8	498	303	Aceptable	499,7	386	Buena
9	485	384	Aceptable	496,82	390	Buena
10	494	387	Aceptable	504,64	408	Buena

Nota: Material base: ASTM A 53

En la tabla, se presenta la comparación a detalle de los 10 ensayos efectuados para evaluar los tres indicadores de calidad de la soldadura considerando los dos procesos de soldadura, SMAW y GTAW. Nótese que, en términos generales, en cuanto a resistencia a la tracción y en límite de fluencia los valores obtenidos con el proceso GTAW son superiores a los obtenidos con el proceso SMAW. Por otro lado, también en aspecto de la soldadura el proceso GTAW supera al proceso SMAW, puesto que en todos los ensayos se encontró un nivel bueno, categoría por encima del nivel aceptable.

Figura 27

Resistencia a la tracción y límite de fluencia para procesos de soldadura SMAW y GTAW



En la figura se presenta el comportamiento de la resistencia a la tracción y el límite de fluencia para los dos procesos de soldadura SMAW y GTAW a lo largo de los 10 ensayos. Nótese que, mientras las líneas que corresponden a la resistencia a la tracción son relativamente próximas entre sí, las de límite de fluencia se muestran más distantes entre sí, excepto en los ensayos 9 y 10 donde los valores tienen a aproximarse.

Tabla 13

Comparación de estadísticos descriptivos para tracción y límite de fluencia en procesos de soldadura SMAW y GTAW

	Resistencia a Tracción			Límite de fluencia		
	GTAW	SMAW	Diferencia	GTAW	SMAW	Diferencia
Media	505,21	490,60	14,61	404,58	359,20	45,38
Error típico	3,07	1,59	1,48	5,38	9,75	-4,38
Mediana	503,51	491	12,51	410,51	372,5	38,01
Desv. estándar	9,71	5,02	4,69	17,00	30,84	-13,84
Rango	28,93	15	13,93	44,72	84	-39,28
Mínimo	495,4	483	12,40	382	303	79,00
Máximo	524,33	498	26,33	426,72	387	39,72

Nota: No se presentan estadísticos descriptivos de forma de la distribución, ni intervalo de confianza.

En la tabla, se presenta la comparación de los estadísticos descriptivos de dos de los indicadores de calidad de la soldadura (resistencia a la tracción y límite de fluencia) considerando los dos procesos de soldadura, SMAW y GTAW. Se presentan, asimismo, las diferencias que se identifican entre las medias obtenidas con ambos procesos, y entre las desviaciones estándar. Nótese que, mientras en resistencia a la tracción, se verifica una diferencia entre las medias de 14,61 Mpa, en límite de fluencia la diferencia entre ambos valores promedio asciende a 45,38 Mpa.

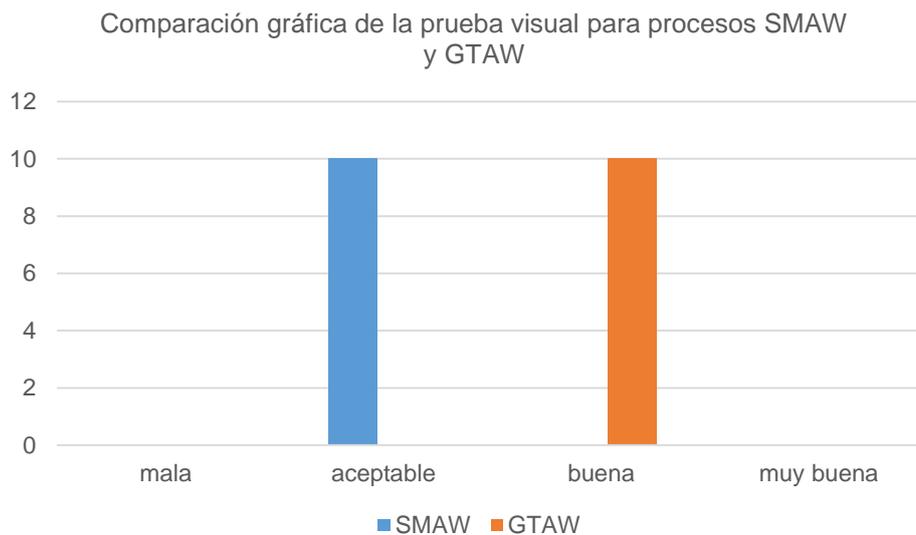
Tabla 14

Comparación del nivel del aspecto de soldadura para procesos de soldadura SMAE y GTAW

Nivel	SMAW		GTAW	
	frecuencia	porcentaje	frecuencia	porcentaje
Malo	0	0	0	0
Aceptable	10	100	0	0
Bueno	0	0	10	100
Muy bueno	0	0	0	0
Total	10	100	10	100

Figura 28

Aspecto de soldadura para procesos de soldadura SMAW y GTAW



En la tabla, se presenta la comparación de las frecuencias en las categorías del aspecto de la soldadura, considerando los dos procesos de soldadura, SMAW y GTAW. Nótese la concentración absoluta de los casos en el nivel aceptable en el caso del proceso SMAW y en el nivel bueno, en el caso del proceso GTAW. La figura también da cuenta de estas concentraciones en el nivel aceptable en el proceso SMAW, y en el nivel bueno en el caso del proceso GTAW.

4.2. Contrastación de hipótesis

- Primera hipótesis específica

Esta hipótesis se expresa en el siguiente enunciado:

La calidad de uniones soldadas en tubería de acero A-53, Moquegua, Perú, 2022, con el proceso de soldadura SMAW, es alta.

De acuerdo con la escala de evaluación propuesta, esta hipótesis implica las siguientes subhipótesis:

H_{1.1} : La media de resistencia a la tracción es significativamente mayor que el valor crítico referencial.

H_{1.2} : La media de límite de fluencia es significativamente mayor que el valor crítico referencial.

H_{1.3} : En aspecto, la mayor frecuencia se distribuye en el nivel aceptable, bueno o muy bueno.

Estas expresiones se operacionalizan en los siguientes términos:

H_{1.1} : $\bar{X}_{re} > \bar{X}_{rt}$

H_{1.2} : $\bar{X}_{fe} > \bar{X}_{ft}$

H_{1.3} : $f(\text{aceptable, bueno, muy bueno}) > f(\text{mala})$

Para la prueba de las subhipótesis 1.1 y 1.2 se aplica la prueba t para una muestra. Esta prueba examina si una media empírica difiere o no de un valor teórico especificado. Para el caso de resistencia a la tracción, el valor teórico especificado es 330 Mpa. Para el caso de límite fluencia, el valor teórico especificado es 205 Mpa.

Tabla 15*Resistencia a la tracción: Prueba t para muestra única en proceso SMAW*

Estadísticas de muestra única						
	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar		
Resistencia SMAW	10	490,600	5,015	1,586		
Prueba de muestra única						
Valor de prueba = 330						
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	Inferior Superior
Resistencia SMAW	101,25 8	9	,000	160,600	157,012	164, 188

Tabla 16*Límite de fluencia: Prueba t para muestra única en proceso SMAW*

Estadísticas de muestra única						
	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar		
Resistencia SMAW	10	359,200	30,839	9,752		
Prueba de muestra única						
Valor de prueba = 205						
	t	gl	Sig. (bilatera l)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	Inferior Superior
Resistencia SMAW	15,812	9	,000	154,200	132,139	176,261

De las tablas 15, 16 y 6, se tiene:

- $\bar{X}_{re}(490,60) > \bar{X}_{rt}(330)$ ($t = 101,258; p = 0,000$)
- $\bar{X}_{fe}(359,20) > \bar{X}_{ft}(205)$ ($t = 15,812; p = 0,000$)
- $f(\text{aceptable}) = 10 > f(\text{malo}) = 0$

La media empírica de resistencia a la tracción es significativamente mayor que el valor teórico referencial. Por lo tanto, se acepta la subhipótesis 1.1.

La media empírica de límite de fluencia es significativamente mayor que el valor teórico referencial. Por lo tanto, se acepta la subhipótesis 1.2.

En aspecto, la mayor frecuencia corresponde al nivel aceptable ($f=10$). Por lo tanto, se acepta la subhipótesis 1.3.

En consecuencia, dado que la resistencia a la tracción y el límite de fluencia son significativamente mayores que sus valores teóricos referenciales, y el aspecto se distribuye en el nivel aceptable, la calidad de soldadura con el proceso SMAW es alta. En ese sentido, se valida la primera hipótesis específica, H1: La calidad de uniones soldadas en tubería de acero A-53, Moquegua, Perú, 2022, con el proceso de soldadura SMAW, es alta.

- *Segunda hipótesis específica*

Esta hipótesis se expresa en el siguiente enunciado:

La calidad de uniones soldadas en tubería de acero A-53, Moquegua, Perú, 2022, con el proceso de soldadura GTAW, es alta.

De acuerdo con la escala de evaluación propuesta, esta hipótesis implica las siguientes subhipótesis:

H_{2.1} : La media de resistencia a la tracción es significativamente mayor que el valor crítico referencial.

H_{2.2} : La media de límite de fluencia es significativamente mayor que el valor crítico referencial.

H_{2.3} : En aspecto, la mayor frecuencia se distribuye en el nivel aceptable, bueno o muy bueno.

Estas expresiones se operacionalizan en los siguientes términos:

$$H_{2.1} : \bar{X}_{re} > \bar{X}_{rt}$$

$$H_{2.2} : \bar{X}_{fe} > \bar{X}_{ft}$$

$$H_{2.3} : f(\text{aceptable, bueno, muy bueno}) > f(\text{mala})$$

Para la prueba de las subhipótesis 2.1 y 2.2 se aplica la prueba t para una muestra. Esta prueba examina si una media empírica difiere o no de un valor teórico especificado. Para el caso de resistencia a la tracción, el valor teórico especificado es 330 Mpa. Para el caso de límite fluencia, el valor teórico especificado es 205 Mpa.

Tabla 17

Resistencia a la tracción: Prueba t para muestra única en proceso GTAW

Estadísticas de muestra única						
	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar		
Resistencia SMAW	10	505,209	9,709	3,070		
Prueba de muestra única						
Valor de prueba = 330						
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Resistencia SMAW	57,068	9	,000	175,209	168,264	182,154

Tabla 18*Límite de fluencia: Prueba t para muestra única en proceso GTAW*

Estadísticas de muestra única						
	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar		
Resistencia SMAW	10	404,578	17,001	5,376		
Prueba de muestra única						
Valor de prueba = 205						
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	Inferior Superior
Resistencia SMAW	37,122	9	,000	199,578	187,416	211,740

De las tablas 17, 18 y 10, se tiene:

- $\bar{X}re(505,209) > \bar{X}rt(330)$ ($t = 57,058; p = 0,000$)
- $\bar{X}fe(404,578) > \bar{X}ft(205)$ ($t = 37,122; p = 0,000$)
- $f(\text{bueno}) = 10 > f(\text{malo}) = 0$

La media empírica de resistencia a la tracción es significativamente mayor que el valor teórico referencial. Por lo tanto, se acepta la subhipótesis 2.1.

La media empírica de límite de fluencia es significativamente mayor que el valor teórico referencial. Por lo tanto, se acepta la subhipótesis 2.2.

En aspecto, la mayor frecuencia corresponde al nivel bueno ($f=10$). Por lo tanto, se acepta la subhipótesis 2.3.

En consecuencia, dado que la resistencia a la tracción y el límite de fluencia son significativamente mayores que sus valores teóricos referenciales, y el aspecto se distribuye en el nivel bueno, la calidad de soldadura con el proceso GTAW es alta. En ese sentido, se valida la segunda hipótesis específica, H2: La calidad de

uniones soldadas en tubería de acero A-53, Moquegua, Perú, 2022, con el proceso de soldadura GTAW, es alta.

- *Tercera hipótesis específica*

Esta hipótesis se expresa en el siguiente enunciado:

La calidad de uniones soldadas en tubería de acero A-53, Moquegua, Perú, 2022, es mayor con el proceso de soldadura GTAW que con SMAW.

De acuerdo con la escala de evaluación propuesta, esta hipótesis implica las siguientes subhipótesis:

H_{3.1} : La media de resistencia a la tracción es significativamente mayor con GTAW que con SMAW.

H_{3.2} : La media de límite de fluencia es significativamente mayor con GTAW que con SMAW.

H_{3.3} : En aspecto de soldadura, la mayor frecuencia con GTAW se distribuye en un nivel superior de la escala, que con SMAW.

Estas expresiones se operacionalizan en los siguientes términos:

H_{3.1} : $\bar{X}_{rG} > \bar{X}_{rS}$

H_{3.2} : $\bar{X}_{fG} > \bar{X}_{fS}$

H_{3.3} : Nivel_(G) > Nivel_(S)

Para la prueba de las subhipótesis 3.1 y 3.2 se aplica la prueba t para dos muestras independientes. Esta prueba examina si la media obtenida en una muestra difiere significativamente o no de la media obtenida en otra muestra.

Tabla 19*Resistencia a la tracción: Prueba t para medias de las muestras con procesos GTAW y SMAW*

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	505,21	490,60
Varianza	94,26	25,16
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	13	
Estadístico t	4,23	
P(T<=t) una cola	0,00049375	
Valor crítico de t (una cola)	1,77	
P(T<=t) dos colas	0,0009875	
Valor crítico de t (dos colas)	2,16	

Tabla 20*Límite de fluencia: Prueba t para medias de las muestras con procesos GTAW y SMAW*

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	404,58	359,2
Varianza	289,05	951,07
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	14	
Estadístico t	4,07	
P(T<=t) una cola	0,00056829	
Valor crítico de t (una cola)	1,76	
P(T<=t) dos colas	0,00113658	
Valor crítico de t (dos colas)	2,14	

Tabla 21*Aspecto de soldadura para muestras con procesos GTAW y SMAW*

Categoría	SMAW	GTAW
pésima	0	0
Mala	0	0
aceptable	10	0
buena	0	10

muy buena	0	0
Total	10	10

De las tablas 19, 20 y 21, se tiene:

- $\bar{X}_{rG}(505,209) > \bar{X}_{rS}(490,60)$ ($t = 4,23; p = 0,001$)
- $\bar{X}_{fG}(404,578) > \bar{X}_{fS}(359,2)$ ($t = 4,07; p = 0,001$)
- Nivel_(G) = “bueno” > Nivel_(S) = “aceptable”

La media de resistencia a la tracción es significativamente mayor con GTAW que con SMAW. Por lo tanto, se acepta la subhipótesis 3.1.

La media de límite de fluencia es significativamente mayor con GTAW que con SMAW. Por lo tanto, se acepta la subhipótesis 3.2.

En aspecto de soldadura, la mayor frecuencia con GTAW se distribuye en un nivel superior de la escala, que con SMAW. Por lo tanto, se acepta la subhipótesis 3.3.

En consecuencia, dado que la resistencia a la tracción y el límite de fluencia son significativamente mayores con el proceso GTAW, que con el proceso SMAW, y que el nivel de aspecto de soldadura se distribuye en un nivel superior con el proceso GTAW que con SMAW, la calidad es mayor con el proceso GTAW que con el proceso SMAW. En ese sentido, se valida la tercera hipótesis específica, H3: La calidad de uniones soldadas en tubería de acero A-53, Moquegua, Perú, 2022, es mayor con el proceso de soldadura GTAW que con SMAW.

- *Hipótesis general*

Esta hipótesis sostiene lo siguiente:

El tipo de proceso de soldadura tiene un efecto diferente en la calidad de uniones soldadas en tubería de acero A-53, Moquegua, Perú, 2022.

Esta hipótesis implica las siguientes subhipótesis:

H_{G.1} : El tipo de proceso de soldadura tiene un efecto diferente en la resistencia a la tracción.

H_{G.2} : El tipo de proceso de soldadura tiene un efecto diferente en el límite de fluencia.

H_{G.3} : El tipo de proceso de soldadura tiene un efecto diferente en el aspecto de la soldadura.

De las tablas 21, 22 y 8, y de la contrastación de la tercera hipótesis específica, se tiene:

La media de resistencia a la tracción es significativamente diferente entre los procesos GTAW y SMAW. Por lo tanto, se acepta la subhipótesis G.1.

La media de límite de fluencia es significativamente diferente entre los procesos GTAW y SMAW. Por lo tanto, se acepta la subhipótesis G.2.

El nivel de aspecto de soldadura es diferente entre los procesos GTAW y SMAW. Por lo tanto, se acepta la subhipótesis G.3

4.3 Discusión de resultados

Los resultados encontrados en todas las uniones soldadas, mejoran el efecto de las calidades de los procesos de las soldaduras en concordancia con los resultados de las tesis de Flores (2019) y Muñoz (2013).

Esto no es posible sin la implementación de procesos específicos, estándares o normas que en además en nuestro medio están regulados y avalados por los registros de procedimiento de calidad (PQR), tal como en otros medios se recomienda y se ha verificado su contribución, como lo demuestran Barrera y Rojano (2015), Morales (2016) y Gutiérrez (2017).

El objetivo de nuestra investigación fue verificar cuál de los dos procesos en mayor uso actualmente en nuestro medio, mejoran el efecto de la calidad: SMAW o GTAW. Por los valores medidos y extraídos de los resultados de las pruebas de laboratorio se concluye que ambos mejoran la condición de calidad al mostrar mejores propiedades de resistencia mecánica respetadas por los fabricantes y reguladas por la American Society of Mechanical Engineers (2010). Pero la que mejor condición de calidad muestra, además de tener un mejor aspecto visual es la obtenida con el proceso de soldadura GTAW.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Primera. Como conclusión general se encontró que el tipo de proceso de soldadura tiene un efecto diferente en la calidad de uniones soldadas en tubería de acero A-53, Moquegua, Perú, 2022. Esto se verifica en las diferencias significativas detectadas en cuanto a la media de resistencia a la tracción, la media de límite de fluencia, y la diferencia de frecuencias en el nivel de aspecto de soldadura que corresponde a cada proceso.

Segunda. La calidad de uniones soldadas en tubería de acero A-53, Moquegua, Perú, 2022, con el proceso de soldadura SMAW, es alta. Esto se verifica en una media empírica de resistencia a la tracción significativamente mayor que el valor teórico referencial; en una media empírica de límite de fluencia significativamente mayor que el valor teórico referencial; y una mayor frecuencia en el nivel aceptable ($f=10$) en cuanto a aspecto de soldadura.

Tercera. La calidad de uniones soldadas en tubería de acero A-53, Moquegua, Perú, 2022, con el proceso de soldadura GTAW, es alta. Esto se verifica en una media empírica de resistencia a la tracción significativamente mayor que el valor teórico referencial; en una media empírica de límite de fluencia significativamente mayor que el valor teórico referencial; y una mayor frecuencia en el nivel bueno ($f=10$) en cuanto a aspecto de soldadura.

Cuarta. La calidad de uniones soldadas en tubería de acero A-53, Moquegua, Perú, 2022, es mayor con el proceso de soldadura GTAW que con SMAW. Esto se verifica en una media de resistencia a la tracción significativamente mayor con el proceso GTAW que con el proceso SMAW; en una media de límite de fluencia significativamente mayor con el proceso GTAW que con el proceso SMAW; y en una mayor frecuencia en un nivel superior de la escala con el proceso GTAW, que con SMAW, en cuanto a aspecto de soldadura.

5.2. Recomendaciones

Primera. Desde el punto de vista del aspecto y la resistencia mecánica, se recomienda aplicar el proceso GTAW para uniones en tuberías de acero, cuyos resultados resultan son bastante notables.

Segunda. Dado que los indicadores de calidad de las uniones de soldadura en la tubería de acero utilizada muestran un comportamiento muy superior a los valores esperados al aplicar el proceso SMAW, se recomienda utilizar este proceso en toda situación en la que se constituye en el proceso de soldadura más accesible en términos de disponibilidad de equipos, calificación del personal y costo en relación a otros procesos.

Tercera. Dado que los indicadores de calidad de las uniones de soldadura en la tubería de acero utilizada muestran un comportamiento muy superior a los valores esperados al aplicar el proceso GTAW, se recomienda utilizar este proceso en toda situación en la que se requiere aplicar el proceso de soldadura más efectivo, considerando así su mayor resistencia a la tracción, mayor límite de fluencia y mejor aspecto de soldadura durante las pruebas visuales.

Cuarta. Dado que el proceso GTAW demostró un comportamiento superior en cuanto a los indicadores de calidad de las uniones de soldadura en la tubería de acero utilizada, en comparación con el proceso SMAW, se recomienda utilizar el proceso GTAW en toda aquella ocasión en la que se requiera alcanzar un mejor desempeño en cuanto a tracción, fluencia y aspecto visual de la soldadura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Nacional de Minería Colombia. (s.f.) *Etapas de construcción y montaje*. Recuperado de https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/cons_montaje.pdf
- Alonso, M. (2017). *Soldadura con electrodos revestidos de chapas y perfiles de acero carbono, inoxidable y otros materiales*. Paraninfo.
- American Society of Mechanical Engineers. (2010). *Tuberías de procesos B31.3_ES – 2010*. Recuperado de https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/b31-3_es-tuberias-de-proceso
- Ander-Egg, G. (2011). *Aprender a investigar*. Recuperado de <https://abacoenred.com/wp-content/uploads/2017/05/Aprender-a-investigar-nociones-basicas-Ander-Egg-Ezequiel-2011.pdf>
- Barrera, G. y Rojano, G. (2015). *Elaboración de un procedimiento específico de soldadura (WPS) para la construcción de poliductos en tuberías de acero al carbono instalado bajo la técnica de perforación horizontal dirigida para la empresa Montecz S.A.* Universidad libre de la Facultad de ingeniería, Bogotá, Colombia.
- Bowles, E. (2010). *Diseño de acero estructural*. Madrid: Editorial Universitaria.
- Chan, M. (2009). *Calificación de procedimientos de soldadura y calificación de soldadores*. Recuperado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/2259/1/4488.pdf>
- D'Addario, M. (2017). *Manual de soldadura industrial: Fundamentos, Tipos y aplicaciones*. Createspace.

- Flores, C. (2019). *Implementación de un Sistema de Control de Calidad para Procesos de Soldadura según las Normas AWS D1.1 y Códigos ASME B31.1/B31.3/ IX para Tuberías de Acero al Carbono en la Empresa ERMI Instalaciones & Mantenimiento S.A.C.* (Tesis de pregrado). Universidad Tecnológica del Perú, Lima, Perú.
- Frankland, T. (2008). *Manual del montador y soldador de tuberías*. Chicago: AGT Editor.
- Giaghino, J. y Wicks, W. (2000). *Técnica y práctica de la soldadura*. Recuperado de <https://belliscovirtual.com/ingenieria-mecanica-e-industrial-en-general/393-tecnica-y-practica-de-la-soldadura.html>
- Gotelli, L. (2022). *Panorama actual de la Industria Peruana de la Construcción en Minería y sus implicancias en la Gestión de Proyectos*. Recuperado de <https://gerens.pe/blog/panorama-actual-de-la-industria-peruana-de-la-construccion-en-mineria-y-sus-implicancias-en-la-gestion-de-proyectos/>
- Guanilo, B. (2017). *Estudio de los procesos de electro fusión y termofusión en unión de tuberías de HDPE en una refinería* (Tesis de pregrado). Universidad de Piura, Piura, Perú.
- Gutiérrez, C. (2017). *Aplicación de la norma AWS D1.1 en la inspección de soldaduras en las uniones de las estructuras metálicas, del proyecto de ampliación de la refinería de Talara. Lima. Perú* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Tecnológica de Lima sur, Lima, Perú.
- Hermógenes, G. (2007). *Soldadura: Principios, técnica y equipo*. CEAC Ediciones.
- Hernández, R. (2016). *Manual del soldador*. Recuperado de http://cesol.es/wordpress_revista/wp-

content/uploads/2020/07/Cesol_161_MayoAgosto2020_REVISTA_Ocultos.pdf

Hernández, S., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. Recuperado de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

Horwits, A. (2002). *Soldadura, aplicaciones y práctica*. Madrid: Alfaomega.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2022). *PBI trimestral*. Recuperado de <https://m.inei.gob.pe/biblioteca-virtual/boletines/pbi-trimestral/1/>

Instituto Peruano de Economía. (2021). *Cómo impacta la minería en la productividad de Perú*. Recuperado de <https://www.ipe.org.pe/portal/ipe-como-impacta-la-mineria-en-la-productividad-de-peru/>

Larry, J. (2009). *Soldadura, principios y aplicaciones*. Madrid: Paraninfo

Malishev, A.; Nikolaiev, G.; y Shuvalov, Y. (1985). *Tecnologías de los metales*. Recuperado de https://www.academia.edu/42104559/TECNOLOG%3%8DA_DE_LOS_METALES

Mendenhall, W.; Beaver, R.; y Beaver, B. (2010). *Introducción a la probabilidad estadística*. Recuperado de <https://www.fcfm.buap.mx/jzacarias/cursos/estad2/libros/book5e2.pdf>

Ministerio de Energía y Minas (2022). *Perú: Un país minero lleno de oportunidades*. Recuperado de https://www.minem.gob.pe/_detalle.php?idSector=1&idTitular=159&idMenu=sub149&idCateg=159#:~:text=Per%C3%BA%20es%20el%20segundo%20productor,de%20dep%C3%B3sitos%20minerales%20del%20mundo

- Morales, S. (2016). *Diseño y fabricación e instalaciones de tuberías en los procesos industriales, con el empleo de tecnología de punta y ensayos para mejorar la calidad de los proyectos* (Tesis de pregrado). Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México.
- Muñoz, V. (2013). *Elaboración de un Plan de Aseguramiento de Calidad para la Fabricación de Sistemas de Tuberías para una Central Turbo - Generadora de 100MW* (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. Recuperado de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/30925>
- Quinde, B. (2020). *Perú país minero: potencial que debe seguirse aprovechando*. Recuperado de <https://www.rumbominero.com/peru/noticias/mineria/peru-pais-minero-potencial-que-debe-seguirse-aprovechando/>
- Ramírez, Y. (2021). *Estructuras metálicas para minería: Resistencia y soporte de acero*. Recuperado de <https://www.rumbominero.com/revista/estructuras-metalicas-para-mineria-talleres-naves-y-galpones/>
- Rodríguez, D. (2010). *Soldadura, Tecnología y Técnica de los Procesos de Soldadura*. Bellisco Ediciones.
- Segovia, S. (2012). *Manual de soldadura. Ejercicios prácticos de soldadura al arco. Electrodo revestido*. Madrid: AMV Ediciones.
- Viñán, J., Puente, I., Ávalos, J. y Córdova, J. (2018). *Proyectos de inversión: un enfoque práctico*. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.