

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica y Materiales

**ELABORACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE
SOLDADURA PARA UNIÓN DISÍMIL
ENTRE PLANCHA ANTIABRASIVA
400 HB Y ASTM A36 SEGÚN
NORMA AWS D1.1:2020**

TESIS

Presentada por:

Bach. Julio César Mamani Colque

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO METALURGISTA

TACNA – PERÚ

2024

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica y Materiales

ELABORACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA PARA UNIÓN DISÍMIL ENTRE PLANCHA ANTIABRASIVA 400 HB Y ASTM A36 SEGÚN NORMA AWS D1.1:2020

Trabajo sustentado y aprobada el día 25 de octubre del 2024, estando integrado el

Jurado Calificador por:

PRESIDENTE:	 Dr. Alberto Bacilio Quispe Cohaila
SECRETARIO:	 Msc. Edgardo Teófilo Valdez Cortijo
VOCAL:	 Ing. Julian Nieto Quispe
ASESOR:	 Msc. Edgardo Teófilo Valdez Cortijo

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo Edgardo Teófilo Valdez Cortijo en mi condición de asesor **CERTIFICO** que el informe de tesis: “**ELABORACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA PARA UNIÓN DISÍMIL ENTRE PLANCHA ANTIABRASIVA 400 HB Y ASTM A36 SEGÚN NORMA AWS D1.1:2020**”, desarrollado por el bachiller Julio César Mamani Colque, para optar el título de Ingeniero Metalurgista.

Que, conforme al análisis de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción intelectual de la UNJBG, mediante el software de similitud textual **TURNITIN** obtiene los siguientes resultados:

Código de identificación del reporte: OID: 23228:380026973

Porcentaje de similitud: 5 %

Nivel: Permitido

Por lo que **CERTIFICO QUE LA SIMILITUD** del informe de tesis está de acuerdo al nivel **PERMITIDO**. El tesista puede continuar con el proceso de sustentación de la tesis. Se emite el presente certificado para los fines correspondientes.



Firma del asesor
Msc. Edgardo Teófilo Valdez Cortijo
D.N.I.



Firma del titlante
Bach. Julio César Mamani Colque
D.N.I. 76968797



DEDICATORIA

El presente trabajo es dedicado a:

A Dios por sobre todas las cosas, por siempre estar a mi lado y darme las fuerzas para continuar en este largo camino.

A mi madre Dominga, por ser símbolo de lucha constante en el día a día sin darse por vencida.

A mis hermanos Juan, Luis y Judith, por apoyarme dando ánimos para seguir, he de decirles que pueden lograr todo lo que sueñan con la constancia y dedicación.

A mi tío Dámaso y amigos que creyeron en mí, que podría culminar mis estudios cuando los demás solo decían que no podría.

Al Sr. Cusi por su incondicional apoyo a mi familia desde siempre hasta el final de sus días, Un abrazo fraterno hasta el cielo.

AGRADECIMIENTO

Un profundo agradecimiento a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, que me formaron inculcándome valores y conocimientos para ser un profesional.

Agradecer también a mi asesor de tesis por su apoyo y tiempo prestado para poder culminar el presente trabajo.

Finalmente, un profundo agradecimiento a mi amigo Rodolfo Ulloa y su familia por la confianza y apoyo a lo largo de estos 5 años de estudio.

CONTENIDO

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1 Descripción del problema	3
1.2 Antecedentes del problema	4
1.3 Problemática de la investigación.....	4
1.3.1 Formulación del problema	4
1.4 Justificación e importancia.....	5
1.4.1 Justificación técnica	5
1.4.2 Justificación económica	5

1.4.3	Justificación práctica.....	5
1.4.4	Justificación metodológica.....	6
1.4.5	Importancia del estudio.....	6
1.5	Alcances y limitaciones	7
1.5.1	Alcances del estudio.....	7
1.5.2	Limitaciones del estudio	7
1.6	Objetivos	8
1.6.1	Objetivo General.....	8
1.6.2	Objetivos Específicos.....	8
1.7	Hipótesis.....	9
1.7.1	Hipótesis General	9
1.7.2	Hipótesis Específicas	9
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO		10
2.1	Antecedentes del estudio.....	10
2.1.1	Nacionales	10
2.1.2	Internacionales	11
2.2	Bases teóricas	13

2.2.1	Metalurgia del acero.....	13
2.2.2	Tipos de aceros.....	14
2.2.3	Microestructuras.....	17
2.2.4	Plancha anti abrasiva 400 HB	19
2.2.5	Aceros ASTM A36	22
2.2.6	Material de aporte AWS A5.29.....	23
2.2.7	Soldadura	24
2.2.8	Norma nacional americana AWS D1.1:2020.....	25
2.2.9	Aceros aleados	27
2.3	Proceso de Soldadura	28
2.3.1	Soldadura por arco con núcleo fundente - FCAW	29
2.3.2	Tipos de polaridad en FCAW	30
2.3.3	Metal de aporte para soldadura FCAW.....	33
2.3.4	Tipos de transferencia	34
2.3.5	Juntas de soldadura	35
2.3.6	Posiciones de soldadura	38
2.3.7	Técnicas de soldadura	41

2.4	Calificación del procedimiento de soldadura.....	44
2.4.1	Especificación de procedimiento de soldadura (WPS).....	44
2.4.2	Registro de calificación de procedimiento (PQR)	44
2.4.3	Variables esenciales	45
2.4.4	Variables no esenciales	46
2.5	Control de calidad de uniones soldadas	47
2.5.1	Inspección visual.....	47
2.5.2	Determinación de defectos de soldadura.....	48
2.5.3	Ensayos destructivos	55
2.5.4	Ensayos no destructivos	57
2.6	Definición de términos.....	57
CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO.....		59
3.1	Tipo y diseño de la investigación.....	59
3.2	Población y muestra	59
3.3	Operacionalización de variables	60
3.4	Procedimiento experimental.....	64
3.4.1	Equipamiento de soldadura.....	64

3.4.2	Especificación de procedimiento de soldadura preliminar (WPS)	64
3.4.3	Ejecución del cordón de soldadura	76
3.4.4	Elaboración del registro de calificación de procedimiento (PQR)	81
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN		84
4.1	Resultados	84
4.1.1	Registro de calificación de procedimiento (PQR)	84
4.1.2	Especificación de procedimiento de soldadura (WPS)	101
4.2	Discusión de resultados.....	103
4.2.1	Registro de Calificación del Procedimiento (PQR):	103
4.2.2	Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS):	106
CONCLUSIONES.....		108
RECOMENDACIONES.....		109
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		110
ANEXOS		116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Resistencia de aceros aleados</i>	15
Figura 2 <i>Diagrama de Fases Hierro-Carbono</i>	19
Figura 3 <i>Alambre tubular para la soldadura FCAW</i>	30
Figura 4 <i>Soldadura en polaridad directa</i>	31
Figura 5 <i>Soldadura en polaridad inversa</i>	32
Figura 6 <i>Tipos de transferencia en FCAW</i>	35
Figura 7 <i>Juntas y nomenclaturas</i>	37
Figura 8 <i>Tipos de posiciones en soldadura</i>	40
Figura 9 <i>Fisuras en uniones soldadas</i>	50
Figura 10 <i>La falta de fusión en uniones de soldadura</i>	51
Figura 11 <i>Falta de penetración en uniones soldadas</i>	52
Figura 12 <i>Discontinuidad por inclusión</i>	53
Figura 13 <i>Soldadura con distintas discontinuidades</i>	54
Figura 14 <i>Socavaciones en las uniones de soldadura</i>	55
Figura 15 <i>Equipo de soldadura utilizado</i>	66
Figura 16 <i>Detalle de la junta</i>	67
Figura 17 <i>Backweld de junta</i>	68
Figura 18 <i>Material de aporte</i>	69

Figura 19	<i>Posiciones de ensayo de soldadura plana y horizontal</i>	71
Figura 20	<i>Posición 2G adoptada durante la soldadura</i>	71
Figura 21	<i>Amperaje y voltaje utilizados</i>	75
Figura 22	<i>Junta biselada</i>	77
Figura 23	<i>Posicionamiento previo al soldeo</i>	78
Figura 24	<i>Pre calentamiento</i>	79
Figura 25	<i>Pases de soldadura</i>	80
Figura 26	<i>Curva fuerza – alargamiento</i>	90
Figura 27	<i>Doble longitud</i>	93
Figura 28	<i>Ultrasonido convencional</i>	96
Figura 29	<i>Registro de calificación de procedimiento 1 de 2</i>	99
Figura 30	<i>Registro de calificación de procedimiento 2 de 2</i>	100
Figura 31	<i>Especificación de procedimiento de soldadura</i>	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Composición de aceros anti abrasivos</i>	21
Tabla 2 <i>Propiedades mecánicas de aceros anti abrasivos</i>	22
Tabla 3 <i>Tipos de juntas</i>	36
Tabla 4 <i>Posiciones para el soldador en el trabajo de soldadura</i>	38
Tabla 5 <i>Principales diferencias entre los tipos de soldaduras</i>	43
Tabla 6 <i>Variables esenciales</i>	61
Tabla 7 <i>Operacionalización de variables</i>	63
Tabla 8 <i>Temperatura de precalentamiento</i>	73
Tabla 9 <i>Rango de características eléctricas</i>	74
Tabla 10 <i>Valores para cada número de pases</i>	82
Tabla 11 <i>Parte A del PQR</i>	85
Tabla 12 <i>Parte B del PQR</i>	86
Tabla 13 <i>Parte C del PQR</i>	87
Tabla 14 <i>Parte D del PQR</i>	88
Tabla 15 <i>Parte E del PQR</i>	88
Tabla 16 <i>Resultados del ensayo de tracción</i>	91
Tabla 17 <i>Parte F del PQR</i>	92

Tabla 18 <i>Resultados de ensayos de dobléz</i>	93
Tabla 19 <i>Parte G del PQR</i>	94
Tabla 20 <i>Parte H del PQR</i>	95
Tabla 21 <i>Registro de inspección de ultrasonido</i>	97
Tabla 22 <i>Parte I del PQR</i>	97
Tabla 23 <i>Parte J del PQR</i>	98
Tabla 24 <i>Parte K del PQR</i>	98

RESUMEN

El trabajo propone implementar un procedimiento de soldadura basado en la normativa AWS D1.1:2020 en una empresa metal mecánica peruana. La investigación busca establecer un procedimiento de soldadura claro y específico para mejorar la eficiencia en las operaciones de soldadura, adaptando la mencionada norma, que es un estándar global para garantizar uniones de soldadura de calidad.

La tesis se divide en cuatro capítulos: el primero presenta el problema de investigación relacionado con la falta del procedimiento definido para la soldadura de acero ASTM A36 y planchas anti abrasiva 400 HB; el segundo aborda el marco teórico que fundamenta la investigación; el tercero detalla el marco metodológico, el cual es cuantitativo y experimental; y el cuarto presenta los resultados obtenidos a través de los documentos PQR y WPS.

Palabras clave: Especificación de procedimiento de soldadura (WPS). AWS D1.1:2020, Registro de calificación de procedimiento (PQR), soldadura, ASTM A36, plancha anti abrasiva 400 HB.

ABSTRACT

The work proposes to implement a welding procedure based on the AWS D1.1:2020 standard in a Peruvian metalworking company. The research aims to establish a clear and specific welding procedure to improve efficiency in welding operations by adapting the standard, which is a global standard to ensure quality welding joints.

The thesis is divided into four chapters: the first presents the research problem related to the lack of a defined procedure for welding ASTM A36 steel and 400 HB wear-resistant plates; the second addresses the theoretical framework that supports the research; the third details the methodological framework, which is quantitative and experimental; and the fourth presents the results obtained through the PQR and WPS documents.

Keywords: Welding Procedure Specification (WPS). AWS D1.1:2020, Procedure Qualification Record (PQR), welding, ASTM A36, 400 HB wear-resistant plate.

INTRODUCCIÓN

La revisión bibliográfica de trabajos similares permite ampliar la base de la comprensión del tema a investigar, para el desarrollo de la presente tesis se realizó una revisión de trabajos anteriores donde se elaboraron procedimientos similares de soldadura específicos; un artículo periodístico presentado por un diario peruano hace referencia al déficit anual de alrededor de 3500 soldadores calificados (Gestión, 2017), el desarrollo de investigaciones similares a la presente, están orientadas a la revisión y comprensión de los criterios científicos necesarios para la elaboración de procedimientos de soldadura específicos;

El reconocido investigador peruano Loayza (2016), hace una clara distinción entre la marcada dependencia de hace algunos años de la soldadura por la destreza de los soldadores y la importancia actual de la implementación de métodos para verificar la calidad de construcciones soldadas gracias al desarrollo de la ingeniería de soldadura, establece además, la importancia de algunos aspectos necesarios que se deben considerar como las características de los materiales a ser unidos, comportamientos de estos materiales frente a la temperatura así como la atmósfera en la que se realizará la unión de estos materiales, del mismo modo puntualiza que el objetivo de la soldadura es producir uniones que resistan los esfuerzos y a los elementos

de corrosión a los que estarán sometidos, estas características descritas son claramente establecidas dentro de la especificación del procedimiento de soldadura WPS, de ahí la importancia de su correcta elaboración y aprobación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

Es responsabilidad de las empresas del rubro metalmecánica comprobar la calidad de sus productos y asegurarse de que estos se fabriquen de acuerdo con lo establecido en los códigos y especificaciones de soldadura según la normativa vigente. En este sentido, la empresa donde se realiza la presente investigación actualmente no cuenta con un procedimiento de soldadura que garantice la calidad de la unión entre los materiales ASTM A36 y la plancha anti abrasiva 400 HB. Esta falta de un procedimiento claro genera la posibilidad de defectos en las soldaduras, lo que podría comprometer la integridad de los productos; sin embargo, esta situación se puede convertir en una oportunidad de mejora mediante el desarrollo de un Welding Procedure Specification (WPS). Al implementar un WPS, se establecerán pautas precisas que permitirán minimizar los defectos de soldadura y asegurar que las uniones cumplan con los estándares de calidad requeridos. De esta manera, no solo se logrará una mayor eficiencia en las operaciones de soldadura, sino que también se mejorará la fiabilidad y calidad de los productos ofrecidos por la empresa.

1.2 Antecedentes del problema

Los requisitos para la implementación y calificación de las WPS deben estar alineados con el código AWS D1.1:2020, al respecto la norma refiere:

“...la WPS para uso en soldaduras de producción deben estar calificados de acuerdo con la Sección 6, Parte B” (AWS D1.1, 2020).

En la presente investigación se utilizará el proceso de soldadura por arco con electrodo tubular FCAW de acuerdo con lo permitido en la norma según lo establecido en su sección 6.15.2 (AWS D1.1, 2020) donde se permite el uso de este proceso de soldadura mientras se realicen ensayos para poder calificar un WPS.

1.3 Problemática de la investigación

Las premisas establecidas en la sección anterior permiten formular el problema de investigación.

1.3.1 Formulación del problema

¿La evidencia documentada en este trabajo cumple con los requisitos establecidos por la norma AWS D1.1:2020 para la elaboración e implementación del WPS propuesto como procedimiento de soldadura FCAW para acero ASTM A36 y planchas anti abrasivas 400 HB?

1.4 Justificación e importancia

1.4.1 Justificación técnica

El presente estudio permitirá implementar procedimientos adecuados para efectuar y formar uniones soldadas de buena calidad en aceros tipo ASTM A36 y planchas anti abrasiva 400 HB bajo la norma AWS D1.1:2020.

Por lo tanto, las alcances que serán establecidos en el WPS, bajo parámetros y normativa establecida, permitirán reducir los defectos en soldadura. El presente trabajo abarca tópicos de soldadura, materiales de acero, normas internacionales de soldadura y una propuesta de implementación de procedimiento de soldadura en la empresa.

1.4.2 Justificación económica

Los resultados obtenidos en este trabajo indican la viabilidad de su futura implementación en la empresa en estudio, lo que podría permitir la homogenización de los procedimientos de soldadura. Esto, a su vez, contribuiría a reducir la posibilidad de una mala ejecución del trabajo y generaría una mejora económica para la empresa.

1.4.3 Justificación práctica

El desarrollo del WPS permitirá a la empresa, donde se pretende su implementación, estandarizar sus procedimientos para la soldadura de estos dos tipos

de acero. Además, ejecutar un trabajo de soldadura mediante un WPS, amparado bajo normativa internacional, permitirá a la empresa ser competitiva en el mercado nacional.

1.4.4 Justificación metodológica

El presente trabajo sigue lineamientos establecidos para un correcto procedimiento del trabajo de soldadura. La norma AWS D1.1:2020 cubre los requerimientos y regulaciones de soldadura para cualquier tipo de estructura soldada con aceros industriales al carbono y de baja aleación comúnmente utilizados en la construcción.

1.4.5 Importancia del estudio

El presente estudio, permitirá homogenizar el trabajo en soldadura en los materiales mencionados, lo que permite obtener productos de mayor calidad y reducción de mermas. Al incrementar la calidad, la eficiencia y la seguridad, la empresa tiene la capacidad de posicionarse más competitivamente en el mercado, proporcionando productos que se destacan por su fiabilidad y superioridad

1.5 Alcances y limitaciones

1.5.1 Alcances del estudio

La respuesta a la interrogante ¿Hasta dónde, en términos de conocimientos, es posible que llegue el estudio?, permite esclarecer el alcance final del presente trabajo, en ese contexto podemos definir al presente estudio como descriptivo al referir primero teóricamente, el fenómeno de soldadura involucrado, y luego al especificar y detallar los sucesos que se tienen que desarrollar durante la ejecución del procedimiento planteado.

1.5.2 Limitaciones del estudio

Limitaciones detectadas en el desarrollo del presente trabajo:

- **Contexto específico:** el WPS desarrollado está enfocado específicamente para estructuras soldadas de acero ASTM A36 y planchas anti abrasiva 400 HB, el WPS que se desarrollará puede ser apto para regir la fabricación estructural fuera de las especificaciones que están detalladas en el presente trabajo. Sin embargo, queda a criterio de los interesados evaluar la idoneidad del procedimiento de soldadura que se ha logrado en este estudio para ser aplicado en la soldadura de otros materiales disímiles bajo condiciones y métodos de soldadura distintos para lograr uniones soldadas de buena calidad.
- **Generalización de resultados:** Las conclusiones alcanzadas en este trabajo pueden nos ser generalizables a otras empresas del mismo rubro

principalmente porque es necesario que cada empresa elabore sus propios procedimientos específicos de soldadura.

- **Temporalidad:** Considerar que el presente procedimiento fue desarrollado siguiendo los lineamientos de la norma AWS D1.1:2020, esta norma puede ser actualizada o modificada de acuerdo con cambios en las regulaciones, avances tecnológicos y estándares internacionales.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

- Elaborar el procedimiento de soldadura FCAW de materiales ASTM A36 y plancha anti abrasiva 400 HB según norma AWS D1.1:2020 para su implementación en la generación de uniones soldadas.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Desarrollar el registro de calificación de procedimiento (PQR)
- Proponer la Especificación de Procedimiento de Soldadura (WPS) según código estructural AWS D1.1:2020.

1.7 Hipótesis

1.7.1 Hipótesis General

- La correcta interpretación y aplicación de la norma AWS D1.1:2020 permitirá elaborar el procedimiento de soldadura FCAW de materiales ASTM A36 y plancha anti abrasiva 400 HB.

1.7.2 Hipótesis Específicas

- La correcta aplicación del código estructural AWS D1.1:2020 permitirá elaborar el WPS específico para los tipos de material usados.
- La realización y evaluación de los ensayos destructivos y no destructivos sobre las probetas garantizarán la aplicación del procedimiento elaborado.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio

2.1.1 Nacionales

Perez (2021), en su tesis “La implementación de la metodología Welding Procedure Specification (WPS) incrementa la calidad de la fabricación de estructuras metálicas en la empresa COCYMET del sur S.A.C.” propone el desarrollo del procedimiento de soldadura para la estandarización y documentación de las actividades relacionadas a los trabajos de soldadura promoviendo al mismo tiempo, la capacitación del personal involucrado, el objetivo de este trabajo estuvo enfocado en alcanzar mejoras en la productividad a través de la aplicación del WPS correspondiente haciendo previamente un análisis causal de las fallas en que se incurría . La utilización de procedimientos de soldadura no normados, así como el uso de formatos de control no adecuados por el desconocimiento de las características de la materia prima, permitió atribuir estas deficiencias como fuentes de la calidad deficiente de las estructuras metálicas fabricadas por la empresa.

La implementación del WPS desarrollado permitió mejorar los procesos de soldadura logrando disminuir hasta un 76 % el volumen de reparaciones traduciéndose en disminución de costos de US\$ 29 995,80.

Carrasco (2022), en la presentación de su trabajo del programa especial de titulación desarrolló la “Implementación de procedimientos estándar de soldadura SMAW y FCAW según normas ASME IX y AWS D1.1 para mejorar el proceso de soldeo en la empresa FULL QUALITY PERU S.A.C.” donde plantea y desarrolla la metodología para implementar el WPS en la compañía FQP S.A.C, el objetivo planteado responde al mejoramiento de la calidad del proceso de soldeo, bajo este precepto, se reporta una reducción de 93,5 % en los productos no conformes en los primeros tres meses después de haber implementado el procedimiento desarrollado en su trabajo de investigación, así mismo se alcanzó una reducción de 86,94 % de H/H y 88,93 % H/M en el mismo periodo lo que finalmente se traduce en un ahorro de US\$ 79 580,00.

2.1.2 Internacionales

Rachmat et al. (2022), presentaron el artículo científico “Analysis of Welding Procedure Specifications for steel line pipe material”, trabajo desarrollado en conjunto por “Department of Mechanical Engineering, President University, Indonesia” y “College of Science and Engineering, Ritsumeikan University, Japan”, donde dieron a

conocer los resultados de la caracterización de macroestructura, microestructura y propiedades mecánicas a partir de dos grupos de muestras, el primer grupo obedeció los lineamientos de un WPS para material de tubería de 8" API5L Gr X 52 mientras que el otro grupo fue desarrollado sin WPS. Las muestras que siguieron las especificaciones descritas en el WPS no presentaron porosidad, el análisis microestructural de las muestras que se ciñeron al mismo WPS presentan estructuras martensíticas más grandes en comparación a las otras muestras, los resultados de tracción muestran que el grupo que siguió los lineamientos del WPS presentaron valores superiores. El estudio concluye, en base a estos resultados, la importancia y necesidad del uso del WPS para la instalación de equipos críticos en tuberías de gas y aceite de alta presión donde se requiere alta seguridad y calidad.

Jovičić et al. (2018), realizaron recomendaciones en la soldadura de HARDOX 400 teniendo consideraciones técnicas propias del material como son su alta vulnerabilidad a la iniciación de grietas en frío en la zona afectada por el calor (HAZ) mediante el uso de material de aporte para las uniones soldadas como son los aceros austeníticos de baja y alta aleación con límites elásticos que no excedan 500 MPa a fin de reducir las tensiones residuales en la soldadura, también inciden en que debe existir un control constante de temperatura a lo largo de la unión soldada definiendo una

temperatura máxima entre pasadas a fin de evitar la disminución de dureza, en consecuencia disminución de la resistencia al desgaste.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Metalurgia del acero

La metalurgia del acero es el proceso de fabricación del acero a partir de hierro y carbono. El acero es una aleación de hierro y carbono que contiene entre 0,008 % y 2,11 % de carbono en masa. El carbono es el elemento fundamental que otorga al acero sus propiedades mecánicas, tales como la resistencia y la dureza (Gutiérrez et al., 2009).

En la fabricación del acero se puede utilizar fuentes primarias como minerales de hierro, entre ellas la hematita (Fe_2O_3) y la magnetita (Fe_3O_4), y chatarra de hierro reciclado, el primer paso es reducir el hierro a altas temperaturas (1 873,15 K) en un alto horno donde la mezcla del mineral con coque y fundente generan hierro metálico denominado arrabio y escoria. El hierro obtenido en esta etapa generalmente tiene porcentajes superiores a 3 % en el contenido de carbono por lo que es sometido a un proceso posterior donde la inyección de oxígeno permite oxidar parte del carbono, este proceso se realiza en hornos denominados convertidores, el uso de hornos de arco eléctricos también es una práctica común donde además puede usarse directamente la chatarra de hierro, en esta etapa también puede añadirse otros elementos aleantes como

manganeso, níquel, cromo y manganeso a fin de obtener un acero con propiedades específicas, después de lograr la composición específica, el acero fundido es colado para lo cual se hace verter el acero líquido en moldes.

Después de que el acero se ha solidificado, se puede tratar térmicamente para mejorar sus propiedades mecánicas. El tratamiento térmico implica calentar y enfriar el acero a temperaturas específicas para controlar la distribución del carbono en el acero. Esto puede mejorar la resistencia, la dureza, la ductilidad y la tenacidad del acero.

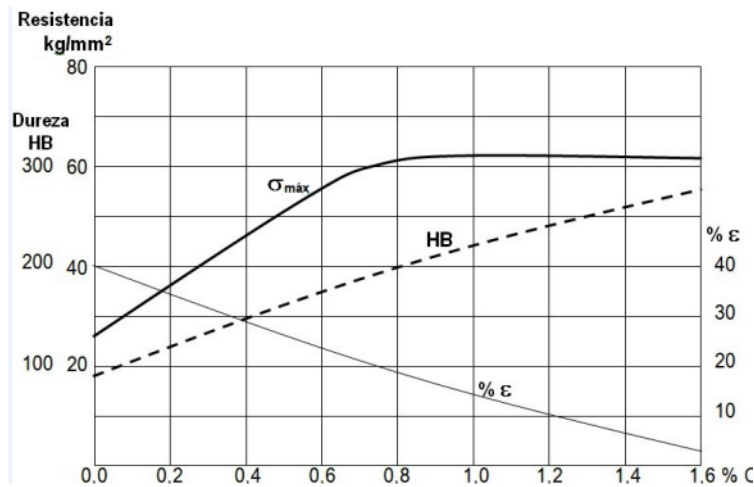
2.2.2 Tipos de aceros

Caballero (2016), menciona que el acero es una aleación de hierro y carbono. El hierro aporta ductilidad y el carbono dureza, para ser considerado un acero el contenido del carbono no debe superar el 2 % de la mezcla.

La Figura 1 muestra que las propiedades de resistencia (Kg/mm^2) y dureza (HB) se incrementan a medida que aumenta el porcentaje de carbono en la mezcla; es decir, que existen tipos de acero y estas dependen del porcentaje de las mezclas de sus componentes (microestructuras).

Figura 1

Resistencia de aceros aleados



Nota. Adaptado de *Influencia de la Soldadura Multipasadas en la Dureza del Acero ASTM 128 por el proceso SMAW*, por Cornejo, 2023, UNSAAC. CCO.

Callister & Rethwisch (2003), mencionan que, para clasificar los aceros, esto se hace en base al porcentaje de carbono que posee, estos derivan de un grupo de aleaciones férricas, cuyo principal componente es el hierro, y su uso es mayormente en el campo de la ingeniería.

- **Aceros bajos en carbono:**

Los aceros bajos en carbono son un tipo de acero que contiene menos del 0,25 % de carbono. Estos aceros son fáciles de soldar, mecanizar y forjar. También son dúctiles, lo que significa que pueden ser fácilmente deformados sin romperse. Entre

sus desventajas podemos encontrar; por ejemplo, no son fuertes como los aceros altos en carbono, no resistentes a altas temperaturas y poco resistentes a la fatiga como los aceros altos en carbono.

Los aceros bajos en carbono se utilizan en una variedad de aplicaciones; por ejemplo, estructuras de acero, equipos de construcción, automóviles, maquinaria industrial, electrodomésticos, utensilios de cocina (Callister & Rethwisch, 2003).

- **Aceros medios en carbono:**

Los aceros medios en carbono contienen entre 0,25 y 0,60 % de carbono. Estos aceros son más resistentes que los aceros de bajo carbono, pero menos dúctiles. Se utilizan en una variedad de aplicaciones, incluyendo ejes, engranajes, herramientas y piezas de maquinaria, estos aceros pueden ser soldables; sin embargo, por el contenido de carbono relativamente más alto estos materiales son susceptibles en la formación de fisuras en la zona afectada por el calor (HAZ) durante la soldadura, el uso de procedimientos de soldadura y tratamientos post-soldadura son necesarios para asegurar la calidad de la soldadura.

Los aceros medios en carbono se pueden tratar térmicamente para mejorar sus propiedades mecánicas. El tratamiento térmico implica calentar y enfriar el acero a temperaturas específicas para controlar la distribución del carbono en el acero. Esto

puede mejorar la resistencia, la dureza, la ductilidad y la tenacidad del acero (Callister & Rethwisch, 2003).

- **Aceros altos en carbono:**

Los aceros altos en carbono son un tipo de acero que contiene más del 0,60 % de carbono. Estos aceros son más fuertes y duros que los aceros bajos en carbono, pero también son más frágiles y menos dúctiles. Se utilizan en una variedad de aplicaciones; por ejemplo, herramientas de corte, armazón, resortes, ejes, entre otros. Los aceros altos en carbono se pueden tratar térmicamente para mejorar sus propiedades mecánicas. El tratamiento térmico implica calentar y enfriar el acero a temperaturas específicas para controlar la distribución del carbono en el acero. Esto puede mejorar la resistencia, la dureza, la ductilidad y la tenacidad del acero. Las propiedades físicas que resaltan de los aceros altos en carbono son; por ejemplo, fuertes, duros, resistentes a la fractura, resistentes a la abrasión, resistentes a la corrosión y algunas desventajas es que son frágiles, menos dúctiles, difíciles de soldar, difíciles de mecanizar, más costosos que los aceros bajos en carbono (Callister & Rethwisch, 2003).

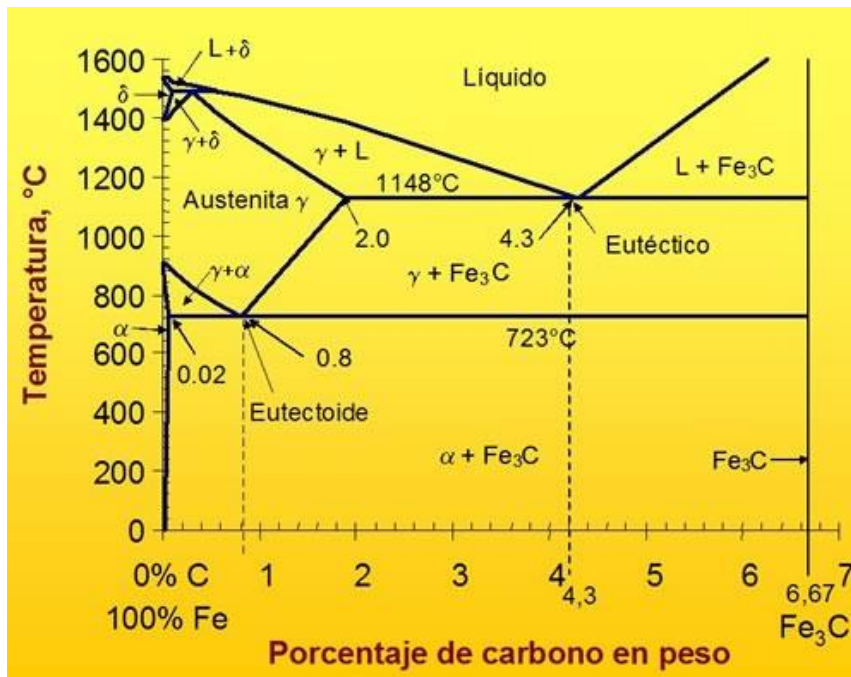
2.2.3 Microestructuras

Según Suárez (2006), el diagrama de fases que se muestra a continuación cuando el acero se enfría lentamente muestra las siguientes microestructuras:

- Ferrita δ : con un máximo de carbono de 0,1 % a 1 768,15 K (1 495°C)
- Ferrita α : aceros con valores menores a 0,8 % de carbono a 996,15 K (723°C)
- Cementita (Fe_3C): es una fase que posee hierro y carbono, siendo el porcentaje del carbono 6,67 % del peso total.
- Austenita (γ): es una solución más sólida del acero llegando a tener hasta 2% de carbono a 1 403,15 K (1 130°C).
- Perlita: es micro formador que posee ferrita con 88 % de peso y cementita con 22 %; siendo el contenido promedio de carbono 0,8 %.
- Bainita: es una mezcla de fases entre ferrita y cementita, se producen en transformaciones isotérmicas. Existen dos tipos de bainita la superior que se obtiene a partir de la austenita e inferior que se asemeja a la martensita.
- Martensita: es un microconstituyente que se obtiene a partir de la austenita, en condiciones de desequilibrio.

Figura 2

Diagrama de Fases Hierro-Carbono



Nota. Adaptado de *Aleaciones Hierro-Carbono, Aceros y Fundiciones* (p. 2), de UMA, 2005, UMA (Microsoft Word - Tema 4_CM.doc (uma.es)). CCO.

2.2.4 Plancha anti abrasiva 400 HB

Según Hernández (2019), es una plancha de acero anti abrasiva que tiene una alta resistencia al desgaste. La dureza de 400 HB se mide en la escala de dureza Brinell, que es una escala de dureza que se utiliza para medir la dureza de los materiales. La dureza de 400 HB es equivalente a una dureza de 295 Vickers o 380 Rockwell C.

Las planchas anti abrasivas de 400 HB se utilizan a menudo en aplicaciones donde la resistencia al desgaste es importante, como en la minería, la construcción y la

fabricación. También se utilizan en aplicaciones donde la superficie debe ser lisa y resistente a la corrosión, como en la fabricación de automóviles y aviones.

Una plancha anti abrasiva de 400 HB puede estar hecha de una variedad de aceros, pero los más comunes son el acero al carbono, el acero inoxidable y el acero aleado. El tipo de acero utilizado dependerá de la aplicación específica.

- Propiedades físicas y químicas

ABINSUR (2020), menciona que, gracias a las características físicas, composición química, así como el templeado y revenido por tratamiento térmico de este acero, otorgan al material propiedades que los hacen ideales para trabajos de alto desgaste, por ejemplo, en equipos mineros para el movimiento de mineral.

El valor de 400 HB hace referencia a la dureza de la aleación en la escala Brinell, con un espesor entre 5 mm a 20 mm. Por otro lado, la composición química se muestra en la Tabla 1 donde el porcentaje de carbono es 0,2 %; es decir, que es de tipo acero bajo en carbono que son más dúctiles y maleables. Los otros elementos le brindan otras propiedades que le dan otra característica a este tipo de acero; por ejemplo, alta resistencia mecánica y resistencia al desgaste.

Tabla 1*Composición de aceros anti abrasivos*

Elemento	Anti abrasiva 400 HB en %	Anti abrasiva 500 HB en %
C	0,200	0,300
Ni	0,800	1,000
Si	0,500	0,500
Cr	1,000	1,500
Mn	1,800	1,800
V	0,080	0,080
P	0,025	0,025
Nb	0,050	0,050
S	0,010	0,010
B	0,005	0,005
Mo	0,500	0,500

Nota: Porcentaje de elementos en planchas anti abrasivas 400 HB y 500 HB

En la siguiente Tabla 2, vemos las propiedades mecánicas donde el límite de fluencia, es decir la tensión a la que se produce una deformación permanente, es de 102 y 132 kg/mm² en las planchas 400 y 500 HB respectivamente. Así mismo, ambas planchas Hardox presentan valores de resistencia a la tracción, que es la fuerza máxima que puede soportar antes de romperse, de 132 y 168 kg/mm² respectivamente.

Tabla 2*Propiedades mecánicas de aceros anti abrasivos*

Norma Técnica	Límite de fluencia (kg/mm²)	Resistencia la Tracción (Kg/mm²)	Alargamiento (%)
Anti abrasiva 400 HB	102	132	12
Anti abrasiva 500 HB	132	168	8

Nota: Valores para planchas anti abrasivas 400 HB y 500 HB

2.2.5 Aceros ASTM A36

El acero ASTM A36 es un acero de bajo contenido de carbono que se utiliza en una variedad de aplicaciones, incluyendo la construcción y la ingeniería mecánica, el contenido bajo en carbono le confiere excelentes propiedades de ductilidad por lo que son ideales en la fabricación de elementos estructurales como perfiles, barras, pernos y tuercas, precisamente el contenido bajo en carbono hace que este tipo de aceros presenten buena soldabilidad. Es un acero de uso general que tiene una buena combinación de resistencia, ductilidad y soldabilidad. El acero ASTM A36 es una aleación de hierro y carbono que tiene un contenido de carbono de 0,20-0,30 %. El resto de la aleación es hierro con pequeñas cantidades de otros elementos, como manganeso, silicio y fósforo. El manganeso se añade para mejorar la resistencia al desgaste, aumenta la dureza y la ductilidad del acero, mientras que el silicio se añade

para mejorar la maquinabilidad. El fósforo y el azufre se consideran impurezas y se limitan a un máximo de 0,04 % y 0,05 %, respectivamente (Ramos, 2013).

Las propiedades mecánicas del acero A36 están especificadas por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM).

- La resistencia a la tracción del acero A36 debe ser de al menos 36 psi (0,248 MPa), y su límite elástico debe ser de al menos 25 psi (0,172 MPa). El acero A36 también debe tener una ductilidad mínima de 20 %.
- El acero A36 tiene una densidad de 7 850 kg/m³ y un punto de fusión de aproximado de 1 811,15 K (1 538 °C)
- El acero A36 es un acero versátil que se utiliza en una variedad de aplicaciones. Es una buena elección para la construcción de estructuras, como edificios, puentes y barcos. También se utiliza en la fabricación de equipos mecánicos, como máquinas herramientas y motores.

2.2.6 *Material de aporte AWS A5.29*

AWS A5.29 es una especificación de la American Welding Society (AWS) para electrodos de acero de baja aleación para soldadura por arco con núcleo de fundente (FCAW). Los electrodos AWS A5.29 están diseñados para una variedad de aplicaciones, incluyendo estructuras, construcción naval, maquinaria y equipo.

Los electrodos AWS A5.29 están disponibles en una variedad de clasificaciones, cada una con sus propias propiedades mecánicas. Las clasificaciones más comunes son E71T-1C, E70T-1C y E60T-1C. El E71T-1C es el electrodo de uso más general, con una resistencia a la tracción de 71 psi (0,489 MPa). El E70T-1C tiene una resistencia a la tracción de 70 psi (0,482 MPa), y el E60T-1C tiene una resistencia a la tracción de 60 psi (0,414 MPa).

Los electrodos AWS A5.29 son fáciles de usar y producen cordones de soldadura de alta calidad. Son una buena opción para una variedad de aplicaciones.

2.2.7 Soldadura

La soldadura es un proceso de unión de dos o más piezas de metal fundiendo o calentando los bordes de estas piezas hasta que se unan. La soldadura se puede utilizar para unir una variedad de metales, incluidos acero, aluminio, cobre y titanio (Niebles & Arnedo, 2009).

Hay muchos tipos diferentes de soldadura, cada uno con sus propias ventajas y desventajas. Algunos de los tipos más comunes de soldadura incluyen:

- Soldadura por arco eléctrico: Este es el tipo de soldadura más común. Utiliza una corriente eléctrica para calentar un electrodo, que luego se derrite y se deposita en el metal base.

- Soldadura MIG: Este tipo de soldadura utiliza un alambre de metal que se derrite y se deposita en el metal base.
- Soldadura TIG: Este tipo de soldadura utiliza un electrodo de tungsteno que no se funde. El calor se genera mediante una corriente eléctrica que pasa a través del electrodo y el metal base.

2.2.8 Norma nacional americana AWS D1.1:2020

La norma AWS D1.1:2020 es un código de soldadura de acero estructural publicado por la American Welding Society (AWS). Es uno de los códigos de soldadura más utilizados en el mundo y cubre los requisitos para soldar cualquier tipo de estructura soldada hecha de aceros de construcción al carbono y de bajo contenido de aleaciones. Este código, preparado por el comité D1 de soldadura estructural de la Sociedad Americana de Soldadura AWS (2020).

Esta norma tiene 8 capítulos los cuales resumiremos para su comprensión.

- Capítulo 1: Alcance: Establece el alcance de la norma y define los términos utilizados en el documento. La norma cubre la soldadura de cualquier tipo de estructura soldada hecha de aceros de construcción al carbono y de bajo contenido de aleaciones.
- Capítulo 2: Materiales: Establece los requisitos para los materiales que se utilizarán en la soldadura. Los materiales deben cumplir con los requisitos

especificados en el estándar de la American Society for Testing and Materials (ASTM).

- Capítulo 3: Procedimientos de soldadura: Establece los requisitos para los procedimientos de soldadura. Los procedimientos de soldadura deben ser calificados y deben cumplir con los requisitos especificados en el documento.
- Capítulo 4: Calificaciones de soldadura: Establece los requisitos para las calificaciones de soldadura. Los soldadores y los operadores de soldadura deben ser calificados y deben cumplir con los requisitos especificados en el documento.
- Capítulo 5: Inspecciones y ensayos: Establece los requisitos para las inspecciones y ensayos de las soldaduras. Las soldaduras deben ser inspeccionadas y ensayadas para determinar si cumplen con los requisitos especificados en el documento.
- Capítulo 6: Documentación: Establece los requisitos para la documentación de la soldadura. Se debe mantener una documentación adecuada para registrar el proceso de soldadura y garantizar que las soldaduras cumplan con los requisitos especificados en el documento.
- Capítulo 7: Procedimientos especiales: Establece los requisitos para los procedimientos especiales de soldadura. Los procedimientos especiales de

soldadura son aquellos que no están cubiertos en los capítulos anteriores del documento.

- Capítulo 8: Anexos: Contiene información adicional sobre la norma, incluye disposiciones de soldadura en áreas sísmicas, entornos marinos y plantas de energía nuclear.

2.2.9 Aceros aleados

Una definición precisa sobre un acero aleado es indicada por Puente (1981), donde refiere que este tipo de aceros, adicionalmente de elementos como carbono, silicio, manganeso, fósforo y azufre, poseen también cantidades significativas de molibdeno, cromo, níquel, vanadio, wolframio, cobalto, circonio, titanio, selenio, aluminio, niobio y boro.

Estos últimos elementos mencionados confieren propiedades muy variadas de acuerdo a las proporciones utilizadas, propiedades que no se pueden ser alcanzadas con elementos ordinarios adicionales al carbono como silicio, fósforo y azufre.

Los aceros aleados pueden clasificarse según:

- Su utilización: Aceros de construcción, aceros de herramientas
- Su estructura microscópica: Aceros perláticos, martensíticos, austeníticos, ferríticos y con carburos, esto de acuerdo con la estructura con la que

quedan los aceros después del tratamiento térmico (calentamiento y forma de enfriamiento).

- Por su composición química: De acuerdo con el contenido de los elementos que conforman la aleación, existen normas como AISI, SAE y DIN que indican las especificaciones y contenidos metálicos de estos aceros.

2.3 Proceso de Soldadura

Caballero (2016) menciona que existen varios procesos de soldadura por arco eléctrico. Los más usados son los siguientes:

- Shielded Metal Arc Welding (SMAW)
- Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) y Pulsed GTAW (GTAW-P)
- Flux-Cored Arc Welding (FCAW)
- Submerged Arc Welding (SAW)
- Gas Metal Arc Welding (GMAW) para los siguientes modos de transferencia: 1) spray (GMAW-Sp); 2) short circuiting (GMAW-S); 3) pulsed (GMAW-P) y 4) globular (GMAW-G)
- Electrode Gas Welding (EGW)
- Plasma Arc Welding (PAW)

2.3.1 Soldadura por arco con núcleo fundente - FCAW

FCAW es el acrónimo de soldadura por arco con núcleo fundente en español. Es un proceso para soldadura automática donde se emplea electrodos tubulares que posee un fundente y un gas protector. FCAW es un proceso de soldadura con alambre tubular donde utiliza el calor para unir el arco eléctrico entre el hilo continuo tubular que se consume y el metal a soldar. Las ventajas de usar este tipo proceso radica en su elevada calidad y apariencia de soldadura, elevada velocidad de deposición, mayor tolerancia a contaminantes. Por otro lado, las limitaciones incluyen la generación de una mayor cantidad de humo, equipos más costosos y una eficiencia inferior a la de los alambres sólidos (Hernandez, 2020).

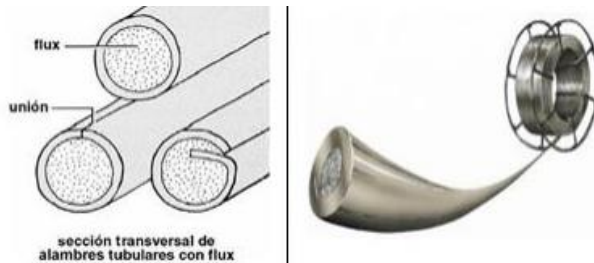
Badillo (2014), menciona que el proceso FCAW tiene como lineamientos básicos lo siguiente:

- Arco eléctrico: se genera al acercar el electrodo al metal base. Este genera calor que funde el electrodo y el metal base.
- Electrodo: es un alambre de forma tubular lleno de un fundente, que facilita la soldadura.
- Fundente: forma una nube protectora al evaporizarse que protege al metal base de la contaminación atmosférica, principalmente del oxígeno y nitrógeno.

- Movimiento del electrodo: el electrodo es movido a lo largo de las juntas de la soldadura para fundir el electrodo y el metal base para crear uniones o juntas.

Figura 3

Alambre tubular para la soldadura FCAW



Nota. Adaptado de *Desarrollo de un procedimiento de soldadura con proceso FCAW, mediante la aplicación del código AWS D1.1/2010 y d1.5m/d1.5 en puentes estructurales y análisis de la microestructura post soldadura*, por José Badillo, 2014, ESPC. CCO.

2.3.2 Tipos de polaridad en FCAW

En la soldadura, el término de polaridad se refiere a la dirección del flujo de corriente eléctrica entre el material base y el electrodo. En la soldadura FCAW, existen dos tipos de polaridad.

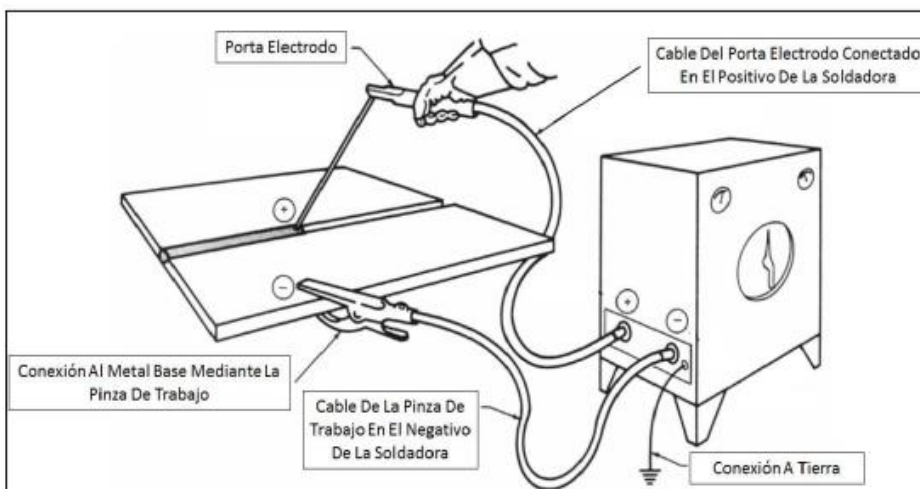
- **Polaridad directa (CCEN)**

En este tipo de polaridad, que es el más común, el electrodo está conectado al polo negativo de la fuente de alimentación y el material base al polo positivo. Según el autor, la polaridad directa produce una penetración menor, ya que los electrones fluyen

positivo, produce un arco más intenso, una mayor penetración, ideal para soldar materiales de espesor grueso, y una escoria más densa (Contreras, 2022).

Figura 5

Soldadura en polaridad inversa



Nota. Adaptado de *Evaluación de Soldaduras de Filete con Penetración Completa por Proceso FCAW Autoprotégido Mediante Líquidos Penetrantes*, por Oscar Contreras, 2021, BUAP. CCO.

- **Electrodo positivo de corriente continua (DCEP)**

El electrodo positivo de corriente continua (DCEP) es conocido como un método para soldar que emplea una fuente de alimentación de corriente continua conectado con electrodo al polo positivo y el metal base al polo negativo. Lo que permite que el mayor calor se concentre en el electrodo logrando una mayor penetración. DECP se utiliza mayormente en FCAW y entre sus ventajas encontramos;

por ejemplo, una mayor penetración y mejor estabilidad del arco generando mayor calor (Camacho, 2014).

2.3.3 Metal de aporte para soldadura FCAW

El metal de aporte es utilizado para llenar espacios entre dos materiales soldados por fusión. Sirven para crear una unión entre estas piezas de metal y ocupan los espacios vacíos encontrados entre dos materiales unidos. Este metal de aporte se funde y se mezcla con el metal base. Además, este se selecciona en función del material base a utilizar, el proceso de soldadura y los resultados finales que se desea obtener (Sailema, 2014).

El metal de aporte para soldaduras, como ya se mencionó, depende del material base a utilizar y se muestran algunos casos:

- Acero al carbono: AWS E70T-1, AWS E71T-1, AWS E80T-1
- Acero inoxidable: AWS E308L-T1, AWS E316L-T1
- Aluminio: AWS ER5356, AWS ER5183
- Aleaciones de cobre: AWS ERCuSi-A

2.3.4 Tipos de transferencia

En la soldadura de FCAW, la transferencia de metal es la forma en la que el material de aporte se funde y se solidifica en el charco de soldadura, área del metal fundido (Rios, 2021).

- **Globular**

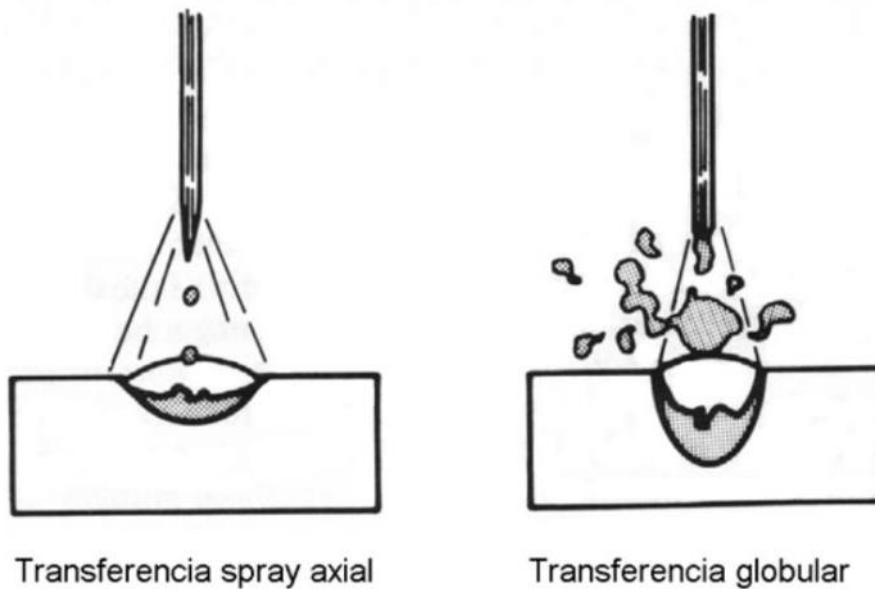
En la transferencia globular, se produce una unión de piezas de aspecto rugoso y con una gran cantidad de salpicaduras. Además, el tamaño de gota es mayor al diámetro del alambre que se está empleando. Este tipo de transferencia son poco estables y en su mayoría son rechazados debido a un gran número de salpicaduras que posee (Ajila, 2007).

- **Spray**

En la transferencia por spray, el resultado es un flujo de gotas grandes y disecionados; es decir, produce una soldadura de aspecto suave y con un buen acabado y es el tipo de transferencia más usado en FCAW (Ajila, 2007).

Figura 6

Tipos de transferencia en FCAW



Nota. La imagen muestra la soldadura según el tipo de transferencia. Adapta de *Modos de Transferencia*, por Granja e Hidalgo, 2019, Grupo Acura([GMAW: la soldadura de los metales \(grupoacura.com\)](http://grupoacura.com)). CCO.

2.3.5 Juntas de soldadura

Jiménez (2016) menciona que una junta es la unión por soldadura de dos o más piezas de metal y existen varios tipos de juntas según su forma y entre los más comunes encontramos en la siguiente tabla:

Tabla 3

Tipos de juntas

Juntas	Término en ingles
Junta a tope	Butt joint
Junta en T	T-joint
Junta en esquina	Corner joint
Junta de traslape	Lap joint

Nota. El cuadro muestra los diferentes tipos de unión entre piezas de metal por soldadura.

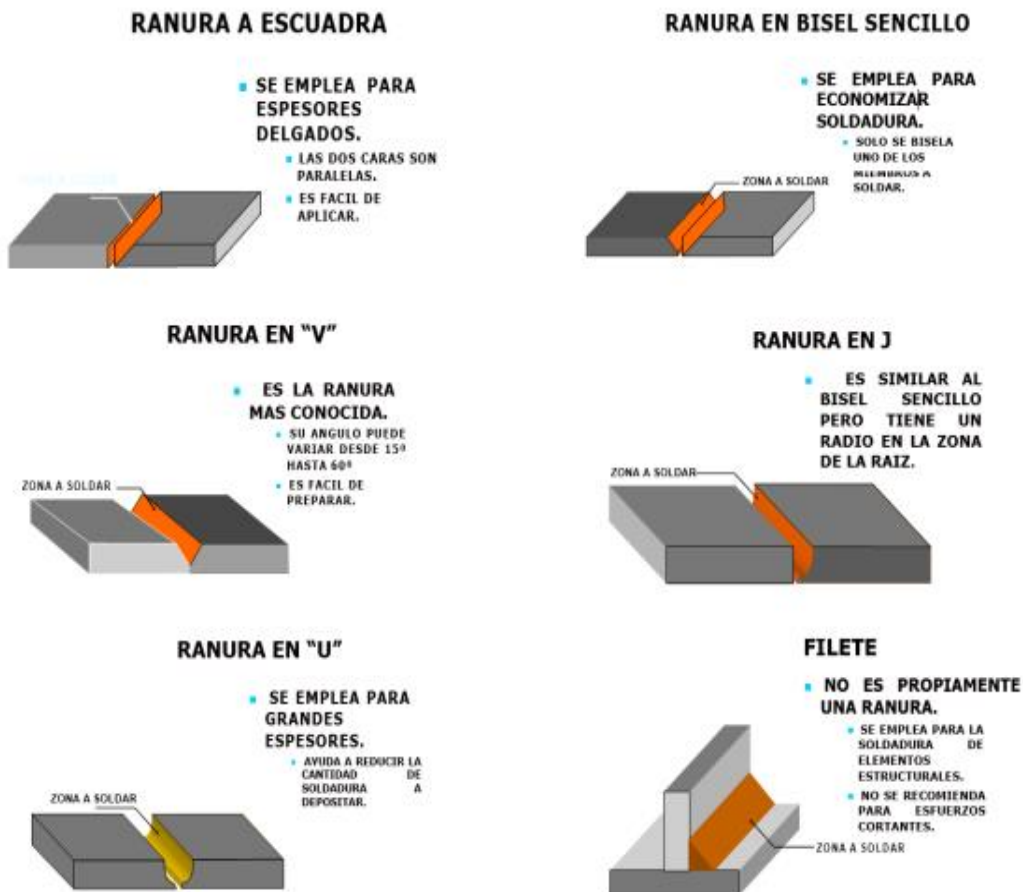
Estos tipos de juntas de soldadura son clasificados según su forma y su configuración.

- Juntas a tope: son las más simples y se dan cuando las superficies de las piezas del metal se colocan una sobre otra.
- Juntas T: cuando las piezas de metal se sueldan y forman una T.
- Junta en esquina: cuando dos piezas de metal se sueldan con un ángulo de 90°.
- Junta de traslape: se dan cuando las piezas se superponen.

Por otro lado, las partes de las juntas soldadas son variadas y existe ya una literatura establecida que facilita describir de forma correcta cualquier unión. Esto es importante, ya que facilita inspeccionar y elaborar mejores reportes.

Figura 7

Juntas y nomenclaturas



Nota. Adaptado de *Comportamiento de la Soldadura en Estructuras de Acero*, por Edmundo Jiménez, 2016, IPN. CCO.

2.3.6 Posiciones de soldadura

El tema de las posiciones en la soldadura es de gran importancia, ya que permite brindar al soldador especificaciones concretas para realizar la unión (Cornejo, 2023).

- Posición F: la F viene del inglés “filet”, que significa filete, y hace referencia a una posición donde las piezas a soldar se ubican a 90° y el depósito de soldadura posee una forma triangular.
- Posición G: la G viene del inglés “groove”, que significa ranura, indica la orientación en que se realiza la soldadura con respecto a la posición del metal base, entre ellas, plano, horizontal, vertical y sobre cabeza.

Tabla 4

Posiciones para el soldador en el trabajo de soldadura

Posición	En ranura	En filete
Plana o a piso	1G	1F
Horizontal	2G	2F
Vertical ascendente o descendente	3G	3F
Sobre cabeza	4G	4F
En tubo, sin rotación	5G	5F
En tubo a 45° de inclinación, sin rotación	6G	6F

Nota. La tabla muestra posiciones para soldaduras. La posición del soldador influye en el ángulo del electrodo y la junta de la soldadura.

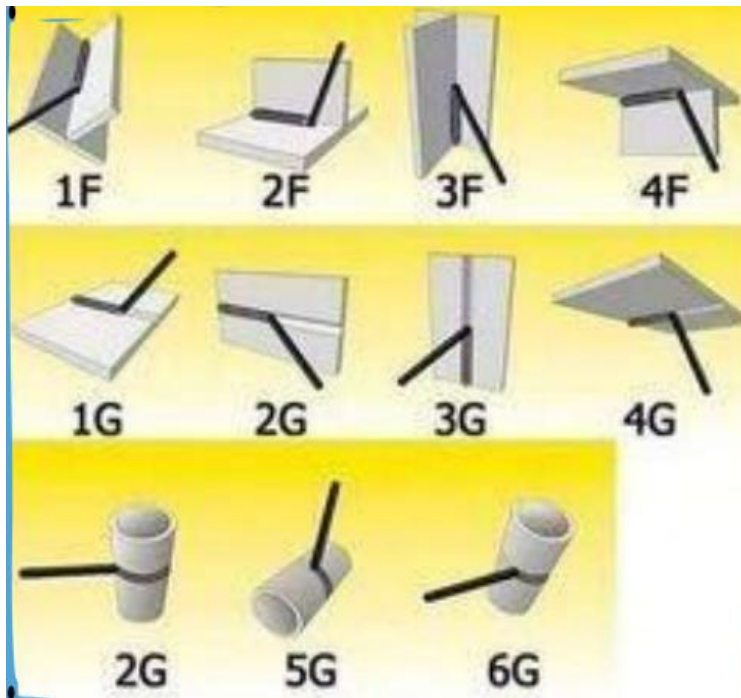
A continuación, se describe las posiciones de G y F, para su mayor comprensión y su esquema gráfico Figura 8.

- 1G es la posición de la soldadura plana, soldador de pie y la junta a soldar en el plano horizontal.
- 2G posición de soldadura horizontal, soldador de pie y la junta a soldar en un plano horizontal y el arco de soldar en horizontal.
- 3G posición de soldadura vertical, junta de soldar en posición vertical y el soldador de pie.
- 4G posición de soldadura de techo, junta a soldar de plano horizontal, soldador de pie y el arco de soldadura en posición de techo.
- 5G posición de soldadura de tubería horizontal fija, la junta a soldar se encuentra en una tubería fija horizontal y el soldador de pie.
- 6G posición de soldadura de tubería con ángulo de 45° , la junta a soldar tiene un ángulo de 45° y el soldador de pie.
- 1F es la posición de soldadura filete plana
- 2F es la posición de soldadura filete horizontal

- 3F es la posición de soldadura filete vertical
- 4F es la posición de soldadura filete techo
- 5F es la posición de soldadura filete tubería horizontal fija
- 6F es la posición de soldadura filetes tubería de 45°

Figura 8

Tipos de posiciones en soldadura



Nota. Adaptado de *Clase II/Soldadura*, Escuela Universitaria de Oficios, Universidad Nacional de la Plata, por

<https://yold.unlp.edu.ar/frontend/media/87/29587/37333a0398379abd9193a06b8be0141e.pdf>, 2018

2.3.7 Técnicas de soldadura

Al referirnos sobre técnicas de soldadura, se hace referencia a los distintos métodos y procedimientos que se utilizan para unir o soldar piezas metálicas. Según Sanz (2021), existen distintas formas de soldar con sus respectivas ventajas y desventajas las cuales se describen a continuación.

2.3.7.1 Soldadura manual

Este tipo de soldadura es la ordinaria, en la cual un soldador ejecuta el proceso manualmente. El soldador opera el equipo de soldadura para unir las piezas metálicas. Dentro de este tipo de soldadura, existen diversas variantes:

- Soldadura con electrodo revestido: se utiliza un electrodo recubierto que se funde para lograr el metal de aporte.
- Soldadura con alambre: se utiliza un alambre de soldadura que se funde para lograr el metal de aporte.
- Soldadura con fundente: se utiliza un fundente que actúa como una capa protectora contra el medio ambiente.
- Soldadura semiautomática: en este proceso de soldadura, el soldador controla el movimiento de la pistola de soldadura y el equipo de soldadura

brinda automáticamente el metal de aporte, lo que permite obtener un producto más rápido y eficiente respecto a la soldadura manual.

- Soldadura por arco sumergido: se utiliza un alambre de soldadura que se funde para crear el metal de aporte y el alambre de soldadura se aporta automáticamente a la pistola de soldadura.

Este tipo de soldadura es más compleja, ya que requiere de más equipos y mano de obra cualificada.

2.3.7.2 Soldadura mecanizada

Este tipo de soldadura produce mayor productividad y mejora la calidad de la soldadura, ya que el equipo de soldadura se controla de forma automática, existen varios tipos, siendo los más destacados:

- Soldadura MIG (metal inert gas): en este tipo de soldadura, se utiliza un alambre de soldadura que se funde para obtener el material de aporte, el metal fundido es protegido por la atmosfera creada por gases como argón o helio.
- Soldadura MAG (metal active gas): este tipo de soldadura es semejante a la soldadura MIG con la diferencia que emplea un gas de protección activo como el dióxido de carbono que interactúa con el metal fundido para mejorar la penetración y unión del metal.

2.3.7.3 Soldadura automática

Este tipo de soldadura es la más compleja por el tipo de máquinas que utiliza y los flujos de energía que necesita para su funcionamiento. Además, es un proceso donde la actividad humana es mínima y la producción de soldaduras son de la mayor calidad.

- Soldadura por láser automática: para este tipo de soldadura se emplea un rayo láser para unir el metal de la junta.
- Soldadura por electrones automática: para este tipo de soldadura se emplea un haz de electrones para unir el metal de la junta.

A continuación, se representa un resumen con las características más resaltantes de los tipos de soldadura.

Tabla 5

Principales diferencias entre los tipos de soldaduras

Característica	Soldadura Manual	Soldadura Semiautomática	Soldadura Mecanizada	Soldadura Automática
Control	Manual	Manual	Manual	Automático
Productividad	Baja	Media	Alta	Muy alta
Costo	Bajo	Medio	Medio	Alto
Aplicaciones	Amplia gama	Amplia gama	Aplicaciones repetitivas	Aplicaciones de alto volumen

Nota. La elección del tipo de soldadura depende de varios factores tipo de metal, espesor, aplicación, costos, entre otros.

2.4 Calificación del procedimiento de soldadura

2.4.1 Especificación de procedimiento de soldadura (WPS)

El documento escrito que proporciona las instrucciones a los soldadores por sus siglas en inglés WPS (welding procedure specification) contiene todos los parámetros necesarios a saber bajo los cuales se debe realizar el proceso de soldadura.

Algunos parámetros contenidos en este procedimiento son; por ejemplo, metales base, metales de aporte, posiciones, precalentamiento, uniones, tratamiento térmico (PWHT), gas, etc.

2.4.2 Registro de calificación de procedimiento (PQR)

El registro de los procedimientos es un elemento importante, ya que nos permite ver la evolución de los procesos y poder mejorarlos. Los datos de los trabajos de soldadura y los ensayos de las probetas deben ser registrados en el PQR (CESOL, 2012). El cual debe contener:

- Las variables esenciales de los procesos empleados en el procedimiento.
- Las variables suplementarias cuando se requiere Prueba de Impacto.
- El registro de las variables No Esenciales, a elección del fabricante.
- Cualquier otra información que se considere necesaria para la elaboración de la soldadura

2.4.3 Variables esenciales

La calificación del procedimiento de soldadura favorece a desarrollar soldaduras de calidad y aceptable. Para este fin, el WPS tiene definidos variables que nos ayudan a monitorear el proceso de soldadura. Estas variables se dividen en variables esenciales y no esenciales.

Las variables esenciales son todas aquellas que tienen un impacto directo con la calidad de la soldadura y estas son:

- Proceso de soldadura: El tipo de proceso de soldadura que se utilizará.
- Metal base: El tipo de metal que se soldará.
- Metal de aporte: El tipo de metal que se agregará a la soldadura.
- Condiciones de precalentamiento: La temperatura a la que se calentarán las piezas antes de la soldadura.
- Condiciones de calentamiento: La temperatura a la que se calentarán las piezas durante la soldadura.
- Condiciones de enfriamiento: La temperatura a la que se enfriarán las piezas después de la soldadura.

- Posición de soldadura: La posición en la que se realizará la soldadura.
- Tamaño de la junta: El tamaño de la junta que se soldará.
- Espesor del metal: El espesor del metal que se soldará.
- Parámetros de soldadura: Los parámetros específicos del proceso de soldadura, como el voltaje, el amperaje y la velocidad de avance

2.4.4 Variables no esenciales

Este tipo de variable no tienen un impacto directo, respecto a la calidad de la soldadura; sin embargo, son monitoreadas para poder obtener la unión esperada y se distingue de la variable esencial en que sus cambios o modificaciones no necesitan la reevaluación del procedimiento de soldadura.

- Disposición de la junta: La forma en que se colocarán las piezas para la soldadura.
- Medios de protección: Los medios que se utilizarán para proteger la soldadura del medio ambiente.
- Métodos de limpieza: Los métodos que se utilizarán para limpiar las piezas antes de la soldadura.
- Equipo de soldadura: El tipo de equipo de soldadura que se utilizará.

2.5 Control de calidad de uniones soldadas

El control de calidad de las soldaduras es un proceso para garantizar que las uniones soldadas cumplan con los requisitos establecidos y la Sociedad Americana de Soldadura (AWS), a través de AWS D1.1, fija parámetros para la aprobación de soldadores, procedimientos de soldadura y control de calidad para estas uniones soldadas. Esto último incluye una serie de inspecciones y pruebas para inspeccionar la calidad de las soldaduras como inspecciones visuales, dimensionales y mecánicas (Canga & Beltrán, 2019).

2.5.1 Inspección visual

La inspección visual es realizada a simple vista o con la ayuda de herramientas ópticas para evaluar la calidad de la unión soldada. Además, la inspección visual se utiliza para valorar la forma y el tamaño de la soldadura.

La norma AWS D1.1 menciona requisitos para una inspección visual; por ejemplo, la inspección lo realiza un personal capacitado, la inspección debe realizarse con una óptima iluminación, la unión debe estar libre y limpia de impurezas, la unión soldada se inspecciona en todos los ángulos posibles (Sanches, 2015).

Por otro lado, el procedimiento visual de uniones por AWS establece los siguientes pasos:

1. Preparación:

- El personal encargado debe estar capacitado para realizar las inspecciones en las uniones soldadas.
- El área de trabajo limpio e iluminado.
- La unión soldada debe estar limpia y sin contaminantes.

2. Inspección:

- El personal encargado debe inspeccionar las uniones soldadas en todas las direcciones.
- El personal debe usar herramientas y equipos de medición; es decir, lupa, linterna, regla, escalera, guantes, cintas métricas, entre otros.

3. Registro:

- El personal a cargo debe registrar las observaciones o anomalías en un informe de inspección.

2.5.2 Determinación de defectos de soldadura

La determinación de defectos de soldadura se conoce como el proceso que permite garantizar la calidad de las soldaduras. Para este fin, la norma AWS ha

desarrollado una serie de procedimientos y métodos para ayudar a determinar los defectos de las uniones soldadas (AWS D1.1, 2020).

- **Discontinuidades**

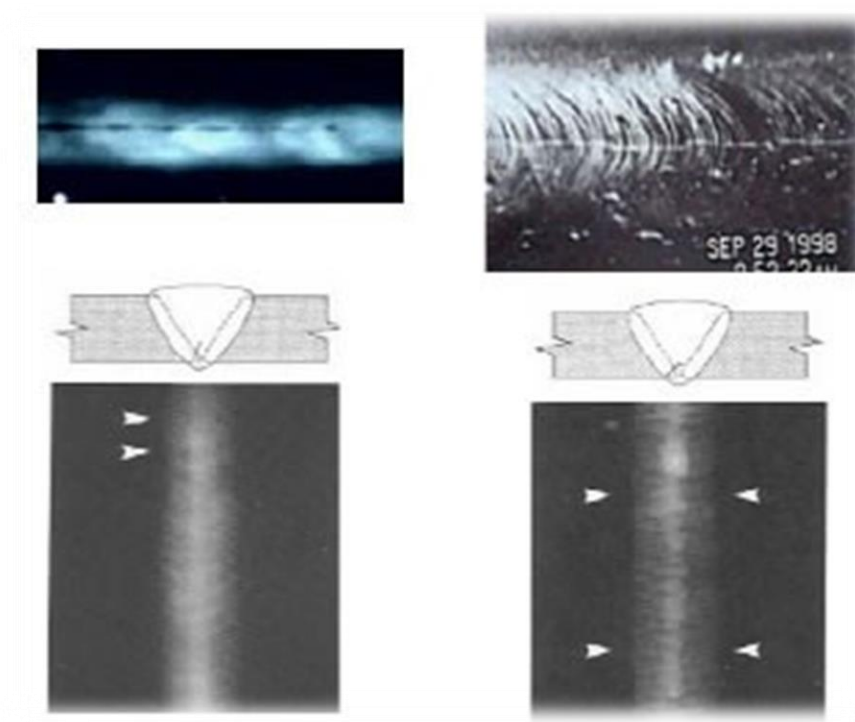
La discontinuidad en las uniones de las soldaduras se define como interrupciones en la estructura de una soldadura. Estas pueden estar en el metal base o en el metal de soldadura y en su mayoría se deben a métodos de soldadura incorrectos. Estas anomalías pueden causar problemas de rendimiento, seguridad y calidad, ya que reduce la resistencia mecánica de la soldadura haciéndole más susceptible a oxidaciones. Existen diferentes tipos de discontinuidades en la soldadura lo más resaltantes son; por ejemplo, discontinuidad por fisuras, falta de fusión, falta de penetración, inclusión.

- **Fisuras**

Las fisuras son causadas por la presencia de hidrógeno o por un enfriamiento rápido. Estas son de dos tipos abiertas o cerradas. En la siguiente Figura 9, muestra que las fisuras se han producido en el centro del cordón.

Figura 9

Fisuras en uniones soldadas



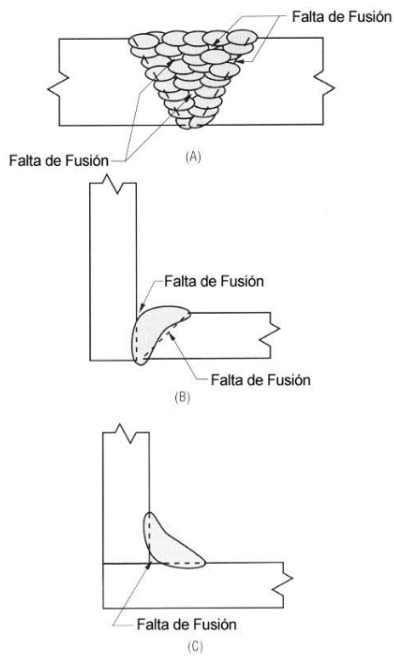
Nota. Adaptado de Imperfecciones en soldadura tipos de discontinuidades, por <https://metfusion.wordpress.com/2013/08/10/imperfecciones-en-soldadura-tipos-de-discontinuidades/>, 2013

- **La Falta de Fusión:**

La falta de fusión se debe a que el metal de base no se fusiona completamente con el metal de aporte. Puede ser por un bajo amperaje o el soldador realiza muy rápido el trabajo, técnica inadecuada de trabajo, condiciones de temperaturas demasiados bajos, material del metal de aporte con una temperatura de fusión demasiada alta (Camarena, 2016).

Figura 10

La falta de fusión en uniones de soldadura



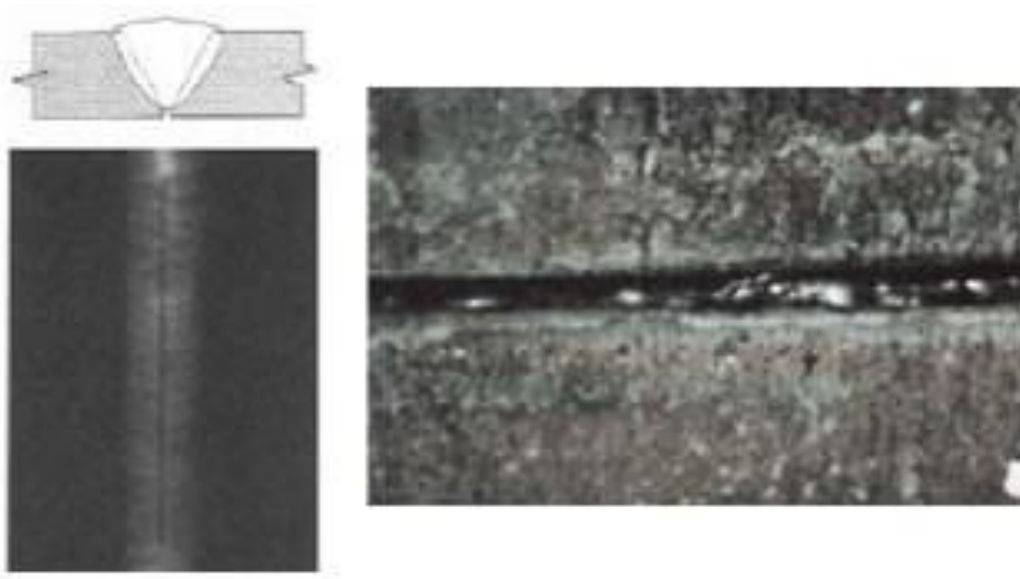
Nota. Adaptado de Imperfecciones en soldadura tipos de discontinuidades, por <https://metfusion.wordpress.com/2013/08/10/imperfecciones-en-soldadura-tipos-de-discontinuidades/>, 2013

- **La Falta de Penetración**

La falta de penetración se da cuando el metal de fusión no penetra por completo al metal base. Estas fallas aparecen cuando se trabaja con amperaje bajo. Es un tipo de discontinuidad superficial (Izurieta, 2017).

Figura 11

Falta de penetración en uniones soldadas



Nota. Adaptado de Imperfecciones en soldadura tipos de discontinuidades, por <https://metfusion.wordpress.com/2013/08/10/imperfecciones-en-soldadura-tipos-de-discontinuidades/>, 2013

- **Discontinuidad por Inclusión**

Discontinuidad por inclusión aparece cuando material extraño sólido o gaseoso es atrapado durante el proceso de fusión, posteriormente forman parte de la masa del metal soldado. En su mayoría debido a una contaminación externa o mala limpieza del metal de soldadura y/o metal base (Izurieta, 2017).

Figura 12

Discontinuidad por inclusión



Nota. Adaptado de Intech Peru Welding, por <https://intechperuwelding.com/2021/02/26/inclusiones-de-escoria/>, 2021.

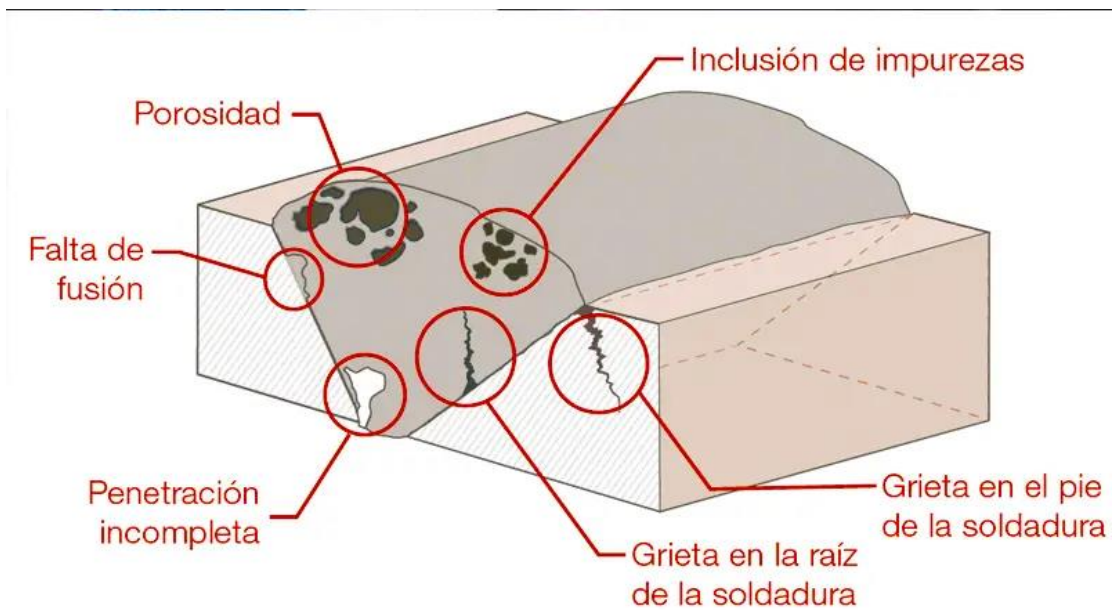
- **Porosidad**

La porosidad en la soldadura es una anomalía que se presenta por presencia de cavidades o poros en las uniones soldadas. Esto ocurre por varias razones; por ejemplo, cuando existen contaminantes en la superficie, como polvos, grasa y aceites; cuando la cobertura del gas de protección es deficiente, ya que este gas es

necesario para evitar que el nitrógeno del aire reaccione con el oxígeno en el metal fundido y se formen estos poros; cuando el metal de aporte presenta humedad, sulfuros o fósforo (Segura, 2015).

Figura 13

Soldadura con distintas discontinuidades



Nota. Adaptado de 6 defectos comunes en la soldadura, por https://aprendizindustrial.online/6-defectos-comunes-en-la-soldadura/#google_vignette.

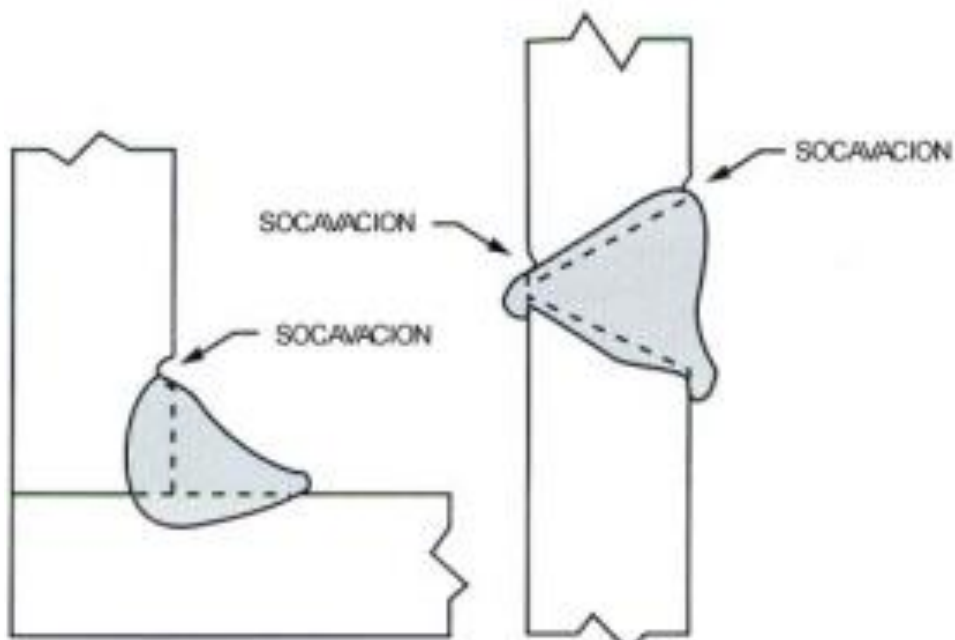
- **Socavaciones**

Las socavaciones son un defecto en soldadura que se da cuando el metal base se funde en la unión formando surcos. Esta anomalía se debe a varios factores; por

ejemplo, una atmosfera contaminada, temperatura demasiado alta, técnicas inadecuadas como la velocidad de avance (Segura, 2015).

Figura 14

Socavaciones en las uniones de soldadura



Nota. Adaptado de Imperfecciones en soldadura tipos de discontinuidades, por <https://metfusion.wordpress.com/2013/08/10/imperfecciones-en-soldadura-tipos-de-discontinuidades/>, 2013

2.5.3 Ensayos destructivos

Los ensayos destructivos en las uniones de soldadura se conocen como pruebas que se realizan a las soldaduras de los metales para determinar propiedades físicas y

mecánicas. Se caracterizan por que estos ensayos conllevan a la destrucción de la soldadura, para obtener información valiosa de los materiales.

- **Ensayos mecánicos**

Lean (2008) menciona que para obtener los valores de dureza requeridos en las juntas soldadas se prepara una probeta de soldadura, para después maquinarla. Entre sus propiedades mecánicas podemos encontrar:

Dureza: es la resistencia que ofrece un cuerpo a ser penetrado por otro

Ductilidad: la ductilidad de una soldadura es la capacidad de deformarse antes de romperse.

Tenacidad: la tenacidad es la capacidad de absorber energía antes de romperse. El material es sometido a esfuerzos lentos de deformación.

Ensayos de tracción: estos se utilizan para encontrar la resistencia y ductilidad de una unión de metales.

Ensayos de impacto: se utilizan para determinar la tenacidad de una soldadura

Ensayos de dureza: se utilizan para determinar la resistencia a la deformación de una soldadura.

2.5.4 Ensayos no destructivos

Los ensayos no destructivos en soldadura son pruebas que se realizan para detectar anomalías y se caracteriza por que no se destruye la estructura de la soldadura (Cona, 2015). Los ensayos no destructivos se clasifican en tres tipos:

- Ensayos de ultrasonido: estos ensayos se realizan para averiguar defectos internos en la soldadura.
- Ensayos superficiales: estos ensayos se realizan a nivel de la superficie de la soldadura.
- Ensayos penetrantes: estos ensayos se realizan para detectar anomalías a nivel de la superficie e internos.

2.6 Definición de términos

- Pruebas END: son las siglas de Ensayos No Destructivos
- MPa: Megapascales
- KN: Kilonewton
- Backweld: Soldadura realizada en el lado opuesto de una junta o soldadura principal.
- Backgouge: Preparación de la junta de soldadura donde se elimina material en el lado opuesto de la soldadura a fin de lograr una fusión adecuada y evitar defectos.
- Peening: Técnica donde se golpea o martillea la soldadura para mejorar su resistencia eliminando tensiones residuales.

- DCEP: “Direct current electrode positive”. Es un modo de corriente en soldadura donde se conecta el electrodo al lado positivo logrando mayor transferencia de calor directamente hacia el material para lograr una penetración más profunda.
- Ensayos UT: Ensayos no destructivos de ultrasonido.
- Metal de aporte: Material que se añade a la junta para ser llenada.
- Metal base: Material que se va a soldar.
- Fusión: Proceso de fundir dos elementos metálicos.
- Penetración: Es la profundidad alcanzada con la soldadura en la junta.
- Precalentamiento: Procedimiento de calentar el material antes de ser soldado.
- Posición de soldadura: Referido a la orientación del soldador cuando realiza la soldadura con respecto a la pieza.
- Cordón de soldadura: Es elemento fundido que une las piezas.
- Defectos de soldadura: Representan todas las imperfecciones generadas en el proceso de soldeo que disminuyen la calidad de la soldadura.
- Materiales disímiles: Son aquellos materiales que presentan diferente composición química y/o propiedades metalúrgicas.
- H/H: Horas hombre.
- H/M; Horas máquina

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y diseño de la investigación

El presente trabajo presenta características de investigación cuantitativa del tipo experimental aplicativo, en el desarrollo de los experimentos, la medición de las variables involucradas fueron realizadas de forma directa otorgándole carácter objetivo, fáctico y empírico, así mismo, su desarrollo tiene como objetivo final la aplicación del presente procedimiento en el contexto del desarrollo de las actividades de soldadura de los materiales ASTM A36 y plancha anti abrasiva 400 HB de la empresa metalmecánica donde se desarrolló esta investigación.

3.2 Población y muestra

El código AWS D1.1:2020 utilizado para el desarrollo del presente WPS especifica las características técnicas para la elaboración de probetas de soldadura, estos deben ser de materiales especificados según la sección 6 del código mencionado para poder ser calificados. Constituyen, para este caso en particular, dos planchas de aceros Hardox 400 y ASTM A36 como la población y muestra, ambas planchas proporcionadas por el área de logística de la empresa.

De esta forma se realizó un muestreo no probabilístico respaldado, además, con la experiencia de haber desarrollado y participado en la calificación de anteriores procedimientos de soldadura, estas dos planchas disímiles representan los cupones de soldadura y a partir de ellos, se obtendrán las probetas necesarias que serán sometidas a los ensayos respectivos.

3.3 Operacionalización de variables

Las características cuantitativas del presente trabajo conminan a definir cómo se va a medir a las variables. La norma AWS D1.1:2020 para el proceso de implementación y aprobación de la especificación del procedimiento de soldadura WPS, clasifica en tres los tipos de variables:

- Esencial
- No esencial
- Esencial suplementaria

De acuerdo con su naturaleza, estas variables pueden o no tener incidencia directa en la calidad del producto terminado, es decir, determinarán si los cupones o probetas cumplen o no con los criterios de aceptación para que el WPS pueda ser aprobado e implementado o si esta requiere recalificación, valores que estén fuera de los rangos establecidos en la sección 6 de la norma AWS D1.1:2020 obligarán a

recalificar al procedimiento implementado. La Tabla 6 muestra la designación de las variables esenciales consideradas para la conformación del WPS.

Tabla 6

Variables esenciales

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL
Metal base	El metal o la aleación que está soldado, soldado con latón, soldado a menor temperatura o cortado.	planchas de acero ASTM A36 y Hardox 400 HB
Proceso de soldadura	El tipo de soldadura utilizado para fundir dos metales entre sí logrando su unión cuando estos enfríen	FCAW
Temperatura de trabajo	Rango de temperatura que debe alcanzar el metal base antes del soldeo	Según espesor desde 343,15 K (70 °C) a 423,15 K (150 °C)
Posición	Posición del eje de soldadura en los diferentes planos a soldar	plana y horizontal

Sin embargo, la operacionalización de las variables requiere la estructuración de variables dependientes e independientes toda vez que la presente investigación es de tipo cuantitativa de tal manera que estas pruebas puedan ser replicadas a manera de guía práctica. Si bien la tesis es cuantitativa y utiliza variables dependientes e independientes, su objetivo principal no es la creación de un modelo matemático predictivo complejo, sino la conformación práctica del WPS. La naturaleza cuantitativa de la investigación sirve como herramienta para *informar* y *optimizar* este proceso de conformación, más que para construir un modelo estadístico generalizable a cualquier escenario. Las variables dependientes e independientes son indicadas en la Tabla 7.

El análisis cuantitativo se utiliza como base para desarrollar una herramienta de ingeniería (el WPS) que se valida por su funcionalidad y cumplimiento de normas en el mundo real, en lugar de perseguir la construcción de un modelo matemático predictivo para todas las situaciones posibles.

Tabla 7*Operacionalización de variables*

VARIABLES	DIMENSION	INDICADOR
Independientes		
Propiedades del material base y de aporte	Composición química	Porcentaje de principales constituyentes (%)
	propiedades mecánicas	Resistencia a la tracción (Mpa) Límite elástico (Mpa) Alargamiento (mm) Dureza (Brinell) Corriente (A) Voltaje (V) Velocidad de avance (mm/min)
Parámetros de soldadura	Parámetros del proceso FCAW	Diámetro del electrodo (mm) Gas de protección Precalentamiento (°C) Posición de soldadura
Dependientes		
Resistencia a la tracción de la soldadura	Resistencia mecánica de la unión soldada	Fuerza de rotura (Mpa)
Ensayo de flexión	Ductilidad y resistencia de la unión soldada a fuerzas de flexión	Porcentaje de deformación (%)
Examen visual	Calidad superficial de la soldadura	Escala de calificación de defectos visuales según norma AWS D1.1:2020
Ensayos no destructivos	Detección de defectos internos en la soldadura	Resultados de las pruebas END aplicadas (ultrasonido)

Nota. La tabla muestra la traducción de conceptos abstractos en términos concretos y medibles permitiendo recolectar datos relevantes para el estudio.

3.4 Procedimiento experimental

3.4.1 Equipamiento de soldadura

El criterio aplicado en la selección del equipo de soldeo y materiales usados en el desarrollo de la presente tesis obedece al siguiente cuestionamiento:

- ¿Qué material se va a unir?
- ¿Dónde se desarrollará la soldadura?
- ¿Qué tipo de acabado superficial es deseable?

Bajo los cuestionamientos mencionados, se describe los equipos y materiales utilizados:

- Máquina de soldar Warrior 500i
- Alambre de soldadura con núcleo de fundente AWS A-5.29
- CO₂: gas de protección para proceso Flux Cored (FCAW)

3.4.2 Especificación de procedimiento de soldadura preliminar (WPS)

Las siguientes consideraciones generales ayudaron a establecer de manera preliminar el WPS:

- **Proceso de soldadura**

La soldadura FCAW presenta una alta capacidad de penetración lo que disminuye la probabilidad de generar una fusión incompleta especialmente en aceros

con bajo contenido de carbono de espesor considerable (acero ASTM A36 de 0,2 a 0,3 % de carbono y Hardox 400 HB con 0,2 % de carbono); ventajas competitivas como la mencionada, así como velocidades de deposición relativamente altas, justifican el proceso de soldadura seleccionado en este trabajo.

Se consideró el uso de soldadura del tipo semiautomática por ser la técnica más común en la soldadura FCAW, según definición AWS, esta soldadura es realizada de forma manual y se efectúa con equipo que controla automáticamente una o más de las condiciones de soldadura (AWS D1.1, 2020), por lo que el avance de la pistola es controlado por el operador mientras que el alimentador de alambre controla la velocidad del material de aporte de forma automática, esta velocidad es previamente establecida.

Para la calificación del presente WPS se utilizó la máquina para soldar multiproceso Warrior 500i (ver Figura 15), entre sus principales características destaca su rango amplio de amperaje (hasta 500 amperios), así como su factor de potencia (capacidad de convertir la energía eléctrica en calor para la soldadura) de 92 % ya que cuenta con tecnología inverter.

Figura 15

Equipo de soldadura utilizado



Nota. Equipo multiproceso Warrior 500i

- **Material base**

El presente WPS aplica para planchas anti-desgaste CHRONIT, HARDOX, T1, DILLIDUR u otros con un rango de dureza entre 400 – 500 HB, los aceros mencionados no se encuentran en el listado de metales base aprobados por el código, y de acuerdo con la sección 6, estos aceros no homologados serán calificados por el PQR desarrollado según lo indicado en el apartado 6.8.3 correspondiente a calificación de metal base “... *Las WPS para metales base no enumerados en la Tabla 5.3 o Tabla 6.9 deben calificarse según la Sección 6*” (AWS D1.1, 2020); el material base será

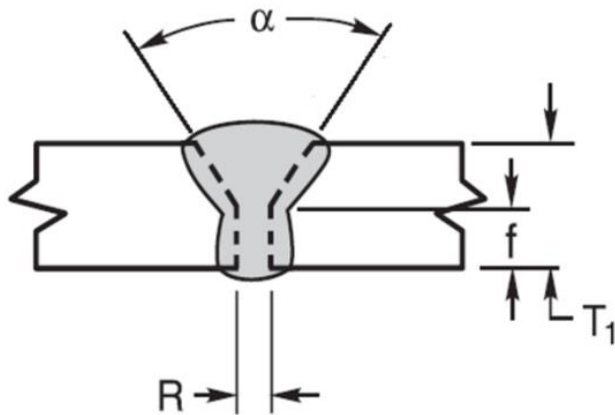
soldado al acero ASTM A-36 incluyendo aceros con metales base de los grupos I o II según clasificación AWS. Se manejará espesores de material base entre 3 y 25,4 mm.

- **Diseño de la junta**

Se consideró realizar una junta de penetración completa (JPC) con ranura a tope y rango de orientación entre juntas de 135° a 180°, biselado simple tipo “V” de 60° (+10°, -0°) mediante esmerilado, abertura y cara de raíz de 0 a 3 mm (+2, -0 mm). La Figura 16 indica las especificaciones de la junta empleada.

Figura 16

Detalle de la junta



Espesor T1:	ilimitado
Abertura de raíz R:	0 a 3 mm (+2, -0 mm)
Cara de raíz f:	0 a 3 mm (+2, -0 mm)
Ángulo de bisel:	60°

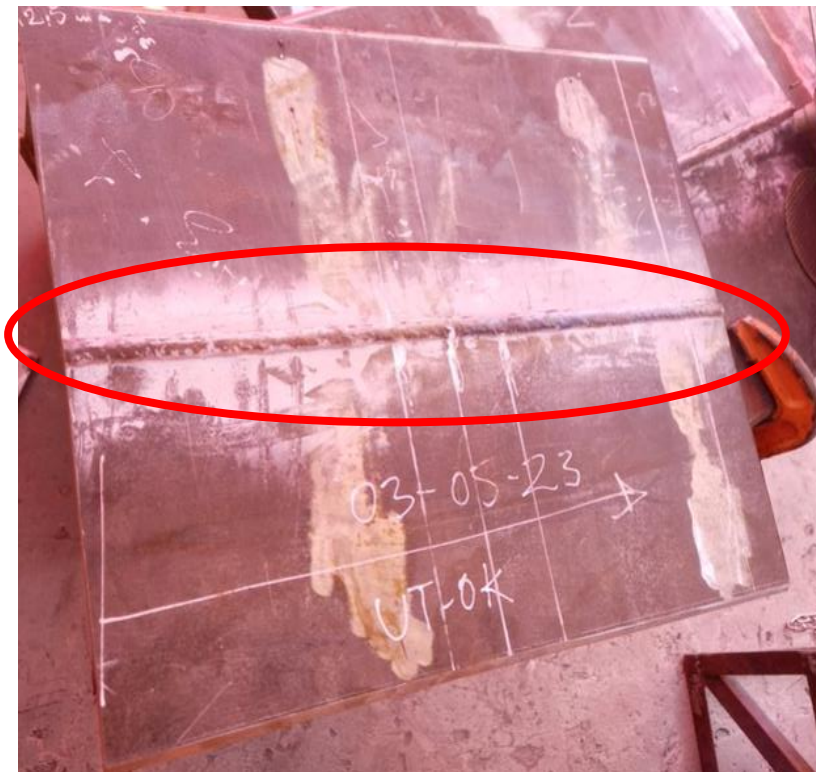
Nota. La figura muestra la designación AWS de la Junta: B-U2-GF. Adaptada del *Código de Soldadura AWS D1.1*, AWS, 2020.CCO.

- **Respaldo**

La junta antes mencionada utilizará un cordón de soldadura de respaldo también conocida como “backweld” que se realiza en el reverso de la junta para sellarla completamente a fin de prolongar su vida útil al no exponerla directamente a las inclemencias del medio de trabajo. En la siguiente Figura 17, el área cubierta por el círculo denota el respaldo realizado.

Figura 17

Backweld de junta



Nota. La soldadura se realiza en parte posterior previniendo los riesgos de erosión.

- **Metal de aporte**

Para lograr una soldadura símil entre las piezas a unir, es necesario considerar la composición química de los materiales involucrados, así como sus propiedades mecánicas para seleccionar el metal de aporte idóneo. Para este caso en particular, se utilizará el alambre tubular AWS A-5.29 de 1,2 mm de marca comercial BOHLER diamondspark E 81T1-Ni1C-JH4 como material de aporte.

Figura 18

Material de aporte



Nota: La figura es un alambre tubular Ni1 RC (C1). Adaptada de *SME NCO*, SMENCO, por www.smenco.com.au/product/diamondspark-ni1-rc/, 2020.

Este tipo de material está calificado como material de aporte según el código de soldadura AWS D1.1:2020, de acuerdo con la tabla 6.9 “Metales base y metales de aporte aprobados por el código” (Ver Anexo 1).

Dentro de las características principales para este tipo de material, podemos resaltar su revestimiento de cobre el cual mejora la transferencia de corriente a fin de generar un arco eléctrico muy estable, el contenido de Níquel (1 %) permite exponer el material a ambientes ácidos, este tipo de alambre forma un tipo de escoria de rápido enfriamiento por lo que genera altas tasas de deposición (Voestalpine Böhler Welding, 2020). La denominación RC de este tipo de alambre tubular es referido a que no cuenta con costura longitudinal lo que lo hace más fuerte y resistente a la corrosión.

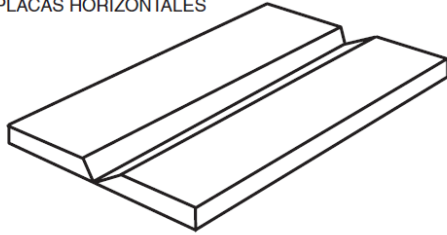
- **Posición**

Para la calificación del WPS se consideró cupones biselados que serán unidos en forma horizontal y vertical haciendo tope una con otra, es decir en posiciones 1G y 2G respectivamente, ver Figura 19.

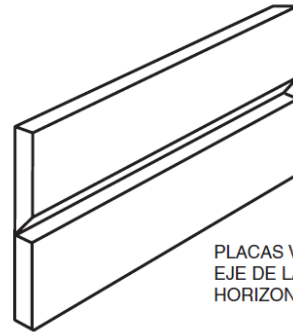
Figura 19

Posiciones de ensayo de soldadura plana y horizontal

PLACAS HORIZONTALES



(A) POSICIÓN DE ENSAYO DE SOLDADURA PLANA 1G



PLACAS VERTICALES;
EJE DE LA SOLDADURA
HORIZONTAL

(B) POSICIÓN DE ENSAYO DE SOLDADURA HORIZONTAL 2G

Nota: Placas horizontales (1G) y verticales (2G) con eje de la soldadura plana y horizontal respectivamente. Figura adoptada del código de soldadura *AWS D1.1, 2020*, AWS.

Figura 20

Posición 2G adoptada durante la soldadura



Nota: La pieza de trabajo es colocada en posición horizontal y la junta en el plano horizontal.

- **Gas de protección**

El código AWS D1.1:2020 establece el uso de gas protector que cumpla los requisitos exigidos por AWS A5.32M/A5.32 (Welding Consumables—Gases and Gas Mixtures for Fusion Welding and Allied Processes).

De acuerdo con las recomendaciones del fabricante del material de aporte se utilizará dióxido de carbono para garantizar una atmósfera de soldadura adecuada con los siguientes parámetros:

- Gas de protección: CO₂
- Composición de la mezcla (%): 100% CO₂
- Flujo: 23 - 30 L/min
- Tamaño de tobera: 10 – 15 mm

- **Temperatura de precalentamiento y entre pases**

Para el presente proceso FCAW, el precalentamiento corresponde a una variable esencial, estos valores así como la temperatura entre pasadas mínimas dependen de la composición del acero, como ya ha sido mencionado, el WPS será utilizado para un rango de aceros con características similares que difieren en su composición química, se utilizará un rango definido de temperaturas para el precalentamiento que estará en función del espesor de la plancha (ver Tabla 8), mientras que para la temperatura entre

pases se establecerá un rango de 423,15 K (150 °C) y no debe exceder los 473,15 K (200 °C).

Los valores establecidos de temperaturas, según la sección 6.8.4 del código AWS D1.1:2020, deben ser aprobados por el cliente y calificados por el ensayo del WPS.

Tabla 8

Temperatura de precalentamiento

Espesor	Temperatura
desde 3 mm hasta 38 mm	343,15 K (70 °C)
mayor a 38 mm hasta 65 mm	373,15 K (100 °C)
mayor a 65 mm	423,15 K (150 °C)

Nota: Temperaturas establecidas en el WPS a calificar

- **Características eléctricas**

El tipo de polaridad en el proceso de soldeo seleccionado guarda relación directa con la calidad y apariencia de la soldadura, a fin de aprovechar una mejor penetración por el tipo de circuito eléctrico y de acuerdo con el alambre tubular utilizado, el tipo de polaridad indicado en el WPS será de corriente directa de electrodo

positivo (DCEP), mientras que la transferencia del metal de aporte fundido podrá ser de tipo Globular o Spray con una fuente de poder alimentado con voltaje continuo (CV). Se especifica en la siguiente Tabla 9 los rangos concernientes a las características eléctricas que serán indicados en el WPS.

Tabla 9

Rango de características eléctricas

Características eléctricas	
Voltaje	22 a 27 V
Amperaje	162 a 231 A
Velocidad de avance del alambre	según demanda de amperaje
Velocidad de avance de soldeo	18 a 35 cm/min

Nota: Valores establecidos en el WPS a calificar

La Figura 21 muestra los valores de Voltaje = 23,5 y amperaje = 171, valores que se encuentran en el rango mencionado en la Tabla 9.

Figura 21

Amperaje y voltaje utilizados



Nota. Las características de soldadura deseadas, como la profundidad de penetración y tipo de soldadura, afectan los ajustes de amperaje y voltaje.

- **Técnica**

En los procesos de soldadura de proceso continuo (CV) como el flux-core (FCAW) es conveniente que el sentido de aplicación para la formación del cordón de soldadura sea empujando el baño de fusión, el movimiento de este baño puede ser de forma oscilatoria para formar cordones tejidos o sin ningún tipo de oscilación formando

de esta manera cordones rectos, el presente WPS exige específicamente la ejecución de cordones rectilíneos, ya sean de pase simple o multipases, así mismo, se debe mantener una distancia entre 15 a 20 mm entre la boquilla y el material base a fin de asegurar el arco eléctrico, finalmente el saneado entre pases puede ser realizado mediante cepillado con escobilla metálica o mediante esmerilado. Lo anteriormente descrito está ceñido a lo establecido en la sección 7.24.2 del código AWS D1.1:2020 donde quedan indicado que las técnicas para soldadura en ranuras deben ser similares a las especificadas para técnicas de soldaduras de tapón (7.24.1).

3.4.3 Ejecución del cordón de soldadura

Las especificaciones presentadas en la sección anterior 3.4.2 del presente trabajo de tesis permitieron establecer el procedimiento de soldadura preliminar, el cual será presentado con mayor detalle en la sección 4.1.2 correspondiente a los resultados obtenidos, de acuerdo con este procedimiento se ejecutó la soldadura de los cupones por un soldador integrante de la empresa; así mismo, se utilizó un formato de control para registrar los parámetros utilizados, este será la base para la elaboración posterior del PQR.

- **Preparación de la junta**

La siguiente figura muestra la junta biselada, se usó esmeril para el corte mecánico y limpieza de los bordes a fin de garantizar el espacio suficiente para depositar la soldadura, así como las condiciones idóneas para evitar defectos por una preparación inadecuada de la unión.

Figura 22

Junta biselada



Nota. La fotografía muestra la junta biselada para soldaduras más resistentes y reducir el riesgo de fisuración.

- **Posicionamiento de las piezas a soldar**

Mediante la siguiente figura se ilustra el posicionamiento de las piezas antes de iniciar con la soldadura.

Figura 23

Posicionamiento previo al soldeo



Nota. La fotografía muestra la posición para soldar permitiendo obtener uniones de calidad, reduce la distorsión y facilita la soldadura.

- **Pre calentamiento**

Para esta labor se utilizó una antorcha alimentada con gas propano comúnmente denominado soplete.

Figura 24

Pre calentamiento



Nota. El pre calentamiento busca elevar a la temperatura del metal base antes de soldar para garantizar una unión de calidad y libre de defectos.

- **Ejecución de pases**

De acuerdo con el WPS en desarrollo, puede realizarse de a 1 a 5 pases de soldadura a fin de garantizar la unión permanente de las piezas.

Figura 25

Pases de soldadura



Nota. Los pases permitieron obtener mayor resistencia, mejor apariencia y soldaduras de mayor calidad.

3.4.4 *Elaboración del registro de calificación de procedimiento (PQR)*

Está indicado en la sección 6.7 del código AWS D1.1:2020 que los valores específicos para la constitución de la WPS deben tener como fuente común al registro de calificación del procedimiento conocido como PQR, este registro valida la información vertida en la WPS sobre las variables esenciales, así como, los resultados de las pruebas realizadas a la unión soldada. El PQR elaborado sigue las recomendaciones del código en su anexo J para proceso de soldadura FCAW (ver anexo 2).

En el desarrollo del registro para la calificación del procedimiento, fueron tomadas las siguientes consideraciones específicas:

- Material Base: plancha Hardox 400 HB de 12,7 mm de espesor que será unida a plancha ASTM A-36 del mismo espesor, esta unión estará reforzada con material de respaldo “backweld”.
- Diseño de la junta: las características ya descritas en el WPS preliminar sobre el tipo, diseño y detalles de la junta permanecen inalterables en el PQR.
- Procedimiento: para este apartado se señala específicamente el flujo de gas de protección en 29 l/min, 373,15 K (100 °C) para la temperatura mínima de precalentamiento, mientras que la temperatura máxima entre pases será establecida en 423,15 K (150 °C); no se hace referencia a las otras características que complementan el procedimiento pues ya fueron detalladas en el WPS preliminar.

- Características eléctricas: queda referenciado específicamente una distancia de 15 mm desde la boquilla al material base; no se hace referencia a las otras características que complementan el procedimiento pues ya fueron detalladas en el WPS preliminar.
- Número de pases: la Tabla 10 detalla las características para cada tipo de pase, entendiendo que en cada uno de ellos se utilizó el mismo material de aporte E 81T1-Ni1C-JH4 con corriente directa de electrodo positivo.

Tabla 10

Valores para cada número de pases

Número de pases	Corriente	Voltaje	Velocidad de avance
	A	V	cm/min
Raíz	180	24	25
Relleno	200	25	24
Acabado	205	25	28
Backweld	210	25	27

Nota: Valores establecidos en el PQR

- Métodos de ensayo: el conjunto de ensayos que se aplicaron sobre las probetas sigue los lineamientos de la sección 6.10 del código AWS D1.1:2020, para ello previamente se preparó las probetas realizando cortes a la placa de ensayo de acuerdo con la figura 6.6 del código (ver anexo 3); así mismo, se preparó mecánicamente las probetas obtenidas de acuerdo con la figura 6.8 del código para doblado de cara y raíz, así como con la figura 6.10 del código para el ensayo de tracción de sección reducida (ver anexos 4 y 5 respectivamente). Es importante señalar que, en cuanto a la cantidad de probetas a ensayar, el apartado 6.11 del código indica, a través de la tabla 6.2 (ver anexo 6), que para este caso en particular son necesarias 2 probetas para doblado longitudinal de raíz y 2 para doblado longitudinal de cara, así como 2 probetas más para el ensayo de tracción. El ensayo de doblez fue realizado por el laboratorio metalúrgico de la división de soldadura de Bohler Perú sede en Arequipa, el ensayo UT fue realizado por personal de la empresa NDTECH en la ciudad de Arequipa y el ensayo de tensión fue realizado en las instalaciones del laboratorio de materiales de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

La norma AWS D1.1:2020 sección 6.10.3.2, indica que cuando exista diferencias marcadas en las propiedades de doblado mecánico de las piezas combinadas, se debe realizar ensayos de doblado longitudinal (cara y raíz). En el capítulo siguiente de Resultados y Discusiones se presenta en detalle el documento resultante PQR, así como los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos aplicados para la calificación de la WPS vertidos en el registro de calificación del procedimiento.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

4.1.1 Registro de calificación de procedimiento (PQR)

El documento que respalda una calificación exitosa a la WPS es el registro de calificación del procedimiento (PQR), en este son detallados los valores específicos de las variables esenciales, los resultados de los ensayos aplicados a las probetas tales como pruebas de tensión o tracción, pruebas de dobléz, ensayos no destructivos como la inspección por ultrasonido, inspección visual, resultados de ensayos de macroataque en pase múltiple y simple en caso de ser necesario; así mismo, deben consignarse los datos generales de las personas involucradas en el desarrollo del PQR, es decir, nombre de la persona designada para el soldeo de los cupones, nombre del supervisor encargado de la elaboración del PQR y nombres de cada una de las personas que realizaron los diferentes ensayos y el lugar donde fueron realizados.

A fin de poder ilustrar de manera didáctica la elaboración del PQR, se dividió en las siguientes partes la estructura del formato, se utilizó los resultados y las observaciones descritas en el procedimiento experimental (capítulo III).

- Parte A: Encabezado del formato
- Parte B: Material base
- Parte C: Tratamiento post-soldadura, diseño y detalle de la junta
- Parte D: Procedimiento aplicado
- Parte E: Características de los pases de soldadura
- Parte F: Resultados de prueba de tensión
- Parte G: Resultados de prueba de doblez
- Parte H: Inspección visual
- Parte I: Ensayo no destructivo
- Parte J: Ensayo de macroataque de pase múltiple y simple (solo referencial debido a que este tipo de ensayos están direccionados a juntas con ranura de filete, para este caso en particular se realizó juntas con ranura a tope)
- Parte K: Datos generales del soldador

4.1.1.1 Encabezado del formato

Se consignó los datos de la empresa, fecha, el nombre del WPS al que se le dará soporte, el número, código y versión del PQR.

Tabla 11

Parte A del PQR

	REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (Procedure Qualification Record - PQR)	Código: L-CC-FOR-017
		Versión: 1.0
		Fecha: 14/06/2023

Nombre de la empresa:	_____*	Fecha:	24/05/2003
N° PQR	_____PQR-LIV-2301_____	Soporte de WPS:	WPS-LIV-2301
Según código:	_____AWS D1.1 /D1.1M_____		

4.1.1.2 Material base

Se especifica en la Tabla 12 el material base utilizado, en este caso la plancha Hardox fue soldada sobre la plancha ASTM A36, el espesor de ambas planchas disímiles fue de 12,7 mm. Ambas planchas fueron soldadas utilizando un respaldo o backweld (ver Figura 17).

Tabla 12

Parte B del PQR

MATERIAL BASE	Especificación	Tipo y grado	Nº Grupo - AWS	Espesor	Diámetro	Cédula	Diámetro
Material base	HARDOX	400 HB	-	12,7 mm	-	-	-
Soldado a	ASTM A-36	-	I y II	12,7 mm	-	-	-
Material de respaldo	Backweld	-	-		-	-	-
Otro:							

4.1.1.3 Tratamiento post-soldadura, diseño y detalle de la junta

La Tabla 13 contiene las características del diseño de junta utilizado, se especifica la utilización de junta JPC (junta de penetración completa), es decir que se penetró todo el espesor de los materiales, la ranura a tope presento un ángulo biselado de 65° con abertura y cara de raíz de 3 mm, el área de soldadura fue esmerilada a fin de garantizar buena penetración (backgouging), no se precisó del tratamiento térmico a las planchas post-soldadura debido a que estas fueron sometidas a ensayos mecánicos post-soldadura.

Tabla 13

Parte C del PQR

DISEÑO DE JUNTA		DETALLE DE LA JUNTA	
Tipo de Junta	B-U2-GJ (JPC, Ranura a tope simple V en mm)	B-U2-GF	
Ángulo de Bisel	65°	$T_1 = 12,7 \text{ mm}$	$R = 3 \text{ mm}$
Abertura de Raíz	3 mm	$f = 3 \text{ mm}$	$\alpha = 65^\circ$
Cara de Raíz	3 mm		
Backgouging	Si		
Método	Esmerilado		
Otros	-		
TRATAMIENTO POST-SOLDADURA			
Temperatura	No usado		
Tiempo	-		
Otros	-		

4.1.1.4 Procedimiento aplicado

Acorde con la Tabla 14, donde se detalla las características y datos del procedimiento utilizado, se indica el proceso de soldadura FCAW semiautomático en posición 2G utilizado en la calificación del procedimiento de soldadura, el material de aporte utilizado fue AWS A-5.29, E 81T1-NiC-JH4, se utilizó gas de protección CO₂ con flujo de 29 L/min, también se detalla las temperaturas de precalentamiento y de pases utilizados. Las características eléctricas del equipo de soldadura utilizado indican que el electrodo fue conectado al polo positivo de la fuente de corriente y las piezas de trabajo fueron conectadas al polo negativo (DCEP) con transferencia de metal tipo spray, se mantuvo una distancia entre la boquilla de la antorcha y el material de base en 15 mm, se utilizó esmeril y escobilla de hierro para la limpieza entre pases.

Tabla 14

Parte D del PQR

PROCEDIMIENTO		Características Eléctricas	
Capa(s) de soldadura	3	Tipo de corriente y polaridad	DCEP
Pase(s) de soldadura	1 @ 5	Tipo de transferencia	Spray
Proceso	FCAW	Tipo de fuente	CV (voltaje constante)
Tipo (<i>semiautomático, mecanizado, etc.</i>)	Semiautomático	Técnica	
Posición	2G	Rectilíneo u oscilado	Rectilíneo
Progresión vertical	N.A.	Pase simple o multipase (por lado)	Simple y multipase
Metal(es) de aporte (AWS Spec.)	AWS A-5.29, E 81T1-NiC-JH4	Oscilación (mecanizado o automatizado)	No usado
Gas de protección (composición)	100 % CO ₂	Número de electrodos	1
Flujo	29 L/min	Dist. de boquilla al material base	15 mm
Temperatura de precalentamiento	373,15 K (100 °C) min	Martilleo y/o escariado (peening)	No usado
Temperatura de pases	423,15 K (150 °C) max	Limpeza entre pases	Esmerilado y escobilla metálica
Otros (marca comercial):	BÖHLER diamondspark Ni1 RC (C1)		

4.1.1.5 Características de los pases de soldadura

Se utilizó el mismo procedimiento de soldadura, así como el mismo tipo de material de aporte para todos los pases ejecutados, la intensidad de corriente varió en un rango de 180 a 210 para cada tipo de pase, así como en la velocidad de fusión, en cuanto al voltaje se utilizó 25 voltios para todos pases de soldadura excepto para el pase de raíz donde fue necesario 24 voltios.

Tabla 15

Parte E del PQR

Número de pases	Material de aporte			Corriente		Voltaje (V)	avance cm/min
	Proceso	Nombre	Diámetro	Tipo y polaridad	Intensidad (A)		
Raíz	FCAW	E 81T1-NiC-JH4	1,2 mm	DCEP	180	24	25
Relleno	FCAW	E 81T1-NiC-JH4	1,2 mm	DCEP	200	25	24
Acabado	FCAW	E 81T1-NiC-JH4	1,2 mm	DCEP	205	25	28
Backweld	FCAW	E 81T1-NiC-JH4	1,2 mm	DCEP	210	25	27

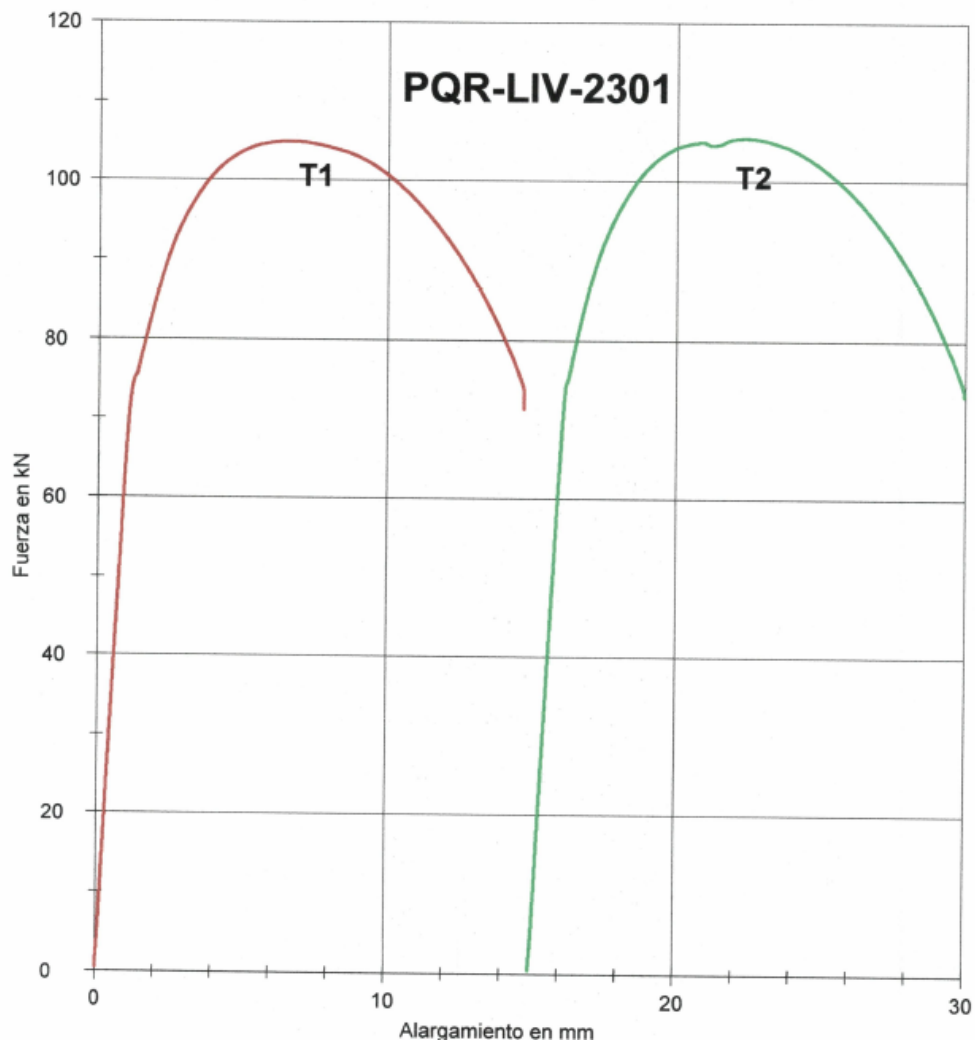
4.1.1.6 Prueba de tensión

Al tratarse de una unión disímil el criterio de aceptación, según la norma AWS D1.1:2020 sección 6.10.3.5, está en función del valor mínimo del rango de tracción del metal base utilizado, siendo en este caso 400 MPa correspondiente al acero ASTM A36. Este valor debe ser inferior a la resistencia a la tracción de la probeta ensayada, el método de ensayo es regulado por la norma ASTM A370-21 el informe de los resultados se encuentra en el anexo 9.

La Figura 26 representa la curva alargamiento en mm (eje x) versus los valores de fuerzas o cargas progresivas aplicadas a ambas probetas (eje y), la carga máxima aplicada indica el punto en el que las probetas se quiebran, en ambos casos se rompieron en el metal base y no sobre la soldadura, los valores de carga máxima obtenidos presentaron valores similares de $T_1 = 104,9 \text{ KN}$ y $T = 105,5 \text{ KN}$.

Figura 26

Curva fuerza – alargamiento



Nota: T1= 104,9 KN; T2 = 105,5 KN. Figura adaptada del Informe del *Ensayo de Tracción del Laboratorio de Materiales*, por PUCP, 2023.

La Tabla 16 muestra los valores de carga máxima antes del punto de quiebre, para el cálculo de la resistencia a la tracción se divide el valor de la carga máxima aplicada por el área transversal, siendo en este caso, 104,9 KN entre 224,0 mm² y 105,5 KN entre 225,6 mm², por lo que los valores resultantes son 468,3 MPa y 467,6 MPa para cada muestra respectivamente.

Tabla 16

Resultados del ensayo de tracción

MUESTRA		T1	T2
SECCIÓN TRANSVERSAL	ANCHO (mm)	20.00	20.05
	ESPESOR (mm)	11.20	11.25
	ÁREA (mm ²)	224.0	225.6
CARGAS (kN)	MÁXIMA	104.9	105.5
ESFUERZOS (MPa)	MÁXIMA	468	468

Nota: Nivel de cobertura k=2 (nivel de confianza de 95%). Figura adaptada del *Informe del Ensayo de Tracción del Laboratorio de Materiales*, por PUCP, 2023.

Ambas probetas presentan valores de resistencia a la tracción superiores a 400 MPa (acero ASTM A36), en base a los resultados mostrados y a manera de resumen, se elabora la Tabla 17 donde se ubica los valores de las pruebas de tensión efectuadas, así como el nombre de la persona responsable, lugar y fecha de realización de las pruebas.

Tabla 17*Parte F del PQR*

RESULTADOS DE PRUEBA DE TENSION						
MUESTRA	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Área (mm ²)	Fuerza (KN)	Esfuerzo máximo (Mpa)	Características de falla y lugar
T1	11,20	20,00	224,0	104,9	468	Fractura dúctil - rotura en metal base
T2	11,25	20,05	225,6	105,5	468	Fractura dúctil - rotura en metal base

Realizado por: Dr. Ing. Jose Sakihama U. Lugar de prueba: Laboratorio de materiales (PUCP)
 Identificación de la prueba: MAT-MAY-0545-2023 Fecha: 22/05/2023

4.1.1.7 Prueba de doblez

Para este ensayo el criterio de aceptación, según lo dispuesto por la normativa sección 6.10.3.3 del código AWS D1.1:2020, está en función del tamaño máximo indicado según sea el caso de discontinuidades en la superficie convexa de la probeta ensayada. En el ensayo de doblez a las cuatro probetas, según lo indicado en 3.4.4 del presente trabajo (métodos de ensayo), se utilizó un equipo de doblez portátil en concordancia con la norma ASTM A 370. La Tabla 18 muestra los resultados de los ensayos de doblez aplicado a las cuatro probetas, divididas en dos para la doblez longitudinal de raíz y dos para el doblez longitudinal de cara. Después de la inspección realizada, ninguna de las muestras presentó la ocurrencia de defectos o discontinuidades en su superficie por lo que se considera como aceptables según lo mostrado en la Figura 27 el informe detallado de los resultados se encuentra en el anexo 10 del presente trabajo.

Tabla 18

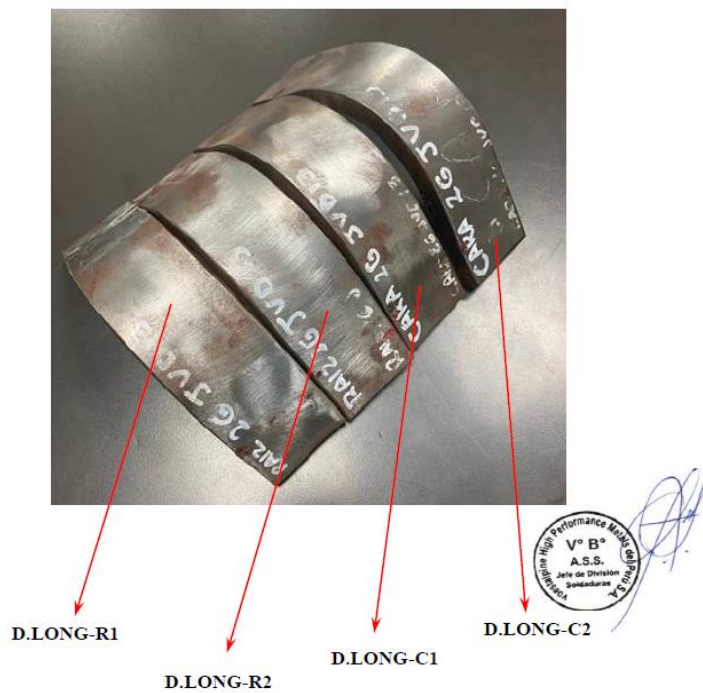
Resultados de ensayos de dobléz

PROBETA		RESULTADO	OBSERVACIÓN
D.LONG-R1	Doblez Longitudinal Raíz 1	ACEPTADO	No presentó ninguna indicación
D.LONG-R2	Doblez Longitudinal Raíz 2	ACEPTADO	No presentó ninguna indicación
D.LONG-C1	Doblez Longitudinal Cara 1	ACEPTADO	No presentó ninguna indicación
D.LONG-C2	Doblez Longitudinal Cara 2	ACEPTADO	No presentó ninguna indicación

Nota: Temperatura de ensayo = 20 °C, Adaptada del Informe de Doblez N° BÖHLER-ED-30-2023_AS, por BOHLER, 2023.

Figura 27

Doblez longitudinal



Nota: Referencia fotográfica. Adaptada del Informe de Doblez N° BÖHLER-ED-30-2023_AS, BOHLER

La Tabla 19 contiene los valores de las pruebas de doblez efectuados, así como el nombre de la persona responsable, lugar y fecha de realización de las pruebas.

Tabla 19

Parte G del PQR

RESULTADOS DE PRUEBA DE DOBLEZ			
MUESTRA	Tipo de doblez	Resultado	Observaciones
D.LONG-R1	Doble longitudin raiz 1	Aceptado	No presentó ninguna indicación
D.LONG-R2	Doble longitudin raiz 2	Aceptado	No presentó ninguna indicación
D.LONG-C1	Doble longitudin cara 1	Aceptado	No presentó ninguna indicación
D.LONG-C2	Doble longitudin cara 2	Aceptado	No presentó ninguna indicación

Realizado por: Ing. Alfi Sotelo Lugar de prueba: voestalpine BÖHLER Welding
 Identificación de la prueba: N° BÖHLER.ED-30-2023-AS Fecha: 17/05/2023

4.1.1.8 Inspección visual

La inspección visual involucró actividades de verificación antes de realizar el soldeo, desde el control de la calidad de los materiales consumibles y de aporte, la preparación de la junta, así como el de la operatividad de los equipos involucrados en el proceso de soldadura. Durante el soldeo, se verificó la temperatura entre pases, así como la limpieza entre los pases y los demás parámetros establecidos en el WPS.

La verificación visual realizada una vez concluida la soldadura y se realizó de acuerdo con los requisitos de la sección 6.10.1.1 del código AWS D1.1:2020, se elabora la Tabla 20 a partir de las siguientes afirmaciones:

- No se detectaron grietas ni discontinuidades en el cordón de soldadura, este es homogéneo, no se evidencia defectos de socavamiento, porosidad ni convexidad.
- La junta muestra una apariencia bastante aceptable con penetración completa, siendo indicativo de la aplicación de temperatura adecuada de fusión.

Tabla 20

Parte H del PQR

INSPECCIÓN VISUAL	
Apariencia:	Aceptado
Socavamiento:	Ninguna
Porosidad:	Ninguna
Convexidad:	Ninguna
Fecha de la prueba:	03/05/2023
Inspeccionado por:	Sup. Julio Mamani

4.1.1.9 Ensayo no destructivo

La sección 6.10.2.2 del código señala que los ensayos UT deben cumplir lo dispuesto en la sección 8 parte C, ahí se puntualiza que las soldaduras sometidas a ensayos no destructivos deben haber sido considerados como aceptables previamente en la inspección visual, estos ensayos deben realizarse una vez que la soldadura alcance temperatura ambiente. Para este ensayo el criterio de aceptación está en función de las discontinuidades reflejadas durante la medición o escaneo, discontinuidades que a su

vez tendrán impacto sobre la integridad de la soldadura, se clasifican en cuatro tipos las discontinuidades según sea su severidad, esta clasificación varía con el tamaño de la soldadura y el ángulo de inspección según lo dispuesto en la tabla 8.2 de la norma AWS D1.1:2020.

La Figura 28 muestra la inspección realizada con el equipo de ultrasonido SyncScan 2 de la marca SIUI, entre las principales especificaciones del ensayo se encuentra el ángulo de inspección, siendo en este caso 40° y 70° con una longitud de 900 mm de inspección, el detalle del registro de inspección de ultrasonido queda referenciado en el anexo 8.

Figura 28

Ultrasonido convencional



Nota: Escaneo utilizando transductor SIUI 5.0L16-0.5-9. Adaptada del *Informe del Ensayo de Ultrasonido*, por NDTECH, 2023.

El resultado de la calificación del ensayo es aceptable al no encontrar ningún tipo de discontinuidades según la Tabla 21 correspondiente al registro de inspección proporcionado por la empresa especialista.

Tabla 21

Registro de inspección de ultrasonido

ELEMENTO	JUNTA	LONGITUD INSPECCIONADA (mm)	PROFUNDIDAD DE INSPECCION (mm)	FECHA	ANGULO DE INSPECCIÓN	UBICACIÓN DE DISCONTINUIDAD (mm)
CUPÓN	J-01	900	12	03/05/2023	40° - 40°	-

LONGITUD DE LA DISCONTINUIDAD (mm)	TIPO DE CLASE	PROFUNDIDAD DESDE LA SUPERFICIE (mm)	OBSERVACIONES	RESULTADO	
				ACEPTADO	OBSERVADO
-	-	-	-	OK	-

Nota: Ensayo UT calificado como aceptado. Adaptada del *Informe del Ensayo de Ultrasonido*, por NDTECH, 2023.

En base a estos resultados, se elabora la Tabla 22 de ensayos no destructivos

Tabla 22

Parte I del PQR

ENSAYO NO DESTRUCTIVO	
Nº de informe por	-
Empresa:	-
Resultado:	-
Realizado por:	-
Nº de informe por	14-PAUT-LIVIGUI-23
Empresa:	NDT Technologies SAC
Resultado:	Aceptado
Realizado por:	Ing. Juan Surco A.

A continuación, se indica solo a manera referencial las partes J y K del PQR respectivamente, en el caso de primera no se realizó ninguno de los ensayos mencionados, y en el caso de la última solo se consigan datos del soldador y supervisor.

Tabla 23

Parte J del PQR

MULTIPASE			
Medida mínima en pase múltiple			
Ensayo	Medida	Ensayo	Medida
Nº 1	-	Nº 3	-
Nº 2	-		

ENSAYO DE MACROATAQUE EN PASE SIMPLE			
Medida mínima en pase simple			
Ensayo	Medida	Ensayo	Medida
Nº 1	-	Nº 3	
Nº 2	-	Nº 4	

Tabla 24

Parte K del PQR

PRUEBA DE SOLDEO REALIZADA POR:			
Nombre y apellido	Jean Carlos Ventura Díaz		
Nº de identificación	04671213	Nº de estampa	JVD13
Identificación de la prueba	Probeta soldada para PQR	Por:	Sup. Julio Mamani Colque

La Figura 29 (parte 1 del PQR) y la Figura 30 (parte 2 del PQR) fueron estructuradas bajo lo recomendado en el anexo J del código AWS D1.1:2020, se escogió un modelo de PQR propuesto para proceso de soldadura FCAW.

Figura 29

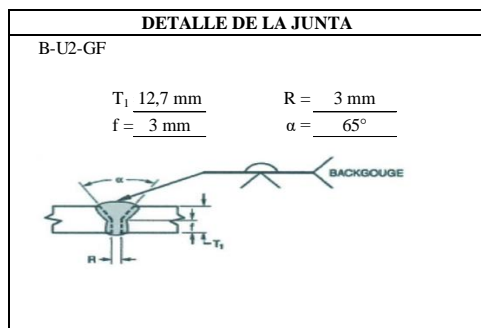
Registro de calificación de procedimiento 1 de 2

	REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (Procedure Qualification Record - PQR)	Código: L-CC-FOR-017
		Versión: 1.0
		Fecha: 14/06/2023

Nombre de la empresa: _____ * Fecha: 24/05/2003
 N° PQR: PQR-LIV-2301 Soporte de WPS: WPS-LIV-2301
 Según código: AWS D1.1 /D1.1M

MATERIAL BASE	Especificación	Tipo y grado	N° Grupo - AWS	Espesor	Diámetro	Cédula	Diámetro
Material base	HARDOX	400 HB	-	12,7 mm	-	-	-
Soldado a	ASTM A-36	-	I y II	12,7 mm	-	-	-
Material de respaldo	Backweld	-	-	-	-	-	-
Otro:							

DISEÑO DE JUNTA	
Tipo de Junta	B-U2-GJ (JPC, Ranura a tope simple V en mm)
Ángulo de Bisel	65°
Abertura de Raíz	3 mm
Cara de Raíz	3 mm
Backgouging	Si
Método	Esmerilado
Otros	-
TRATAMIENTO POST-SOLDADURA	
Temperatura	No usado
Tiempo	-
Otros	-



PROCEDIMIENTO		Características Eléctricas	
Capa(s) de soldadura	3	Tipo de corriente y polaridad	DCEP
Pase(s) de soldadura	1 @ 5	Tipo de transferencia	Spray
Proceso	FCAW	Tipo de fuente	CV (voltaje constante)
Tipo (semiautomático, mecanizado, etc.)	Semiautomático	Técnica	
Posición	2G	Rectilíneo u oscilado	Rectilíneo
Progresión vertical	N.A.	Pase simple o multipase (por lado)	Simple y multipase
Metal(es) de aporte (AWS Spec.)	AWS A-5.29, E 81T1-NiC-JH4	Oscilación (mecanizado o automatizado)	No usado
Gas de protección (composición)	100 % CO ₂	Número de electrodos	1
Flujo	29 L/min	Dist. de boquilla al material base	15 mm
Temperatura de precalentamiento	373,15 K (100 °C) min	Martilleo y/o escariado (peening)	No usado
Temperatura de pases	423,15 K (150 °C) max	Limpieza entre pases	Esmerilado y escobilla metálica
Otros (marca comercial):	BÖHLER diamondspark Ni1 RC (C1)		

Número de pases	Material de aporte			Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance cm/min
	Proceso	Nombre	Diámetro	Tipo y polaridad	Intensidad (A)		
Raíz	FCAW	E 81T1-NiC-JH4	1,2 mm	DCEP	180	24	25
Relleno	FCAW	E 81T1-NiC-JH4	1,2 mm	DCEP	200	25	24
Acabado	FCAW	E 81T1-NiC-JH4	1,2 mm	DCEP	205	25	28
Backweld	FCAW	E 81T1-NiC-JH4	1,2 mm	DCEP	210	25	27

Nota: Documento PQR implementado para la calificación de la WPS.

Figura 30

Registro de calificación de procedimiento 2 de 2

RESULTADOS DE PRUEBA DE TENSION						
MUESTRA	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Área (mm ²)	Fuerza (KN)	Esfuerzo máximo (Mpa)	Características de falla y lugar
T1	11,20	20,00	224,0	104,9	468	Fractura dúctil - rotura en metal base
T2	11,25	20,05	225,6	105,5	468	Fractura dúctil - rotura en metal base

Realizado por: Dr. Ing. Jose Sakihama U. Lugar de prueba: Laboratorio de materiales (PUCP)
 Identificación de la prueba: MAT-MAY-0545-2023 Fecha: 22/05/2023

RESULTADOS DE PRUEBA DE DOBLEZ			
MUESTRA	Tipo de doblez	Resultado	Observaciones
D.LONG-R1	Doble longitudi nal raíz 1	Aceptado	No presentó ninguna indicación
D.LONG-R2	Doble longitudi nal raíz 2	Aceptado	No presentó ninguna indicación
D.LONG-C1	Doble longitudi nal cara 1	Aceptado	No presentó ninguna indicación
D.LONG-C2	Doble longitudi nal cara 2	Aceptado	No presentó ninguna indicación

Realizado por: Ing. Alfi Sotelo Lugar de prueba: voestalpine BÖHLER Welding
 Identificación de la prueba: N° BÖHLER.ED-30-2023-AS Fecha: 17/05/2023

INSPECCIÓN VISUAL	
Apariencia:	Aceptado
Socavamiento:	Ninguna
Porosidad:	Ninguna
Convexidad:	Ninguna
Fecha de la prueba:	03/05/2023
Inspeccionado por:	Sup. Julio Mamani

ENSAYO NO DESTRUCTIVO	
N° de informe por RT:	-
Empresa:	-
Resultado:	-
Realizado por:	-
N° de informe por UT:	14-PAUT-LIVIGUI-23
Empresa:	NDT Technologies SAC
Resultado:	Aceptado
Realizado por:	Ing. Juan Surco A.

MULTIPASE			
Medida mínima en pase múltiple			
Ensayo	Medida	Ensayo	Medida
N° 1	-	N° 3	-
N° 2	-		

ENSAYO DE MACROATAQUE EN PASE SIMPLE			
Medida mínima en pase simple			
Ensayo	Medida	Ensayo	Medida
N° 1	-	N° 3	
N° 2	-	N° 4	

PRUEBA DE SOLDEO REALIZADA POR:			
Nombre y apellido	Jean Carlos Ventura Díaz		
N° de identificación	04671213	N° de estampa	JVD13
Identificación de la prueba	Probeta soldada para PQR	Por:	Sup. Julio Mamani Colque

Nota: Documento PQR implementado para la calificación de la WPS.

4.1.2 Especificación de procedimiento de soldadura (WPS)

La calificación del procedimiento debe estar en conformidad por lo dispuesto en la sección 6 del código AWS D1.1:2020, donde se exige la conformación por escrito del WPS, en esta debe especificarse todas las variables esenciales que por su naturaleza conminan a recalificar al procedimiento si fueran cambiadas, para ello debe considerarse los rangos o tolerancias para los ensayos de calificación específicos, las variables esenciales descritas en el presente procedimiento son: Proceso de soldadura FCAW, metal base planchas anti desgastes de 400 a 500 HB vs ASTM A-36, las temperaturas de precalentamiento y entre pasadas, y posición de soldeo. También han sido consideradas otras variables no esenciales en el presente procedimiento como el tipo de material de aporte que podría ser reemplazado por otro perteneciente al mismo grupo de metales de aporte calificados.

De acuerdo con la recomendación vertida en el apéndice J del código AWS D1.1:2020 “Ejemplos de formularios” (ver anexo 7), es permitido realizar modificaciones a estos formatos que se ajusten a las necesidades propias de cada usuario; la Figura 31 presenta la especificación del procedimiento de soldadura desarrollado.

Figura 31

Especificación de procedimiento de soldadura

ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (Welding Procedure Specific - WPS)				Código: LCC-FOR-017 Version: 1.0 Fecha: 14/06/2023		
Nombre de la empresa:	*			Fecha:	24/05/2003	
N° WPS	WPS-LIV-2301			Soportado por PQR	PQR-LIV-2301	
Según código:	AWS D1.1 /D1.1M			Reporte de Charpy	No requiere	

MATERIAL BASE	Especificación	Tipo y grado	N° Grupo - AWS	ESPEORES DE MATERIAL BASE	Tal y como esta soldado	tratamiento post-soldadura
Material base	PLANCHA ANTIDESGASTE	400-450-500 HB	-	JPC Soldadura de bisel	3 mm hasta 25,4 mm	-
Soldado a	ASTM A-36 (*2)	-	I ó II	JPC Soldadura de bisel/CVN	-	-
Material de respaldo (backing)	Material de soldadura Backweld					
Otros: (*1): Incluye a planchas antidesgaste como CHRONIT, HARDOX, T1, DILLIDUR u otros (*2): Incluye aceros con metales base de los Grupos I ó II						

DISEÑO DE JUNTA	
Tipo de Junta	B-U2-GJ (JPC, Ranura a tope simple V en mm) (*1)
Ángulo de Bisel	60° (+10°, -0°)
Abertura de Raíz	0 - 3 mm (+2, -0 mm)
Cara de Raíz	0 - 3 mm (+2, -0 mm)
Backgouging	Si
Método	Esmerilado
Otros: (*1) La orientación de los dos miembros en las juntas pueden variar desde 135° a 180° para juntas a tope	

TRATAMIENTO POST-SOLDADURA	
Temperatura	No requerido
Tiempo	-
Otros	-

DETALLE DE LA JUNTA (bosquejo)	
B-U2-GF	
T ₁ =	Ilimitado R = 0 - 3 mm (+2, -0 mm)
f =	0 - 3 mm (+2, -0 mm) α = 60° (+10°, -0°)

PROCEDIMIENTO		Características Eléctricas	
Capa(s) de soldadura	Todas	Tipo de corriente y polaridad	DCEP
Pase(s) de soldadura	Todos	Tipo de transferencia	Globular o Spray
Proceso	FCAW	Tipo de fuente (cc, cv, etc)	CV
Tipo (semiautomático, mecanizado, etc)	Semiautomático	Amperaje	162 - 231 A
Posición	Plana y Horizontal	Voltaje	22 - 27 V
Progresión vertical	N.A.	Velocidad de avance del alambre	(según amperios)
Metal(es) de aporte (AWS Spec.)	AWS A-5.29	Velocidad de avance de soldeo	18 - 35 cm/min
Clasificación AWS	E 81T1-NiC-JH4	Heat input máximo	-
Diámetro	1,2 mm	Técnica	
Marca / nombre comercial	BÖHLER Diamondspark Ni1 RC (C1)	Rectilíneo u oscilado	Rectilíneo
Gas de protección (composición)	100 % CO ₂	Pase simple o multipase (por lado)	Simple o multipase
Flujo	23 - 30 L/min // 35 - 50 CFH	Oscilación (mecanizado o automatizado)	-
Tamaño de tobera	10 - 15 mm	Número de electrodos	1
Temperatura de precalentamiento	343,15 K (70 °C) min (3 mm < e <= 38 mm) 373,15 K (100 °C) min (3 mm < e <= 38 mm) 423,15 K (150 °C) min (e > 65 mm)	Dist. de boquilla al material base	15 - 20 mm
Temperatura de pases	423,15 - 473,15 K (150 -200 °C) max	Martillo y/o escariado (peening)	No usado
		Limpieza entre pases	Esmerilado / escobilla metálica

Nombre:	JULIO CÉSAR MAMANI COLQUE SUPERVISOR DE CONTROL DE CALIDAD	Revisado por:	Ing. Alfi Romel Sotelo Sotelo Jefe de la División de Soldaduras
---------	---------------------------------------------------------------	---------------	--------------------------------------------------------------------

Nota: Documento elaborado para la calificación de la WPS.

4.2 Discusión de resultados

Esta tesis presenta la elaboración de un procedimiento de soldadura (WPS) para la unión disímil entre plancha antiabrasiva 400 HB y acero ASTM A36, siguiendo la norma AWS D1.1:2020, se utilizó esta norma debido a que cubre todos los requisitos de soldadura para todo tipo de estructuras soldadas con aceros al carbono y de baja aleación, siendo el primero el grupo al que pertenecen los aceros utilizados en este trabajo.

La discusión se centra en dos aspectos principales: la calificación del procedimiento (PQR) y la especificación del WPS resultante. Ambos fueron desarrollados basándose en los resultados de las pruebas experimentales, que muestran la viabilidad del procedimiento propuesto para el tipo de unión disímil específica.

4.2.1 Registro de Calificación del Procedimiento (PQR):

El PQR, detallado en las Figuras 29 y 30, documenta exhaustivamente el proceso de calificación. La información incluida en cada sección es crucial para asegurar la reproducibilidad y validez del WPS resultante:

- Encabezado (Parte A): La correcta identificación de la empresa, fecha, nombre y número del WPS, garantiza la trazabilidad del procedimiento.

- Material Base (Parte B): La especificación clara de los materiales (plancha Hardox 400 HB y acero ASTM A36), con sus espesores (12.7 mm), es fundamental para la reproducibilidad del procedimiento. El uso de backweld, como se describe en la Figura 17, se justifica para sellar completamente la junta por el lado opuesto a la soldadura principal.
- Diseño de la Junta (Parte C): El detalle de la junta de penetración completa (JPC) con ranura a tope y bisel de 65°, junto con las especificaciones de esmerilado (backgouging), evidencia una preparación adecuada para minimizar la posibilidad de defectos. La ausencia de tratamiento térmico post-soldadura se justifica por el posterior sometimiento a ensayos mecánicos.
- Procedimiento Aplicado (Parte D): La especificación del proceso FCAW semiautomático en posición 2G, tipo de material de aporte (AWS A5.29, E81T1-NiC-JH4), gas de protección (CO₂), flujo, temperaturas de precalentamiento y entre pases, así como las características eléctricas (DCEP, spray), son parámetros esenciales para replicar el procedimiento. Se destaca la meticulosidad en la medición y registro de cada parámetro, lo que es crucial para la validez del WPS resultante.

- Características de los Pases (Parte E): La consistencia en el procedimiento, utilizando el mismo material de aporte y manteniendo el mismo tipo de proceso en todos los pases, muestra la rigurosidad del trabajo experimental. La variación en la corriente y la velocidad de fusión para cada pase (raíz, relleno, acabado, respaldo) demuestran el conocimiento de las variables en un procedimiento eficiente.
- Ensayos de Tracción (Parte F): Los resultados de los ensayos de tracción (Fig. 26, Tabla 16 y 17) superan ampliamente los valores mínimos requeridos por la norma (400 MPa para ASTM A36), lo cual demuestra la excelente resistencia de la unión obtenida y valida el procedimiento. La falla en el metal base, y no en la soldadura, confirma la calidad de la soldadura realizada.
- Ensayos de Dobleces (Parte G): Los resultados de los ensayos de dobleces (Tabla 18 y Figura 27), mostraron resultados satisfactorios. La ausencia de discontinuidades indica la buena ductilidad y la capacidad de la unión para soportar esfuerzos.

- Inspección Visual (Parte H): El análisis visual confirma la homogeneidad del cordón de soldadura, la ausencia de defectos, y la penetración completa, respaldando la calidad del procedimiento.
- Ensayos No Destructivos (Parte I): Los ensayos de ultrasonido (Tabla 21 y Figura 28) no revelaron discontinuidades, lo que confirma la integridad interna de la soldadura. Esta información, en conjunto con la inspección visual, asegura la alta calidad del procedimiento.
- Ensayo de Macroataque (Parte J): Aunque no se realizó este ensayo para la configuración específica de esta investigación la omisión se justifica por el tipo de junta utilizado (junta a tope).
- Datos Generales (Parte K): La inclusión de la información del soldador y del supervisor asegura la trazabilidad y la responsabilidad por la realización de la soldadura.

4.2.2 Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS):

La Figura 31 muestra la especificación del WPS, que incorpora las variables esenciales y no esenciales del procedimiento. La conformidad del WPS con la norma AWS D1.1:2020 asegura la calidad y la reproducibilidad del procedimiento de soldadura. La inclusión de variables no esenciales proporciona una guía exhaustiva

para el soldador, disminuyendo la posibilidad de errores y asegurando la consistencia en la ejecución del trabajo.

CONCLUSIONES

- La elaboración del procedimiento de soldadura desarrollado en el presente trabajo de investigación tuvo en cuenta cuatro variables esenciales, siendo estos, el proceso de soldadura FCAW, metal base planchas anti-desgaste de 400 a 500 HB vs ASTM A-36, las temperaturas de precalentamiento y entre pasadas, así como la posición de soldeo.
- Las diferentes pruebas de soldadura efectuadas, posteriormente evaluadas y calificadas como aceptables sirvieron de base para la constitución del documento PQR elaborado en este trabajo permitiendo concluir de manera irrefutable que el procedimiento de soldadura WPS desarrollado para unión disímil entre plancha anti-abrasiva 400 HB y ASTM A36 según norma AWS D1.1:2020 garantizará la calidad de la unión soldada.
- El WPS desarrollado cumple con los requisitos exigidos por la norma AWS D1.1:2020, se sustenta esta afirmación con los resultados obtenidos en las evaluaciones que figuran en el registro de calificación del procedimiento
- La correcta aplicación de la metodología descrita puede contribuir significativamente a la disminución de defectos en las soldaduras, mejorando la seguridad y la fiabilidad de las construcciones en las que estas se aplican. Esta afirmación justifica la viabilidad de la implementación del procedimiento desarrollado debido a que el WPS obtenido está orientado a mejorar la productividad de la empresa metalmecánica donde fue desarrollado.

RECOMENDACIONES

- De acuerdo con los resultados obtenidos, se demostró la viabilidad de la implementación del presente WPS desarrollado, sin embargo, es necesario una vez implementado el presente procedimiento realizar el seguimiento respectivo a fin de hacer un análisis de costo-beneficio, análisis que es necesario para complementar el presente trabajo a fin de medir el grado de rentabilidad del procedimiento propuesto.
- Así mismo, una vez implementado el presente WPS, es altamente recomendable la ejecución de un sistema que permita asegurar el cumplimiento estricto por parte del personal directamente involucrado del WPS propuesto.
- El contexto de esta investigación es particularmente relevante en el panorama de la soldadura en Perú, donde, la aplicación de WPS no es una práctica común en la mayoría de los trabajos. Este estudio, por lo tanto, busca llenar un vacío significativo en la estandarización de las prácticas de soldadura y promover la mejora de la calidad y la eficiencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABINSUR. (2020). *Ficha técnica plancha antiabrasiva*.
- Ajila, L. (2007). *Estudio del Efecto de Mezclas de Gas de Protección Sobre las Características de Soldaduras Utilizando el Proceso GMAW*. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.
- AWS D1.1. (2020). Código de soldadura estructural - acero AWS D1.1/D1.1M:2020. In *American Welding Society* (24.^a).
- Badillo, J. (2014). *Desarrollo de un procedimiento de soldadura con proceso FCAW, mediante la aplicación del código AWS D1.1/2010 Y D1.5M/D1.5 en puentes estructurales y análisis de la microestructura postsoldadura*. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD.
- Caballero, S. (2016). Estudio del efecto del tratamiento térmico en las repetidas reparaciones por soldadura sobre la dureza, resistencia al impacto y microestructura en tuberías de acero aleado ASTM A335 grado P5. *PUCP*, 1–23.
- Callister, W., & Rethwisch, D. (2003). *Ciencia e ingeniería de materiales*. REVERTÉ.

- Camacho, B. (2014). Evaluación de la resistencia a la corrosión de uniones soldadas de acero inoxidable mediante proceso GTAW y material de aporte tubular [Pontificia Universidad Católica Del Perú]. In *Pontificia Universidad Católica Del Perú* (Vol. 96). http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6097/ACOSTA_CARLOS_DISEÑO_MAQUINA_REBANADORA.pdf?sequence=1
- Camarena, R. (2016). *Influencia de Parámetros de Soldeo en Unión de Tuberías del Proyecto Línea Impulsión de Agua Desalinizada – Cerro Lindo - Milpo*. UNCP.
- Canga, A., & Beltrán, C. (2019). *Control de Calidad en la Soldadura de la Estructura Metálica del Terminal de Transporte Terrestre del Cantón Gualaceo de la Provincia del Azuay*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA.
- Carrasco, P. (2022). *Implementación de procedimientos estándar de soldadura SMAW y FCAW según normas ASME IX y AWS D1.1 para mejorar el proceso de soldeo en la empresa FULL QUALITY PERU S.A.C.*”.

- CESOL. (2012). *Soldeo entre Materiales Disimilares*.
<https://es.scribd.com/document/682094334/IWE-Tema-2-22-Soldeo-Entre-Materiales-Disimilares-rev2>
- Cona, J. (2015). *Ensayos destructivos y no destructivos de probetas de acero soldadas con electrodos revestidos* [Universidad Austral de Chile].
https://pubs.aws.org/Download_PDFS/D1.1-2015-SPA-PV.pdf
- Contreras, O. (2022). *Evaluación De Soldaduras De Filete Con Penetración Completa Por Proceso FCAW Autoprotegido Mediante Líquidos Penetrantes*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla Facultad.
- Cornejo, K. (2023). *Influencia de la soldadura multipasadas en la dureza del acero ASTM 128 por el proceso SMAW*. UNSAAC.
- Gutiérrez, L. F. M., Arango, F. O. D., & Zapata, Á. M. O. (2009). Resistencia de materiales. In *PEARSON*. <https://doi.org/10.2307/jj.3715988.4>
- Hernandez, G. (2020). *Manual Del Soldador*.
- Hernández, V. (2019). Análisis de la soldabilidad y propiedades mecánicas de una plancha de acero anti abrasivo grado 450 mediante el proceso GMAW. In *Facultad de Ingeniería química y Agroindustrial*.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12552/3/UPS-KT01254.pdf>

- Izurieta, S. (2017). Evaluación de defectos y discontinuidades de la soldadura por medio de la aplicación de ensayos no destructivos, en la fabricación de tuberías de 3000 mm de diámetro [Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador]. In *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA DEL ECUADOR* (Vol. 01). <http://www.albayan.ae>
- Jiménez, E. (2016). *Comportamiento de la soldadura en estructuras de acero* [Instituto Politécnico Nacional]. <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/19336/1/comportamiento%20de%20la%20soldadura%20en%20estructuras%20de%20acero.pdf>
- Jovičić, R., Jovičić, D., Sedmak, S., Štrbački, S., Zrilić, M., & Gartner, A. (2018). *Welding and testing of welded joints made of HARDOX 400*.
- Lean, P. (2008). *Introducción a la Ingeniería de Materiales*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Niebles, E. E., & Arnedo, W. G. (2009). Procedimientos de soldadura y calificación de soldadores: Una propuesta de enseñanza y guía de aplicación para la industria. *Informacion Tecnologica*, 20(3), 19–30. <https://doi.org/10.1612/inf.tecnol.4064it.08>

- Perez, N. (2021). *La implementación de la metodología Welding Procedure Specification (WPS) incrementa la calidad de la fabricación de estructuras metálicas en la empresa COCYMET del sur S.A.C.*
- Puente, J. (1981). *Tratamiento térmico de templado de los aceros aleados* [Universidad autónoma de Nuevo León]. <http://eprints.uanl.mx/29/1/1020070562.PDF>
- Rachmat, R. S., Anggraini, L., Sihotang, W., & Ameyama, K. (2022). Analysis of Welding Procedure Specifications for steel line pipe material. *SINERGI*, 26(3), 279. <https://doi.org/10.22441/sinergi.2022.3.002>
- Ramos, R. (2013). *Estudio de la soldabilidad de la unión disimilar de un cobre con 5 % DE Zn con acero estructural ASTM A36*. PUCP.
- Rios, D. (2021). Análisis económico de procedimientos de soldadura para tanque de almacenamiento GLP fabricado de acero SA612 GR. 90. In *PUCP*. PUCP.
- Sailema, J. (2014). Estudio de los procesos de soldadura FCAW y SMAW en acero ASTM A588 grado a y su incidencia en las propiedades mecánicas en la fabricación de vigas metálicas en puentes colgantes [Universidad Técnica de Ambato]. In *Universidad Técnica de Ambato*. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/12640>

- Sanches, H. (2015). *Mantenimiento en espesadores de la empresa IMCO Servicios SAC*. Universidad Nacional de San Agustín.
- Sanz, J. (2021). *Control de calidad de soldaduras en estructuras metálicas* [Universidad de Valladolid]. <http://www.recercat.net/handle/2072/203726>
- Segura, J. (2015). *Caracterización morfológica de porosidad en juntas soldadas de tubería de acero ASTM A-36 realizados por proceso SMAW, mediante ensayos no destructivos especificados*. Universidad Santo Tomás.
- Suárez, M. (2006). *Diagrama de fases del acero*. https://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/suarez_g_ma/apndiceA.pdf

ANEXOS

Anexo 1

Tabla 6.9
Metales base y metales de aporte aprobados por el código que requieren calificación según la Sección 6 (ver 6.8.3)

Especificación	Metal base				Metal de aporte de resistencia similar				Temperatura mínima de precalentamiento y entre pasadas	
	Punto/límite eléctrico mínimo	Rango de tracción		Proceso	Especificación de electrodos de AWS ^a	Clasificación del electrodo	Espesor del metal base, T	Espesor del metal base, T	°F	°C
		ksi	MPa							
ASTM A871, Grado 60 Grado 65	60	415	75 min.	520 min.	SMAW	ER8015-X ER8016-X ER8018-X				
	65	450	80 min.	550 min.						
ASTM A514 Más de 2-1/2 pulg. [65 mm]	90	620	100-130	690-895	FCAW	ER8015-X ER8016-X ER8018-X ER8019-XX ER8020-XX ER8021-XX ER8022-XX ER8023-XX ER8024-XX ER8025-XX ER8026-XX ER8027-XX ER8028-XX ER8029-XX ER8030-XX ER8031-XX ER8032-XX ER8033-XX ER8034-XX ER8035-XX ER8036-XX ER8037-XX ER8038-XX ER8039-XX ER8040-XX ER8041-XX ER8042-XX ER8043-XX ER8044-XX ER8045-XX ER8046-XX ER8047-XX ER8048-XX ER8049-XX ER8050-XX ER8051-XX ER8052-XX ER8053-XX ER8054-XX ER8055-XX ER8056-XX ER8057-XX ER8058-XX ER8059-XX ER8060-XX ER8061-XX ER8062-XX ER8063-XX ER8064-XX ER8065-XX ER8066-XX ER8067-XX ER8068-XX ER8069-XX ER8070-XX ER8071-XX ER8072-XX ER8073-XX ER8074-XX ER8075-XX ER8076-XX ER8077-XX ER8078-XX ER8079-XX ER8080-XX ER8081-XX ER8082-XX ER8083-XX ER8084-XX ER8085-XX ER8086-XX ER8087-XX ER8088-XX ER8089-XX ER8090-XX ER8091-XX ER8092-XX ER8093-XX ER8094-XX ER8095-XX ER8096-XX ER8097-XX ER8098-XX ER8099-XX ER8100-XX	Hasta 3/4	Hasta 20	50	10
	ASTM A709 Grado HPS 100W [HPS 690W] Más de 2-1/2 pulg. a 4 pulg. [65 mm a 100 mm]	90	620	100-130			690-895	SMAW	E10015-X E10016-X E10018-X E10018M	Más de 3/4 hasta 1-1/2
ASTM A710 Grado A, Clase 1 5/16 pulg. [8 mm] y menos Más de 5/16 pulg. a 3/4 pulg. incl. [8 mm a 20 mm incl.]	85	585	90 min.	620 min.	SMAW	F10XXX-EXXX-XX ER1009S-XXX E100C-XXX E10TXX-XAX-XXX	Más de 1-1/2 hasta 2-1/2	Más de 38 hasta 65	175	80
	80	550	90 min.	620 min.			GMAW	E1009S-XXX E100C-XXX E10TXX-XAX-XXX	Más de 2-1/2	Más de 65
ASTM A710 Grado A, Clase 3 1-1/4 pulg. [30 mm] y menos Más de 1-1/4 pulg. a 2 pulg. incl. [30 mm a 50 mm incl.]	80	550	85 min.	585 min.	FCAW	E1009S-XXX E100C-XXX E10TXX-XAX-XXX				
	75	515	85 min.	585 min.						

(Continuación)

Anexo 2

Ejemplo de formulario PQR en blanco (GMAW y FCAW – página 1) REGISTRO DE CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO (PQR)

Nombre de la compañía _____ N.º de PQR _____ N.º de rev. _____ Fecha _____

METALES BASE	Especificación	Tipo o grado	Grupo AWS N.º	Espesor	Tamaño (NPS)	Programa	Diámetro
Material base							
Soldado a							
Material de respaldo							
Otro							

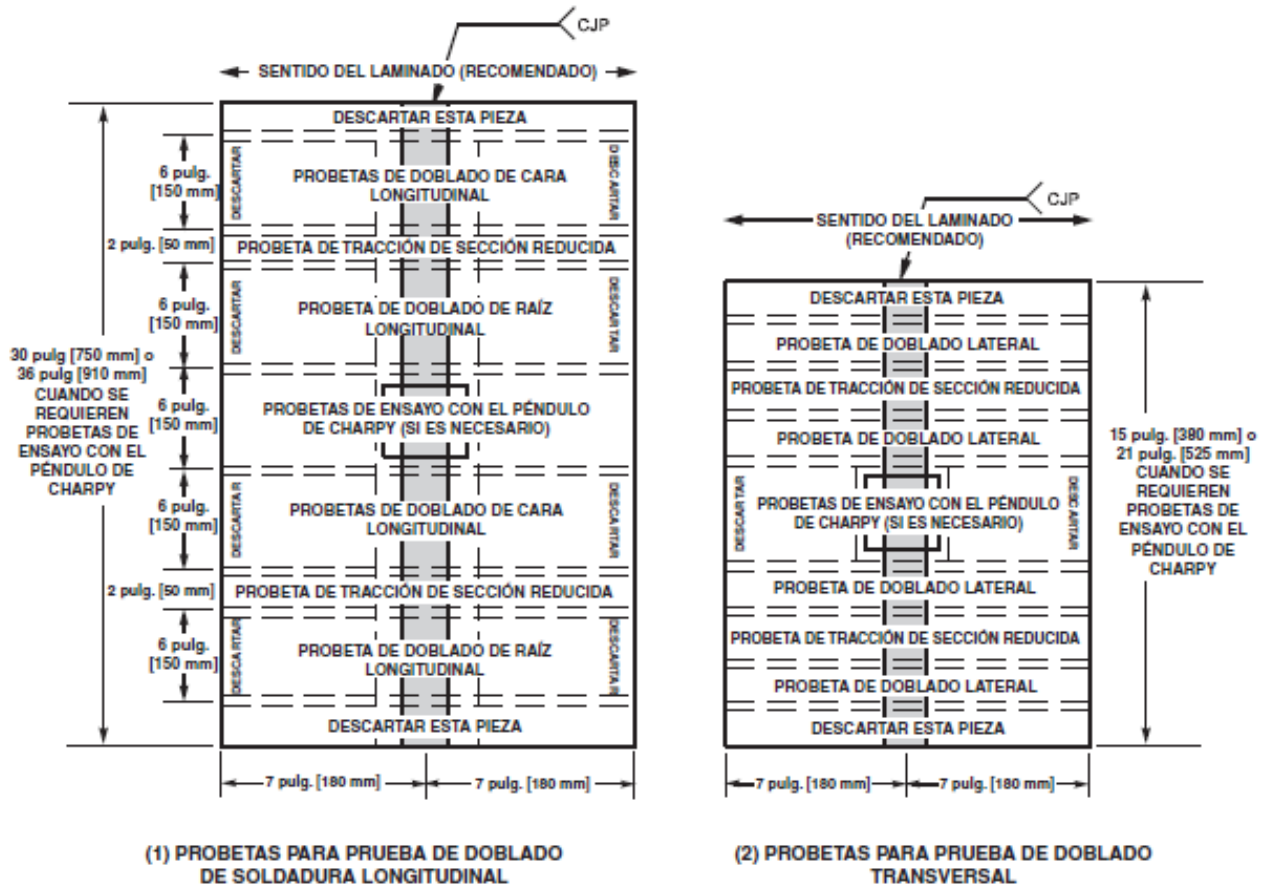
DETALLES DE LA JUNTA	
Tipo de ranura	
Ángulo de la ranura	
Abertura de la raíz	
Cara de la raíz	
Ranurado del lado opuesto	
Método	

DETALLES DE LA JUNTA (Bosquejo)

TRATAMIENTO TÉRMICO POSTERIOR A LA SOLDADURA	
Temperatura	
Tiempo de la temperatura	
Otro	

PROCEDIMIENTO								
Capa(s) de soldadura								
Pasada(s) de soldadura								
Proceso								
Tipo (semiautomático, mecanizado, etc.)								
Posición								
Progresión vertical								
Metal de aporte (espec. de AWS)								
Clasificación de AWS								
Diámetro								
Fabricante/nombre comercial								
Composición del gas de protección								
Caudal								
Tamaño de la boquilla								
Temperatura de precalentamiento								
Temperatura entre pasadas								
Características eléctricas	-	-	-	-	-	-	-	-
Polaridad y tipo de corriente								
Modo de transferencia (GMAW)								
Tipo de fuente de alimentación (cc, cv, etc.)								
Amperios								
Voltios								
Velocidad de alimentador de alambre								
Velocidad de desplazamiento								
Entrada de calor máxima								
Técnica	-	-	-	-	-	-	-	-
Encordador o tejido								
Pasada múltiple o única (por lado)								
Oscilación (mecanizada/automática)								
Longitud transversal								
Velocidad transversal								
Tiempo de permanencia								
Dist. del tubo de contacto al trabajo								
Martillado								
Limpieza entre pasadas								
Otro								

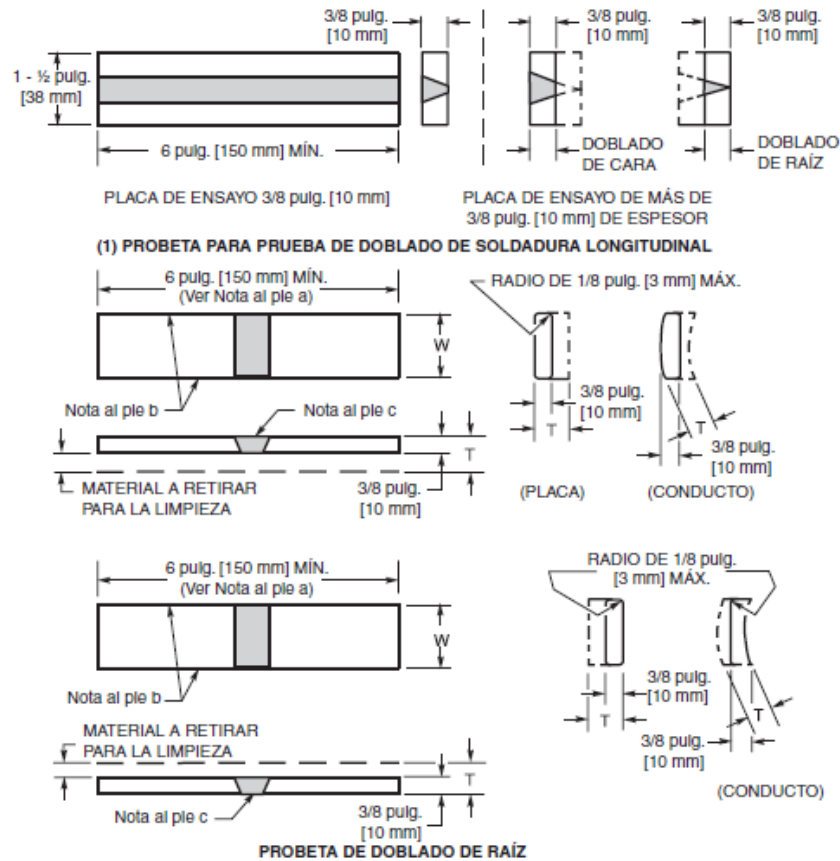
Anexo 3



Notas:

1. La configuración de ranura que se muestra es solo para ilustración. La forma de la ranura ensayada debe cumplir con la forma de la ranura de producción que está siendo calificada.
2. Cuando se requieran ensayos con el péndulo de Charpy (CVN), se deben retirar las probetas de sus ubicaciones como se muestra en la Figura 6.28.
3. Todas las dimensiones son mínimas.

Anexo 4



(2) PROBETA PARA PRUEBA DE DOBLADO TRANSVERSAL

Dimensiones	
Elemento soldado de prueba	Ancho de probeta de ensayo, W pulg. [mm]
Placa	1-1/2 [40]
Conducto o tubo de prueba ≤ 4 pulg. [100 mm] de diámetro	1 [25]
Conducto o tubo de prueba > 4 in [100 mm] en diámetro	1-1/2 [40]

^a Puede ser necesaria una probeta más larga cuando se utilice un accesorio de doblado tipo envolvente o cuando se ensaye acero con un límite elástico de 90 ksi [620 MPa] o más.

^b Estos bordes pueden ser cortados por corte térmico y pueden ser maquinados o no.

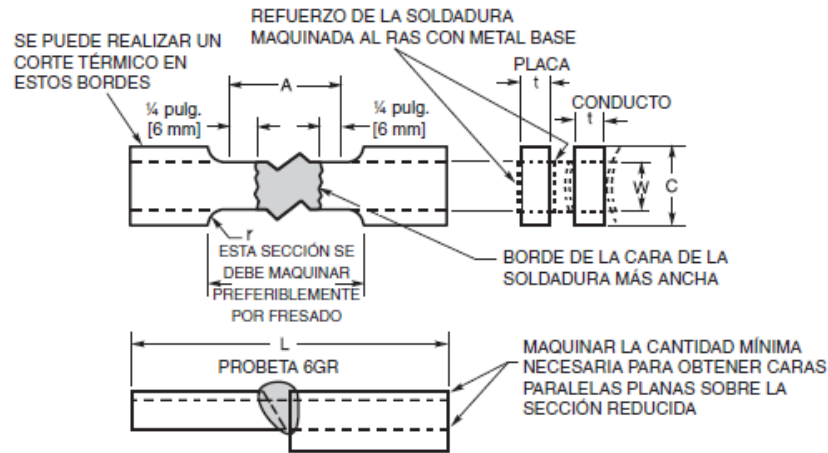
^c El refuerzo de la soldadura y el respaldo, si existen, deben eliminarse al ras con la superficie de la probeta (ver Z.23.3.1 y Z.23.3.2). Si se utiliza un respaldo rebajado, esta superficie puede ser maquinada a una profundidad que no exceda la profundidad del rebaje para retirar el respaldo; en ese caso, el espesor de la probeta terminada debe ser el especificado anteriormente. Las superficies cortadas deben estar lisas y paralelas.

Notas:

1. T = espesor de placa o conducto.

2. Cuando el espesor de la placa de ensayo sea menor de 3/8 pulgadas [10 mm], el espesor nominal debe ser utilizado para los doblados de cara y de raíz.

Anexo 5



	Dimensiones en pulgadas [mm]			Conducto de prueba	
	Espesor nominal de placa de ensayo, T_p				
	$T_p \leq 1$ pulg. [25 mm]	1 pulg. [25 mm] < $T_p < 1\text{-}1/2$ pulg. [38 mm]	$T_p \geq 1\text{-}1/2$ pulg. [38 mm]	6 pulg. [150 mm] y 8 pulg. [200 mm] de diámetro o 2 pulg. [50 mm] y 3 pulg. [75 mm] de diámetro de conducto de mayor tamaño	
A: Longitud de la sección reducida	Cara más ancha de la soldadura + 1/2 pulg. [12 mm], 2-1/4 pulg. [60 mm] mín.			Cara más ancha de la soldadura + 1/2 pulg. [12 mm], 2-1/4 pulg. [60 mm] mín.	
L—Longitud total, mín. ^a	Según los requisitos del equipo de prueba			Según los requisitos del equipo de prueba	
W—Ancho de la sección reducida ^{b,c}	3/4 pulg. [20 mm] mín.	3/4 pulg. [20 mm] mín.	3/4 pulg. [20 mm] mín.	1/2 ± 0.01 (12 ± 0.025)	3/4 pulg. [20 mm] MÍN.
C—Ancho de la sección de agarre ^{c,d}	W + 1/2 pulg. [12 mm] mín.	W + 1/2 pulg. [12 mm] mín.	W + 1/2 pulg. [12 mm] mín.	W + 1/2 pulg. [12 mm] mín.	W + 1/2 pulg. [12 mm] mín.
t—Espesor de la probeta ^{a,1}	T_p	T_p	T_p/n (Nota f)	Máximo posible con las caras planas paralelas en la longitud A	
r: radio de filete, mín.	1/2 pulg. [12 mm]	1/2 pulg. [12 mm]	1/2 pulg. [12 mm]	1 pulg. [25 mm]	1 pulg. [25 mm]

^a Es deseable, si es posible, hacer la longitud de la sección de la empuñadura lo suficientemente grande para permitir que la probeta se extienda en las empuñaduras una distancia igual a dos tercios o más de la longitud de las empuñaduras.

^b Los extremos de la sección reducida no deberán diferir en ancho en más de 0.004 pulg. [0,1 mm]. Además, puede haber una disminución gradual en el ancho desde los extremos al centro, pero el ancho de cualquier extremo no deberá ser más de 0.015 pulg. [0,38 mm] mayor que el ancho en el centro.

^c De ser necesario, se pueden utilizar anchos menores (W y C). En tales casos, el ancho de la sección reducida debería ser tan grande como lo permita el ancho del material que se está examinando. Si el ancho del material es menor que W, los lados pueden ser paralelos en toda la longitud de la probeta.

^d En el caso de probetas de tipo placa estándar, los extremos de la probeta deben ser simétricos con la línea central de la sección reducida dentro de 1/4 pulg. [6 mm].

^e La dimensión t es el espesor de la probeta conforme a las especificaciones del material aplicables. El espesor nominal mínimo de las probetas de 1-1/2 pulgadas [38 mm] de ancho debe ser de 3/16 pulgadas [5 mm], salvo por lo permitido por la especificación de producto.

^f En el caso de placas de más de 1-1/2 pulgadas [38 mm] de ancho, se pueden cortar las probetas en tiras aproximadamente iguales. Cada tira debe ser de al menos 3/4 pulg. [20 mm] de espesor. Los resultados de cada tira deben cumplir con los requisitos mínimos.

Nota: Dada la capacidad limitada de algunas máquinas de ensayo de tracción, es posible utilizar probetas de dimensiones alternativas para los aceros de la Tabla 6.9 cuando lo apruebe el Ingeniero.

Anexo 6

Tabla 6.2
Calificación de la WPS—Soldaduras en ranura con CJP: Número y tipo de probetas de ensayo y rango de espesor calificado (ver 6.5)

1. Ensayos en placa^a

Espesor nominal de placa (T) probado, pulg. [mm]	Cantidad de probetas				Espesor nominal del metal base calificado, pulg. [mm]	
	Tracción en sección reducida (ver Fig. 6.10)	Doblado de raíz (ver Fig. 6.8)	Doblado de cara (ver Fig. 6.8)	Doblado lateral (ver Fig. 6.9)	Mín.	Máx. ^b
1/8 ≤ T ≤ 3/8 [3 ≤ T ≤ 10]	2	2	2	(Nota al pie d)	1/8	2T
3/8 < T < 1 [10 < T < 25]	2	—	—	4	1/8	2T
1 y más [25 y más]	2	—	—	4	1/8	Ilimitado

2. Pruebas en ESW y EGW^c

Espesor nominal de placa probado	Cantidad de probetas			Espesor nominal del metal base calificado	
	Tracción en sección reducida (ver Fig. 6.10)	Tracción del metal de soldadura (ver Fig. 6.14)	Doblado lateral (ver Fig. 6.9)	Mín.	Máx.
T	2	1	4	0.5T	1.1T

^a Consulte las Figuras 6.6 y 6.7 para conocer los requisitos de la placa de ensayo.

^b Para las soldaduras en ranura en escuadra calificadas sin ranurado del lado opuesto, el espesor máximo calificado se limita al espesor del ensayo.

^c Consulte la Figura 6.5 para conocer los requisitos de la placa de ensayo.

^d En el caso de las placas de 3/8 pulgada [10 mm] de espesor, se puede reemplazar un ensayo de doblado de lado por cada uno de los ensayos de doblado de cara y raíz requeridos.

Anexo 7

Ejemplo de formulario WPS en blanco (GMAW y FCAW) ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

Nombre de la compañía	N.º de WPS	N.º de rev.	Fecha
Autorizado por	Fecha	PQR(s) de respaldo	Informe CVN

METALES BASE	Especificación	Tipo o grado	Grupo AWS N.º
Material base			
Soldado a			
Material de respaldo			
Otro			

ESPESOR DEL METAL BASE	Tal como se soldó	Con PWHT
Soldaduras en ranura con CJP		
Ranura CJP c/CVN		
Soldaduras en ranura con PJP		
Soldaduras en filete		
DIÁMETRO		

DETALLES DE LA JUNTA	
Tipo de ranura	
Ángulo de la ranura	
Abertura de la raíz	
Cara de la raíz	
Ranurado del lado opuesto	
Método	

DETALLES DE LA JUNTA (Bosquejo)

TRATAMIENTO TÉRMICO POSTERIOR A LA SOLDADURA	
Temperatura	
Tiempo de la temperatura	
Otro	

PROCEDIMIENTO									
Capa(s) de soldadura									
Pasada(s) de soldadura									
Proceso									
Tipo (semiautomático, mecanizado, etc.)									
Posición									
Progresión vertical									
Metal de aporte (espec. de AWS)									
Clasificación de AWS									
Diámetro									
Fabricante/nombre comercial									
Gas de protección (composición)									
Caudal									
Tamaño de la boquilla									
Temperatura de precalentamiento									
Temperatura entre pasadas									
Características eléctricas	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Polaridad y tipo de corriente									
Modo de transferencia									
Tipo de fuente de alimentación (cc, cv, etc.)									
Amperios									
Voltios									
Velocidad de alimentador de alambre									
Velocidad de desplazamiento									
Entrada de calor máxima									
Técnica	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Encordador o tejido									
Pasada múltiple o única (por lado)									
Oscilación (mecanizada/automática)									
Longitud transversal									
Velocidad transversal									
Tiempo de permanencia									
Número de electrodos									
Distancia del tubo de contacto al trabajo									
Martillado									
Limpieza entre pasadas									
Otro									

Formulario J-2

(Ver <http://goaws.org/D1forms>)

Anexo 8

REGISTRO INSPECCIÓN DE ULTRASONIDO POR ARREGLO DE FASES.		INF N° : 14-PAUT-LIVIGUI-23
		FECHA : 03/05/2023
		HOJA : 01/01

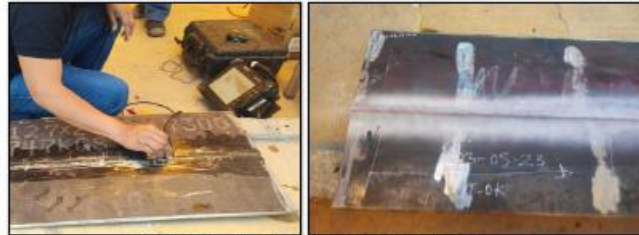
CLIENTE : LIVIGUI PERÚ S.A.C.
PROYECTO : CALIFICACIÓN DE WPS
LUGAR : AREQUIPA
ELEMENTO : CUPÓN

ESPECIFICACIÓN DE ENSAYO

MATERIAL		SOLPEO			TRANSDUCTOR		BLOQUES	
ACERO	ESPESOR:	12 mm.	MARCA:	SLEF	MARCA:	SLEF	CALIBRACIÓN:	TYPE NRB
	MATERIAL:	ACERO A53	MODELO:	Spickard 3	MODELO:	SLO-55-03-A	REFERENCIA:	---
TUBO	GRADO:	-	NÚMERO DE SERIE:	M133112302018	FRECUENCIA:	5.0MHz	ULTRASONIDO CONVENCIONAL	
	DIÁMETRO:	-	PRESENTACIÓN (SBS):	A-SCAN / B-SCAN / C-SCAN	ÁNGULO:	40°-70°	TÉCNICA DE APLICACIÓN:	PULSO ECO
CLASE	SCHEDULE:	-	HAZ DE INSPECCIÓN:	ANELULAR	N° DE CRISTALES:	05	FORMA DE BARRIDO:	PARALELO/TRANSVERSAL
ESTADO SUPERFICIAL:		ACEPTABLE	TIPO DE ONDA:	TRANSVERSAL	SAFETY:	AMBOS	ACORRIANTE:	UT-SPZ POWDER

ELEMENTO	ALTA	LONGITUD INSPECCIONADA (mm.)	PROFUNDIDAD DE INSPECCIÓN (mm.)	REGIA	ÁNGULO DE INSPECCIÓN	UBICACIÓN DE DEFECTOS (mm.)	LONGITUD DE LA DISCONTINUIDAD (mm.)	TIPO DE CLASE	PROFUNDIDAD MÁXIMA DE SUPERFICIE (mm.)	OBSERVACIONES	CÓDIGO DE PROCEDIMIENTO: NDTCH-P-UT-02	
											ASISTIDO	OBJETIVO
CUPÓN	J - 01	900	12	03/05/2023	40° - 70°	-	-	-	-	-	✓	-

ESQUEMA DE INSPECCIÓN



ABREVIATURAS DE DISCONTINUIDADES Y/O DEFECTOS DE SOLDADURA SEGÚN SU CLASE:

INSPECTOR		SUPERVISIÓN		CLIENTE	
Nombre :	Ing. Juan Luis Surco Alzamora	Nombre :	Sup. Julio C. Mamani C.	Nombre :	
Nivel :	II-ASNT-SMT-TC-1A-VT-PT-MT-UT				
Firma :		Firma :		Firma :	
	Ing. Juan L. Surco Alzamora NIVEL II ASNT-SMT-TC-1A-VT-PT-MT-UT REGISTRO N°: NDTCH 4460		SUPERVISOR DE CONTROL DE CALIDAD		
Fecha :	03/05/2023	Fecha:	03/05/2023	Fecha:	

Anexo 9



MAT-MAY-0545/2023

ENSAYO DE TRACCIÓN

MAT-Lab-4.04 Rev.7

INFORME DE LABORATORIO

Número Total de Páginas: 3

REALIZADO POR : Laboratorio de Materiales - Analista 10.
 MUESTRA : Probetas de acero soldadas.
 FECHA DE EJECUCIÓN : 2023.05.22.

RESULTADOS:

MUESTRA		T1	T2
SECCIÓN TRANSVERSAL	ANCHO (mm)	20.00	20.05
	ESPESOR (mm)	11.20	11.25
	ÁREA (mm ²)	224.0	225.6
CARGAS (kN)	MÁXIMA	104.9	105.5
ESFUERZOS (MPa)	MÁXIMA	468	468

Incertidumbres (factor de cobertura K=2, para un nivel de confianza de 95%)

• Esfuerzo máximo (MPa)	± 4.1	± 4.1
-------------------------	-------	-------

OBSERVACIONES:

- Condición de la muestra: Zona de ensayo normalizada.
- Las probetas ensayadas fueron extraídas de la muestra como fue recibida del solicitante.
- Norma de Soldadura: "Structural Welding Code - Steels" AWS D1.1-2020.
- Las muestras rompieron en el metal base.

Información proporcionada por el solicitante:

- N° PQR: PQR-LIV-2301.
- Material base: Hardox 400 vs. ASTM A36, espesor 12,7 mm.
- Proceso de soldadura: FCAW - Posición de prueba: 2G.
- Metal de aporte: AWS A5.29, E81T1-Ni1C-JH4, tamaño ϕ 1,2mm.
- Nombre del soldador: Juan Carlos Ventura Diaz.
- Estampa del soldador: JVD13.

Anexo 10

DIVISIÓN DE SOLDADURAS



INFORME DE DOBLEZ
N° BÖHLER-ED-30-2023_AS

SOLICITADO POR : LIVIGUI PERU S.A.C.
 DIRIGIDO A : Julio Mamani
 SOLDADOR / DNI N° : Jean Carlos Ventura Diaz
 ESTAMPA : JVD13
 SEGÚN NORMA : AWS D1.1, Ed. 2020
 ZONA ANALIZADA : Zona de soldadura y ZAC
 INSPECCIONADO POR : Ing. Alfi Sotelo (Jefe de la División de Soldaduras)
 MATERIAL : Hardox 400 vs. ASTM A-36
 MATERIAL DE APORTE : AWS A-5.29, E 81T1-Ni1C-JH4,
 "BÖHLER diamondspark Ni1 RC (C1)", Ø1.2mm
 JUNTA / ESPESOR : A tope con bisel / Plancha, e=12.7 mm
 PROCESO / PQR : FCAW-G / PQR N° PQR-LIV-2301
 POSICIÓN : 2G
 FECHA DE EJECUCION : 17-05-2023



1. CUADRO DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE DOBLEZ

PROBETA		RESULTADO	OBSERVACION
D.LONG-R1	DobleZ Longitudinal Raíz 1	ACEPTADO	No presentó ninguna indicación
D.LONG-R2	DobleZ Longitudinal Raíz 2	ACEPTADO	No presentó ninguna indicación
D.LONG-C1	DobleZ Longitudinal Cara 1	ACEPTADO	No presentó ninguna indicación
D.LONG-C2	DobleZ Longitudinal Cara 2	ACEPTADO	No presentó ninguna indicación

OBSERVACIONES:

Normas utilizadas
 ✓ AWS D1.1-2020, Párrafo 6.10.3.2 y 6.10.3.3 - Preparación y criterio de evaluación
 ✓ ASTM A 370 – Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products.
Equipo utilizado: Equipo de doblez portátil.
Temperatura de ensayo: 20°C
Fecha de ejecución: 17 de Mayo del 2023.