



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA



**ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA
DISÍMIL ENTRE UN ACERO DE BAJA ALEACIÓN AISI/SAE 4340
Y ACERO DE BAJO CARBONO ASTM A36 EN LA EMPRESA
SOLDEXA**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. JUAN ALEX ADUVIRI MAMANI

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO METALURGISTA

PUNO-PERU

2024



NOMBRE DEL TRABAJO

ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO
DE SOLDADURA DISÍMIL ENTRE UN ACE
RO DE BAJA ALEACIÓN AISI_SAE 4340

AUTOR

JUAN ALEX ADUVIRI MAMANI

RECUENTO DE PALABRAS

21958 Words

RECUENTO DE CARACTERES

120873 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

132 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.8MB

FECHA DE ENTREGA

Jun 27, 2024 9:48 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jun 27, 2024 9:50 AM GMT-5

● 17% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 17% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)



Dr. Hipólito Córdova

Carlos A. Chávez Caracora
INGENIERO METALURGISTA
Reg. 30307



DEDICATORIA

A Dios, por permitirme llegar a concretar este logro tan ansiado, por los momentos difíciles superados, por las nuevas metas que aún me falta concretar y sobre todo por bendecirme con una grandiosa familia.

A mis padres Antolin Aduviri y Frida Mamani que supieron guiar mi formación personal, a mis queridos hermanos, por su apoyo incondicional en los gratos y dificultosos momentos.

Gracias a tan dichoso sostén familiar es que hoy llego a cumplir este paso en mi desarrollo profesional, por lo que me siento muy orgulloso de poder servir a la sociedad con este grado que obtengo.

Por ello que el presente trabajo está dedicado a tan maravillosa familia que supo encaminarme a lo largo de mi desarrollo durante toda mi carrera universitaria. A la plana docente y personas allegadas a mi superación profesional.

Juan Alex Aduviri Mamani



AGRADECIMIENTOS

A la primera casa de estudios Universidad Nacional del Altiplano por ser la primera sede de aprendizaje durante mis años de formación profesional.

A la plana docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica-UNAP que día a día inculcaron valiosas enseñanzas, logrando fortalecer mis habilidades duras, además por la paciencia y corrección en los momentos difíciles de mi desarrollo profesional.

A mi hermano Jony Aduviri por motivarme a seguir creciendo profesionalmente y la plana docente del diplomado de INGESOL por ampliar mis conocimientos.

Al Ing. Carlos Alejandro Chávez Catacora por su asesoría durante el desarrollo del proyecto de investigación y demás involucrados directa e indirectamente para que el presente proyecto sea exitoso.

Juan Alex Aduviri Mamani



INDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
INDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRONIMOS	14
RESUMEN	16
ABSTRACT.....	17
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	19
1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIACIÓN	19
1.4.1. Hipótesis general	19
1.4.2. Hipótesis específicas	20
1.5. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	20
1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
1.6.1. Objetivo general	21
1.6.2. Objetivos específicos	21

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA



2.1.	ANTECEDENTES	22
2.2.	MARCO TEORICO	25
2.2.1.	Soldadura.....	25
2.2.2.	Soldabilidad.....	25
2.2.3.	Aceros	27
2.2.4.	Clasificación de los aceros	28
2.2.5.	Acero de bajo contenido de carbono.....	32
2.2.6.	Acero de medio contenido de carbono.....	32
2.2.7.	Acero de alto contenido de carbono.....	32
2.2.8.	Acero estructural	33
2.2.9.	Procesos de soldadura	34
2.2.10.	Uniones disimiles	40
2.2.11.	Zona afectada por el calor	40
2.2.12.	Material de aporte	42
2.2.13.	Parámetros de soldeo.....	42
2.2.14.	Dilución.....	43
2.2.15.	Temperatura de pre y post calentamiento	44
2.2.16.	Posición de soldadura.....	45
2.2.17.	Ensayos destructivos	48
2.2.18.	Ensayo de dureza.....	49
2.2.19.	Ensayo de tracción	54
2.2.20.	Ensayo de doblado	56
2.2.21.	Ensayo charpy	58
2.2.22.	WPS (especificación del procedimiento de soldadura).....	59
2.2.23.	PQR (registro de calificación del procedimiento).....	60



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA DEL ESTUDIO.....	62
3.2. PERIODO DE DURACION DEL ESTUDIO	62
3.3. PROCEDENCIA DEL MATERIAL ESTUDIADO.....	63
3.4. MATERIALES Y HERRAMIENTAS.....	64
3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO	65
3.5.1. Población.....	65
3.5.2. Muestra.....	65
3.6. DISEÑO ESTADISTICO	66
3.7. PROCEDIMIENTO.....	66
3.7.1. Metodología	67
3.7.2. Desarrollo del procedimiento de investigación.....	68
3.7.3. Técnicas y procedimientos de recolección de datos	68
3.7.4. Variables	71
3.8. ANALISIS DE RESULTADOS	71

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS Y ALCANCE DE CALIFICACIÓN DE PROCESO BAJO EL CÓDIGO AWS D14.1.....	73
4.2. MATERIAL BASE	74
4.2.1. Acero ASTM A36.....	74
4.2.2. Soldabilidad del acero ASTM A36.....	76
4.2.3. Acero AISI/SAE 4340.....	78
4.2.4. Soldabilidad del acero AISI/SAE 4340.....	79



4.3.	SELECCIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA.....	85
4.4.	MATERIAL DE APORTE	86
4.5.	DISEÑO DE JUNTA	89
4.6.	PARAMETROS DE SOLDEO	94
4.6.1.	Intensidad de corriente	95
4.6.2.	Voltaje	96
4.6.3.	Pre y post calentamiento	96
4.6.4.	Temperatura interpase.....	99
4.6.5.	Temperatura de enfriamiento	99
4.6.6.	Velocidad de avance	99
4.6.7.	Velocidad de alambre.....	100
4.6.8.	Stick out	100
4.6.9.	Fujo de gas	101
4.7.	ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	101
4.7.1.	Ensayo visual	101
4.8.	ENSAYOS MECÁNICOS	103
4.8.1.	Macrografía	103
4.8.2.	Ensayo de doblado	105
4.8.3.	Ensayo de tracción	107
4.8.4.	Ensayo de dureza.....	109
4.8.5.	Registro de calificación del procedimiento de soldadura.	109
4.8.6.	Procedimiento propuesto para el soldeo de placa base y eje rotor.....	109
4.9.	DISCUSION	109
V.	CONCLUSIONES.....	113
VI.	RECOMENDACIONES	114



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 115

ANEXOS..... 117

Area: Metalurgia Transformativa.

Tema: Especificacion del procedimiento de soldadura disímil entre un acero de baja aleación AISI/SAE 4340 y acero de bajo carbono ASTM A36 en la empresa soldexa.

Fecha de sustentacion: 28 de junio del 2024.



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Delimitación de las clases de acero no aleado (análisis de colada).....	31
Tabla 2. Precauciones durante el soldeo en función al tipo de acero	33
Tabla 3. Técnicas y procedimientos de recolección de datos	69
Tabla 4. Ensayos aplicables según AWS D14.1	71
Tabla 5. Composición química de un acero ASTM A36	75
Tabla 6. Requerimientos mecánicos de un acero ASTM A36.....	75
Tabla 7. Propiedades mecánicas de un acero AISI/SAE 4340	79
Tabla 8. Composición química de acero AISI/SAE 4340	79
Tabla 9. Tratamientos térmicos para acero AISI/SAE 4340	81
Tabla 10. Comparación de propiedades y características del material base.....	84
Tabla 11. Propiedades mecánicas de alambre OK TUBROD 110 MC (ASME SFA 5.28: E110C-G)	88
Tabla 12. Ensayo charpy de alambre OK TUBROD 110 MC	88
Tabla 13. Composición química de alambre OK TUBROD 110 MC (ASME SFA 5.28: E110C-G)	88
Tabla 14. Parámetros eléctricos para OK TUBROD 110 MC (ASME SFA 5.28: E110C-G)	89
Tabla 15. Valores límite de garganta.....	91
Tabla 16. Alcance de posición de calificación del soldador.....	94
Tabla 17. Ensayos mecánicos	103



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diferencia entre acero y fundición por su composición química	27
Figura 2. Clasificación de aceros.	29
Figura 3. Proceso de soldeo SMAW	35
Figura 4. Proceso de soldadura SAW	36
Figura 5. Proceso de soldeo GMAW	37
Figura 6. Proceso de Soldadura GTAW	38
Figura 7. Proceso de soldadura FCAW-Autoprotegido	39
Figura 8. Proceso de soldadura FCAW-Con protección gaseosa	39
Figura 9. Zona afectada por el calor	41
Figura 10. Isotermas generadas por el arco eléctrico.....	42
Figura 11. Dilución del material de aporte	44
Figura 12. Designación de posiciones de soldeo	46
Figura 13. Designación de posiciones de soldeo	47
Figura 14. Designación de las posiciones de soldeo.....	48
Figura 15. Ejemplo de probeta de ensayo en una unión soldada	49
Figura 16. Esquema de Ensayo de Dureza Brinell.....	51
Figura 17. Esquema de Ensayo Dureza Brinell	52
Figura 18. Esquema de Ensayo de Dureza Rockwell	54
Figura 19. Probeta de tracción.	55
Figura 20. Perfil de tensiones que experimentará la probeta durante el ensayo de doblado	56
Figura 21. Realización del ensayo de doblado.....	57



Figura 22.	Péndulo y forma de ejecución del ensayo Charpy.....	59
Figura 23.	Flujograma de procedimiento de soldadura y control de calidad.....	66
Figura 24.	Flujograma del procedimiento de investigación.....	68
Figura 25.	Soldabilidad de un acero ASTM A36.....	78
Figura 26.	Diagrama de bonificación de un acero AISI/SAE 4340.....	80
Figura 27.	Soldabilidad de un acero AISI/SAE 4340.....	82
Figura 28.	Ventilador centrifugo de alabe curvado.....	83
Figura 29.	Ventilador centrifugo con alabe curvado.....	84
Figura 30.	Esquema de proceso FCAW-G.....	86
Figura 31.	Alambre OK TUBROD 110 MC (ASME SFA 5.28: E110C-G).....	89
Figura 32.	Diseño y tipo de junta de ventilador centrifugo.....	90
Figura 33.	Configuración y tipos de cordones de soldeo.....	90
Figura 34.	Disposición de cordones a soldar.....	92
Figura 35.	Cupón de prueba para calificación del Procedimiento de Soldadura.....	93
Figura 36.	Cupón de prueba para calificar al soldador.....	94
Figura 37.	Curva de revenido para el acero AISI/SAE 4340.....	98
Figura 38.	Kit para ensayo visual.....	102
Figura 39.	Preparación para en ensayo micrográfico.....	104
Figura 40.	Ataque químico para la macrografía.....	104
Figura 41.	Macrografía tipo de soldadura filete y ranura.....	105
Figura 42.	Localización de especímenes en la plancha soldada.....	106
Figura 43.	Equipo para el ensayo de doblado.....	107
Figura 44.	Especímenes luego del ensayo de doblado.....	107
Figura 45.	Dimensionamiento de los especímenes para los ensayos mecánicos.....	108
Figura 46.	Ensayo de tracción.....	108



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. Ficha técnica de alambre tubular OK TUBROD 110MC	118
ANEXO 2. Ficha técnica acero AISI/SAE 4340 (VCN).....	119
ANEXO 3. Alcance de posiciones para el proceso de calificación.....	120
ANEXO 4. Ensayos mecánicos requeridos para calificar según AWS D14.1	121
ANEXO 5. Requerimientos para el ensayo de doblado	122
ANEXO 6. Registro de calificación del procedimiento de soldadura.....	123
ANEXO 7. Especificación del procedimiento de soldadura	125
ANEXO 8. Certificación de inspector visual nivel II.....	126
ANEXO 9. Ficha y registro de prueba para la calificación de homologación.	127
ANEXO 10. Reporte ensayo de tracción.....	129
ANEXO 11. Declaración jurada de autenticidad de tesis	131
ANEXO 12. Autorización para el deposito de tesis en el repositorio institucional	132



ACRONIMOS

AISI:	American Institute of Steels iron
ANSI:	American National Standards Institute
API:	American Petroleum Institute
ASME:	American Society of Mechanical Engineers
ASNT:	American Society for Nondestructive Testing
ASTM:	American Society for Testing and Materials
AWS:	American welding society
CE:	Carbono Equivalente
CJP:	Complete Join Penetration
END:	Ensayos No Destructivos
EPP:	Equipo de Proteccion Personal
FCAW:	Flux Cored Arc Welding
GMAW:	Gas Metal Arc Welding
GTAW:	Gas Tungsten Arc Welding
HB:	Hard Brinell
HR:	Hard Rockwell
HV:	Hard Vickers
IIW:	International Institute of Welding
KSI:	Kilo libras de fuerza por pulgada cuadrada
LAC:	Laminado en Caliente
MAG:	Metal Active Gas
NBE-EA:	Norma Española de Edificación de Estructuras de Acero
NDT:	No Destructive Testings



PJP:	Parcial Joint Penetration
PQR:	Procedure Qualification Record
PSI:	Libra por pulgada cuadrada
PT:	Penetration testings
SAE:	Society of Automotive Engineers
SMAW:	Shield Metal Arc Welding
SNT-TC-1A:	Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing
TIG:	Tungsten Inert Gas
UNE-EN:	Norma Española
VT:	Visual Testings
WPQ:	Welder Performance Qualification Record
WPS:	Welding Procedure Specification
ZAC:	Zona Afectada por el Calor



RESUMEN

Debido al crecimiento de la tecnología en el rubro de la soldadura, el Perú no ha sido una excepción, En la región Puno las diversas tecnologías se han ido adaptando a la realidad peruana. Sin embargo, existen procesos de soldadura que no se desarrollaron y aún se desconoce en algunas partes del País, por tal razón se ejecuta el presente proyecto de tesis con METODOLOGÍA de carácter experimental y diseño cualitativo que consiste en evaluar las cualidades mecánicas de una unión soldada. , las cuales son obtenidas a través de distintos ensayos mecánicos destructivos que nos brindan información primordial. se desarrolla las especificaciones del procedimiento de soldadura disímil de acero de baja aleación AISI/SAE 4340 y acero de bajo carbono ASTM A36 en la empresa SOLDEXA, utilizando los parámetros establecidos en el código AWS D14.1, finalmente se OBTIENE COMO RESULTADOS: un WPS (especificación del procedimiento de soldadura) que cumpla con los estándares, garantizando una soldadura de calidad y por ende mayor tiempo de servicio en equipos que trabajan con cargas cíclicas. Llegando a la CONCLUSION: de que el proceso FCAW es el idóneo para dicha soldadura para la cual se parámetros del proceso de soldadura, además de los ensayos de calidad necesarios para la validación de la continuidad metálica. Debido a que la soldadura de materiales disímiles es uno de los procesos de conformado más complicados en cuanto a temas de soldadura se refiere se RECOMIENDA: tener especial cuidado con la contaminación del charco de soldadura, garantizar la unión soldada respaldado con documentos técnicos como WPS y PQR, y tener un control estricto de la temperatura, para así lograr una correcta elaboración del procedimiento.

Palabras clave: Acero, Calidad, Código, Ensayos, Estándar, Procedimiento de soldadura y normativa.



ABSTRACT

Due to the growth of technology in the welding field, Peru has not been an exception. In the Puno region, the various technologies have been adapted to the Peruvian reality. However, there are welding processes that were not developed and are still unknown in some parts of the country, for this reason this thesis project is executed with an experimental METHODOLOGY and qualitative design that consists of evaluating the mechanical qualities of a welded joint. . . , which are obtained through different destructive mechanical tests that provide us with essential information. The specifications of the dissimilar welding procedure of AISI/SAE 4340 low alloy steel and ASTM A36 low carbon steel are developed in the SOLDEXA company, using the parameters established in the AWS D14.1 code, finally OBTAINED AS RESULTS: a WPS (specification of the welding procedure) that meets the standards, guaranteeing quality welding and therefore longer service time in equipment that works with cyclic loads. Coming to the CONCLUSION: that the FCAW process is the ideal one for said welding for which the parameters of the welding process are determined, in addition to the quality tests necessary for the validation of metallic continuity. Because the welding of dissimilar materials is one of the most complicated forming processes in terms of welding issues, it is RECOMMENDED: take special care with contamination of the welding puddle, guarantee the welded joint supported with technical documents such as WPS and PQR, and have strict temperature control, in order to achieve correct preparation of the procedure.

Keywords: Steel, quality, code, Tests, Standard, Welding procedure and regulations.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ciencia y tecnología de la industria metalmeccánica, materiales y metalurgia actualmente se va desarrollando tecnológicamente de manera muy acelerada, experimentando grandes cambios en pleno siglo XXI, debido a las exigencias que demandan componentes de gran responsabilidad en maquinarias, equipos y estructuras que contribuyen con el desarrollo de la humanidad. No obstante, para que esto sea posible fue necesario un arduo estudio, donde el ser humano fue estudiando cotidianamente su entorno a fin de aplicar sus conocimientos para mejorar el medio en el que habita, facilitando su sobrevivencia.

La unión de dos metales es indispensable en la mayoría de construcciones industriales, siendo la soldadura uno de los campos de mayor aplicación, debido a su versatilidad al conseguir continuidad metálica en los materiales a unir, ya sea materiales similares o disimiles, por lo que es necesario un amplio conocimiento en la metalurgia de los materiales debido a que comúnmente dicha unión se logra superando el punto de fusión de los materiales de interés, en la que puede o no intervenir un tercer material, conocido como aporte o electrodo, el cual se funde con el material base, solidificando con nuevas estructuras cristalinas y múltiples fases que aún no se conoce en su totalidad debido a su complejidad y peculiar manera de solidificar, la cual se le conoce como cordón de soldadura.

La falta de aplicación de una norma estandarizada durante el proceso de fabricación, específicamente durante el soldeo, genera uniones defectuosas los cuales



conlleven a malas prácticas para posteriores procesos de soldeo, motivado por tales hechos herrados es que se propone poner en práctica el uso del código AWS D.14.1., el cual es muy poco conocido en la industria metalmecánica de equipos mineros y de la industria en general, con lo que la correcta aplicación de dicho código nos permitirá disminuir en gran medida las fallas y defectos para este tipo de soldaduras disimiles.

Una adecuada y oportuna aplicación del código AWS D.14.1. no solo nos permitirá controlar el soldeo de materiales, sino que además podremos realizar los ensayos destructivos adecuados y de esta manera contrastar con los estándares estipulados y respaldados por la American Welding Society, con dichos resultados poder generar una ficha técnica en la que se establezca periodos determinados para su mantenimiento y además poder estimar el tiempo de vida útil en servicio de cualquier equipo que sea fabricado usando los materiales que se estudian en el presente proyecto y a su vez sean ejecutados bajo el código ya mencionado .

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles son los estándares de calidad de una soldadura disímil de acero de baja aleación AISI/SAE 4340 y acero de bajo carbono ASTM A36 ejecutada en la empresa SOLDEXA-ESAB utilizando los lineamientos de calidad del código AWS D14.1 capítulo 10?

1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIACIÓN

1.4.1. Hipótesis general

- Al especificar el procedimiento de soldadura disímil de acero de baja aleación AISI/SAE 4340 y acero de bajo carbono ASTM A36 en la



empresa SOLDEXA se obtiene un WPS que cumple con estándares garantizando una soldadura de calidad.

1.4.2. Hipótesis específicas

- Con la aplicación del código D.14.1 nos permite establecer condiciones específicas para determinar parámetros en el proceso de soldadura como; voltaje, amperaje, pre y post calentamiento, de esta manera minimizar discontinuidades y defectos en la unión soldada.
- El uso de los lineamientos establecidos en el código AWS D14.1, permite realizar un análisis idóneo del comportamiento mecánico de la unión soldada, brindándonos el soporte en cuanto a los ensayos requeridos y así mismo el rango de aceptación para discontinuidades detectadas.

1.5. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El presente proyecto de investigación se ha realizado a raíz del gran número de componentes en equipos industriales como: bombas, ventiladores, etc. Los cuales trabajan a altas revoluciones concéntricas y excéntricas en los que vienen registrando fallas por lo que requieren constante mantenimiento en cortos periodos de tiempo. Donde la zona afectada por el calor es una de las partes críticas de dichos componentes, motivo por el cual se pone hincapié en la soldadura.

Se demostró que mediante la aplicación de un código estandarizado por la American Welding Society (AWS) basándonos en la calificación de procesos para uniones soldadas podremos mejorar dichas uniones.

Por lo descrito es imprescindible mejorar la calidad de las uniones soldadas de los componentes que están sometidos a cargas cíclicas como es el caso de un acero



AISI/SAE 4340 que presenta alta resistencia a dichas cargas y un acero estructural ASTM A36 para alivianar costos en cuanto a los componentes de menor responsabilidad. Debido a ello resulta fundamental elaborar un WPS para la fabricación de las uniones soldadas entre estos materiales disimiles y evitar futuros daños por malas aplicaciones en las cuales se generen sobre costos por garantía de los equipos.

Es primordial que, durante la elaboración del procedimiento de soldadura, se validen los valores de las variables que se consideran críticos para un WPS ideal, como: proceso a utilizar, tipo de unión, ángulo de bisel, temperatura de pre y post calentamiento, intensidad y tensión, velocidad de alimentación de alambre, stick out, entre otros. Los cuáles serán basados en el código AWS D14.1

1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. Objetivo general

- Especificar el procedimiento de soldadura disímil de acero de baja aleación AISI/SAE 4340 y acero de bajo carbono ASTM A36 en la empresa SOLDEXA.

1.6.2. Objetivos específicos

- Establecer parámetros requeridos durante la elaboración de una soldadura sin defectos, como; voltaje, amperaje, pre y post calentamiento.
- Establecer el comportamiento mecánico según los ensayos requeridos para la caracterización de las uniones soldadas.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

Luna Tejada en su trabajo de investigación, manifiesta que con la finalidad de asegurar el transporte de gas natural por medio de ductos se requiere la unión soldada disimilar entre una brida de acero ASTM A 707 L5 C14 con una tubería ASTM A707 L5 F65. Debido al mercado peruano y poco suministro de dicha tubería se buscó un material de similares características con la finalidad de que pueda cumplir con lo estipulado en años de garantía, en consecuencia, se requiere evaluar el procedimiento de la misma brida con la tubería API 5L X70 PSL1, para de esta manera cerciorar el cumplimiento pronosticado de servicio (Luna Tejada, 2015).

Saavedra comparte desde su experiencia el proceso para soldar aceros inoxidable, con el proceso por electrodo de tungsteno protegido por gas inerte (TIG), soldadura por arco metálico protegido por un medio gaseoso GMAW Y soldadura con electrodo convencional SMAW.

Los aceros inoxidable tienen diferentes características en comparación con los aceros al carbono, de los cuales cabe resaltar:

- Baja temperatura de fusión
- Bajo coeficiente de conductividad térmica
- Alto coeficiente de expansión térmica
- Mayor resistencia eléctrica



Aceros inoxidable austeníticos: presentan una soldabilidad controlada, los cuales tiene 40% coeficiente de expansión térmica. Se recomienda una alta velocidad de soldeo con la finalidad de evitar distorsiones y precipitados de carburos.

Aceros inoxidables ferríticos: buena soldabilidad y un menor coeficiente de expansión térmica en comparación con los aceros austeníticos, se recomienda un precalentamiento (200°C) y un recocido post soldadura (760°C-800°C) en espesores relativamente gruesos.

Aceros inoxidables martensíticos: presenta la mejor soldabilidad en cuanto a la familia de los aceros inoxidables, con un rango de 230°C-260°C de precalentamiento y un post calentamiento en el rango de 650°C-760°C (Saavedra M., 2010).

Vasquez en su monografía detalla el procedimiento para una soldadura de acero AISI/SAE 4140 con un acero al carbono ASTMA36, aplicado en anclajes para edificaciones.

Teniendo en cuenta la gran diferencia de propiedades mecánicas se hace difícil la soldadura de dichos metales, para lo cual se debe de tener en cuenta diversos parámetros como es un precalentamiento entre 200°C-350°C (AISI/SAE 4140) para evitar choques bruscos de temperatura (Vasquez Vasquez, 2012).

En el presente trabajo se estudió la soldabilidad de una unión disimilar formada por el acero estructural ASTM A36 y la aleación de aluminio AA5052-H34. Las uniones disimilares obtenidas no lograron alcanzar la resistencia mecánica mínima indicada en el código AWS B 2.1 que establece que este tipo de uniones como mínimo deben alcanzar 170 MPa de resistencia a la tracción. En esta investigación los mejores resultados obtenidos alcanzaron los 86 MPa de



resistencia a la tracción, representando el 50,6% de lo requerido por el código. De los resultados se determinó que no es posible obtener uniones, entre el acero estructural ASTM A36 y la aleación de aluminio AA5052-H34, empleando un solo metal de aporte, pues se presentan problemas de soldabilidad básicamente entre el aporte y el acero. Se hace necesario realizar el proceso de enmantequillado o buttering en el lado del acero mediante el electrodo Cu-8Al. Luego de realizado el buttering, para la elaboración de los cupones de soldadura disimilares se emplearon diversos materiales de aporte y procesos de soldadura en la búsqueda de un procedimiento de soldadura que cumpla con lo estipulado en el código AWS B2.1 (Moreno Zabala, 2015).

La soldabilidad de una unión disimilar formada por el acero estructural ASTM A36 y la aleación de aluminio AA5052-H34. Las uniones disimilares obtenidas no lograron alcanzar la resistencia mecánica mínima indicada en el código AWS B 2.1 que establece que este tipo de uniones como mínimo deben alcanzar 170 MPa de resistencia a la tracción. En esta investigación los mejores resultados obtenidos alcanzaron los 86 MPa de resistencia a la tracción, representando el 50,6% de lo requerido por el código. De los resultados se determinó que no es posible obtener uniones, entre el acero estructural ASTM A36 y la aleación de aluminio AA5052-H34, empleando un solo metal de aporte, pues se presentan problemas de soldabilidad básicamente entre el aporte y el acero. Se hace necesario realizar el proceso de enmantequillado o buttering en el lado del acero mediante el electrodo Cu-8Al. Luego de realizado el buttering, para la elaboración de los cupones de soldadura disimilares se emplearon diversos materiales de aporte y procesos de soldadura en la búsqueda de un procedimiento de soldadura que cumpla con lo estipulado en el código AWS B2.1 (Contreras, 2018).



2.2. MARCO TEORICO

2.2.1. Soldadura

Proceso de unión que produce la coalescencia de los materiales a través de su calentamiento hasta la temperatura de soldadura, con o sin aplicación de presión o a través de la aplicación de presión solamente, y con o sin el uso de un material de aporte (Materials, 2015).

2.2.2. Soldabilidad

Es la mayor o menor facilidad con que un metal permite realizar uniones adecuadas, que respondan a la necesidad para la cual son hechas.

Es la realización de una unión entre dos piezas de metal, para esto debe lograrse las condiciones propicias para que se desarrollen las fuerzas de cohesión inherentes a los enlaces metálicos, mediante la utilización de algún tipo de energía.

Si la energía es calor, se llegan a fundir los bordes de los metales, más el metal de aporte si lo hay, los cuales se mezclan en estado líquido, acercándose los átomos lo suficiente para que cuando se solidifiquen formen la unión con una nueva red cristalina.

Si la energía es presión, se produce en primer término la ruptura de la capa de oxido, luego se nivelan las crestas y valles por deformación plástica, permitiendo el contacto íntimo entre las dos superficies y por lo tanto la unión metalúrgica

El principal problema que se puede encontrar al realizar el soldeo de un acero es la posibilidad de que se produzca el temple de la zona fundida y/o de la



zona térmicamente afectada, con el endurecimiento y pérdida de tenacidad que ello supone y por tanto con la posibilidad de producción de grietas. (Riesco, 2014)

Al realizar una soldadura sólo se calienta una zona de la pieza, la cual se enfría mucho más rápidamente que si se hubiera calentado toda ella, debido a que la zona que permanece fría facilitará la transmisión del calor y el enfriamiento de la zona calentada a gran velocidad, se puede producir un endurecimiento y la formación de grietas. (Riesco, 2014)

Por tanto, la soldabilidad de los aceros es tanto peor cuanto: Mayor sea el contenido en carbono y elementos de aleación del acero, ya que mayor será su facilidad para temprar y por tanto más fácilmente se producirán grietas. (Riesco, 2014)

Mayor sea la velocidad de enfriamiento de la pieza. La pieza enfriará más rápidamente cuando:

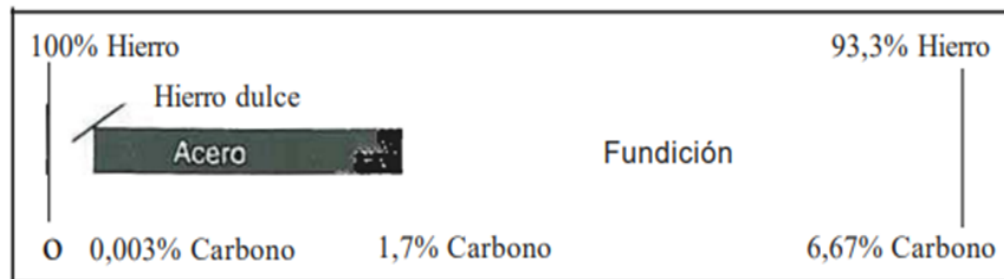
- Mayor sea el espesor de la pieza.
- Mayor sea el número de caminos que tiene el calor para disiparse. Por ejemplo, una soldadura en ángulo se enfriará más rápidamente que una soldadura a tope porque el calor puede transmitirse a través de más caminos, ver figura 22.2.
- Menor sea la temperatura inicial de la pieza. Para reducir la velocidad de enfriamiento a veces se precalienta el acero. Siempre será necesario que la temperatura mínima de las piezas entre pasadas sea la de precalentamiento.
- Menor sea el aporte térmico. Por esta razón algunas veces se requieren aportes térmicos elevados para lo que se utilizarán: electrodos de gran diámetro, altas intensidades y velocidades de desplazamiento. El aporte térmico, sin embargo, nunca debe ser excesivo. (Riesco, 2014)

2.2.3. Aceros

Material en el que el hierro es el elemento predominante, el contenido de carbono es, generalmente, inferior al 2% y contiene además otros elementos. Para un limitado número de aceros al cromo, el contenido de carbono puede ser superior al 2%, pero este valor es el contenido límite habitual que separa el acero de las fundiciones. (certificación, 2001)

Figura 1.

Diferencia entre acero y fundición por su composición química



Nota: Porcentaje de carbono para la clasificación entre un acero y una fundición. Tomada de (Riesco, 2014)

Además de los componentes principales indicados, los aceros incorporan otros elementos químicos, algunos perjudiciales, provenientes de la chatarra, el mineral o el combustible empleado en el proceso de fabricación, como el azufre y el fósforo, mientras que otros se añaden intencionalmente para la mejora de alguna de las características del acero, bien para incrementar la resistencia, ductilidad, dureza, etc. o para facilitar algún proceso de fabricación como puede ser el mecanizado. Tal es el caso de los elementos de aleación como el níquel, el cromo, el molibdeno, etc. (Rionda Canellana, Rosell Gonzales, & Isidro, 2016)

El acero es actualmente la más importante aleación empleándose de forma intensiva en numerosas aplicaciones como bienes de equipo (máquina-



herramienta), construcción, etc. Sin embargo, su utilización se ve condicionada en determinadas aplicaciones por las ventajas técnicas que ofrecen otros materiales como el aluminio en el transporte, por su mayor ligereza, el hormigón en la construcción (aunque combinado con el acero) por su mayor resistencia a la corrosión, y por su mayor resistencia al fuego, los materiales cerámicos en aplicaciones a altas temperaturas, etc. (Rionda Canellana, Rosell Gonzales, & Isidro, 2016)

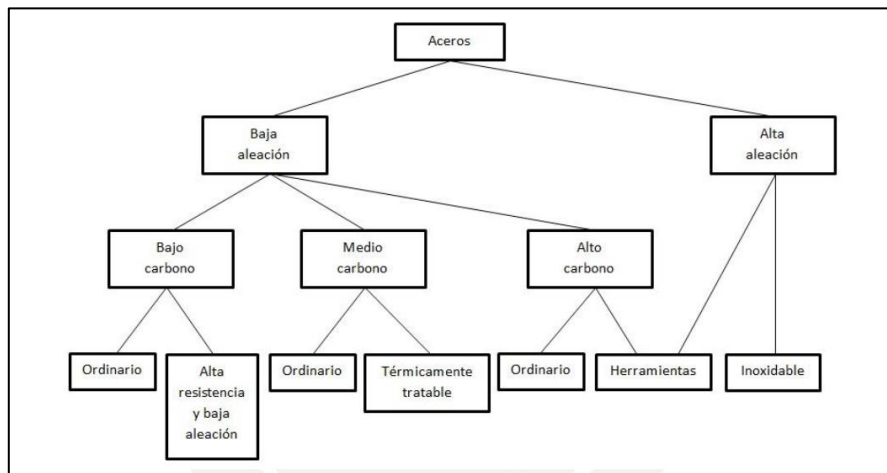
Tal es la importancia industrial de este material que su metalurgia recibe la denominación especial de siderurgia, y su influencia en el devenir histórico de la humanidad queda reflejada en el hecho de que una de las edades de hombre recibiera la denominación de edad de hierro. (Rionda Canellana, Rosell Gonzales, & Isidro, 2016)

2.2.4. Clasificación de los aceros

Como anteriormente se describió al acero, el carbono cumple un papel muy peculiar en los aceros, debido a ello puede ser clasificado como acero de bajo, medio o alto carbono. Además del carbono, los aceros poseen elementos aleantes los cuales son controlados al momento de su fabricación, por lo que además se subdivide en aceros al carbono (posee impurezas distintas al carbono, residuales de fabricación), además aceros de baja aleación (elementos aleantes no superan el 5%) y aceros de alta aleación (elementos aleantes superan el 5%). En la figura 1.1 se aprecia una manera de clasificar a los aceros.

Figura 2.

Clasificación de aceros.



Nota: Clasificación según porcentaje de aleantes y contenido de carbono (Callister, 1995)

En general existe gran variedad en la forma de identificar y clasificar los aceros. Sin embargo, la mayoría de los aceros utilizados industrialmente presentan una designación normalizada expresada por medio de cifras, letras y signos. Hay dos tipos de designaciones para cada tipo de material, una simbólica y otra numérica. (Callister, 1995)

La designación simbólica expresa normalmente las características físicas, químicas o tecnológicas del material y, en muchos casos, otras características suplementarias que permitan su identificación de una forma más precisa. (Callister, 1995)

Por otro lado, la designación numérica expresa una codificación alfanumérica que tiene un sentido de orden o de clasificación de elementos en grupos para facilitar su identificación. En este caso, la designación no tiene un sentido descriptivo de características del material. (Callister, 1995)



En general, cuando se acomete el tema de hacer una clasificación de los aceros, ésta dará resultados diferentes según el enfoque que se siga. Así, se puede realizar una clasificación según la composición química de los aceros, o bien, según su calidad. También se pueden clasificar los aceros atendiendo al uso a que estén destinados, o si se quiere, atendiendo al grado de soldabilidad que presenten. (Callister, 1995)

Atendiendo a la composición química, los aceros se clasifican en:

Aceros no aleados, o aceros al carbono: son aquellos en el que, a parte del carbono, el contenido de cualquiera de otros elementos aleantes es inferior a la cantidad mostrada en la tabla 1 de la UNE EN 10020:2001. Como elementos aleantes que se añaden están el manganeso (Mn), el cromo (Cr), el níquel (Ni), el vanadio (V) o el titanio (Ti). Por otro lado, en función del contenido de carbono presente en el acero, se tienen los siguientes grupos (Certificación, 2001):

- Aceros de bajo carbono ($\%C < 0.25$)
- Aceros de medio carbono ($0.25 < \%C < 0.55$)
- Aceros de alto carbono ($2 > \%C > 0.55$)

Aceros aleados: aquellos en los que, además del carbono, al menos uno de sus otros elementos presentes en la aleación es igual o superior al valor límite dado en la tabla 1 de la UNE EN 10020:2001. A su vez este grupo se puede dividir en (certificación, 2001):

- Aceros de baja aleación (elementos aleantes $< 5\%$)
- Aceros de alta aleación (elementos aleantes $> 5\%$)



Aceros inoxidables: son aquellos aceros que contienen un mínimo del 10.5% en Cromo y un máximo del 1.2% de Carbono.

Cuando, para un elemento distinto del manganeso, sólo está especificado un valor máximo en la norma de producto o en la especificación, a efectos de clasificación, se debe considerar un valor del 70% de dicho valor máximo según las tablas 1 y 2. Para el manganeso, véase la nota de la tabla 1 (UNE-EN 10020, 2001) (Certificación, 2001)

Tabla 1.

Delimitación de las clases de acero no aleado (análisis de colada)

Elemento Especificado		Contenido limite % en masa
Al	Aluminio	0.30
B	Boro	0.0008
Bi	Bismuto	0.10
Co	Cobalto	0.30
Cr	Cromo	0.30
Cu	Cobre	0.40
La	Lantanos	0.10
Mn	Manganeso	1.65(nota)
Mo	Molibdeno	0.08
Nb	Niobio	0.06
Ni	Níquel	0.30
Pb	plomo	0.40
Se	selenio	0.10
Si	Silicio	0.60
Te	Teluro	0.10
Ti	Titanio	0.05
V	Vanadio	0.10
W	Tungsteno	0.30
Zr	Circonio	0.05
Otros excepto Carbono, Fosforo, Azufre, Nitrógeno, (cada uno individualmente)		0.10

Nota: Cuando el manganeso está definido por un máximo, el valor máximo es 1.8% y la regla del 70% no se aplica. Tomada de (Certificación, 2001)



2.2.5. Acero de bajo contenido de carbono

En este grupo se encuentran los aceros con carbono menor de 0,15% y manganeso menor de 0.8%. Estos aceros no suelen endurecerse durante el soldeo, por lo que no suelen requerir ningún tipo de precaución especial para prevenir la formación de grietas. Sin embargo, cuando se suelden piezas de grandes espesores (mayores de 100 mm), puede ser necesario utilizar electrodos de bajo contenido en hidrógeno (básicos) o un ligero precalentamiento para asegurarse de que no se producirán grietas (Riesco, 2014).

2.2.6. Acero de medio contenido de carbono

En este grupo se encuentran los:

- Aceros con carbono mayor de 0,15%, pero menor de 0,25% y manganeso menor de 0,8%.
- Aceros al carbono manganeso con contenidos en carbono menores del 0,2% y manganeso menor del 1,4%.

En estos aceros se utilizarán electrodos básicos o procesos que favorezcan el bajo contenido en hidrógeno, como por ejemplo TIG y MAG. También se podrá incrementar el aporte térmico mediante bajas velocidades. o electrodos de gran diámetro. Cuando el espesor de la pieza sea elevado ósea Imprescindible utilizar electrodos de pequeño diámetro, se precalentarán las piezas (Riesco, 2014).

2.2.7. Acero de alto contenido de carbono

En este grupo se encuentran los aceros al carbono manganeso con contenidos en carbono mayores del 0,25% e inferiores al 1% con contenidos de manganeso mayores del 1%. Estos aceros tienen mayor tendencia a endurecer y

se deberán utilizar procesos o electrodos de bajo hidrogeno, así como precalentamientos y temperaturas entre pasadas de hasta 350 °C. En algunos casos se puede evitar el precalentamiento si se utiliza un proceso de alto aporte térmico; sin embargo, los procesos de alto aporte térmico deben aplicarse con cuidado sobre todo en las primeras pasadas. (Riesco, 2014)

Tabla 2.

Precauciones durante el soldeo en función al tipo de acero

Tipos de acero	Aplicaciones típicas	Precauciones durante el soldeo
Bajo carbono $C < 0.15\%$ $Mn < 0.8\%$	Chapas, flejes, electrodos, perfiles, barras, acero estructural.	Normalmente ninguna.
Medio carbono $0.15\% < C < 0.25\%$ $Mn < 0.8\%$ $C < 0.2\%$ $Mn < 1.4\%$	Elementos de máquinas. Herramientas.	Se recomienda electrodos básicos o procesos protegidos por gas (TIG, MAG) Puede requerirse precalentamiento en las piezas de gran espesor o cuando se utilice electrodos de pequeño diámetro.
Alto carbono $0.25\% < C < 1\%$ $Mn > 1\%$	Muelles, troqueles, moldes, Railes, rieles.	Precalentamiento (250-350°C) puede no requerirse precalentamiento con procesos de alto aporte térmico (electrodos gruesos)

Nota: extraído de (Riesco, 2014)

2.2.8. Acero estructural

El acero estructural es un acero al carbono que posee menos de 0.29%C, es utilizado en diversos elementos estructurales como perfiles, barras y láminas. Esto se debe a su buena ductilidad y el bajo contenido de carbono que presenta hace que tenga una buena soldabilidad. Por lo que no se presentan problemas de



que se formen estructuras frágiles en la ZAC ni peligros de fisuración en caliente como si se da en los aceros inoxidable austeníticos y en aleaciones de aluminio. (Riesco, 2014)

2.2.9. Procesos de soldadura

Actualmente se cuenta con una gran gama de procesos de soldadura, dentro de las cuales, según la AWS, podemos diferenciar las distintas formas de unión de materiales en soldadura por fusión, soldadura en estado sólido y soldadura fuerte y blanda.

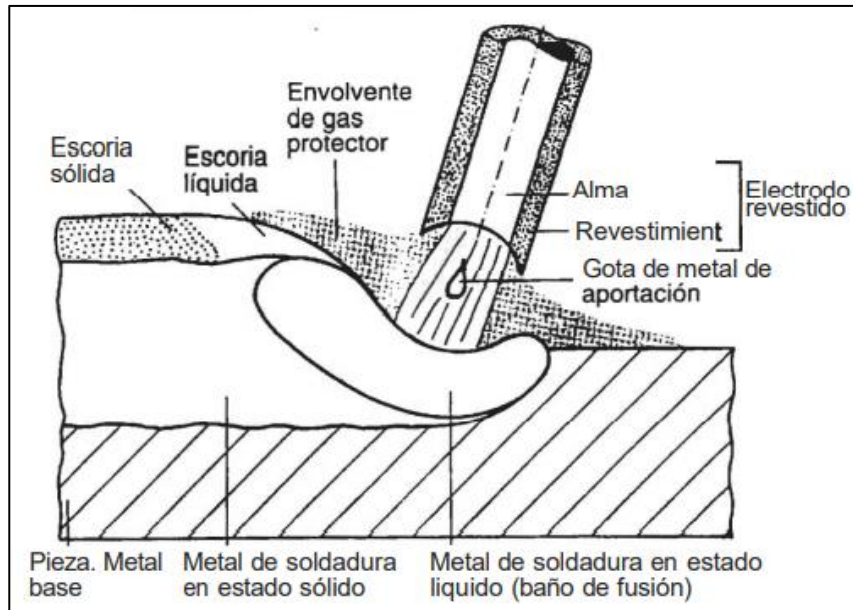
Clasificada de esta manera, Para la ejecución del presente proyecto de investigación se estudiará la soldadura por fusión. En los procesos de soldadura por fusión, es necesario elevar la temperatura del material de interés por encima de su punto de fusión, puede ser ejecutada con o sin material de aporte, es decir, siempre existe una fase líquida, la que está formada por el material base y si se diera el caso con el material de aporte, las cuales al solidificar forman un solo material con diferentes propiedades mecánicas y estructurales al material base. Dentro de los procesos de soldadura por fusión más usados en Perú tenemos los siguientes (Riesco, 2014):

- SMAW: Shield Metal Arc Welding, es un proceso de soldadura en el que el metal de aporte es por varilla, es muy convencional y el más usado en campo debido a su versatilidad, en el proceso SMAW la fusión del metal de aporte y el metal base, se da gracias al calor generado entre la punta del electrodo revestido y el material base. La protección del charco de soldadura se da gracias a la descomposición del recubrimiento, que se va flotando en forma de escoria líquida sobre el baño de fusión, la cual va solidificando junto al metal

soldado, también produce gases que aísla el baño de fusión de la atmosfera, protegiéndola principalmente del hidrogeno y así evitar una fisuración en frio (Riesco, 2014).

Figura 3.

Proceso de soldeo SMAW



Nota: Figura tomada de (Riesco, 2014)

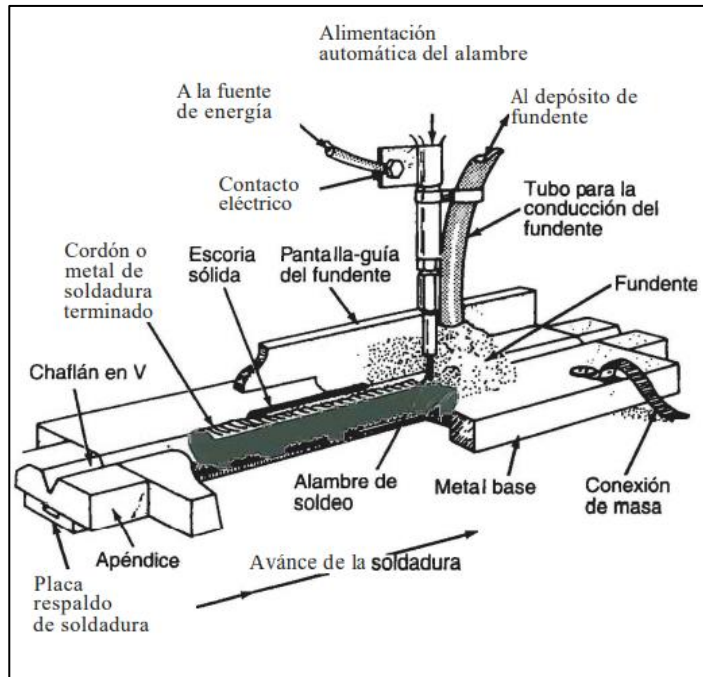
- SAW: Submerged Arc Welding, o también conocido como soldadura por arco sumergido, el cual se utiliza en la industria metalmeccánica para depósitos de gran escala en materiales de espesores considerables. El cual se da por la alimentación continua de un alambre desnudo protegido por escoria generada por un fundente.

El proceso SAW puede ser semiautomático o automático, en ambos casos el arco eléctrico se establece entre el alambre desnudo y la pieza a soldar, teniendo como ventaja la versatilidad para poder incorporar varios alambres simultáneamente, aumentando la tasa de deposición. El fundente tiene la función de proteger al arco y baño de fusión de tal manera que quedan invisibles durante

el proceso, además es posible añadir elementos a través del fundente, ya que parte de él, se funde en el arco de fusión (Aracil Cadenas & Romero Camacho, Soldeo Manual por Arco con Electrodo Revestido, 2020).

Figura 4.

Proceso de soldadura SAW

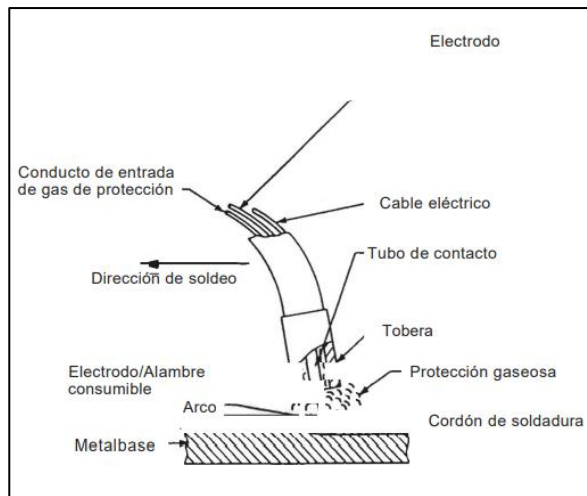


Nota: Figura tomada de (Riesco, 2014)

- GMAW (MIG-MAG): Gas Metal Arc Welding, en este proceso el material de aporte es un alambre metálico macizo, en la que la atmosfera protectora del charco de fusión es un medio gaseoso, que puede ser inerte denominada soldadura MIG o un gas activo denominada soldadura MAG, este ultimo es el mas usado debido al costo del gas protector. El proceso GMAW por lo general es semiautomático, debido a que la pistola es dirigido por un operario el cual controla la velocidad de avance y el Angulo de soldeo, sin embargo es de fácil automatización, pero poco usual (Aracil Cadenas, Soldeo MIG/MAG, 2020).

Figura 5.

Proceso de soldeo GMAW

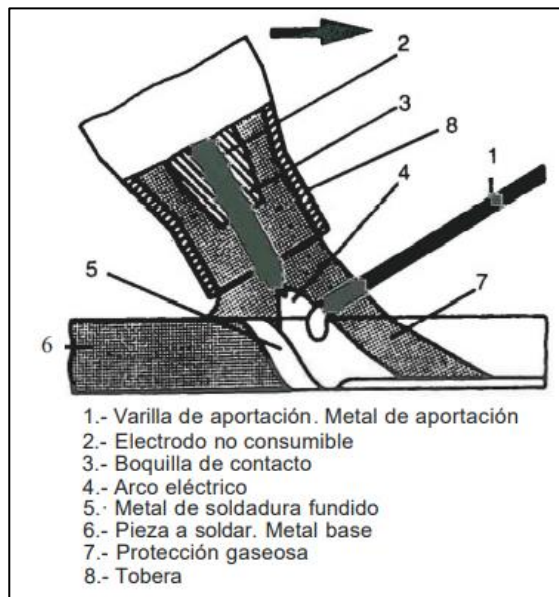


Nota: Figura tomada de (Riesco, 2014)

- GTAW: Gas Tungsten Arc Welding, es un proceso en el que se puede o no aportar un tercer material al charco de fusión, considerado uno de los procesos en el que se obtiene propiedades mecánicas poco alteradas al material base. Dicho proceso se realiza por un electrodo de tungsteno no consumible y protección gaseosa con gas inerte, por lo general argón. La energía generada entre el electrodo no consumible y el metal a soldar es lo que genera el charco de fusión, mientras que la inyección del gas protege o aísla dicho charco de la atmosfera, evitando la contaminación (Sanz Cubero & Romero Camacho, 2020).

Figura 6.

Proceso de Soldadura GTAW

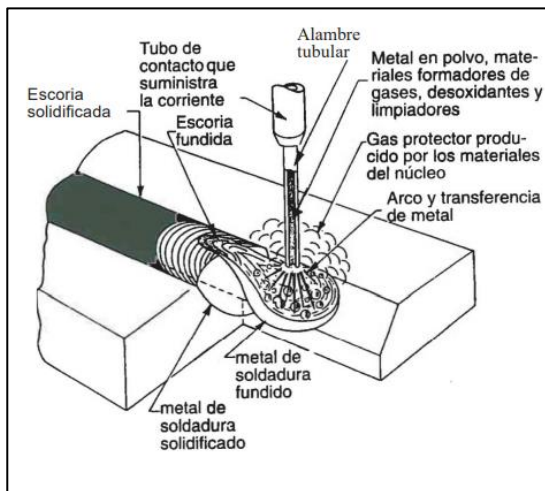


Nota: Figura tomada de (Riesco, 2014)

- FCAW: Flux Core Arc Welding, Proceso comúnmente conocido como soldadura con alambre tubular, el proceso FCAW a diferencia del GMAW, el tipo de electrodo que como su nombre indica es un alambre hueco con relleno de fundente en el cual, al fundirse por acción del arco eléctrico, deposita un metal fundido, que es cubierta por una capa fina de escoria. En la soldadura tubular se tiene dos variantes (Aracil Cadenas, Soldeo con Alambre Tubular, 2020):
 - Autoprotegido, como su nombre lo indica, el charco de fusión es protegido gracias a la descomposición y vaporización del material fundente contenida en el alambre tubular (Aracil Cadenas, Soldeo con Alambre Tubular, 2020).

Figura 7.

Proceso de soldadura FCAW-Autoprotegido

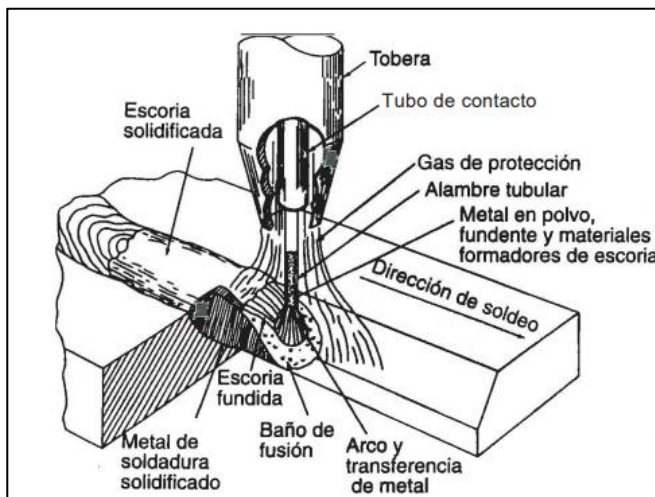


Nota: Figura tomada de (Riesco, 2014)

- Con protección de gas, que además de la acción protectora que proporciona el fundente, se deberá de proteger el charco de soldadura por un gas, comúnmente usado el CO₂ o una mezcla de CO₂ y Argon.

Figura 8.

Proceso de soldadura FCAW-Con protección gaseosa



Nota: Figura tomada de (Riesco, 2014)



Otra de las ventajas, que, al ser un proceso semiautomático, puede con facilidad adecuar a un proceso mecanizado o automático, con la que se logra una mayor producción y mayor tasa de deposición (Riesco, 2014).

2.2.10. Uniones disimiles

En términos generales se puede decir que una unión disímil, es aquella en que por medio de la soldadura se consigue una continuidad metálica, de dos materiales distintos. Los materiales pueden ser diferentes químicamente, mecánicamente e incluso metalúrgicamente debido a la cantidad de aleantes que forman una microestructura diferente. Al unir estos dos materiales se creará uno nuevo debido al material de aporte que se utilizara, motivo suficiente para tener en consideración el apropiado proceso de soldeo a utiliza, material adecuado e incluso tipo de junta, pero sobre todo se tiene que tener mucho cuidado al elegir el tercer elemento, ya que es el principal componente para poder lograr una buena junta en uniones disimilares.

Cabe resaltar que el aporte de calor y el enfriamiento juega un rol importante un cambio de temperatura brusca ya sea en el calentamiento o enfriamiento puede generar fisurar en el material base, debido a ello se debe de calcular adecuadamente en pre-calentamiento y Post-caletamiento si así lo requiera, con la finalidad de que el cordón de soldadura pueda satisfacer los requerimientos del componente puesto en servicio (Fosca, 2018).

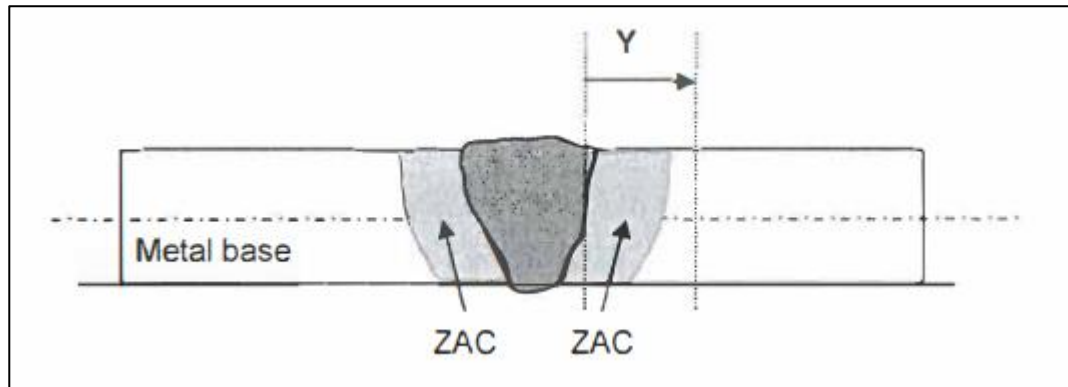
2.2.11. Zona afectada por el calor

Cuando se realiza la unión de metales mediante los procesos de soldadura por fusión, tanto el material de aporte como los materiales base se llega a fundir, por lo que es recomendable que ambos materiales de interés tengan un punto de fusión similares y así no tener mayor complicación durante el soldeo, caso contrario se

podría volatilizar elementos primordiales del material que tenga menor punto de fusión y al momento de la solidificación presentar fisuras en el material base (Fosca, 2018).

Figura 9.

Zona afectada por el calor

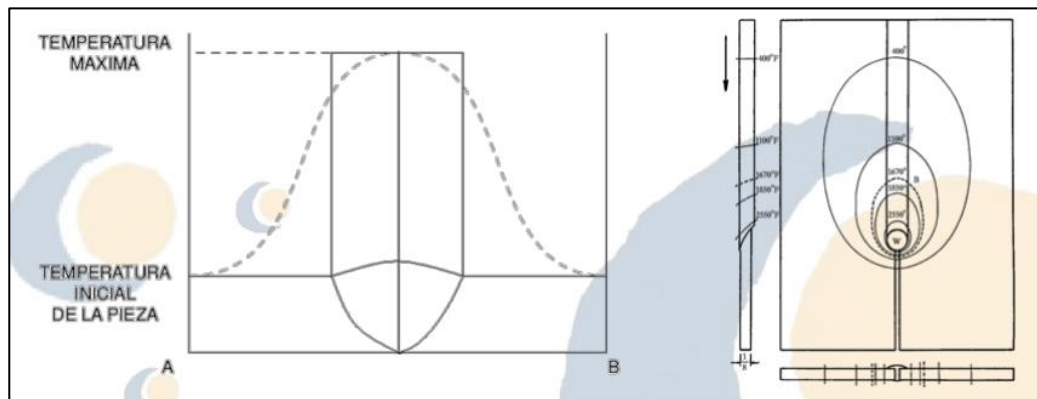


Nota: Figura extraída de (Fosca, 2018)

Al momento de realizar una soldadura por arco eléctrico se genera una zona de calor puntual conocida como charco de soldadura (cordón de soldadura), la temperatura va disminuyendo gradualmente conforme nos vamos alejando de manera transversal al cordón de soldadura, la cual se conoce como zona afectada por el calor, esta zona es la que mayor impacto respecto al comportamiento mecánico sufre al regresar a la temperatura ambiente, ya que presenta grandes cambios microestructurales y es la más frágil y propensa a sufrir fractura durante el tiempo de servicio del componente (Aracil Cadenas & Romero Camacho, Soldeo Manual por Arco con Electrodo Revestido, 2020).

Figura 10.

Isotermas generadas por el arco eléctrico



Nota: distribución de temperatura máxima alcanzada de un cordón de soldadura.

Figura tomada de (Reina Gómez & Portolés García, 2016)

2.2.12. Material de aporte

Para la selección de un material de aporte, principalmente se tiene que tener en cuenta la composición del material base, para de esta manera elegir un electrodo con similar composición química, también debemos de considerar las propiedades mecánicas. Para el soldeo de materiales disimiles se debe de considerar un valor químico intermedios entre los materiales base a unir, sin embargo, los valores mecánicos deberán de superar al material base con mejores propiedades para de esta manera asegurar el comportamiento ideal del cordón de soldadura (Callister, 1995).

2.2.13. Parámetros de soldeo

Para la fabricación de un componente mecánico, se debe de tener especial cuidado en la metalurgia de la soldadura, debido a que pequeños cambios metalográficos y químicos genera gran variación en las propiedades mecánicas. Por ello para no afectar en gran medida dichos cambios, se tiene que controlar estrictamente parámetros durante el soldeo, tales como:



- Pre-calentamiento.
- Post-calentamiento (tratamiento térmico).
- Velocidad de alimentación de alambre.
- Corriente (Amperios).
- Tensión (Voltios).
- Velocidad de avance.
- Diseño de junta.
- Temperatura entre pase.
- Velocidad de enfriamiento.

2.2.14. Dilución

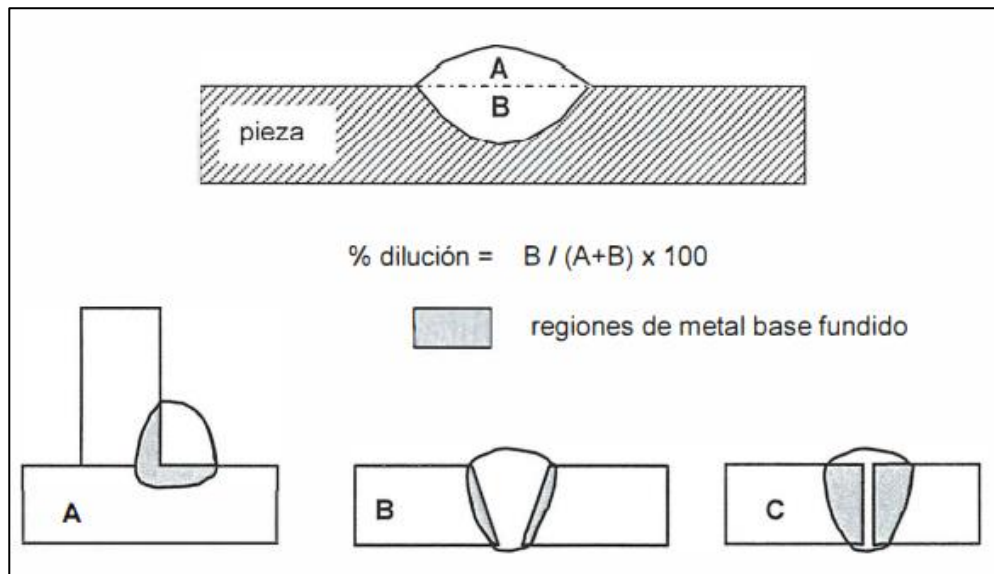
Durante la soldadura por fusión, el metal de cada una de las partes a unir y el de aporte (si se utiliza) se funden conjuntamente formando el baño de fusión o metal de soldadura. Tras la posterior solidificación, el metal de soldadura resultante tendrá bien una sola fase o una mezcla de dos o más fases. Una fase puede ser una solución sólida (Cu-Ni), un compuesto Inter metálico (CuAl₂) o un compuesto intersticial (Fe₃C, TiC). El número, tipo, cantidad y disposición metalúrgica de las fases presentes determinará, en gran parte, las propiedades y calidad del metal de soldadura. Las velocidades de solidificación y enfriamiento también tienen un efecto significativo sobre las fases presentes y la microestructura del material (Fosca, 2018).

En la soldadura de metales disímiles, el metal de aporte debe ser capaz de alearse fácilmente con los metales base para producir un metal de soldadura que tenga una matriz dúctil y continua. Específicamente, el metal de aporte debe ser capaz de aceptar la dilución (aleación) por los metales base sin producir una microestructura propensa a la fisuración. Tal microestructura del metal de

soldadura debe ser también estable bajo las condiciones que se esperan en servicio. La resistencia del metal de soldadura debe ser igual o mayor que la del metal base más débil (Fosca, 2018).

Figura 11.

Dilución del material de aporte



Nota: Figura tomada de (Reina Gómez & Portolés García, 2016)

2.2.15. Temperatura de pre y post calentamiento

Para soldar aceros de fácil templabilidad se debe tener cuidado con la velocidad y cambio de temperatura que se genera al momento de soldar, un cambio brusco podría generar graves consecuencias como el agrietamiento, para evitar esos choques bruscos de temperatura, es necesario un pre-calentamiento (T_p) que puede ser mediante llama, corrientes inducidas, o mantas térmicas, por lo que a mayor T_p , mayor será la temperatura que alcance el material y menor la velocidad de enfriamiento, esto nos puede ayudar a evitar la fisuración en frío y facilitar la fusión de algunos materiales (Reina Gómez & Portolés García, 2016).

Luego del soldeo de materiales complejos, por efecto de la temperatura al solidificar se genera algunas tensiones residuales tanto como transversales y



longitudinales al cordón de soldadura, caso extremo podría quedar hidrogeno atrapado lo que perjudicaría la puesta en servicio generando una grieta fatal, para evitar todo ello se debe de realizar un post-calentamiento o también conocido como tratamiento térmico post-soldadura, la que evita tiene efectos positivos en el cordón de soldadura, eliminando tensiones residuales y el hidrogeno atrapado, también mejora las propiedades mecánicas aumentando su tenacidad (Reina Gómez & Portolés García, 2016).

2.2.16. Posición de soldadura

Para obtener una soldadura de calidad es necesario contar con soldadores cualificados, la que se debe de entender como una valoración de aptitud para realizar soldaduras de calidad y aceptables, después de haber superado las pruebas y exámenes oportunos para la labor a realizar, luego de ello se le otorga una homologación en la que se especifica las condiciones en las que se fue tomada las pruebas, los resultados de ellas y los tipos de soldadura para las que el soldador que apto a realizar (Riesco, 2014).

Se entiende que en la ejecución de soldadura en el campo experimenta, se puede encontrar distintas posiciones en las que se ejecutara un cordón de soldadura, debido a que los componentes en servicio pueden presentar distintas dimensiones y posiciones al momento de realizar reparaciones y/o fabricaciones de componentes, por ello será necesario cualificar soldadores según las posiciones en las que se ejecutara el soldeo, habiendo dos normativas para universalizar las posiciones, norma americana y norma europea (Riesco, 2014).

Figura 12.

Designación de posiciones de soldeo

Posición de la unión	Designación	
	EN	ASME
	PB	2F
	PB	2FR
	PC	2G
	PO	4F
	PE	4G


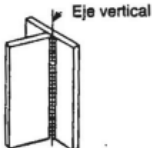
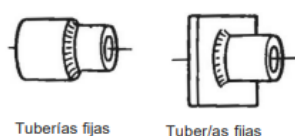
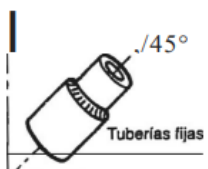
Nota: (Continuación) las posiciones de soldeo son efectuadas para la cualificación de soldadores conforme a la normativa aplicada. Figura tomada de (Riesco, 2014)

EN: norma europea

ASME: norma americana

Figura 13.

Designación de posiciones de soldeo

Posición de la unión	Designación	
	EN	A5ME
	PF	3G ascendente
	PG	3G descendente
	PF	3F ascendente
	PG	3F descendente
<p>[TI]</p> <p>Tuberías fijas</p>	PF	5G ascendente
	PG	5G descendente
 <p>Tuberías fijas Tuberías fijas</p>	PF	5F ascendente
	PG	5F descendente
 <p>Tuberías fijas</p>	H-L045	6G

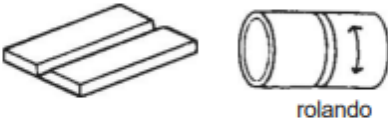
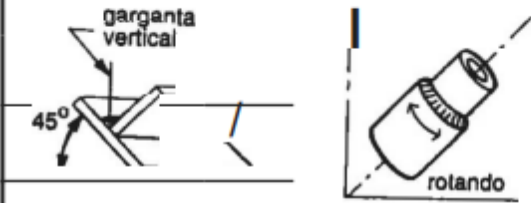
Nota: (Continuación) las posiciones de soldeo son efectuadas para la cualificación de soldadores conforme a la normativa aplicada. Figura tomada de (Riesco, 2014)

EN: norma europea

ASME: norma americana

Figura 14.

Designación de las posiciones de soldeo

Posición de la unión	Designación	
	EN	ASME
	PA	IG
	PA	IF

Nota: las posiciones de soldeo son efectuadas para la cualificación de soldadores conforme a la normativa aplicada. Figura tomada de (Riesco, 2014)

EN: norma europea

ASME: norma americana

2.2.17. Ensayos destructivos

Dependiendo de los estados de fabricación un material puede cambiar su comportamiento mecánico durante su puesta en servicio o construcción, ello dependiendo de su composición química, acabado superficial, tratamiento térmico, entre otros (Oñoro López & Roso Sánchez, 2020).

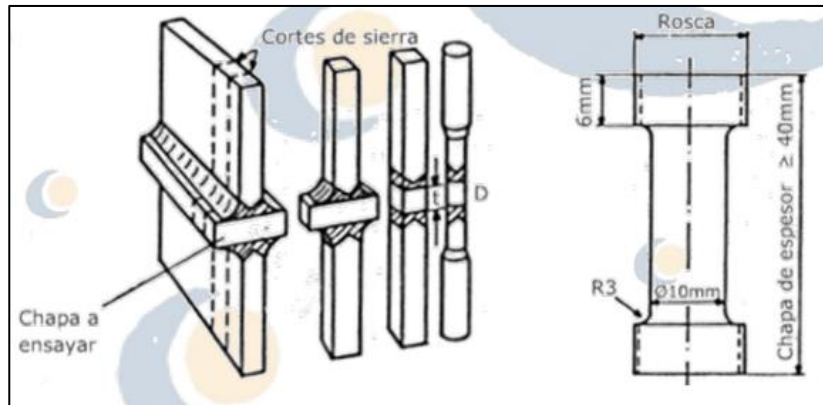
Para determinar el comportamiento de un componente se deberá de someter a una serie de ensayos que nos garantizara un comportamiento eficiente y adecuada para la utilización de la pieza y componente para la cual fue diseñada. Así mismo los resultados obtenidos de los ensayos nos permitirá hacer comparaciones con otros materiales y de esta manera elegir el que idóneo se

considere para el componente. Los ensayos de dureza, resistencia, alargamiento, tenacidad. Son de gran importancia a la hora de realizar un diseño, para así poder determinar el tamaño y dimensionamiento eficiente, que pueda soportar las cargas ejercidas durante el servicio (Oñoro López & Roso Sánchez, 2020).

Los ensayos son la fuente más verídica a la hora de tomar decisiones en cuanto al material, dimensión y comportamiento esperado de un componente estructural o elemento de máquina. Para realizar la caracterización de un material soldado, el cordón de soldadura deberá de ser sometida a ensayos destructivos en dirección transversal al cordón, como se muestra en la figura 18 (Oñoro López & Roso Sánchez, 2020).

Figura 15.

Ejemplo de probeta de ensayo en una unión soldada



Nota: Figura tomada de (Oñoro López & Roso Sánchez, 2020)

2.2.18. Ensayo de dureza

La dureza es una propiedad de los materiales que identifica el comportamiento de su superficie al interactuar con otros materiales. A pesar de existir una noción de dureza, que permite distinguir los cuerpos “duros” de los



“blandos”, existen diferentes formas de interacción y por tanto diferentes maneras de definir la dureza de los materiales (Oñoro López & Roso Sánchez, 2020).

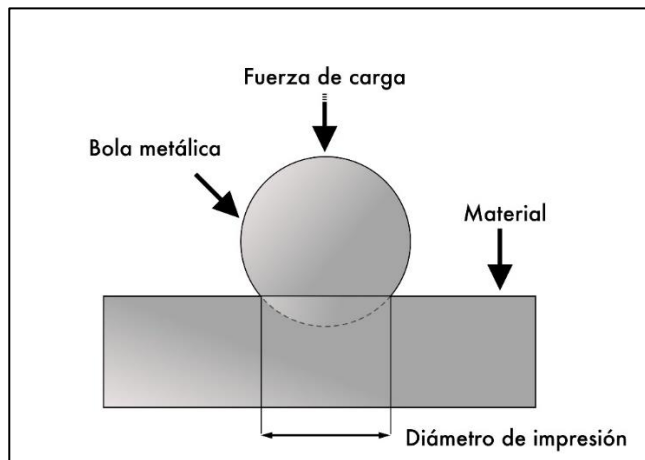
En los metales, la dureza, es la resistencia que oponen esos materiales a ser penetrados superficialmente por otros cuerpos. Fundándose en ella se han ideado diversos sistemas de medir la dureza, que coinciden en esencia y consisten en aplicar un penetrador, de forma y dimensiones fijas, contra la superficie preparada de una superficie a ensayar, bajo una carga suficientemente grande como para asegurar una deformación permanente localizada. Se mide, después, la dimensión de la huella causada por el penetrador o la recuperación de la superficie después de retirada la carga aplicada. La dureza se obtiene numéricamente como función de esa dimensión o recuperación experimentada por el material (Oñoro López & Roso Sánchez, 2020).

- **Dureza Brinell**

En el año 1900, el ingeniero sueco J.A. Brinell propuso el ensayo de dureza que lleva su nombre y que ha merecido gran aceptación. Utiliza un penetrador consistente en una bola de acero de 10 mm de diámetro, que se comprime contra la superficie de la muestra mediante una fuerza de 3.000 kg. El valor de dureza se calcula a partir de la medida del diámetro de la huella, figura 19. es igual al cociente de dividir la carga F por la superficie de la huella considerada como un casquete esférico. La dureza Brinell se designa por HB (Hardness Brinell) (Oñoro López & Roso Sánchez, 2020).

Figura 16.

Esquema de Ensayo de Dureza Brinell



Nota: Figura (conecband, 2022)

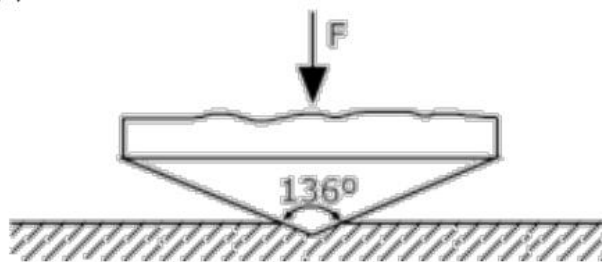
La prueba de dureza Brinell presenta como ventaja que, al producir una huella relativamente grande, da una medida de la dureza muy representativa de esta propiedad en el material ensayado, además, resulta poco influenciada por pequeños defectos superficiales en la muestra, como arañazos, etc., por lo que no se precisa realizar un pulido cuidadoso de la misma. Por el contrario, el tamaño relativamente grande de la huella puede ser un inconveniente en otros casos, como que la presencia de tal marca pueda hacer a la pieza inutilizable, o cuando hay que medir dureza de zonas afectadas estrechas, donde el tamaño de la huella es mayor que la anchura de la ZAC. Debe tenerse también en cuenta que el ensayo de Brinell no conviene a materiales muy duros ($HB > 500$) pues la bola se achata al ser comprimida contra ellos, con lo que el diámetro de la huella es mayor que si el penetrador permaneciese esférico, lo que hace que el material aparezca como más blando de lo que realmente es (Oñoro López & Roso Sánchez, 2020).

- **Dureza Vickers:**

Emplea como penetrador una pirámide de diamante de base cuadrada en la que las caras opuestas forman un ángulo diedro de $136^\circ \pm 1$ (figura 20). La carga que actúa sobre el penetrador puede ser de 1, 5, 10, 30, 50, 100 y 150 kg. Normalmente se utiliza una carga de 5 kg, HVS, en la normativa europea y de 10 kg, HV10 en la americana, los valores más bajos de carga, 1 kg se suelen emplear en materiales blandos, Al y Ti. La carga debe actuar durante un tiempo de 15 segundos (Oñoro López & Roso Sánchez, 2020).

Figura 17.

Esquema de Ensayo Dureza Brinell



Nota: Figura tomada de (Oñoro López & Roso Sánchez, 2020)

El ángulo de 136° no es caprichoso. En realidad, el ensayo de Vickers no es sino una variante del Brinell, en el cual el penetrador, al ser de diamante, es más indeformable y las huellas producidas sobre un mismo material, bajo cargas distintas, son todas semejantes. En la mayor parte de los ensayos Brinell la relación d/D se encuentra comprendida entre 0,25 y 0,50. En la pirámide de diamante con ángulo de 136° , la huella obtenida correspondería en un ensayo Brinell a una relación $d/D=0,375$, con lo que los valores de HB y HV son prácticamente idénticos en tanto las huellas del penetrador Brinell tengan una profundidad normal, es decir para materiales blandos.



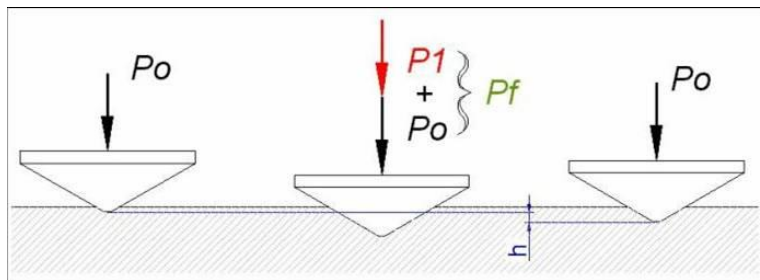
- **Dureza Rockwell:**

El ensayo Rockwell se presentó en 1929, ideado especialmente para materiales duros que no podían ser ensayados adecuadamente por el método Brinell. En el ensayo Rockwell se utilizan alternativamente, un penetrador cónico de diamante o un penetrador esférico de acero, cuyo diámetro puede ser 1/16", 1/8", 1/4" ó 1/2". El penetrador cónico tiene un ángulo en el vértice de 120° y la punta está redondeada con un radio de 0,2 mm. En el ensayo Rockwell actúan dos cargas diferentes. Primero se aplica una carga pequeña de 10 kg, y luego además de aquella, actúa otra carga mayor de 90 o 140 kg, según se emplee como penetrador una bola o un diamante. La dureza Rockwell es función de la diferencia entre la penetración conseguida cuando actúa la carga pequeña y la profundidad de la huella permanente que hicieron las dos cargas actuando simultáneamente. El uso de la carga inicial asegura un contacto normalizado entre el penetrador y la pieza en los momentos inicial y final de la medida. Para piezas de dureza alta se emplea como cuerpo penetrador el cono de diamante y las durezas obtenidas se denominan Rockwell-C a partir de 22HRC, sino emplear HRB. Para materiales blandos se utiliza la bola de acero templado de 1/16" y las durezas obtenidas se denominan Rockwell-B (Oñoro López & Roso Sánchez, 2020).

La dureza Rockwell se expresa con las iniciales HR seguidas de la que corresponde a la escala empleada. Así un material con dureza de 52 unidades, medida con penetrador cónico y carga de 150 kg tiene una dureza de 52 HRC (Oñoro López & Roso Sánchez, 2020).

Figura 18.

Esquema de Ensayo de Dureza Rockwell



Nota: Figura tomada de (Aceros L. y., 2022)

2.2.19. Ensayo de tracción

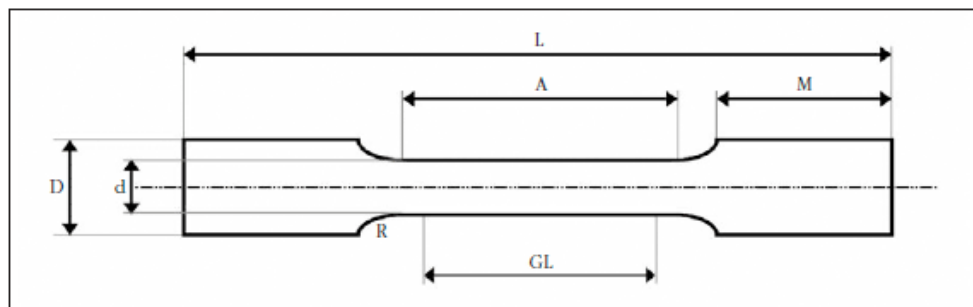
El ensayo de tracción consiste en someter a una muestra del material estudiado, de forma y dimensiones normalizadas, a una fuerza de tracción axial que crece lenta y gradualmente hasta la rotura de la misma. Durante el ensayo pueden desprejarse los efectos de la inercia y, en cada momento, existe equilibrio entre la fuerza aplicada a la probeta y la reacción de ésta. En estas condiciones la probeta se encuentra sometida a carga estática. La velocidad del ensayo de tracción es fundamental en los resultados del ensayo. Así se recoge tanto en ASTM E-8 como en UNE-EN-ISO 6892 ó en las normas de material correspondiente en multitud de casos (Oñoro López & Roso Sánchez, 2020).

Durante la prueba se miden ciertas propiedades del material que proporcionan una información sobre su aptitud para resistir cargas estáticas (resistencia) y sobre su deformabilidad (ductilidad). Las propiedades del primer grupo, medidas en el ensayo, son directamente aplicables en el proyecto para el cálculo de elementos resistentes. Las propiedades dúctiles no pueden ser introducidas en el cálculo y proporcionan información utilizable, si se poseen adecuados términos de referencia, para estimar el comportamiento previsible del material en servicio y para conocer la facilidad con que se prestará a determinadas operaciones de

conformación. Las probetas de ensayo pueden ser de sección circular (probetas cilíndricas) o rectangular (probetas prismáticas) y sus dimensiones principales deben acomodarse a lo que establecen las normas o especificaciones del ensayo utilizadas (Oñoro López & Roso Sánchez, 2020).

Figura 19.

Probeta de tracción.



Nota: L: longitud total; A: Longitud paralela; GL: Longitud calibrada; M: Longitud del extremo; D: Diámetro de extremos; d: Diámetro en la región de ensayo; R: Radio de curvatura. Imagen Propia

La fuerza de tracción producida por la máquina se genera con dispositivos mecánicos o hidráulicos y se aplica en el eje de la probeta, mediante mecanismos de auto alineación que aseguran la ausencia de momentos flectores durante el ensayo, de forma que la probeta, en la zona entre referencias, está sometida a un estado de tracción uniaxial, es decir, a una sollicitación bien definida y fácilmente reproducible. El cuerpo central de la probeta y sus cabezas están adecuadamente dimensionados para asegurar que la rotura siempre tiene lugar entre referencias. De no ser así, el ensayo sería nulo y habría de repetirse sobre otra probeta del mismo material (Oñoro López & Roso Sánchez, 2020).

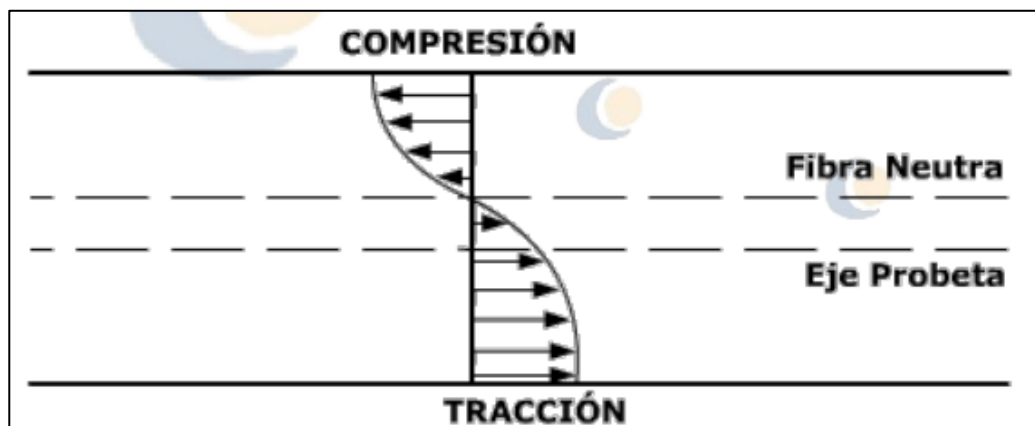
2.2.20. Ensayo de doblado

La medición de la ductilidad se realiza en el ensayo de tracción por medio del alargamiento, que nos determina la ductilidad general del material, como conjunto todo él, y por medio de la estricción, que nos determina la ductilidad localizada en la zona de fractura, pero en dicho ensayo no es posible determinar si existen secciones fragilizadas en la probeta, es por ello que se hace necesario el ensayo de doblado o plegado, para la confirmación de dicha ductilidad. Dado que la ductilidad se define como la medida de la deformación plástica que puede soportar el material antes de romper, el ensayo se realiza doblando la probeta con una curvatura determinada hasta que las dos ramas de la misma queden paralelas o formando un ángulo determinado (Oñoro López & Roso Sánchez, 2020).

Al doblar la probeta, su cara exterior queda sometida a tracción, según la ley que puede observarse en la figura 23 debiendo ser observada durante el ensayo para poder apreciar la posible formación de grietas que correspondería a una rotura del material por tracción.

Figura 20.

Perfil de tensiones que experimentará la probeta durante el ensayo de doblado



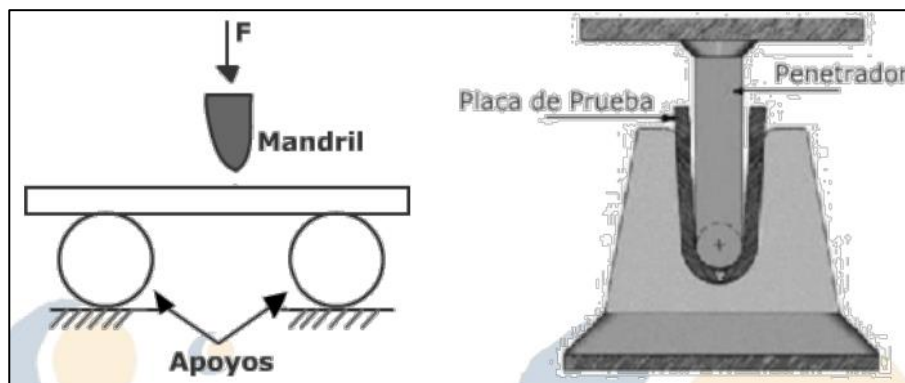
Nota: Figura tomada de (Oñoro López & Roso Sánchez, 2020)

Las causas de fragilización localizadas son variadas, siendo una de las más usuales los calentamientos y enfriamientos localizados que se producen en procesos constructivos, como ocurre en la realización de uniones soldadas. Deberán prepararse probetas para ensayar que reflejen, con la mayor aproximación posible, el proceso constructivo real (Oñoro López & Roso Sánchez, 2020).

Uno de los parámetros más importante del ensayo es el diámetro del mandril, ya que es el que define la curvatura y por tanto la sollicitación a la que se somete la parte traccionada de la probeta. A mayor radio de mandril, menor curvatura y por tanto menor esfuerzo. El diámetro del mandril viene fijado por las normas, atendiendo al tipo de material a ensayar (Oñoro López & Roso Sánchez, 2020).

Figura 21.

Realización del ensayo de doblado



Nota: Figura tomada de (Oñoro López & Roso Sánchez, 2020)

El diámetro de los rodillos de apoyo, así como su separación y la fuerza con que se aplica el mandril no tienen influencia en el ensayo, puesto que no afecta a la curvatura que se produce en la probeta. A pesar de ello las normas definen estas magnitudes con la finalidad de evitar flechas excesivas. La carga se aplica

lentamente hasta alcanzar el ángulo de doblado especificado o hasta la aparición de grietas. Si el doblado es hasta 180° y no puede terminarse con el dispositivo del mandril, se finalizará con un tornillo de banco o mediante compresión hasta que las ramas queden paralelas y a una distancia igual al diámetro del mandril, lo que se obtiene interponiendo suplementos entre las dos ramas (Oñoro López & Roso Sánchez, 2020).

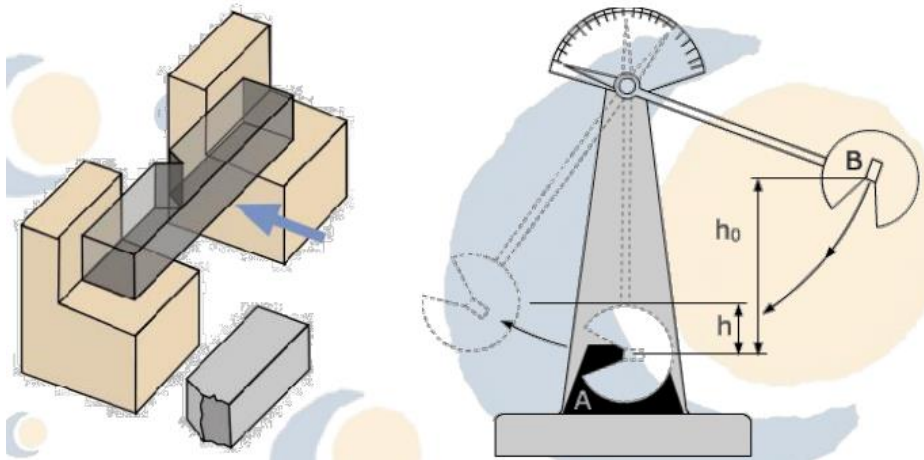
2.2.21. Ensayo charpy

El Charpy o ensayo de resiliencia representa bastante bien la tenacidad o resistencia de un material a la rotura frágil, por lo que su uso está muy generalizado, figurando a menudo entre las pruebas de recepción especificadas para muchos materiales. El ensayo relaciona el comportamiento de un material sometido a la aplicación de una carga resultante de las tensiones multiaxiales asociadas con una entalla, simultáneamente con una alta velocidad de aplicación de la carga y la temperatura a la que se realiza el ensayo (Oñoro López & Roso Sánchez, 2020).

La probeta se rompe en una máquina similar a la de la figura 13 por la acción de un péndulo de elevada masa que parte de una posición inicial a una altura H_0 . Cuando el péndulo atraviesa la posición más baja, la cuchilla situada en él, golpea sobre la probeta en la sección entallada, por la parte opuesta a la entalla y rompe la muestra. El péndulo asciende entonces hasta una altura H_F . La energía consumida en la rotura de la probeta, será la diferencia de energía potencial entre la altura antes y después de la rotura (figura 25) (Oñoro López & Roso Sánchez, 2020).

Figura 22.

Péndulo y forma de ejecución del ensayo Charpy



Nota: Figura tomada de (Oñoro López & Roso Sánchez, 2020)

Las pérdidas en el cojinete y por resistencia del aire son muy pequeñas y la esfera de la máquina tiene ya una corrección para que su lectura proporcione de manera directa la energía consumida en la rotura, que se denomina resiliencia del material. La mayor parte de los péndulos tienen en su posición alta una energía potencial de 30 kgm (294 J). La máxima velocidad lineal del péndulo al atravesar la vertical, en vacío (sin probeta) es del orden de los 5 m/s (Oñoro López & Roso Sánchez, 2020).

2.2.22. WPS (especificación del procedimiento de soldadura)

La especificación del procedimiento de soldadura es un documento técnico muy esencial para realizar soldaduras que se comprometan con la calidad en servicio, según el código ASME sección IX, todo WPS debe de contener lo siguiente:

- Las variables esenciales relacionadas a cada proceso empleado en el Procedimiento. Las Variables Esenciales son aquellas que, al ser cambiadas,



afectan las propiedades mecánicas de la soldadura obtenida. Por lo tanto, se requiere recalificación. Por ejemplo, cambio de Número P, proceso de soldar, metal de aporte, electrodo, precalentamiento o tratamiento térmico después de soldar, entre otras.

- Las variables suplementarias esenciales, si se requiere prueba de impacto. Las variables esenciales suplementarias de un procedimiento de soldadura son aquellas que al cambiarse, afectan las propiedades de impacto de la soldadura a bajas temperaturas. Estas variables deben tenerse en cuenta cuando alguna sección del código o una especificación exija prueba de impacto.
- Las variables no esenciales relativas al o los procesos utilizados en el procedimiento. Las variables no esenciales de un procedimiento de soldadura son aquellas que al cambiarse no afectarán las propiedades mecánicas de las piezas soldadas, por ejemplo, diseño de junta, método de remoción o limpieza, etc. Estas variables deben incluirse en todo WPS y deben respetarse en el procedimiento de soldadura. Pueden cambiarse revisando el WPS, sin necesidad de recalificar el procedimiento de soldadura (ASME, 2019).

2.2.23. PQR (registro de calificación del procedimiento)

Mantener en registro de los datos obtenidos al soldar y posteriores ensayos correspondientes, es una parte esencial de la calificación del procedimiento de soldadura, los cuales deben de ser consignados en el PQR. El registro de calificación del procedimiento debe de contener lo siguiente:

- Las variables Esenciales de los procesos empleados en el procedimiento.
- Las variables Esenciales 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. Solamente debe consignarse la información real que se observe durante la prueba. No deben registrarse datos que no fueron observados. El PQR verifica las propiedades mecánicas de una soldadura mediante la documentación de los resultados obtenidos de los ensayos destructivos, suministra la prueba de soldabilidad y detalla los valores reales de las variables empleadas para realizar la soldadura. En el PQR deben escribirse las variables esenciales para cada proceso empleado en caso de ser un proceso combinado (ASME, 2019).



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA DEL ESTUDIO

Para la ejecución del procedimiento de soldadura se realizó en la empresa SOLDEXA ESAB líder en tecnología de unión y corte de materiales, consumibles de soldadura, equipamiento de protección personal, automatización y robotización, así como capacitación de especialistas en soldadura. Fue fundada en 1960 como la Compañía Peruana de Electrodo Oerlikon S.A. que tras el paso de los años fue cambiando por distintas razones sociales la cual actualmente se le conoce como ESAB, durante su evolución contribuyó de manera muy significativa para el desarrollo del país en el ámbito de las construcciones estructurales y equipos bajo la premisa de uniones soldadas y tecnologías de materiales. Actualmente el centro Tecnológico de Soldadura SOLDEXA se encuentra ubicada en el Jr. Jorge Salazar Araos 195, La Victoria, Lima.

3.2. PERIODO DE DURACION DEL ESTUDIO

- Para la ejecución del proceso de unión se inició el 25 de setiembre del 2022, con una duración de 3 días, en los que se realizó el maquinado y preparado de los cupones, se eligió un soldador calificado y posteriormente se pudo ejecutar el proceso de soldadura.
- Posteriormente con los cupones listos para la extracción de probetas, se pudo realizar los ensayos mecánicos correspondientes, las que se realizaron con fecha 01 de octubre, con una duración de 7 días.
- A partir del 09 de octubre se inició con el análisis de resultados obtenidos de los ensayos mecánicos.



3.3. PROCEDENCIA DEL MATERIAL ESTUDIADO

El acero AISI 4340, es un material metálico con muy buenas características mecánicas por lo que su uso es limitado a componentes de alto factor de seguridad, debido a ello es poco comercial, caso distinto con el acero A36 que es muy conocido y comercial. Sin embargo, se pudo obtener material suficiente para el dimensionamiento de los cupones de soldadura, procediendo los aceros de estudio de la empresa BÖHLER. Debido que la ejecución se realizara en las instalaciones de SOLDEXA, el consumible para realizar la unión disímil se solicitó a la misma empresa.

Los códigos aplicables fueron:

- AWS D1.1 Código de Soldadura para Acero Estructural
- AWS D14.1 Especificación de soldadura para grúas industriales, molinos y equipos de otros materiales.
- AWS A5.20 Especificación para electrodos de acero al carbono para proceso FCAW
- AWS A5.28 Especificación para electrodos y varillas de acero de alta y baja aleación por arco protegido con gas
- AWS 3.0 Definiciones y términos estándar de las soldaduras
- ASTM A29 Especificación estándar para barras de acero, acero al carbono y aleaciones, aceros forjados en caliente, y requerimientos generales.
- ASTM A1031 Especificación estándar para aceros, laminas y tiras, bobinas de gran espesor, aleación, estirado de acero y acero estructural, laminado en caliente.
- ASTM A36 Estándar de especificación para acero al carbono estructural.



3.4. MATERIALES Y HERRAMIENTAS

Para una correcta ejecución de soldadura es necesario contar con herramientas sofisticadas para el proceso y así mismo tener evidencia sobre la procedencia del material base, las cuales deben de contar con una certificación, para cumplir con el objetivo propuesto se requiere de lo siguiente:

- Acero AISI/SAE 4340
- Acero ASTM A36
- Electrodo OK TUBROD 110 MC (1,2mm) (ASME SFA 5.28: E110C-G)
- Fuente de poder proceso FCAW
- Alimentador de consumible
- Equipo de pre y post calentamiento
- Mezclador de gases
- Oxígeno
- Acetileno
- Sistema de extracción de humos
- Pirómetro
- Amoladora 5"
- Cepillo angular de alambre
- Disco de corte 3M
- Alicates de corte
- Picota
- Llave francesa
- Equipo de Protección Personal
- Cámara fotográfica



- Códigos AWS aplicables
- Laptop
- Cuaderno de apuntes

3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO

3.5.1. Población

Se dará énfasis al estudio de componentes soldados en cuanto a la industria metal mecánica, incrementando la cultura de calidad en los centros de laboreo de la empresa SOLDEXA y otras que apliquen procedimientos calificados. Además, incentivara a los soldadores de la región a calificarse bajo Normas estándares reconocidas para lograr una mayor competitividad en el campo laboral a nivel nacional, capacitándolos en conocimientos sobre materiales, ensayos destructivos y no destructivos.

En cuanto a los estudiantes de la Escuela Profesional de Metalurgia-UNAP y Otras inmersas en el tema, permitirá reforzar los conocimientos adquiridos en las aulas, profundizando temas sobre materiales, sobre todo soldabilidad y consecuencias de un aporte y cambio brusco de temperatura en cortos tiempos y por medio de investigaciones posteriores se podrá lograr un amplio conocimiento sobre la metalurgia de la soldadura.

3.5.2. Muestra

Las muestras serán tomadas de los cupones de soldadura, estas últimas serán ejecutadas por un soldador calificado por la empresa SOLDEXA-ESAB. se fabricaron distintos especímenes o probetas para pruebas mecánicas, dichos ensayos mecánicos son realizados por la misma empresa. Luego de todo lo

anterior, se tomaron datos, los cuales son analizados en oficina para su posterior formulación de WPS.

3.6. DISEÑO ESTADISTICO

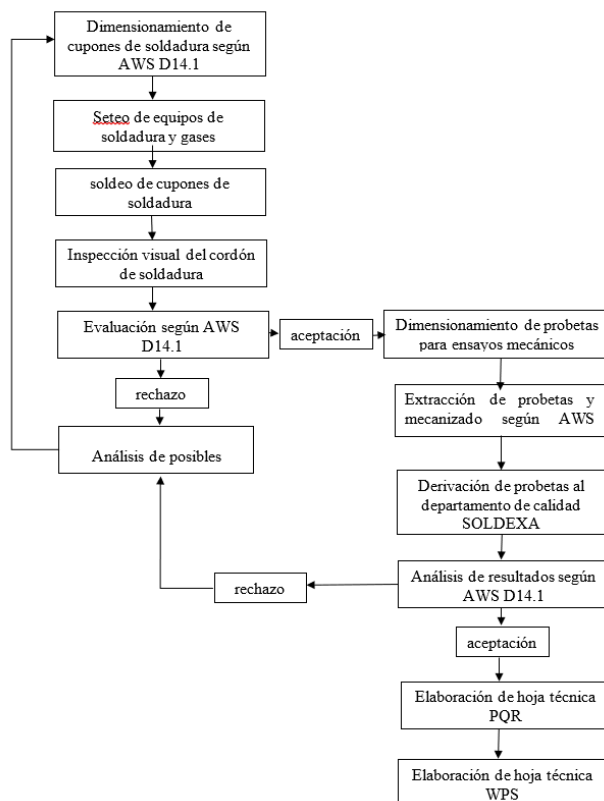
Para el análisis e interpretación de los datos obtenidos se utilizará la referencia bibliográfica, Código AWS D14.1 y la estadística basada en MS Excel.

3.7. PROCEDIMIENTO

Para tener la certeza de una continuidad metálica en la unión soldada, se realizará un estudio de la norma AWS D14.1 en sus secciones de control de calidad en uniones soldadas y requerimientos de ensayos destructivos.

Figura 23.

Flujograma de procedimiento de soldadura y control de calidad





3.7.1. Metodología

El diseño a aplicarse en el presente estudio de investigación es de carácter experimental, el nivel de diseño cualitativo consiste en evaluar las cualidades mecánicas de una unión soldada, las cuales son obtenidas a través de distintos ensayos mecánicos destructivos que nos brindan información primordial para ser contrastadas con el código en aplicación a la fabricación de componentes metálicos, en este caso el código AWS D14.1 para fabricación de grúas, molinos y otros equipos, durante la ejecución del soldeo se requiere controlar variables que pueden tener efectos en la unión soldada, las cuales se desea estandarizar para posteriores soldeos de materiales similares, dando como referencia un rango de parámetros de soldeo que nos brinden una sólida base para la corrección y mejora o modificación de dichos parámetros aplicados.

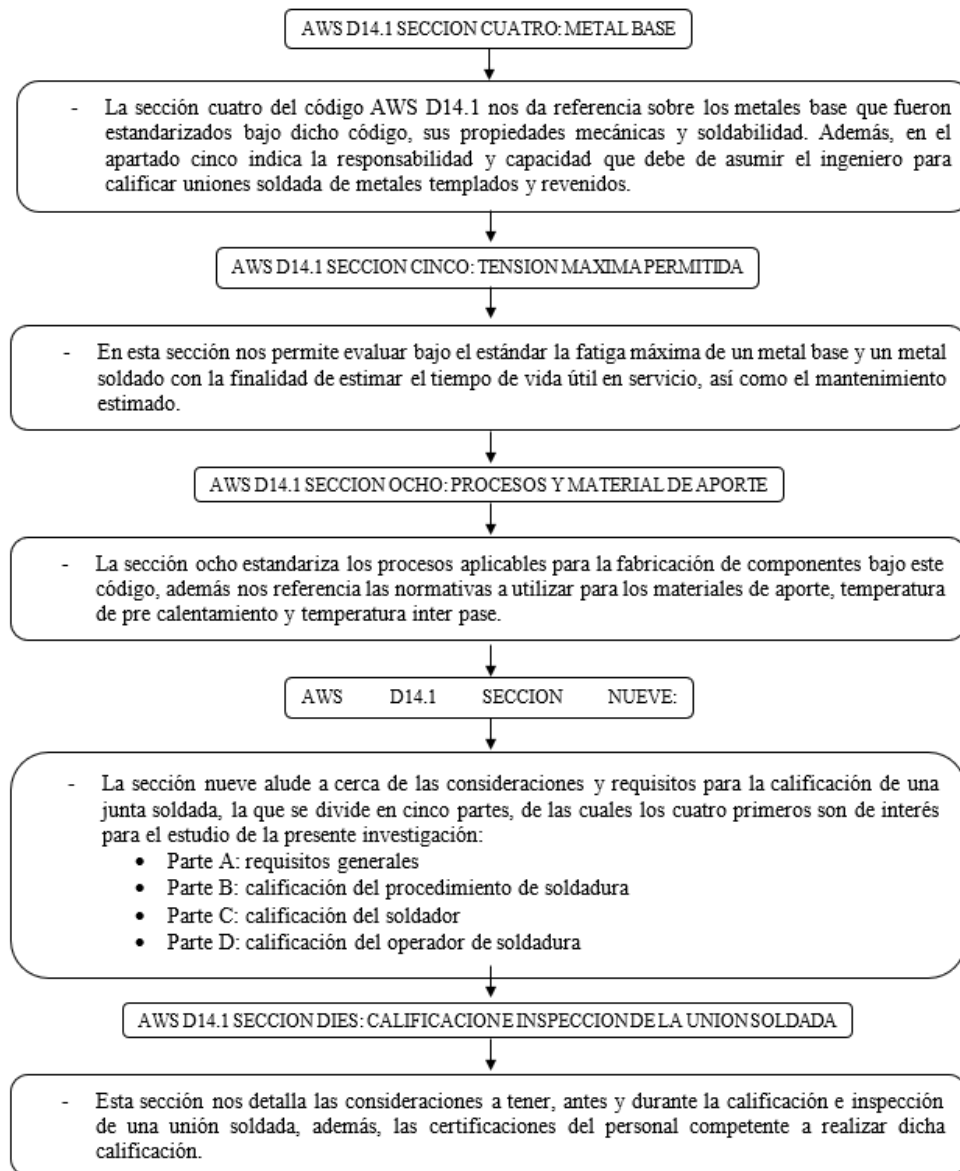
La investigación de estudio a realizar se clasifica como una investigación cualitativa, debido a ser un trabajo en el que busca determinar condiciones de calidad y determinar parámetros de soldeo en hojas técnicas las cuales serán usadas en posteriores procesos similares. Con la información obtenida por la experimentación se busca generar componentes soldados de calidad y con cualidades mecánicas y metalúrgicas óptimas para el servicio requerido.

Los requerimientos necesarios para un buen proceso de este tipo se encuentran establecidos en el código AWS D14.1, en los que se establece dimensionamiento y alcance de las uniones, así como los ensayos mecánicos requeridos.

3.7.2. Desarrollo del procedimiento de investigación

Figura 24.

Flujograma del procedimiento de investigación



3.7.3. Técnicas y procedimientos de recolección de datos

Para la fabricación de componente de equipos que por su utilidad de servicio son sometidos a cargas cíclicas, el punto crítico es la zona afectada por el calor de una junta soldada, las que deberán de ser examinadas para determinar su resistencia a las condiciones de trabajo a las que se requiere ser sometidas, debido

a ello se tiene cuidado al elegir el material base y material de aporte a utilizar, para tener mayor éxito en las uniones soldadas de dichos componentes, el proceso de soldeo debe de ser estrictamente controlado, así como los parámetros y cuidados de materiales antes, durante y después del soldeo.

Para realizar una correcta soldadura de calidad, los cordones de soldadura se realizan siguiendo un orden apropiado, para así poder extraer valores con un factor de error mínimo, los mismos que nos servirán para elaborar fichas técnicas para posteriores soldaduras. Para ello se deberá de seguir el siguiente procedimiento.

Tabla 3.

Técnicas y procedimientos de recolección de datos

ANTES DE SOLDAR	DURANTE LA SOLDADURA	DESPUES DE LA SOLDADURA
- Estudiar y tener en claro el código bajo el cual se estandarizará el proceso - revisar las fichas técnicas de los materiales base	- seteo de parámetros en la fuente y alimentador de soldadura - habilitar y purgado de gas de protección.	- inspeccionar la apariencia final - realizar inspección visual según la norma AWS D14.1.
- determinar el material de aporte y revisas su hoja técnica	- Calentar el material de base por encima de la temperatura mínima calculada	- dimensionar y seccionar las probetas para los ensayos destructivos correspondientes
- realizar los cálculos correspondientes para el cambio de temperatura	- realizar el primer pase de soldeo o pase de raíz	- derivar las probetas al área de calidad y esperar reporte de datos mecánicos



ANTES DE SOLDAR	DURANTE LA SOLDADURA	DESPUES DE LA SOLDADURA
- determinar rango de parámetros ejecutables para esa unión soldada	- controlar la velocidad de avance en cada uno de los cordones a realizar	- evaluar y analizar los datos obtenidos según fichas técnicas del material y norma AWS D.14.1
- Verificar el correcto funcionamiento de los equipos a utilizar	- controlar que la temperatura entre pase no sea inferior al mínimo de precalentamiento	- elaborar el PQR con los parámetros utilizados en el soldeo y datos obtenidos del control de calidad.
- preparar cupones de soldadura según el código	- realizar limpieza mecánica entre pase y pase de soldadura	- elaborar el WPS a partir de los datos plasmados en nuestro PQR
- quitar todos los agentes contaminantes de la zona de soldadura	- tras el cordón de acabado, realizar el post calentamiento	- Archivar documentos técnicos para posteriores soldaduras
	- controlar el enfriamiento del material hasta la temperatura ambiente.	

Se realizaron tres cupones de soldadura bajo el mismo proceso, para los cuales básicamente se varió los parámetros de seteo en la fuente de poder y alimentador de alambre. Para de esta manera tener mayor certeza y menor margen de error al ejecutar soldaduras de calidad.

Para evaluar que el cordón de soldadura sea el ideal y su comportamiento mecánico se realizaron una serie de ensayos basándonos en la normativa AWS D14.1 y la experiencia de los implicados, las cuales de detallan en la tabla 4.

Tabla 4.

Ensayos aplicables según AWS D14.1

Número y tipo de ensayos realizar según el Código de fabricación AWS D14.1						
Soldadura de producción			Numero de muestras		Especímenes de prueba requeridos	
Tipo de soldadura	Espesor nominal en mm	en posición	soldadas por posición	NDT	Ensayo de tracción	Doblado de lado
Ranura	10-25		1	SI	2	4

Nota: Los ensayos aplicados por NDT son VT y PT, además se realizaron ensayos de dureza al cordón de soldadura y zona afectada por el calor. Tabla adaptada de (AWS, 2005). Cuadro adaptado de (D14.1, 2005)

3.7.4. Variables

Variable dependiente

Control de calidad por medio de ensayos mecánicos y especificación del procedimiento de soldadura.

Variable independiente

Soldeo bajo estándares del código AWS D14.1.

3.8. ANALISIS DE RESULTADOS

El presente proyecto de investigación se realiza para estandarizar el procedimiento de soldadura en materiales disimiles: acero AISI/SAE 4340 y ASTM A36, bajo la norma AWS D14.1 con el proceso FCAW, dando así un aporte para realizar soldaduras de calidad y de esta manera minimizar gastos económicos en reparaciones, así mismo aportando a la cultura de calidad y seguridad en



estructuras y componentes metálicos soldados, poniendo hincapié a la importancia del uso de normativas para la ejecución de componentes soldados.

Los ensayos mecánicos son un instrumento indispensable a la hora de proporcionar seguridad y confiabilidad a un componente soldado para de esta manera controlar y pronosticar el comportamiento mecánicos, así pudiendo velar por la seguridad de las personas, dichos ensayos son realizados para la calificación de una soldadura y antes de la ejecución del componente a ser soldado. así mismo los Ensayos no destructivos son de gran aporte para descartar discontinuidades y poder establecer controles de mantenimiento periódico según lo amerite. Para ello se deberá de realizar END antes, durante y después de que el componente sea puesto en servicio.

- Análisis e Interpretación teórico de la Norma AWS D14.1 sección cuatro, cinco, ocho, nueve y diez.
- Realizar un estudio minucioso de los materiales a ser soldados, así como el material de aporte a utilizar.
- Elaborar guía para verificar el cumplimiento de la Norma AWS D14.1, y contrastar el alcance de los materiales, proceso y material de aporte de interés.
- Elaborar un Formulario para el Control de Calidad de END y Ensayos mecánicos bajo estricto cumplimiento de la norma AWS D14.1.
- Analizar los datos obtenidos por el departamento de calidad y contrastar con las fichas técnicas de los materiales utilizados.
- Elaborar Fichas técnicas WPS y PQR para soldaduras futuras bajo las mismas o similares premisas de servicio.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS Y ALCANCE DE CALIFICACIÓN DE PROCESO BAJO EL CÓDIGO AWS D14.1

Para realizar un análisis y un proceso de soldeo objetivo nos proponemos elaborar un WPS tomando como referencia un ventilador centrifugo debido a ello, para la ejecución del presente trabajo de investigación, se requiere realizar una serie de cálculos y ensayos destructivos y no destructivo, para lo cual se diseña un cupón de prueba y de los mismos se extrae las probetas correspondientes, todo ello contemplado de acuerdo a la normativa AWS D14.1, la misma que puede ser utilizada para la calificación de soldadores que ejecutaran el proceso. Se decide aplicar la soldadura bajo en código AWS D14.1 debido a que el material de interés es ejecutable para ejes de componentes rotores, debido a ello el código contempla la fabricación de molinos, lo cual nos da referencia al caso de interés.

Establecido el código bajo el cual se trabajará se procede a elegir materiales idóneos para el caso y así mismo el material de aporte, para lo cual nos regimos en los materiales base de la tabla 1 del código AWS D14.1, en la que el material ASTM A36 es contemplado como un procedimiento precalificado, sin embargo, el acero ANSI/SAE 4340 no es un material pre calificado por dicha normativa. Debido a ello se inicia el proyecto de investigación basándonos en la sección nueve, parte B y demás secciones complementarias para el exitoso estudio.

El código AWS D14.1 es aplicable para uniones de soldaduras primarias, utilizadas para la fabricación de grúas para uso industrial, molinos, centrales eléctricas e instalaciones nucleares. Además, la especificación se aplica a otros equipos de manejo de



materiales aéreos. Maquinaria y equipos que soportan y transportan cargas dentro de la clasificación de diseño, vertical u horizontalmente, durante las operaciones normales y, cuando se acuerde entre el Propietario y el Fabricante, a la carga ocasionada por operaciones anormales o eventos ambientales, tales como carga sísmica.

Todas las disposiciones de esta especificación son igualmente aplicables al fortalecimiento y reparación de estructuras existentes. Puentes grúa y equipos de manejo de materiales como lo descrito anteriormente.

4.2. MATERIAL BASE

4.2.1. Acero ASTM A36

Esta norma es aplicable a una gran variedad de perfiles estructurales laminados en caliente y a placas de la misma calidad que aún están disponibles en el mercado. Se desarrolló desde hace muchos años en Estados Unidos para la fabricación de estructuras remachadas, atornilladas y soldadas, mejorando el contenido de carbono de los aceros disponibles en aquella época, como el ASTM A7. Con la innovación de este tipo de acero, las conexiones soldadas empezaron a desplazar a las remachadas que pronto desaparecieron. (Materials, 2015)

Este grado se utiliza principalmente pernada, atornillado, o soldados en la construcción de puentes y edificios, y para propósitos estructurales en general.

Para productos estructurales producidos de rollo y suministrados sin tratamiento térmico o solamente con alivio de esfuerzos, los requisitos adicionales, incluyendo requisitos de ensayos adicionales y los informes de resultados de ensayos adicionales, se aplica A 6/A 6M. ((Materials, 2015)

Tabla 5.

Composición química de un acero ASTM A36

Producto	Espesor in (mm)	Gen eral	Perfiles (a)		Planchas (b)			Barras		
			Has ta ¾ (20)	¾ hasta 1 ½ (20- 40)	½ hasta 2 ½ (40- 65)	2 ½ hasta 4 (65- 100)	Mayo r a 4 (100)	Hasta ¾ (20)	¾ hasta 1 ½ (20- 40)	½ hasta 4 (40- 100)
Carbono max%	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
Manganeso %			0.80- 1.20	0.80- 1.20	0.85- 1.20	0.85- 1.20		0.60- 0.90	0.60- 0.90	0.60- 0.90
Fosforo max%	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Azufre max%	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicio %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15- 0.40	0.15- 0.40	0.15- 0.40	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.40 max
Cobre min% cuando el acero especifica cobre	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

a) contenido de manganeso de 0.85 a 1.35 y contenido de silicio de 0.15 a 0.40 es requerido para perfiles mayores a 426 Lb/ft (634 Kg/m).

b) para cada reducción de 0.01% debajo del carbono máximo especificado, un aumento de 0.06% de manganeso arriba de la especificación máxima estará permitida hasta un máximo de 1.35%.

Nota: Rango de composición química aceptada para un acero estructural bajo el código ASTM A36. Tabla adaptada de (Materials, 2015)

Tabla 6.

Requerimientos mecánicos de un acero ASTM A36

REQUERIMIENTOS MECANICOS (a)	
Planchas, perfiles(b), y barras	
Resistencia a la tracción Ksi (MPa)	58-80 (400-550)
Limite elástico mínimo Ksi (MPa)	36 (250) (c)
Planchas y barras (d) (e)	
Elongación en 8in (200mm) % min.	20
Elongación en 2in (50mm) % min.	23
Perfiles	
Elongación en 8in (200mm) % min.	20
Elongación en 2in (50mm) % min	21(b)
a)	Consulte la orientación de la muestra en la sección de prueba de tensión de la especificación A6/A6M
b)	Para formas de ala ancha mayores a 42lb/ft (634 Kg/m), 80 Ksi/ (550MPa) no se aplica la máxima resistencia a la tracción y aplica un mínimo de elongación en 2in (50mm) del 19%
c)	Limite elástico 32Ksi (220MPa) para planchas mayores a 8in (200mm) de espesor
d)	Elongación de requerir ser determinada para la plancha de piso
e)	Para planchas más anchas que 24in (600mm) el requisito de elongación es reducida en 2%. ver ajuste de requisitos de elongación en la sección de prueba de tensión de la especificación A6/A6M

Nota: Rango de requerimientos mecánicos aceptada para un acero estructural bajo

el código ASTM A36. Tabla adaptada de (Materials, 2015)



4.2.2. Soldabilidad del acero ASTM A36

Hay diversos factores que influyen para determinar la soldabilidad de los metales. Como por ejemplo las transformaciones en la microestructura que se produce en la zona afectada por el calor (ZAC), la composición química de los metales, el procedimiento mediante el cual ha sido soldado el metal. (Reina Gómez & Portolés García, 2016)

Es muy común que se usen los aceros para realizar uniones soldadas, pero hay que tener presente que no todos presentan la misma soldabilidad. Esta propiedad depende netamente del %C presente en el acero, mientras menor %C tenga mayor será la soldabilidad del acero. Hay que tener en consideración a los elementos aleantes, ya que mientras mayor sea su contenido menor será la soldabilidad del acero. (Reina Gómez & Portolés García, 2016)

Uno de los métodos empleado para predecir la soldabilidad del acero, es el método del carbono equivalente. Esto se debe a que la dureza máxima de un acero y el grado de templabilidad de este depende directamente del %C presente. Hay diversas fórmulas para realizar el cálculo del carbono equivalente (CE), propuestas por diversas instituciones como por ejemplo el IIW (Instituto Internacional de Soldadura), la AWS (American Welding Society). Las fórmulas del CE se basan en el porcentaje de los aleantes presentes en el acero. Con el valor de CE hallado también es posible obtener recomendaciones para el precalentamiento del acero y de esta forma obtener una mejor unión soldada. (Reina Gómez & Portolés García, 2016)

El IIW propone la siguiente relación para calcular el carbono equivalente en el metal.



$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15} \%$$

De la relación propuesta por el IIW y considerando valores promedios de la composición química aceptable según la especificación ASTM A36 se obtendrá lo siguiente:

$$CE = 0.26 + \frac{0}{6} + \frac{(0 + 0 + 0)}{5} + \frac{(0 + 0.2)}{15} \%$$

$$CE = 0.2733\%$$

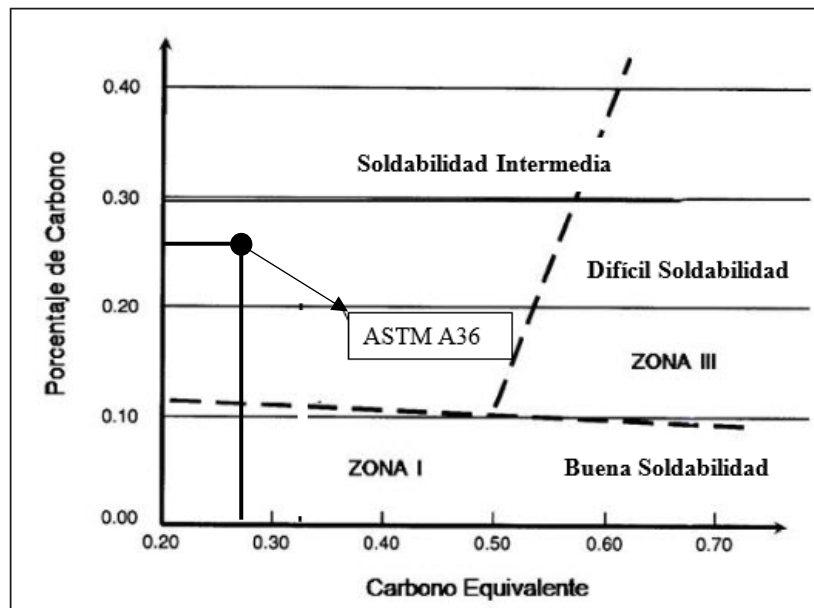
$$CE \approx 0.27\%$$

En relación a lo anterior se puede observar que el Carbono Equivalente de un acero normalizado ASTM A36 es de 0.27. según el diagrama de Graville que se muestra en la figura 24 se divide dicho diagrama en tres zonas: zona I, que representa una buena soldabilidad y poco riesgo de comportamiento frágil; zona II, en la cual presenta una soldabilidad intermedia, debido a que se debe de tomar precauciones para evitar la formación de estructuras frágiles, una opción puede ser realizando un precalentamiento y/o controlando la temperatura de interfase; Zona III, en dicha zona se encuentran los materiales con difícil soldabilidad y alto riesgo de formación de estructuras frágiles, en la que se debe de tomar ciertas medidas como las que son un pre calentamiento y un post tratamiento térmico, así mismo controlando la temperatura de enfriamiento. (Reina Gómez & Portolés García, 2016)

Por lo expuesto anteriormente para localizar el material de interés en el diagrama de Graville es necesario intersecar el valor del CE y el C, como se muestra en la figura 24.

Figura 25.

Soldabilidad de un acero ASTM A36



Nota: Diagrama de Graville, Imagen adaptada de (Fosca, 2018)

4.2.3. Acero AISI/SAE 4340

Es un acero de baja aleación con tratamiento especial de bonificación al cromo-níquel-molibdeno, con excelentes cualidades mecánicas como: alta resistencia a la tracción, torsión y cambios de flexión, por ende, muy buena tenacidad y resistencia a la fatiga. Insensible al sobrecalentamiento en el forjado y libre de propensión a fragilidad de revenido. Es suministrado en estado bonificado permitiendo en la mayoría de casos su aplicación sin necesidad de un tratamiento térmico adicional. Sus propiedades mecánicas se detallan en la tabla 7.

Tabla 7.*Propiedades mecánicas de un acero AISI/SAE 4340*

Tipo de proceso y acabado	Resistencia a la tracción	Límite de fluencia	Alargamiento en 2" (%)	Reducción del área	Dureza (HRB)
	MPa	MPa			
Caliente y maquinado	850-1050	689	10	30	216
Templado y revenido	980-1180	785	11	50	248

Siendo sus aplicaciones más comunes las siguientes: se utiliza en la fabricación de componentes de maquinarias y repuestos de gran dimensión que están expuestos a altos esfuerzos dinámicos y exigencias mecánicas tales como cigüeñales, ejes cardan, ejes de leva, ejes para bomba, eje para hélice de aviones, arboles de transición, barras de torsión, pernos y tuercas de alta tensión, rodillos de transportadora, vástagos y pines, muñones, brazos de dirección, discos de embrague, etc. En general se recomienda la aplicación para elementos sometidos a elevadas exigencias mecánicas y componentes de alta responsabilidad. (Ferrocortes, 2021)

Tabla 8.*Composición química de acero AISI/SAE 4340*

	%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Ni	%Cr	%Mo
Min	0.38	0.60	-	-	0.15	1.65	0.70	0.20
Max	0.43	0.80	0.025	0.025	0.30	2.00	0.90	0.30

Nota: Datos tomados de (Ferrocortes, 2021)

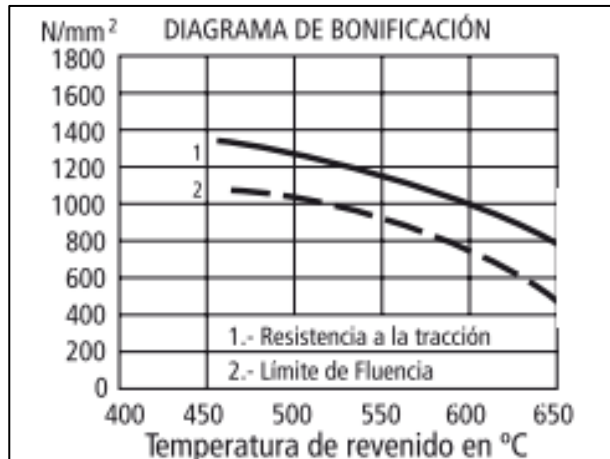
4.2.4. Soldabilidad del acero AISI/SAE 4340

El acero AISI/SAE 4340 por ser un acero de baja aleación, presenta una buena templabilidad debido a los componentes aleantes, por lo que en su estado de suministro 4340T (templado y revenido) no es recomendable que se suelde

debido a que puede presentar alteraciones en la ZAC (zona afectada por el Calor), alterando drásticamente sus propiedades mecánicas. Sin embargo, al tener un control estricto de la temperatura del material base esta soldadura será posible.

Figura 26.

Diagrama de bonificación de un acero AISI/SAE 4340



Nota: Propiedades mecánicas en función a la temperatura de revenido. Imagen tomada de (Bohler, 2021)

En caso de que se cuente con un suministro de acero 4340R(recocido) será preferible realizar la soldadura en este estado, debido a que será más factible realizar un templado y revenido posteriormente a la soldadura. En la tabla 9 se detalla los tratamientos térmicos indicando la temperatura adecuada y el medio de enfriamiento.

Tabla 9.

Tratamientos térmicos para acero AISI/SAE 4340

Tratamiento termico	Temperatura °c	Medio de enfriamiento
Forja	850/1100	Ceniza y arena
Temple	820/850	Aceite
Normalizado	850/870	Aire
Recocido	680/720	Horno
Revenido	540/650	Aire

Nota: Datos tomados del catálogo de ventas (Aceros C. G., 2021)

Para soldar un acero AISI/SAE 4340 se requiere un proceso de soldadura en el que se pueda controlar al máximo la inmersión de hidrogeno en el charco de soldadura teniendo un arco bien protegido y evitar el riesgo de fisuración por hidrogeno, debido a ello se recomienda el uso de un material de aporte inoxidable austenítico. Y posterior al soldeo será necesario realizar un alivio de tensiones residuales causadas por la soldadura y de esta manera evitar posteriores fisuras, en el caso sea posible, será necesario realizar nuevamente un tratamiento térmico y revenido, caso contrario efectuar correctamente el post calentamiento y controlar su enfriamiento deberá de ser suficiente. Para determinar el grado de soldabilidad según el diagrama de Graville será necesario calcular el C.E. en intercesión con el contenido de Carbono del material, el que se detalla en la figura 26, al tener una soldabilidad muy baja el acero de interés será imprescindible tomar en cuenta las siguientes medidas de control (Moreno Zabala, 2015):

- Entrada de calor.
- Temperatura de precalentamiento.
- Temperatura de Inter pase.
- Temperatura de post-calentamiento.

- Velocidad de enfriamiento

Para el cálculo del C.E. utilizamos el siguiente equivalente propuesta por el IIW.

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15} \%$$

De la relación propuesta por el IIW y considerando valores promedios de la composición química aceptable según la especificación ASTM 1031 se obtendrá lo siguiente:

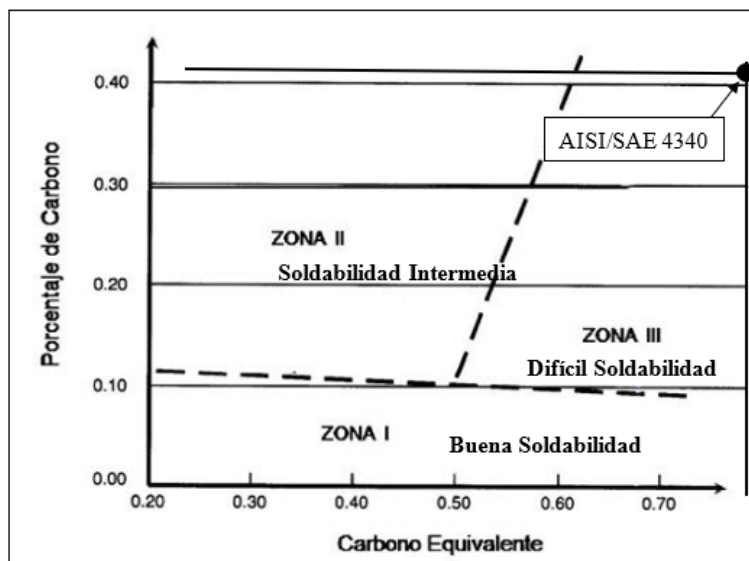
$$CE = 0.43 + \frac{0.80}{6} + \frac{(0.90 + 0.30 + 0)}{5} + \frac{(2.00 + 0)}{15} \%$$

$$CE = 0.936\%$$

$$CE \approx 0.94\%$$

Figura 27.

Soldabilidad de un acero AISI/SAE 4340



Nota: Diagrama de Graville, Imagen adaptada de (Fosca, 2018)

Como se puede apreciar en el diagrama de Graville el acero AISI/SAE 4340 presenta una difícil soldabilidad, debido a que se ubica en la zona III, la cual refiere a una zona en la que es propensa a presentar fisuras bajo condiciones de cambio de temperatura por la soldadura, obteniéndose microestructuras duras. Por lo que será necesario, para soldar el presente material calcular la temperatura adecuada para su precalentamiento y post-calentamiento (Fosca, 2018).

El metal base de interés acero AISI/SAE 4340 fue elegido debido a su tenacidad y propiedades mecánicas, que lo hacen resistente esfuerzos cíclicos. Por otro lado, el acero ASTM A36 presenta propiedades mecánicas muy por debajo del acero AISI/SAE 4340, sin embargo, se considera un material secundario con las características necesarias para no sobre dimensionar costos y sin presentar mayores problemas de diseño. A continuación, se muestra el diseño de un ventilador industrial.

Figura 28.

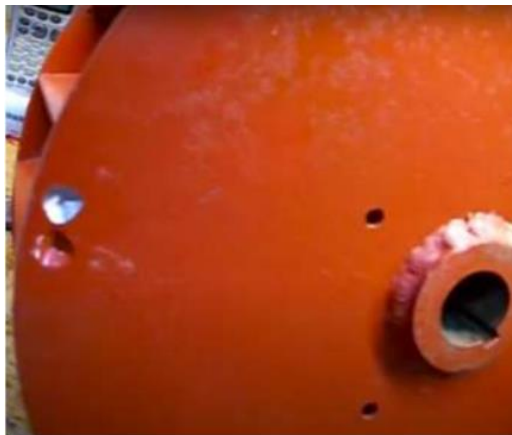
Ventilador centrifugo de alabe curvado



Nota: foto de referencia de componente expuesto a cargas cíclicas

Figura 29.

Ventilador centrifugo con alabe curvado



Nota: parte posterior de ventilador propuesto

Para poder seleccionar el material de aporte adecuado y el proceso de soldadura así como los parámetros de soldeo se debe de hacer una comparación entre ambos aceros de interés, la que se detalla en la tabla 10.

Tabla 10.

Comparación de propiedades y características del material base

	ACEROS	
	AISI/SAE 4340	ASTM A36
Características	Acero especial al cromo, níquel, molibdeno; altamente resistente a la tracción, a la torsión y a cambios de flexión. Con estado de suministro bonificado.	Acero estructural al carbono más utilizado de bajo carbono. Tiene buena soldabilidad. Se suministra en todo tipo de perfiles, planchas y secciones para la fabricación estructural.
Usos	Parte de maquinarias y repuestos sometidos a muy altos esfuerzos dinámicos y otras altas exigencias mecánicas como ejes, cigüeñales, árboles de transmisión.	Barras, planchas, láminas, tubos y perfiles estructurales. Construcción de estructuras metálicas en general como torres, puentes y edificaciones.
Norma involucrada	ASTM A29	ASTM A36
Dureza	248 HRB	119-162 HRB



	ACEROS	
	AISI/SAE 4340	ASTM A36
Esfuerzo a la fluencia	785 Mpa	250 Mpa
Esfuerzo máximo	980-1180 Mpa	410 Mpa
Elongación mínima	11%	22%
Tratamientos térmicos	Temple al aceite: 830-860 °C Revenido: 540-680 °C	Usualmente a este material no se le da tratamiento térmico debido a que son parte estructural.
Composición química	C(0.38-0.43) Mn(0.50-0.80) P(\leq 0.035%) S(\leq 0.04%) Si(0.15-0.35) Ni(1.65-2.00) Cr(0.90-1.60)	C (\leq 0.26%) P(\leq 0.04%) S(\leq 0.05%) Si(\leq 0.4%) Cu(\geq 0.2%)

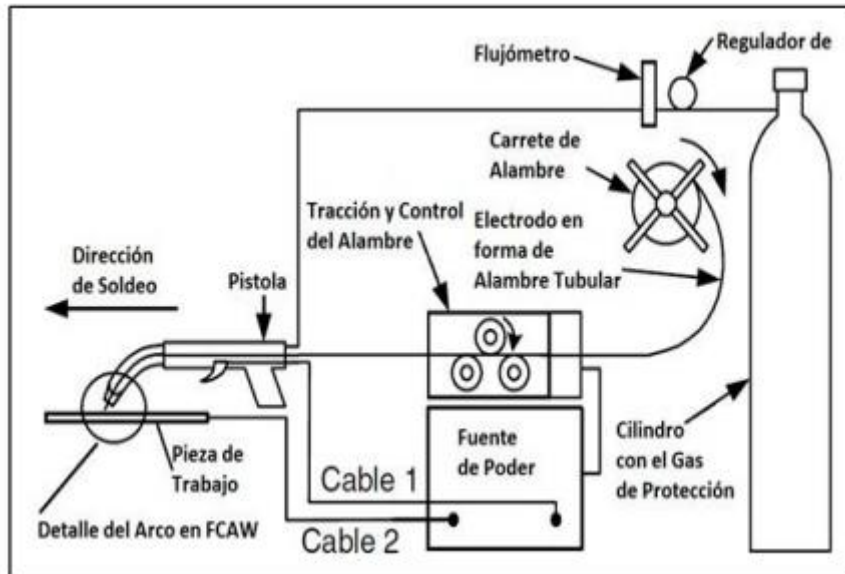
4.3. SELECCIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA

Debido a la demanda de suministros en la industria metalmecánica, se debe de elegir un proceso lo más flexible posible, teniendo en consideración la versatilidad, productividad y por supuesto que requiera habilidades básicas y disponibilidad de soldadores para la ejecución de la junta soldada. Para poder elegir el proceso ideal tenemos en cuenta la inversión inicial y productividad, así como futuras mejoras al proceso, por ello se pretende por un proceso semiautomático, mecanizado o incluso automático. El proceso FCAW por realizarse con un material de aporte en la que se tiene compuestos metálicos en forma de polvillo dentro o en el núcleo del electrodo de aporte, ser un proceso semiautomático y además de fácil automatización, además de tener una alta tasa de deposición en contraste con los demás procesos convencionales.

De esta manera el proceso FCAW requiere de una inversión inicial en equipo de fuente de poder, alimentador de alambre y balón de gas, aproximadamente 4300 USD + IGV.

Figura 30.

Esquema de proceso FCAW-G



Nota: fuente, SOLDEXA

Si se requiere mejorar el proceso, disminuyendo los reprocesos y mejorando la calidad, se puede mecanizar fácilmente con la compra de carros portadores de antorcha. Cuya inversión aproximada es de 6500 USD + IGV.

Finalmente, para la fabricación de equipos en serie, si así lo requiere el proceso se puede automatizar con la compra de un robot que permita reducir el tiempo de manipulación y optimizar aún más la productividad, ya que cuando la demanda es elevada los tiempos muertos pueden ser una gran pérdida para la industria. Considerando lo anterior, el equipo completo para proceso FCAW más brazo robotizado tiene un valor alrededor de 210 000 USD + IGV.

4.4. MATERIAL DE APORTE

Dado que se trata del soldeo de materiales disimilares, un acero de bajo carbono y el otro de baja aleación, por ello presentan diferentes características mecánicas y



metalúrgicas. Debido a lo anterior mencionado se debe de tener cuidado al elegir el material de aporte, buscando propiedades intermedias a los materiales base.

Indagando a los proveedores de materiales de aporte para el proceso FCAW, se llegó a elegir el alambre OK TUBROD 110 MC (1,2mm) (AWS/ASME SFA 5.28: E110C-G), es un alambre de buena eficiencia (90%-95%) lo que representa una elevada tasa de deposición, que es excelente para la fabricación en serie, además maximiza las horas hombre de trabajo teniendo un mayor tiempo de arco eléctrico, lo cual se ve beneficiado en menores tiempos muertos y mayor producción. El acero a soldar AISI/SAE 4340 es un acero al Cr-Ni-Mo, el material de aporte tiene un contenido de Ni-Mo, mas no Cr debido a que a mayor cantidad de Cr el acero presenta riesgo de presentar carburos de cromo que es muy buena para el desgaste de abrasión, mas no para servicios cíclicos. El material de aporte elegido presenta una resistencia de hasta 850 Mpa, resistencia muy parecida a la del acero AISI/SAE 4340 y es mucho mayor a la del acero ASTM A36, además es un material de aporte criogénico que soporta cargas de impacto hasta -29°C . por lo que se si se tiene un buen calculo y control de parámetros siguiendo las indicaciones del fabricante se garantiza una soldadura de calidad.

- Clasificación: AWS/ASME SFA 5.28 : E110C-G
- Gas recomendad: Ar + 20-25% CO₂
- Propiedades mecánicas:

Tabla 11.

Propiedades mecánicas de alambre OK TUBROD 110 MC (ASME SFA 5.28: E110C-G)

Condición Soldado	
Límite de Fluencia	800 Mpa
Límite de Resistencia	850 Mpa
Alargamiento	18%

Nota: extraído de la ficha técnica de ESAB

- Ensayo charpy

Tabla 12.

Ensayo charpy de alambre OK TUBROD 110 MC

Condición Soldado	
Temperatura	-29 °C
Impacto	50J

Nota: extraído de la ficha técnica de ESAB

- Composición química:

Tabla 13.

Composición química de alambre OK TUBROD 110 MC (ASME SFA 5.28: E110C-G)

Composición Química				
C	Si	Mn	Ni	Mo
0.03	0.50	1.6	2.25	0.60

Nota: extraído de la ficha técnica de ESAB

- Parámetros de soldeo

Tabla 14.

Parámetros eléctricos para OK TUBROD 110 MC (ASME SFA 5.28: E110C-G)

Diámetro	Corriente	Tensión	Rendimiento	Deposición
1.20 mm	150 A	28V	92%	1.80 Kg/h
	210 A	29V	92%	2.65 Kg/h
	250 A	30V	93%	3.63 Kg/h
	300 A	32V	95%	5.26 Kg/h
	350 A	32V	95%	5.75 Kg/h

Figura 31.

Alambre OK TUBROD 110 MC (ASME SFA 5.28: E110C-G)



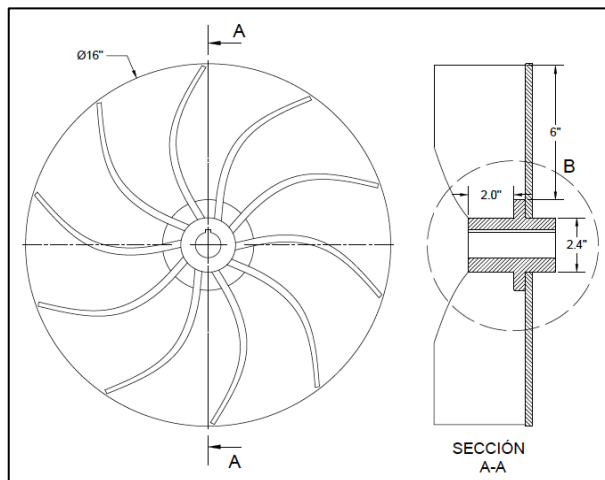
Nota: figura extraída del catálogo de ventas ESAB

4.5. DISEÑO DE JUNTA

Según el caso propuesto de aplicación en ejes de ventiladores industriales que suelen tener desgaste prematuro en la zona de transmisión de potencia, se necesita mejorar los materiales y la soldadura entre el eje, las aletas y la plancha posterior a fin de mejorar el tiempo de vida en servicio y además garantizar una unión de calidad prolongando los tiempos de mantenimiento. Para ello la soldadura es configurada de la siguiente manera.

Figura 32.

Diseño y tipo de junta de ventilador centrifugo

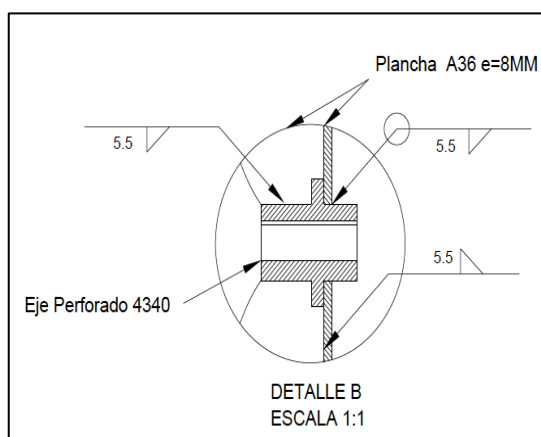


Nota: los espesores y medidas del componente son propuestas según experiencia

Según la configuración del equipo se deberá de realizar tres cordones de soldadura de los cuales dos de ellos son entre el acero AISI/SAE 4340 y el acero ASTM A36 y uno de ellos ambos del acero ASTM A36, siendo detallados los cordones de interés en la figura 32:

Figura 33.

Configuración y tipos de cordones de soldeo



Nota: La simbolización del plano es según AWS A2.4

Según la configuración de los cordones de soldadura, determinaremos el tamaño de la garganta de soldadura, tomando en cuenta criterios de diseño y espesores de las

piezas, además factores económicos. Basándonos en la normativa europea NBE EA-95, nos brinda valores máximos y mínimos de garganta para elementos sometidos a cargas dinámicas, la cual se detalla en la tabla.

Tabla 15.

Valores límite de garganta

Espesor de la pieza (mm)	Garganta "a" (mm)		Espesor de la pieza (mm)	Garganta "a" (mm)	
	Máxima	Mínima		Máxima	Mínima
4.0 – 4.2	2,5	2,5	13,5 - 14,1	9,5	5,0
4.3 – 4.9	3,0	2,5	14,2 - 15,5	10,0	5,0
5.0 – 5.6	3,5	2,5	15,6 - 16,9	11,0	5,5
5,7 - 6,3	4,0	2,5	17,0 - 18,3	12,0	5,5
6,4 - 7,0	4,5	2,5	18,4 - 19,7	13,0	6,0
7,1 - 7,7	5,0	3,0	19,8 - 21,2	14,0	6,0
7,8 - 8,4	5,5	3,0	21,3 - 22,6	15,0	6,5
8,5 - 9,1	6,0	3,5	22,7 - 24,0	16,0	6,5
9,2 - 9,9	6,5	3,5	24,1 - 25,4	17,0	7,0
10,0 - 10,6	7,0	4,0	25,5 - 26,8	18,0	7,0
10,7 - 11,3	7,5	4,0	26,9 - 28,2	19,0	7,5
11,4 - 12,0	8,0	4,0	28,3 - 31,1	20,0	7,5
12,1 - 12,7	8,5	4,5	31,2 - 33,9	22,0	8,0
12,8 - 13,4	9,0	4,5	34,0 - 36,0	24,0	8,0

Nota: Fuente NBE EA-95

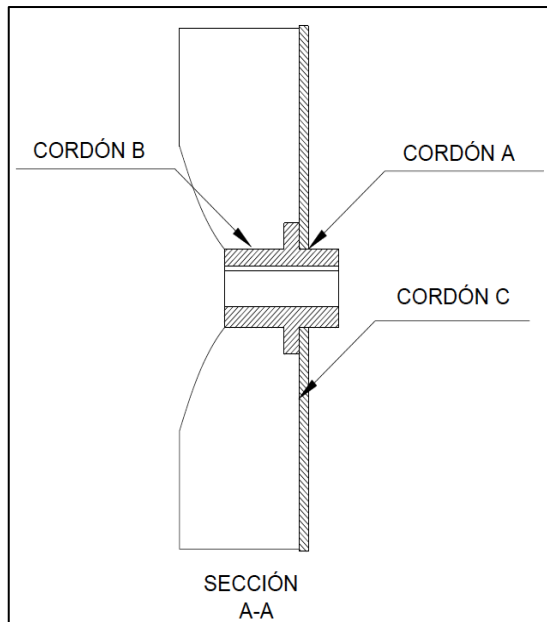
De la tabla anterior podemos dimensionar según convenga los valores requeridos de garganta para cada cordón de soldadura necesario.

- Cordón A: Plancha A36 8mm $3 \leq a1 \leq 5.5$
- Eje 4340 16.2mm $5.5 \leq a2 \leq 11$
- Garganta final: $Aa=5.5$ mm
- Cordón B: Plancha A36 8mm $3 \leq a1 \leq 5.5$
- Eje 4340 16.2mm $5.5 \leq a2 \leq 11$
- Garganta final: $Ab=5.5$ mm

- Cordón C: Plancha A36 8mm $3 \leq a_1 \leq 5.5$
- Garganta final: $A_c=5.5$ mm

Figura 34.

Disposición de cordones a soldar

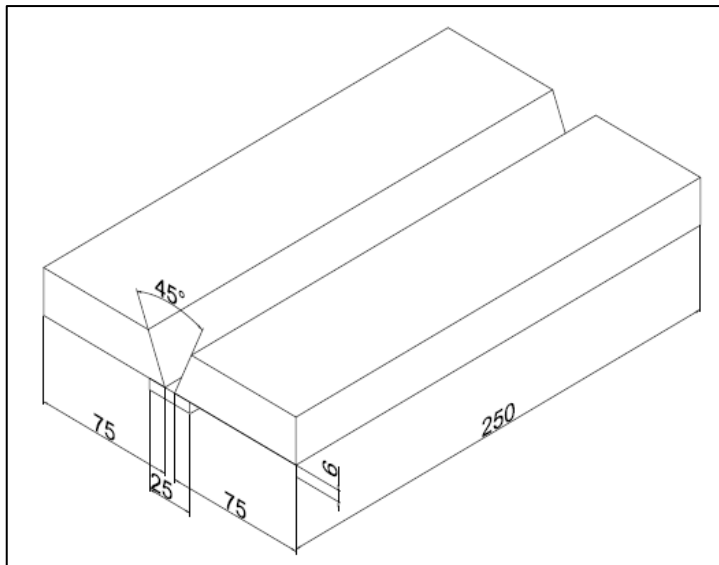


Nota: vista de corte lateral

Para poder calificar el proceso de soldadura disímil planteado, es necesario conocer el alcance de la ejecución en campo, según el caso propuesto se tiene una soldadura tipo filete. Para calificar el procedimiento de soldadura, se debe comprobar que el material de aporte elegido para la soldadura disímil propuesta es ideal, formando una continuidad metálica y una unión eficiente y de calidad. Se soldará una placa de prueba o cupón de prueba de soldadura de ranura de penetración completa (CJP) con la finalidad de comprobar y calificar la combinación ideal de materiales y consumible propuesto, dicho cupón de prueba se realiza en planchas de 1 pulgada de espesor con la siguiente configuración dimensional mostrada en la figura 34, según el cogido en aplicación AWS D14.6.

Figura 35.

Cupón de prueba para calificación del Procedimiento de Soldadura



Para poder ejecutar el proceso de soldadura se requiere de un soldador calificado, en cual deberá de pasar una prueba en la que demostrará sus habilidades y capacidad de ejecutar un proceso de soldadura en la que como resultado nos dé un cordón uniforme y sin defectos relevantes. El cupón de prueba de aptitud será tomado bajo el código AWS D14.6. la que nos indica que la prueba mínima requerida para el presente caso deberá de ser tomada en la posición de soldadura 2G, la que califica como apto para realizar soldadura en filete, que es requerida para la producción de ventiladores centrífugos. En la tabla 16 se detalla la posición de prueba y su alcance de ejecución, en la figura 35 detallamos las dimensiones del cupón de prueba.

Tabla 16.

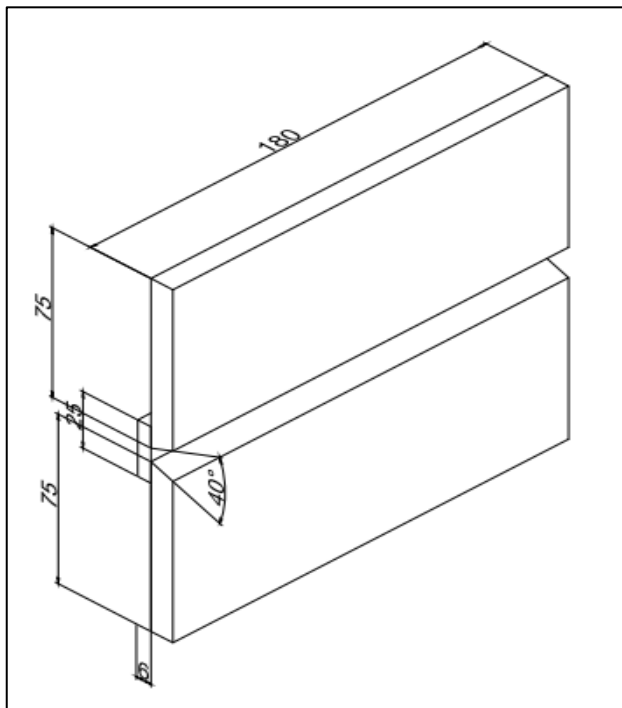
Alcance de posición de calificación del soldador

CUPON PARA LA CALIFICACION		SOLDADURA DE PLACA QUE CALIFICA PARA PRODUCCION		
tipo de soldadura	posición de prueba	ranura con CJP	ranura con PJP	FILETE
RANURA	2G	F, H	F, H	F, H

Nota: Mayor detalle revisar el anexo 5

Figura 36.

Cupón de prueba para calificar al soldador



4.6. PARAMETROS DE SOLDEO

Se obtiene información sobre los parámetros eléctricos del fabricante del material de aporte, por lo que, si se cambia de material de aporte, también varía los parámetros. Uno de los factores importantes a tener en cuenta es la posición de soldeo debido a que, según la posición a ejecutar la junta los parámetros también varían. La variación de parámetros afecta directamente al modo de transferencia del material de aporte. Para tener



mayor certeza en la elección de parámetros eléctricos, se utilizará como referencia la hoja técnica del material del producto (ver tabla 14).

- Intensidad de corriente: 210 - 300 A
- Voltaje: 29 - 32V •
- Velocidad de avance: 30 - 35 cm/min

4.6.1. Intensidad de corriente

La intensidad de corriente lo medimos en Amperios, según la hoja técnica del alambre de aporte la intensidad varía entre 210-300A para un diámetro de 1.2 y la velocidad de alimentación del mismo, un amperaje menor al recomendado dificultaría la fundición del alambre y por el contrario si fuese mayor crearía distorsiones y efectos en el cordón de soldadura, por ello se tiene los siguientes amperajes según el cupón de prueba.

- Cupón de prueba 1
 - Amperaje para pase de raíz : 250
 - Amperaje para pase de relleno : 245
 - Amperaje para acabado final : 240
- Cupón de prueba 2
 - Amperaje para pase de raíz : 280
 - Amperaje para pase de relleno : 275
 - Amperaje para acabado final : 265
- Cupón de prueba 3
 - Amperaje para pase de raíz : 300
 - Amperaje para pase de relleno : 295
 - Amperaje para acabado final : 280

4.6.2. Voltaje

De acuerdo con los parámetros eléctricos indicados anteriormente, se recomienda por el fabricante un voltaje entre 29-32 voltios. Sin embargo, por el método de prueba y error, los cordones sometidos a ensayos visuales de determino los siguientes parámetros de voltaje.

- Cupón de prueba 1
 - Voltaje para pase de raíz : 30.2
 - Voltaje para pase de relleno : 29.5
 - Voltaje para acabado final : 29.1
- Cupón de prueba 2
 - Voltaje para pase de raíz : 32
 - Voltaje para pase de relleno : 31.3
 - Voltaje para acabado final : 30.9
- Cupón de prueba 3
 - Voltaje para pase de raíz : 32.5
 - Voltaje para pase de relleno : 32.1
 - Voltaje para acabado final : 31.8

4.6.3. Pre y post calentamiento

- Pre calentamiento: en el caso del acero ASTM A36 tiene una buena soldabilidad, por lo que no es propenso a formar microestructuras duras y mucho menos es de fácil templabilidad. Caso contrario a lo que ocurre con el acero AISI/SAE 4340 que tiene contenidos de Cr, Ni, Mo que lo hace un acero de temple fácil y de difícil soldabilidad, debido a ello es imprescindible tener un control riguroso de enfriamiento, para lo cual nos es de gran ayuda un



precalentamiento, además tiene influencia en el hidrogeno residual de la soldadura. Por ello para el precalentamiento nos centraremos en el acero AISI/SAE 4340, según el método seferian, aplicable para aceros al carbono y de baja aleación tenemos:

$$C_q = C + \frac{Mn + Cr}{9} + \frac{Ni}{18} + \frac{7Mo}{90}$$

$$C_q = 0.43 + \frac{0.8 + 0.9}{9} + \frac{2}{18} = 0.77$$

$$C_e = 0.005 e(mm) * C_q$$

$$C_e = 0.005 * 25 * 0.77 = 0.096$$

$$[C_T] = [C_q] + [C_e] = 0.87$$

$$C_T = C_q (1 + 0.005 e)$$

$$C_T = 0.77 (1 + 0.005 * 16.2) = 0.87$$

$$T_p = 350\sqrt{[C_T] - 0.25}$$

$$T_p = 350\sqrt{0.87 - 0.25} = 275^\circ C$$

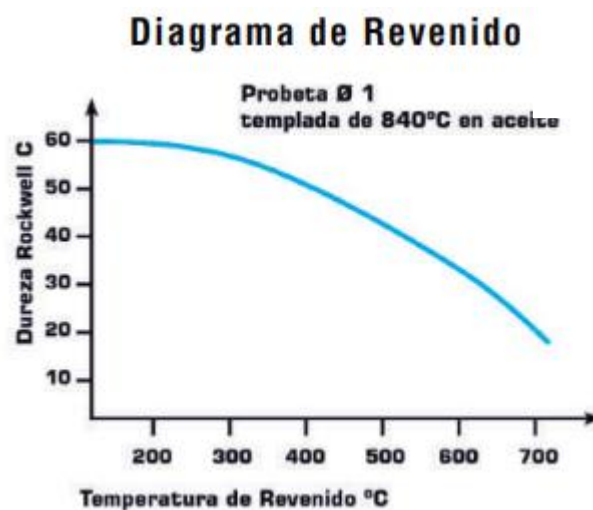
Cabe resaltar que este método propuesto por Seferian no toma en cuenta el calor neto aportado por lo que el valor de temperatura de precalentamiento calculado es relativamente más alto que el necesario; es un valor más conservador por lo que se verifica que es correcta la temperatura de 230 °C a 275 °C establecida por el departamento de ingeniería.

- Postcalentamiento:

El acero AISI/SAE 4340 es un acero que presenta una fácil templabilidad, y para mejorar sus propiedades mecánicas y metalúrgicas, el suministro de este material es en estado revenido, por ello se tiene que tener especial cuidado en el post calentamiento o tratamiento térmico post soldadura, debido a que a mayor temperatura de revenido la dureza del material disminuye.

Figura 37.

Curva de revenido para el acero AISI/SAE 4340



Nota: diagrama obtenido del catálogo de ventas de Cía. General de Aceros

Luego de la soldadura, hacer un alivio de tensiones es primordial debido a las tensiones residuales que presentara el acero que es altamente templable. Para poder hacer un correcto post calentamiento se debe de conocer la temperatura a la cual se hizo el revenido en el estado de suministro para disminuir un 25% a dicha temperatura, todo ello con la finalidad de no afectar las propiedades mecánicas y metalúrgicas del material base, de ninguna manera la temperatura de post calentamiento puede sobrepasar la temperatura de revenido.



$$T^{\circ}\text{rev.} = 600^{\circ}\text{C}$$

$$25\% T^{\circ}\text{rev.} = 150^{\circ}\text{C}$$

$$\text{PWHT} = 450^{\circ}\text{C}$$

4.6.4. Temperatura interpase

Para evitar la fisuración por hidrogeno y prevenir la disminución de sus propiedades mecánicas, es necesario controlar la temperatura interpase, según el material a ser soldado puede determinarse un minio, máximo o ambos. Para evitar cambios no deseados en la microestructura, tamaño de grano, y propiedades del acero, para el acero AISI SAE 4340, dado que la temperatura de precalentamiento es de 275°C y el post calentamiento se dará a 450°C , la temperatura de interpase no deberá de ser menor a 290°C , con esta temperatura de interpase se consigue una mejor fluidez del charco de soldadura y una dilución homogénea del material de aporte en el material base.

4.6.5. Temperatura de enfriamiento

Con la finalidad de evitar cambios de temperatura bruscos que puedan afectar en la microestructura se debe de realizar un enfriamiento lento y controlado en cal y así nos cercioramos de no afectar metalúrgicamente al material base.

4.6.6. Velocidad de avance

Para lograr un cordón de soldadura de calidad es necesario contar con un soldador capacitado. La velocidad de avance dependerá directamente de la aptitud, técnica y experiencia del soldador, además va directamente proporcional a los parámetros eléctricos, es decir mientras mayor sea el amperaje y voltaje, mayor será la velocidad de avance y viceversa. El soldador por ser humano no tendrá una



velocidad de avance constante, como se obtendría en una soldadura automatizada o mecanizada, debido a ello la velocidad de avance será variable, por ello no se puede fijar una velocidad, sin embargo, se puede medir un promedio, el cual varía entre 420-510 mm/min, según cambien los parámetros eléctricos en cada cupón de prueba, también variara la velocidad de avance del soldador.

4.6.7. Velocidad de alambre

La velocidad de alimentación del alambre varía según los parámetros de soldeo utilizados, que va directamente proporcional con la intensidad de corriente, según la recomendación del fabricante es de 340 inch/min, el nuestro caso se tiene tres velocidades distintas en cada cupón de prueba, para el cupón de prueba 3 excede la velocidad recomendada debido que se utilizan parámetros altos, caso contrario la sobre monta quedaría demasiada alta y fuera de los percible por el código en aplicación.

- Cupón 1 : 320 inch/min
- Cupón 2 : 335 inch/min
- Cupón 3 : 348 inch/min

4.6.8. Stick out

Cuando se tiene un stick out demasiado largo puede afectar en la deposición del material de aporte y si es demasiado corto perjudica en la visibilidad del soldador y el flujo del gas. Se utiliza un stick out de 11/16” (17.5mm), este valor es un valor recomendado para el diámetro del alambre (1.2mm); además se observa un menor porcentaje de salpicaduras del material de aporte.



4.6.9. Fujo de gas

El gas a utilizar será una mezcla activa AGA mix 80/20 (80% argón / 20% CO₂) debido a que está dentro del rango que recomienda del fabricante y debido a que es un producto comercial de fácil adquisición en el medio. Además, ayuda a mantener la transferencia Spray y mejora la penetración creada un arco eléctrico con mayor temperatura.

El flujo del gas de protección será de 15-20 Lt/min la que nos ayuda a crear un flujo laminar protegiendo adecuadamente el charco de soldadura y evita la turbulencia, el ambiente en el que se realiza la experimentación no presenta corrientes de aire que afecten la constancia laminar del gas de protección.

4.7. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Según el código en aplicación para calificar un procedimiento de soldadura el ensayo visual es lo primero que se realiza, antes, durante y después del soldeo, no es necesario realizar otros ensayos no destructivos, debido a que su aplicación de los distintos NDT's son de mayor alcance en los componentes puestos en servicio o incluso en fabricación de los componentes para, de esta manera poder pre establecer un control de calidad hasta su próximo mantenimiento. Sin embargo, para mayor seguridad se decide realizar un ensayo por líquidos penetrantes para descartar cualquier pequeña discontinuidad no visible en un ensayo visual.

4.7.1. Ensayo visual

La inspección visual es el método de detección de defectos más antiguo, este método consiste en examinar la pieza y material de aporte antes, durante y después del proceso de soldeo. Según el código en aplicación el personal

competente y calificado para realizar un ensayo de inspección visual deberá de contar con certificación vigente de inspector NDT Nivel III o NDT nivel I trabajando en conjunto con un inspector NDT Nivel II, dicha calificación deberá de regirse a los estándares de la norma SNT-TC-1A. durante la inspección visual se observó los siguientes lineamientos en conformidad con el cogido AWS D14.1:

- El cordón de soldadura no presenta fisura alguna independientemente al tamaño, ya sea en la raíz o la cara de la soldadura.
- Se observa una fusión completa entre el material base, el material de aporte y material base.
- Todos los cráteres de sección transversal están completamente rellenos por el material de aporte.
- No presenta socavaciones. Sin embargo, al darse el caso no deberá de exceder 1 mm.
- La sobre monta es uniforme y no excede los 3mm permisibles.

Figura 38.

Kit para ensayo visual



4.8. ENSAYOS MECÁNICOS

Los ensayos mecánicos son muy importantes para determinar el comportamiento futuro de una pieza en servicio por lo que, para este caso se aplicara distintos ensayos destructivos detallados en la tabla 17.

Tabla 17.

Ensayos mecánicos

Tipo de soldadura	Espesor (t) de placa de prueba soldada	Espesor de placa calificado para producción		Tipo y numero de ensayos de dobles requeridos			Macrografía	Ensayo de tracción	Ensayo de dureza
		Min	Max	Doblar de lado	Doblar de cara	Doblar de raíz			
ranura	>10mm <20mm	5mm	2(t)	2	-	-	1	1	a

Nota: a) barrido de dureza, empezando desde el material base 3 indentaciones, ZAT 3 indentaciones, cordón de soldadura 3 indentaciones, ZAT 3 indentaciones y material base 3 indentaciones; llegando a un total de 15 indentaciones.

4.8.1. Macrografía

Para poder determinar la penetración y sobre todo la fusión del material base y material de aporte es necesario realizar la macrografía para de esta manera tener la certeza que existe una buena fusión entre los materiales a unir. Además, para poder identificar los límites de las distintas zonas: material base a, zona afectada térmicamente en ambos extremos del cordón de soldadura, cordón de

soldadura y material base b, y su posterior barrido de dureza se debe de preparar la superficie de intereses bajo un macroataque.

Figura 39.

Preparación para en ensayo micrográfico



Nota: se realizó un pulido hasta llegar al pulido al espejo, llegando al acabado final con lamina de SiC #200, #500, #100 y finalmente #1200.

Figura 40.

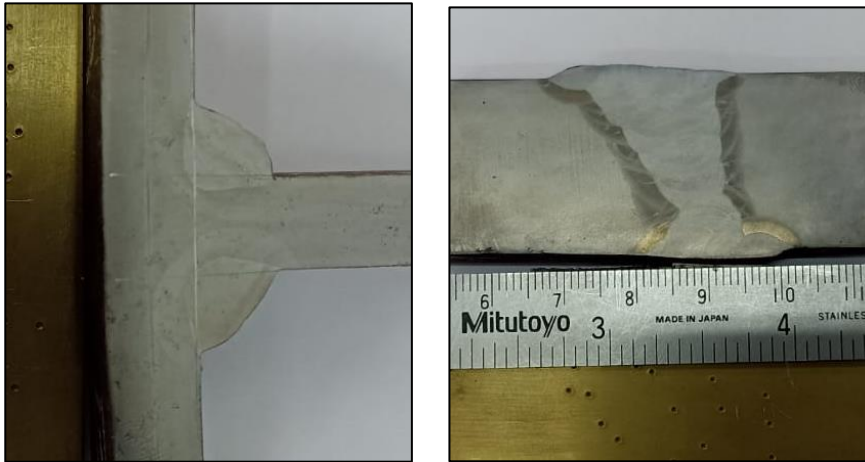
Ataque químico para la macrografía



Nota: el ataque químico se realizó con ácido oxálico al 10% en 60 seg.M

Figura 41.

Macrografía tipo de soldadura filete y ranura



Nota: se observa claramente la zona afectada por el calor, la penetración y difusión.

4.8.2. Ensayo de doblado

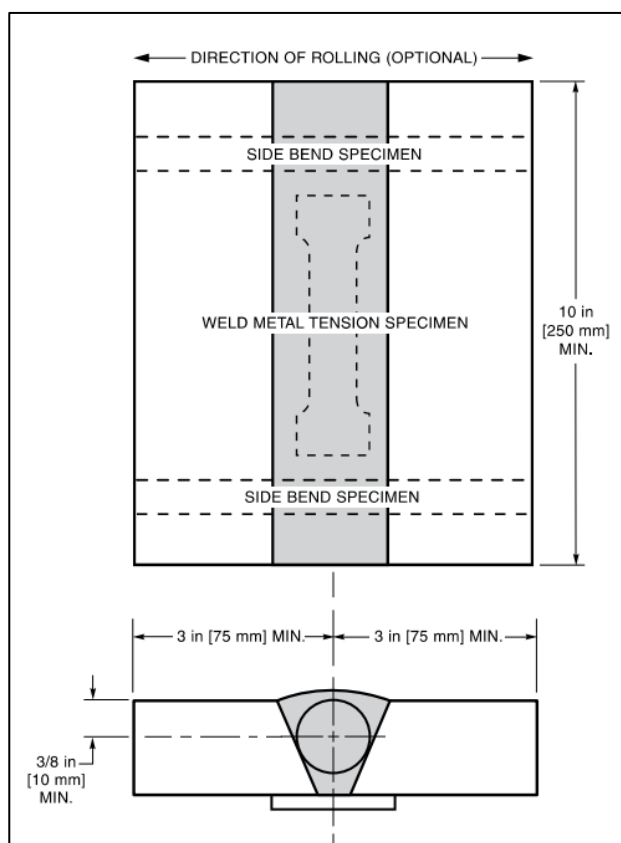
Para poder determinar la correcta fusión del material base con el material de aporte se realiza el ensayo de doblado de raíz y de cara o caso contrario doblado lateral según corresponda el código de aplicación. Para el presente caso se realiza el doblado colocando sobre la matriz del equipo el lado de la probeta que mayor discontinuidad presente de tal manera que el embolo del equipo pueda ejercer fuerza sobre la zona con menor discontinuidad y de esta manera tener mayor certeza en los ensayos de dobles.

El embolo debe de forzar la probeta sobre la matriz del equipo de tal manera que tome una forma de U con la soldadura en la mitad del vano. El cordón de soldadura y la ZAC debe de quedar completamente dentro de la parte doblada. El ensayo de doblado realizado cumple con lo siguiente:

- En el caso de existir fisuras entre 1mm y 3mm. La suma de ellas no deberá exceder los 10mm.
- No se encontraron fisuras mayores a 3mm, lo que invalidaría el ensayo.
- La grieta máxima de esquina es 3mm, en el caso de ser causada por inclusión no deberá de superar 6mm.
- Si se diera el caso de una inclusión en esquina, la cual origina una discontinuidad mayor a 6mm, se podrá reevaluar una probeta de reemplazo del cupón original.

Figura 42.

Localización de especímenes en la plancha soldada



Nota: imagen extraída del código de soldadura AWS D14.6-figura 2.

Figura 43.

Equipo para el ensayo de doblado



Figura 44.

Especímenes luego del ensayo de doblado



4.8.3. Ensayo de tracción

El ensayo de tracción será longitudinal al cordón de soldadura debido a que se trata de dos materiales base distintos, la probeta deberá de romper bajo la carga ejercida por el equipo de tracción y se tomará en cuenta la carga máxima,

mas no la carga de ruptura. La carga máxima no deberá de ser por ningún motivo menor a la del material base, en este caso el acero AISI SAE 4340 tiene mayor resistencia a la tracción, por lo que el ensayo debe de superar 800 Mpa.

Figura 45.

Dimensionamiento de los especímenes para los ensayos mecánicos

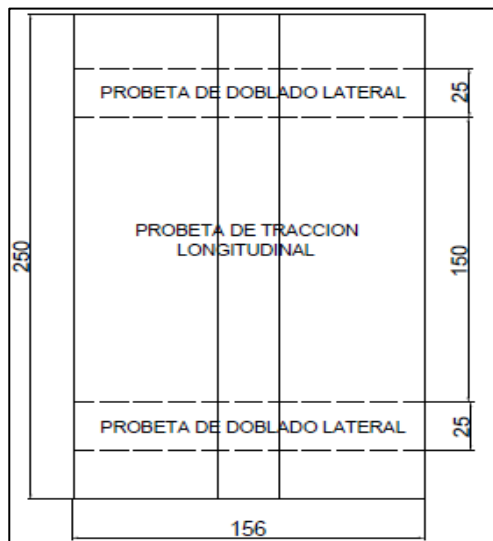
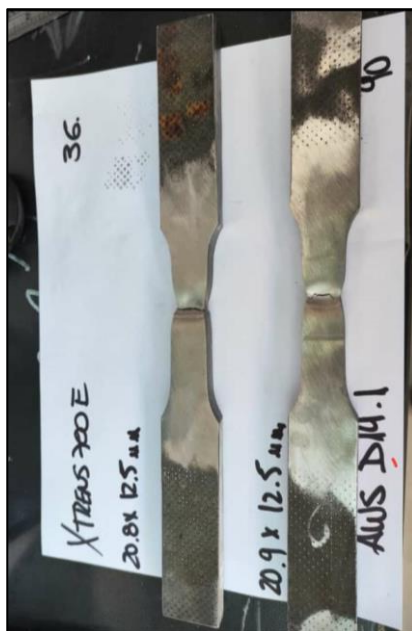


Figura 46.

Ensayo de tracción





4.8.4. Ensayo de dureza

Cuando un material metálico es calentado y enfriado bruscamente como es el caso de la soldadura, una de las propiedades afectadas más resaltantes es la dureza debido a que puede ocurrir un temple al no controlar de manera adecuada dicho cambio. Para tener la certeza de que la variación de dureza entre las distintas zonas del cordón de soldadura no es relevante, se realiza un barrido de dureza con un total de 15 indentaciones. La probeta será preparada a 1.5mm-2mm debajo de la superficie.

4.8.5. Registro de calificación del procedimiento de soldadura.

Estas hojas técnicas son necesarias para formular de manera objetiva un WPS. En el anexo 5 se muestra los valores con los que se realizó el proceso de soldeo para ser calificado.

4.8.6. Procedimiento propuesto para el soldeo de placa base y eje rotor.

En el anexo 6 se detalla el procedimiento propuesto según el código en aplicación, tomando las variables de los distintos ensayos mecánicos aplicados.

4.9. DISCUSION

Mediante el presente trabajo de titulación se considera relevante el uso de códigos y normativas para el diseño de equipos. En la industria metal mecánica de la región, no se realizan controles de calidad adecuados y bajo criterios normados, por lo que al realizar un proceso de soldadura adecuado mejora la productividad y calidad, lo que nos permite elevar nuestra competitividad con procesos y controles estandarizados bajo normativas y códigos en el lineamiento americano.



Los códigos y normativas para la calificación y control de calidad en esta parte del mundo, son elaborados por dos instituciones con lineamientos internaciones europeos, los cuales son: AWS (American Welding Society), ASTM (American Society for Testing and Material), ASNT (Amerian Society Nodestructive Testing) y ASME (American Society Mechanical Engineers).

El presente estudio contribuye de manera valiosa a una comprensión e interpretación adecuada del Código AWS D14.1, haciendo un análisis sobre la importancia del uso de estándares normalizados para mejorar la calidad de productos, equipos y estructuras soldadas, de esta manera incrementando los conocimientos logrados hasta ahora.

Previo al soldeo, se determinó los valores de los parámetros para un cordón de soldadura eficiente que cumpla con el código en aplicación. Los cuáles serán corroborados por medio de cupones de prueba de calificación del material de aporte y ensayos mecánicos y no destructivos.

Es preciso mencionar que, para realizar el estudio, el proceso de soldadura fue realizado por un soldador calificado con certificación vigente y experiencia en procesos de soldadura. De manera imperativa se siguió los principios y pautas del código AWS D14.1, los que fueron interpretados en conjunto con mi persona.

Para obtener un buen cordón de soldadura y de calidad es necesario brindarle confort al soldador que lo ejecutara: equipos adecuados, material base y de aporte en buenas condiciones, EPP de calidad, disponibilidad y confianza. Lo cual se pudo lograr gracias a la infraestructura de SOLDEXA y equipos en buen estado.

Puede parecer inverosímil si decimos que la inspección visual se realiza antes, durante y después del proceso de soldeo, debido a que por lo general solamente se



inspecciona una vez terminado el cupón de prueba, se puede inferir erróneamente identificando falsas indicaciones o discontinuidades que no presenten mayor problema en servicio y que son toleradas por los estándares, los que no son considerados defectos. Por ello quien lo inspecciona debe de tener experiencia y contar con el equipo e instrumentos de medición adecuados y calibrados. Los cupones de prueba fueron evaluados bajo el código AWS D14.1 que sigue los lineamientos de AWS D1.1. En el presente caso se realizó durante todo el proceso de inicio a fin, la inspección visual fue realizada por mi persona debido a que cuento con una homologación de soldadura, así mismo una certificación de inspector NDT nivel II bajo el código ASNT-SNT-TC-1A-edition 2020.

Una vez realizado la inspección visual, se procede a ejecutar los ensayos mecánicos preestablecidos con anterioridad siguiendo al código AWS D14.1. y algunos extras para tener mayor fiabilidad de calidad, con los datos obtenidos se puede elaborar documentos técnicos logrando una mejor comprensión de resultados, en los que se establecen parámetros del proceso en general, también se detalla el material de aporte, material base y otros necesarios para su correcta aplicación a juntas disímiles de aceros AISI/SAE 4340 y ASTM A36.

Se logro formular correctamente los documentos técnicos PQR y WPS, de esta manera asegurando cordones de soldadura de calidad. Siempre en cuando se aplique los parámetros establecidos en el WPS y la supervisión constante de los procesos, se garantiza la sanidad de los cordones de soldadura que sean ejecutados bajo los lineamientos de este proceso de soldadura.

Es evidente que el uso, interpretación y manejo de códigos y normas internacionales contribuyen al estudio teórico y práctico durante la producción de componentes soldados y control de calidad, de esta manera aporta complementariamente



a la formación universitaria, haciéndonos más competitivos en este amplio afán de superación profesional y laboral, y además genera mayor visión en cuanto a las aplicaciones de los distintos procesos de soldadura, impulsando a una mayor producción de equipos y poniendo a la vanguardia del mercado nacional e internacional con profesionales más capaces de ejecutar proyectos de gran envergadura.

Finalmente, gracias a la ardua investigación y dedicación se pudo realizar de manera exitosa el presente trabajo de titulación, aportando con documentos técnicos y bibliografía teórica para futuras investigaciones y aplicaciones de soldaduras disímiles.



V. CONCLUSIONES

- El procedimiento de soldadura FCAW (flux cored arc welding) con corriente continua electrodo positivo, para una unión disímil de un acero de bajo carbono ASTM A36 con un acero bonificado de baja aleación AISI/SAE 4340 genera mayor producción y deposición de material de aporte.
- Los parámetros de soldeo para el cupon de prueba 2 que tiene un rango de 265A a 280A de intensidad de corriente y 30.9V a 32V de voltaje nos brinda características mecánicas optimas para una soldadura entre un acero ASTM A36-AISI/SAE 4340, con un control estricto de temperatura llegando a 275°C de precalentamiento y 280°C-310°C de interpase y 450°C de post calentamiento se evita agrietamientos durante el proceso de soldeo.
- La macrografia realizada a la unión soldada indica una buena penetración, luego de realizar el ensayo de dobles de lado guiado con un angulo de 180° no se visualiza fisuras ni discontinuidades, en el ensayo de tracción a sección reducida se requiere una resistencia a la tracción mínima de 410 MPA obteniendo 427MPA de resistencia a la tracción final que rompió en el material base ASTM A36, por lo descrito logro la conformidad de la unión soldada entre los aceros ASTM A36 y AISI/SAE 4340 dando cumplimiento a los lineamientos del código AWS D14.1.
- Se elaboraron procedimientos de soldadura preliminar gracias al estudio de los aceros de baja aleación y bajo carbono, así logrando un punto de inicio para formular y calificar el procedimiento de soldadura. Y de esta manera se logró obtener el WPS y PQR para una unión disímil de un acero de bajo carbono ASTMA36 con un acero bonificado de baja aleación AISI/SAE 4340.



VI. RECOMENDACIONES

- Para una adecuada unión soldada con buena fusión es necesario realizar adecuadamente la preparación de la junta, una limpieza ideal y asegurar la conservación lejos de contaminantes que perjudiquen el material de aporte.
- La garantía de calidad en uniones disimiles es poco fiable, por ello se debe de tener un WPS y PQR de respaldo, además de contar con soldadores calificados capaces de seguir los lineamientos del WPS y contar con experiencia y capacitación sobre el código de aplicación.
- La inspección visual es el método más antiguo de control de calidad, sin embargo, en la actualidad suele pasar desapercibido, por lo que dicha inspección tiene que ser documentada desde el suministro de material y equipos, hasta el acabado final del cordón de soldadura.
- el control permanente de temperatura es indispensable, tanto en el pre calentamiento, como entre cordón y cordón de relleno, además de control cronometrado de permanencia a cierta temperatura en el post calentamiento.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aceros, C. G. (2021). *Aceros Especiales para Aplicaciones Industriales*. Bogota.
- Aceros, L. y. (16 de 12 de 2022). *Laminas y Aceros*. Obtenido de Laminas y Aceros:
<https://www.laminasyaceros.com/index.html>
- Aracil Cadenas, M. (2020). *Soldeo con Alambre Tubular*. Madrid: CESOL.
- Aracil Cadenas, M. (2020). *Soldeo MIG/MAG*. Madrid.
- Aracil Cadenas, M., & Romero Camacho, R. (2020). *Soldeo Manual por Arco con Electrodo Revestido*. Madrid.
- ASME. (2019). *Welding, Brazing, and Fusing Qualifications*. New York.
- AWS. (2005). *Specification For Welding of Industrial and Mill Cranes and Other Material Handling Equipmet*. Miami.
- Bohler. (2021). *VCN*. Lima .
- Callister, W. D. (1995). *Ciencia e Ingenieria de los Materiales*. Departm ent of Materials Science and Engineering The University of Utah: Reverte S.A.
- certificacion, A. E. (2001). *Deficinicion y clasificacion de los tipo de acero*. Madrid: AENOR.
- Certificacion, A. E. (2001). *UNE-EN 10020 Definition and Clasification of grades of steel*. Madrid, España: AENOR.
- conecband. (15 de 12 de 2022). *conecband*. Obtenido de conecband:
<https://www.conecband.com>
- Contreras, R. (2018). *Estudio de la soldabilidad entre materiales disímiles A6061-T6/acero DP900 galvanizado, unidos por el proceso*. Saltillo, Mexico.
- D14.1, A. W. (2005). *Specification for weding of industrial and mill cranes and other materials* . Florida.
- Ferrocortes. (2021). *Barras de baja y mediana aleacion AISI 4340*. Colombia.



- Fosca, C. (2018). *Introducción a la metalurgia de la soldadura*.
- Luna Tejada, R. A. (2015). *Evaluación del Procedimiento de Soldadura de la Unión Disimil entre Aceros API 5LX70 PSL1 y ASTM A707 L4 F65*. Lima: PUCP.
- Materials, A. S. (2015). *ASTM A36 Estandar de especificación para acero al carbono estructural*. Miami, florida.
- Moreno Zabala, G. A. (2015). *Estudio de la soldabilidad de la unión disimilar DE*. Lima.
- Oñoro López, J., & Roso Sánchez, M. (2020). *Ensayos no Destructivos de Materiales y Uniones Soldadas*. Madrid: CESOL.
- Reina Gómez, M., & Portolés García, A. (2016). *Comportamiento de los Aceros Estructurales en el Soldeo por Fusión*. España: CESOL.
- Riesco, G. H. (2014). *Manual del Soldador*. Marcos .
- Rionda Canellana, G., Rosell Gonzales, J., & Isidro, T. S. (2016). *Fabricación y Denominación de los Aceros*. España: CESOL.
- Saavedra M., A. (02 de Febrero de 2010). *Construcciones Soldadas*. Obtenido de http://www.alexandersaavedra.com/2010/02/soldadura-de-aceros-inoxidables_02.html
- Sanz Cubero, J. A., & Romero Camacho, R. (2020). *Soldeo TIG*. Madrid.
- Vasquez Vasquez, E. (2012). *Elaboración de un procedimiento para soldar aceros aleados como el AISI-SAE4140 y ASTM A36*. Bogota.



ANEXOS

ANEXO 1. Ficha técnica de alambre tubular OK TUBROD 110MC

ALAMBRES TUBULARES (FCAW) (SOLDADURA CON GAS DE PROTECCIÓN)

ALAMBRES TUBULARES OK PARA ACEROS DE BAJA ALEACIÓN



OK TUBROD 110 MC

OK Tubrod 110MC es un alambre tubular del tipo "Metal Cored" de baja emisión de humo. Presenta una alta eficiencia (90-95%) y también una elevada tasa de depósito por lo que produce un cordón de excelente aspecto con pequeñas líneas de escoria, minimizando la limpieza entre los pases. OK Tubrod 110MC contiene Ni y Mo, indicado para soldaduras de aceros de alta resistencia y también para aceros templados con límite de chorro mínimo de 690 MPa. Este alambre también se destina a aplicaciones donde se requiere propiedad de impacto hasta -29 °C.

Clasificaciones metal de soldadura:	ASME SFA 5.28: E110C-G ASME SFA-5.36: E110T15-M21A2-G
--	--

Tipo de aleación:	Baja aleación
Tipo de corriente:	CC (+) / CC (-)

Propiedades mecánicas típicas			
Condición	Límite de fluencia	Límite de resistencia	Alargamiento
Ar + 20-25% CO2			
Como soldado	800 MPa	850 MPa	18%

Ensayo charpy		
Condición	Temperatura	Impacto
Ar + 20-25% CO2		
Como soldado	-29 °C	50 J

Composición química (%)				
C	Si	Mn	Ni	Mo
0.03	0.50	1.60	2.25	0.60

Información técnica adicional				
Diámetro	Corriente	Tensión	Rendimiento	Deposición
1.20 mm	150 A	28 V	92 %	1.80 kg/h
	210 A	29 V	92 %	2.65 kg/h
	250 A	30 V	93 %	3.63 kg/h
	300 A	32 V	95 %	5.26 kg/h
	350 A	32 V	95 %	5.75 kg/h

Información para pedidos	
OK TUBROD 110MC 1.20 MM	0719081

ANEXO 2. Ficha técnica acero AISI/SAE 4340 (VCN)

VCN

AISI : ~ 4340 H
DIN : 34 Cr Ni Mo 6
W N°: 1.6582



Tipo de aleación promedio : C 0,34 Cr 1,5 Ni 1,5 Mo 0,2 Si 0,30 Mn 0,50%
Color de identificación : Verde
Estado de suministro : Bonificado 240-380 HB Típico. Ver tabla inf.
Largo estándar : 3,5 - 6 metros.

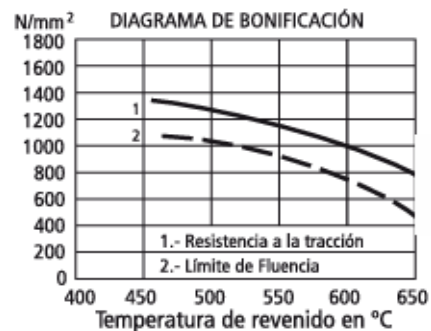
Acero especial de bonificación al cromo níquel molibdeno, altamente resistente a la tracción, a la torsión y a cambios de flexión. Insensible al sobrecalentamiento en el forjado y libre de propensión a fragilidad de revenido. Por su estado de suministro permite en la mayoría de los casos su aplicación, sin necesidad de tratamiento térmico adicional.

APLICACIONES: Partes de maquinaria y repuestos de mayores dimensiones, sometidas a muy altos esfuerzos dinámicos y otras altas exigencias mecánicas. Cigüeñales, ejes de leva, árboles de transmisión, barras de torsión, ejes cardán, ejes para bombas, ejes para hélice de aviones, pernos y tuercas de alta tensión, rodillos de transportadora, vástagos y pines, muñones; brazos de dirección, ciertos engranajes, discos de embrague, etc.

26

INDICACIONES PARA EL TRATAMIENTO TÉRMICO

Forjado: 1050 - 850 °C
Recocido: 650 - 700 °C
Enfriamiento lento en el horno
Temple: al aceite 830 - 860 °C
Dureza obtenible: 52 - 56 HRC
Revenido : 540 - 680 °C
Normalizado: 850 - 880 °C
Nitrurar: 580 °C



Resistencia en estado Recocido		CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS EN ESTADO BONIFICADO						
máx. N/mm ²	Dureza Brinell máx.	Diámetro mm.		Límite de fluencia N/mm ²	Resistencia a la tracción N/mm ²	Elongación (Lo = 5d) % mín.	Estricción % mín.	Resiliencia según DVM Joule
		desde	hasta					
800	248	16	16	980	1180 - 1380	9	40	41
		40	40	885	1080 - 1280	10	45	48
		100	100	785	980 - 1180	11	50	48
		160	160	685	880 - 1080	12	55	48
		160	250	590	780 - 930	13	55	48

Soldadura: Consultar con nuestro Departamento Técnico

02



ANEXO 3. Alcance de posiciones para el proceso de calificación.

Table 2
Procedure Qualification—Production Welding Positions Qualified by Plate and Pipe Tests

Qualification Test		Type of Weld and Position of Welding Qualified ^a							
		Production Plate			Production Pipe				
		Groove		Fillet	Groove				
Plate or Pipe	Weld Type	Positions ^b	CJP ^c		PJP ^c	CJP ^c	PJP ^c	Fillet	
Plate	Groove—Complete Joint Penetration (CJP)	1G	F	F	F	F	F	F	
		2G	F, H	F, H	F, H	F, H	F, H	F, H	
		3G	V	V	V	V	V	V	
		4G	OH	OH	OH	OH	OH	OH	
	Fillet	1F			F			F	
		2F			F, H			F, H	
		3F			V			V	
		4F			OH			OH	
	Pipe	Groove—Complete Joint Penetration (CJP)	1G Rotated	F	F	F	F	F	F
			2G	F, H	F, H	F, H	F, H	F, H	F, H
5G			F, V, OH	F, V, OH	F, V, OH	F, V, OH	F, V, OH	F, V, OH	
2G & 5G			All	All	All	All	All	All	
6G			All	All	All	All	All	All	
6GR		All	All	All	All	All	All		
Fillet		1F Rotated			F			F	
		2F			F, H			F, H	
		2F Rotated			F, H			F, H	
		4F			F, H, OH			F, H, OH	
	5F			All			All		

^a Positions for welding: F = flat, H = horizontal, V = vertical, OH = overhead.

^b See Figures 2, 3, 5(A), and 5(B).

^c CJP = Complete Joint Penetration; PJP = Partial Joint Penetration.

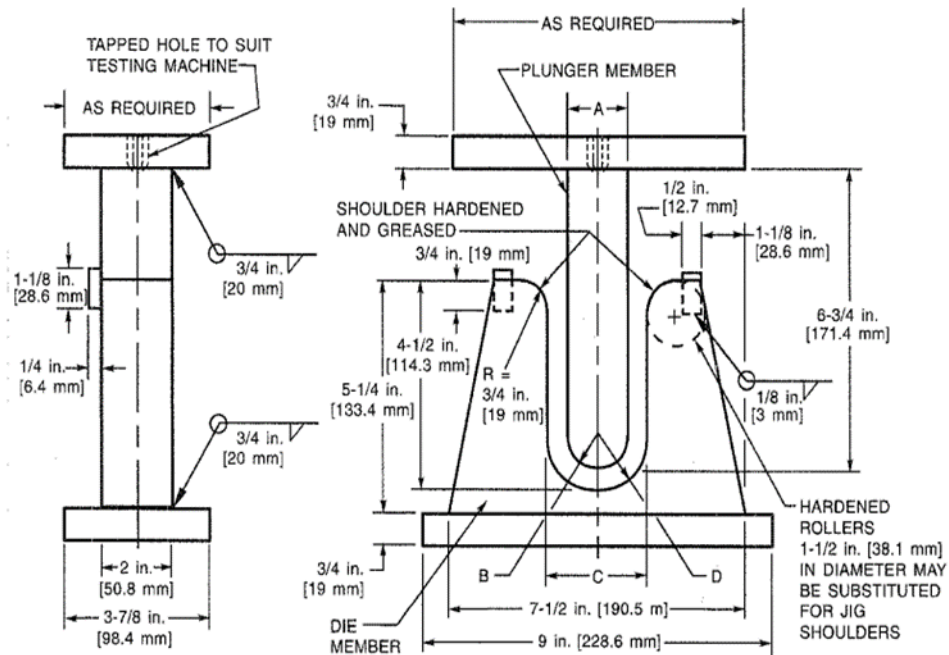
Source: Adapted from AWS D1.1/D1.1M:2004, Table 4.1.



ANEXO 4. Ensayos mecánicos requeridos para calificar según AWS D14.1.

Table 4 Test Specimens for Performance Qualification of Welders and Welding Operators								
Plate Transverse Bend Tests ^a								
Type of Weld	Thickness (t) of Test Plate, As-Welded Condition, in [mm]	Thickness Range of Materials Qualified by Test Plate, in [mm]		Type and Number of Tests Required (Guided Bend Tests)			T-Joint Macro	T-Joint Break
		Min.	Max.	Side Bend	Face Bend	Root Bend		
Groove	≥ 1/16 [2] to ≤ 3/8 [10]	1/16 [2]	2t		1	1		
Groove	> 3/8 [10] to < 3/4 [20]	3/16 [5]	2t		1	1		
Groove	> 3/8 [10] to < 3/4 [20]	3/16 [5]	2t	Note b				
Groove	≥ 3/4 [20]	3/16 [5]	Unlimited ^c	2				

ANEXO 5. Requerimientos para el ensayo de doblado



Specified or Actual Base Metal Yield Strength, ksi [MPa]	A in. [mm]	B in. [mm]	C in. [mm]	D in. [mm]
50 [345] & Under	1-1/2 [38.1]	3/4 [19.0]	2-3/8 [60.3]	1-3/16 [30.2]
Over 50 [345] to 90 [620]	2 [50.8]	1 [25.4]	2-7/8 [73.0]	1-7/16 [36.6]
90 [620] & Over	2-1/2 [63.5]	1-1/4 [31.8]	3-3/8 [85.7]	1-11/16 [42.9]


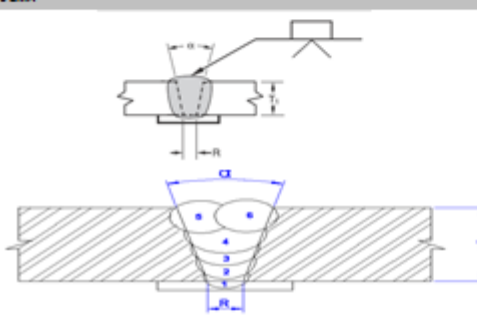
General Note: Plunger and interior die surfaces shall be machine-finished.

Source: AWS D1.1/D1.1M:2004, Figure 4.15, as adapted from AWS B4.0-98, Figure A2.

Figure 24A--Guided-Bend Test Jig--Standard Design



ANEXO 6. Registro de calificación del procedimiento de soldadura

		REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR)		Version	1								
		(De acuerdo al Código de Soldadura AWS D 14.1 - Ed 2016)		Revision	0								
		PQR-01-23		Fecha	06/04/2023								
				Hoja	1 de 2								
DATOS GENERALES			METAL(ES) DE APORTE										
Nombre de la compañía: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO			Especificación AWS: A 6.28										
Identificación N° PQR: PQR-01-23			Clasificación AWS: E110C-9										
Rev.: 0			Nombre comercial del fabricante: OK TURBROD 110 MC										
Fecha: 6/04/2023			PROTECCION										
Elaborado por: Juan Alex Aduviri Mamani			Gas: x										
			Composición: 80% Ar - 20% CO ₂										
			Velocidad de Flujo: 17 l/min										
			Composición: ---										
			Nombre comercial del fabricante: ---										
			Electrodo-Fundente (Clasificación AWS): ---										
			Diámetro de tubería: 18 mm										
PROCESO(S) DE SOLDADURA			PO S I C I O N										
Proceso(s) de soldadura: FCAW-G			Posición: Ranura: 10										
Tipo: Manual: ---			Filete: ---										
Semi-automático: x			Proyección vertical: Ascendente: ---										
Máquina: ---			Descendente: ---										
Automático: ---			CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS										
DISEÑO DE JUNTA			Modo de transferencia (FCAW): Globular: ---										
Detalle de junta: A tope, con ranura en V con respaldo (45°)			Spray: x										
Respaldo (Backing): Si: x			Corriente: CA: ---										
Material: ASTM A98			DCEP: x										
No: ---			DCEN: ---										
Preparación de ranura: Abertura de raíz (R): 6.4 mm			Pulsado: ---										
Tamaño de balón (f): ---			Distancia del tope a la pieza de trabajo (Stick Out): 18 mm										
Angulo de ranura (α): 45°			Otro: ---										
Radio (J - U): ---			PRECALENTAMIENTO										
Saneado de raíz (Backgouging): Si: ---			Temperatura de precalentamiento para acero AISI/SAE 4040										
No: x			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Espesor (mm)</th> <th>T° precalentamiento, mín. (°C)</th> <th>T° interpaes, mín. (°C)</th> <th>T° interpaes, máx. (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2.0 mm</td> <td>276</td> <td>280</td> <td>310</td> </tr> </tbody> </table>			Espesor (mm)	T° precalentamiento, mín. (°C)	T° interpaes, mín. (°C)	T° interpaes, máx. (°C)	2.0 mm	276	280	310
Espesor (mm)	T° precalentamiento, mín. (°C)	T° interpaes, mín. (°C)	T° interpaes, máx. (°C)										
2.0 mm	276	280	310										
Método: ---			Método de precalentamiento: Quemador de Gas										
			Mantenimiento del precalentado: Desde el inicio del soldo										
ESQUEMA			TECNICA										
			Cordon rectilíneo (arrestre) u oscilante: Oscilante										
			Multi-Pase o Pase Simple (por lado): Multi-Pase										
			Número de electrodos: 1										
			Especificación de electrodos: Longitudinal: ---										
			Lateral: ---										
			Angulo: ---										
			Limpieza inicial: Esobillar/Esmerillar para remover óxidos y/o laminillas.										
			Limpieza interpaes: Al 1° Pase: Esmerillar y/o esobillar.										
			Al resto: Esobillar para remover espora.										
METAL(ES) BASE			TATAMIENTO TERMICO POSTSOLDADURA										
Especificación: AISI SAE 4040 - ASTM A98			Temperatura: 450										
Tipo o Grado: ---			Tiempo de retención: 2 min.										
Espesor: Ranura: 6.4			APORTE DE CALOR (HEAT INPUT)										
Filete: ---			Máximo Valor del aporte de calor calculado (kJ/mm)										
Diámetro (tubería): ---			Aporte de calor máximo: 1.28										
			Aporte de calor mínimo: 1.08										
PARAMETROS DE SOLDADO													
Pase(s) o Capas	Proceso(s)	Metal de Aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/min)	Calor de Aporte (KJ/mm)	Notas, Técnicas o Reglas de Códigos:				
		Clasificación AWS	Diám (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A) o Velocidad de alimentación del alambre (in/min)								
1	FCAW-G	E110C-9	1.2	DCEP	276	92	480	1.28	<ul style="list-style-type: none"> - El primer pase deberá ser lo suficientemente grande para minimizar la posibilidad de fisuras. - El máximo espesor de las capas es 5 mm (1/4") para el pase de raíz y 5 mm (3/16") para los pases subsiguientes con la finalidad de disminuir el calor de aporte. 				
2	FCAW-G	E110C-9	1.2	DCEP	270	91.8	480	1.07					
3	FCAW-G	E110C-9	1.2	DCEP	270	91.8	480	1.07					
4	FCAW-G	E110C-9	1.2	DCEP	270	91.8	480	1.07					
5-8	FCAW-G	E110C-9	1.2	DCEP	280	91	470	1.08					
APROBACION FINAL													
Elaborado por:					Aprobado por:								
JUAN ALEX ADUVIRI MAMANI													



	REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR) (De acuerdo al Código de Soldadura AWS D14.1 - Ed 2015)		Version : 1
			Revisión : 0
			Fecha : 05/04/2023
	PQR-01-23		Hoja : 2 de 2

INSPECCIÓN VISUAL		INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA	
Acerticia	Aceptable	Acerticia	inaceptable
Sociación	No presenta	Reporte N°	Fecha
Porosidad entrelada	No presenta	Realizado por	
Conexidad	Aceptable	ENSAYO MACROGRÁFICO	
Fecha	25/03/2023	Acerticia	x inaceptable
Realizado por	Juan Alex Aduviri Mamani	Reporte N°	CT S OL-EM-2023-012 Fecha : 29/03/2023
		Realizado por	SO LDEX S.A.

ENSAYO DE TRACCIÓN A TODO EL METAL DE SOLDADURA			
Reporte N°	ET-2023-269	Fecha	25/03/2023
Realizado por	SOLDEX S.A.		
Valor Requerido	Resistencia a la tracción (MPa) : 890	Límite de fluencia (MPa) : 686	Elongación en 50 mm (%) : 10.0
Resultado	Resistencia a la tracción (MPa) : 897	Límite de fluencia (MPa) : 689	Elongación en 50 mm (%) : 14.3

ENSAYO DE DOBLEZ DE LADO GUIADO				
Reporte N°	LC-349-2023	Fecha	29/03/2023	Realizado por
SOLDEX S.A.				
Espejimen N°	Tipo de dobles	Ángulo de doblado	Resultado	Observaciones
PQR-01-23-OL-1	Dobles de lado	180°	Conforme	--
PQR-01-23-OL-2	Dobles de lado	180°	Conforme	--
Diámetro de eje : 38 mm				

ENSAYO DE TRACCIÓN A SECCIÓN REDUCIDA						
Reporte N°	ET-2023-269	Fecha	13/10/2023	Realizado por	SOLDEX S.A.	
Valor Requerido	Resistencia a la tracción mínima (MPa) = 410					
Espejimen N°	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)	Carga de tracción final (N)	Resistencia a la tracción final (MPa)	Tipo de falla y localización
T1	25.06	25.15	630.01	330259	426	Rompió en material base.
T2	25.15	25.15	632.52	341309	427	Rompió en material base.

MACROATAQUE A SOLDADURA DE FILETE			
Reporte N°	Fecha	Realizado por	
Máximo tamaño de pase simple	1. -- 2. -- 3. --		
Máximo tamaño de pase simple	1. -- 2. -- 3. --		

ENSAYO DE IMPACTO AL METAL DE SOLDADURA (CHARPY CON MUECAS "V")								
Reporte N°	Fecha	Realizado por						
Valores (J)	1. -- 2. -- 3. -- 4. -- 5. -- 6. -- 7. -- 8. --							
SMAW, SAW, FCAW y GMAW - Requieren 05 especímenes ESW y ESW - Requieren 08 especímenes								
Resultado	Valor Requerido	-- J @ -- °C						
Promedio ^a	-- J @ -- °C	^a Descartar el valor más alto y el más bajo y promediar los 03 restantes						

ANÁLISIS QUÍMICO AL METAL DE SOLDADURA DEPOSITADO (Opcional para JPC)						
Reporte N°	Fecha	Realizado por				
Resultado	C : -- Mn : -- Si : -- P : -- S : --					
	Ni : -- Cr : -- Mo : -- V : -- Cu : --					
Nombre del soldador	Juan Carlos Lluonor Burgos	DNI	41998738	Estanco N°	JLB	

Nota: Los abajo firmantes, certificamos que los valores en este registro son correctos y que los probetas fueron preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo con los requisitos de la Clausula 5 del Código de Soldadura para Puertas AAS HTD/AWS D15 - Ed 2015.

APROBACIÓN FINAL		
Elaborado por:	Aprobado por:	
JUAN ALEX ADUVIRI MAMANI		VºBº CWI



ANEXO 7. Especificación del procedimiento de soldadura

ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) (De acuerdo al Código de Soldadura AWS D14.1- Ed 2015)		Version	1																
		Revisión	0																
WPS-01-23		Fecha	10/04/2020																
		Foja	1 de 1																
DATOS GENERALES		PROTECCION																	
Nombre de la compañía : UNIVERSIDA NACIONAL DEL ALTIPLANO		Gas : <input checked="" type="checkbox"/> Ar	Composicion : 80% Ar - 20%CO ₂																
Identificación N°WPS : WPS-01-23 Rev. : 0		Velocidad de Flujo : 15- 20 l/min																	
Fecha : 10/04/2020		Fundente : ---	Composicion : ---																
Elaborado por : Juan Alex Advirini M.		Nombre comercial del fabricante : ---																	
P.O.R. de soporte N° : PQR-01-23		Electrodo-Fundente (Clasificación AWS) : ---																	
PROCESO DE SOLDADURA		Diámetro de bobina : 16 mm																	
Proceso(s) de soldadura : FCAW-G		POSICION																	
Tipo : Manual <input type="checkbox"/> Semi-automático <input checked="" type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/>		Posición : Ranura : Plana, horizontal																	
		Filete : ---																	
		Progresión vertical : Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>																	
DISENO DE JUNTA		CARACTERISTICAS ELECTRICAS																	
Tipo : Junta atope ranura CPJ		Modo de transferencia (FCAW) : Globular <input type="checkbox"/> Spray <input checked="" type="checkbox"/>																	
Designación : preparación de junta según AWS D14.1 figura 17.		Corriente : CA <input type="checkbox"/> CCEP <input checked="" type="checkbox"/> CCEN <input type="checkbox"/> Pulsado <input type="checkbox"/>																	
Soldado : Por un solo lado <input checked="" type="checkbox"/> Por ambos lados <input type="checkbox"/>		Distancia del tipo a la pieza de trabajo (Stick Out) : 15-20 mm																	
Respaldo (Backing) : Si <input checked="" type="checkbox"/> Material : Ver Esquema		Otro : ---																	
Preparación de ranura : Abertura de raíz (R) : 3.2mm Tder. : 0.5mm		PRECALENTAMIENTO																	
Tamaño de blón (f) : --- Tder. : ---		temperatura de precalentamiento para acero AISI/SAE 4340																	
Ángulo de ranura (α) : 45 Tder. : 5		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Espesor (mm)</th> <th>T° precalentamiento, m.in. (°C)</th> <th>T° interpasos, m.in. (°C)</th> <th>T° interpasos, max. (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>T ≤ 20</td> <td>255</td> <td>264</td> <td>280</td> </tr> <tr> <td>20 < T ≤ 40</td> <td>275</td> <td>290</td> <td>305</td> </tr> <tr> <td>40 < T ≤ 65</td> <td>290</td> <td>302</td> <td>320</td> </tr> </tbody> </table>		Espesor (mm)	T° precalentamiento, m.in. (°C)	T° interpasos, m.in. (°C)	T° interpasos, max. (°C)	T ≤ 20	255	264	280	20 < T ≤ 40	275	290	305	40 < T ≤ 65	290	302	320
Espesor (mm)	T° precalentamiento, m.in. (°C)	T° interpasos, m.in. (°C)	T° interpasos, max. (°C)																
T ≤ 20	255	264	280																
20 < T ≤ 40	275	290	305																
40 < T ≤ 65	290	302	320																
Ranura (J - U) : --- Tder. : ---		Nota : T = Espesor de plancha																	
Saneado de raíz (Backgoung) : Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>		Método de precalentamiento : Quemador de Gas																	
Método : Se debe de emplear respaldo		Mantenimiento del precalentamiento : Desde el inicio del soldo																	
ESQUEMA		TECNICA																	
		Cordón rectilíneo (arrestre) u/o oscilante : Oscilante																	
		Multi-Pase o Pase Simple (por lado) : Multi-Pase																	
		Número de electrodos : 1																	
		Especifico de electrodos : Longitudinal <input type="checkbox"/> Lateral <input type="checkbox"/> Ángulo <input type="checkbox"/>																	
		Limpieza inicial : Escobillar/Esmerilar para remover óxido y/o laminillas.																	
		Limpieza interpasos : Al 1° Pase: Esmerilar y/o escobillar.																	
		Al Resto: Escobillar o para remover escoria.																	
METAL(ES) BASE		TRATAMIENTO TERMICO POSTSOLDADURA																	
Especificación : AWS A36 / AISI 4340		Temperatura : 450																	
Tipo o Grado : --- / ---		Tiempo de retención : 2min																	
Ranura : 6.4 mm																			
Filete : ---																			
Diámetro (bobina) : ---																			
METAL DE APORTE		APORTE TERMICO (HEAT INPUT)																	
Especificación AWS : A 5.25		Valor del aporte termico soldado (kJ/mm) : 1.96 KJ/mm																	
Clasificación AWS : E110C-G		Aporte termico maximo : 1.23																	
Nombre comercial : OK TURBROD 110 MC		Aporte termico minimo : 1.03																	
PARAMETROS DE SOLDEO																			
Pase(s) o Capes	Proceso(s)	Metal de Aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/min)	Notas, Técnicas o Reglas del código:											
		Clasificación AWS	Diám (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje				Velocidad										
Raíz	FCAW-G	E110C-G	1.2	DCEP	275	31.8- 32.2	410-450	<ul style="list-style-type: none"> - El número de pases varía basado en el espesor del material, la configuración de la junta, la velocidad de avance y la técnica de soldo. - El primer pase debe ser lo suficientemente grande para minimizar la posibilidad de fisuras. - El máximo espesor de los capes es 6 mm (1/4") para el pase de raíz y 5mm (3/16") para los pases subsiguientes con la finalidad de disminuir el calor de aporte. - Ancho máximo del cordón: 16mm 											
Relleno	FCAW-G	E110C-G	1.2	DCEP	270	31.8-32.2	465-510												
Acabado	FCAW-G	E110C-G	1.2	DCEP	260	30.5-31.8	470-510												
NOTA: La calificación del procedimiento de soldadura fue de acuerdo al método indicado en la sección 9 parte B de AWS D14.1/D14.1M:2015																			
APROBACION FINAL																			
Elaborado por:				Aprobado por:															
JUAN ALEX ADVIRINI MAMANI																			



ANEXO 8. Certificación de inspector visual nivel II


QUALITY SERVICE FOR CONSTRUCTION AND MINING S.A.C.
NDT CERTIFICATION

CERTIFICATE N° QS-NDT-035/VT-009-22

This Certificate Attests That

Mr. JUAN ALEX ADUVIRI MAMANI

Has met the criteria established and has the demonstrated knowledge and skill requirements necessary for certification in

VISUAL TESTING – LEVEL II

In accordance with

ASNT-SNT-TC-1A – EDITION 2020

DESCRIPTION	GENERAL	SPECIFIC	PRACTICAL	AVERAGE
Examinations	90%	90%	90%	90%
Number of Questions	36/40	18/20	9/10	
Training	16 Hours			
Experience	More than 140 hours (*)			
Visual Acuity (**)	It is required annually to verify the visual acuity records during the effect of this qualification.			

(*) Recorded as experience acquired.
(**) Certificate issued by a competent authority for this activity.

Issue Date: 06/11/2022 **Expiration Date: 30/11/2025**


JUAN DIEGO ARIZABAL HUAMAN
ASNT NDT LEVEL III
ID# 225763
SEE REVERSE SIDE



ANEXO 9. Ficha y registro de prueba para la calificación de homologación.

		REGISTRO DE PRUEBA DE CALIFICACION DE SOLDADOR <i>Según Código Estructural AWS D1.1/2015</i>		WPS No. 001			
				PAGINA	1 de 1		
		REVISION	0				
		EDITADO	2015				
Nombre	ADUVIRI MAMANI, JUAN ALEX		Fecha de prueba	OCTUBRE 26, 2018	Rev		
Identificación No	DNI: 70979928		Registro No.	WPQ334			
Stamp	JAM-28		Std. de Prueba No.	--			
Compañía	Para compañía que fabrique según AWS D1.1		WPS No.	Cisold/SMAW/001			
División	--		Calificado para	AWS D1.1			
Materiales Base	Especificación	Tipo o Grado	AWS Group No	Medida(NPS)	Schedule	Espesor	Díametro
Materia Base	ASTM A36		1	--	--	3/8"	--
Soldado a	ASTM A36		1	--	--	3/8"	--
VARIABLES		VALORES ACTUALES		RANGO CALIFICADO			
Tipo de Junta		Plancha-Ranura (Fig 3.3) sin respaldo		Base: P.H.V. Con/Sin Respaldo - Filete: P.H.V. - T.Y.K. Ranura P.J.P			
Material Base		Grupo 1 a Grupo 1		Cualquier metal base Calificado según AWS D1.1			
		Ranura	Filete	Ranura	Filete		
Espesor de Plancha		3/8"	--	1/8" hasta 3/4"	1/8" mínimo		
Espesor de Tubería/Tubo		--	--	1/8" hasta 3/4"	ilimitado		
Díametro de Tubo		--	--	Mínimo 24" de Díametro	ilimitado		
Procedimiento de soldadura		SMAW		SMAW			
Tipo (Manual, Semiautomático)		Manual		Manual			
Respaldo		Sin		Sin / Con (cordon de soldadura)			
Metal de Aporte (Especif. AWS)		A5.1		A5.1			
Clasificación AWS		E6011 / E7018		EXX11 / EXX18			
Número F		F3 / F4		F1 hasta F4			
Posición		3G		--			
Ranura				Plano, Horizontal, Vertical			
Ranura - Tubo <24"				--			
Filete				Plano, Horizontal, Vertical			
Filete - Tubo ≥ 24"				--			
Progresión		--		--			
Modo de transferencia GMAW		--		--			
Electrodo Simple o Multiple		Multiple		Multiple			
Tipo de Gas/Filajo		--		--			
TEST RESULTS							
Tipo de Prueba		criterio Aceptación	Resultado	Observaciones			
Examinación Visual para 4.9.1		4.9.1	Aceptado	Indicaciones No Relevantes			
CERTIFICACION							
Prueba Conducida por:							
Laboratorio	Cisold SAC						
Número de Prueba	Cisold /WPQ/DG 334 Ensayo de Dobles Guiado)						
Archivo No.	Cisold SAC 334 /WPQ						
Nosotros, los abajo firmantes, certificamos que las declaraciones en este registro son correctos y que la prueba de soldadura fueron preparados, soldados y aprobados de conformidad con la Cláusula 4 del Código AWS D1.1 del 2015.							
Frabricador o Contratista	Para compañía que fabrique según AWS D1.1		Autorizado por	Ing. Freddy Matos Rodriguez			
			Fecha	26/10/2018			
				Freddy Matos Rodriguez CWI 15042181 QC1 EXP. 4/1/2021			

 CISold <small>Centro de Investigaciones y Soluciones</small>	TESTING SHEET/HOJA DE PRUEBA	FORM 01						
	MECHANICAL TEST/PRUEBA MECANICA	Issued/Publicado	2016					
	GUIDE-BEND TESTS/ENSAYO DE DOBLES GUIADO	Pagina/Page	1 of 1					
		Dona/Hecho	DR					
TECHNICAL REPORT / INFORME TÉCNICO								
WELDER PERFORMANCE QUALIFICATION TEST / ENSAYO PARA CALIFICACION DE SOLDADOR								
REPORT - REPORTE No. :	Cisold /WPQ/DG 334							
WELDER - SOLDADOR :	ADUVIRI MAMANI, JUAN ALEX							
ID - IDENTIFICACION No. :	70979328							
TEST CONDUCTED BY / PRUEBA CONDUCTIDA POR :	Tec. Julio Comesa (Instructor de Proceso SMAW)							
SUPERVISED BY - SUPERVISADO POR :	Ing. Freddy Matos							
DATE OF TEST - FECHA DE ENSAYO :	OCTUBRE 26, 2018							
BASE MATERIAL SPECIFICATION - ESPECIFICACION DE MATERIAL BASE :	ASTM A36							
PLUNGER DIAMETER USED - DIAM. DE PUNSON USADO EN LA PRUEBA :	1 1/2"							
LABORATORY - LUGAR DE PRUEBA :	Taller CISold							
No. DE MUESTRAS (No. of SPECIMENS)	TRANSVERSE FACE BEND - DOBLES DE CARA TRANSVERSAL	1						
	TRANSVERSE ROOT BEND - DOBLES DE RAIZ TRANSVERSAL	1						
	TRANSVERSE SIDE BEND - DOBLES DE LADO TRANSVERSAL	NA						
SPECIMEN SIZES - DIMENSIONES DE ESPECIMENES								
RESULTS - RESULTADO								
Nº	NOMB. MUESTRA SPECIMEN NAME	TIPO - TYPE	ANCHO	WIDTH	ESPESOR THICKNESS	LONGITUD LENGTH	RESULTADOS RESULTS	DISCONTINUIDADES DISCONTINUITIES
1	W2- F 1	CARA/FACE	1 1/2"		3/8"	8"	Pass/Aceptado	
2	W-2 F 2	CARA/FACE	1 1/2"		3/8"	8"	Pass/Aceptado	
3								
4								
PHOTOGRAPHIC REPORT- INFORME FOTOGRÁFICO								
REMARKS - OBSERVACIONES								
<p>We certify that the statements in this record are correct and that the test specimens were prepared and tested in accordance with the requirements of AWS D1.1 - Certificamos que las declaraciones escritas en este registro son correctas y que los especímenes fueron preparados y ensayados de acuerdo con los requerimientos del Código AWS D1.1</p>								
 Freddy Matos Rodriguez CWN 18042181 QC1 EXP: 4/1/2021								



ANEXO 10. Reporte ensayo de tracción

Tensile test report of metal at room temperature

Test number : YS-2020-GJYC-036 Test Date: 08/10/2022

Test unit	SAMPLE NUMBER 01		Speed (mm/min)	20			
Brand name	A36/ VNC		Temperature	18 °C			
Size (mm)	12.5 * 20.8		Area(mm^2)	260			
Result data							
Serial number	Maximum load (kN)	Tensile strength (MPa)	Upper yield load (kN)	Upper yield strength (MPa)	Lower yield load (kN)	Lower yield strength (MPa)	Agt(%)
1	221.34	851	207.75	799	207.75	799	-100
2							
Detection basis	GB/T228.1-2010/ WAW-1000D SERIE: 20211112						
Remarks	Test in accordance with AWS D14.1						
Person in charge	Juan Arizabal	To examine	ASNT- LVL III				
Test one	Tester	Date of printing	08/ 10/2022				



Tensile test report of metal at room temperature

Test number : YS-2020-GJYC-037 Test Date: 08/10/2022

Test unit	SAMPLE NUMBER 02		Speed (mm/min)	20			
Brand name	A36/ VNC		Temperature	18 °C			
Size (mm)	12.5 * 20.8		Area(mm ²)	260			
Result data							
Serial number	Maximum load (kN)	Tensile strength (MPa)	Upper yield load (kN)	Upper yield strength (MPa)	Lower yield load (kN)	Lower yield strength (MPa)	Agt(%)
1	207.61	798	193.49	744	193.49	744	-100
2							
Detection basis	GB/T228.1-2010/ WAW-1000D SERIE: 20211112						
Remarks	Test in accordance with AWS D14.1						
Person in charge	Juan Arizabal	To examine	ASNT- LVL III				
Test one	Tester	Date of printing	08/ 10/2022				



ANEXO 11. Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Juan Alex Advicini Ramani
identificado con DNI 70979328 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Metalúrgica
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado
 Título Profesional denominado:

"Especificación del procedimiento de soldadura disímil entre un acero de baja
aleación AISI/SAE 4340 y acero de bajo carbono ASTM A36 en la empresa SOLDEXA"
Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que **no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros**, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 26 de Junio del 2024

Juan Alex Advicini Ramani

FIRMA (obligatoria)



Huella



ANEXO 12. Autorización para el depósito de tesis en el repositorio institucional



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Juan Alex Alvará Mamani
, identificado con DNI 70979328 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Metalúrgica

, informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado

Título Profesional denominado:

"Especificación del procedimiento de soldadura disímil entre un acero de baja aleación
AISI/SAE 4340 y Acero de bajo carbono ASTM A36 en la empresa SOLDEXA"

" Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 26 de Junio del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella