

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA**



TESIS

**SELECCIÓN DE MATERIAL DE APORTE PARA RECARGUE
(OVERLAY) DEL ACERO ASTM A285-B POR EL PROCESO SMAW.
(Investigación Tecnológica)**

PRESENTADO POR:

- Br. Alisar Atayupanqui Zarate
- Br. David Gustavo Montalvo Serrano

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO METALÚRGICO.**

ASESOR:

Mgt. Eduardo Fabian Ortiz Sarabia

CUSCO - PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: **“SELECCIÓN DE MATERIAL DE APOORTE PARA RECARGUE (OVERLAY) DEL ACERO ASTM A285-B POR EL PROCESO SMAW. (Investigación Tecnológica)”** presentado por: **Alisar Atayupanqui Zarate** con DNI Nro.: **46076120** y presentado por: **David Gustavo Montalvo Serrano** con DNI Nro.: **70576447** para optar el título profesional de **INGENIERO METALÚRGICO** Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 6%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 22 de mayo de 2024


.....
Firma

Mgt. Eduardo Fabian Ortiz Saravia

Nro. de DNI 23932525

ORCID del Asesor: 0000-0002-6142-3459

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: **oid: 27259:356674009**

NOMBRE DEL TRABAJO

**SELECCIÓN DE MATERIAL DE APORTE P
ARA RECARGUE (OVERLAY) DEL ACERO
ASTM A285-B POR EL PROCESO SMAW
(I**

AUTOR

**David Gustavo Montalvo Serrano - Alisar
Atayupan**

RECUENTO DE PALABRAS

22750 Words

RECUENTO DE CARACTERES

124749 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

111 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

2.3MB

FECHA DE ENTREGA

May 22, 2024 5:52 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

May 22, 2024 5:54 PM GMT-5

● **6% de similitud general**

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

- 6% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 1% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 30 palabras)
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente

PRESENTACIÓN

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica

Señores Docentes, miembros del Jurado:

Cumpliendo con las disposiciones del Reglamento de Grados y Títulos vigente en la Escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica, y con el objeto de optar al Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico, ponemos a vuestra disposición la tesis colectiva intitulada:

SELECCIÓN DE MATERIAL DE APORTE PARA RECARGUE (OVERLAY) DEL ACERO ASTM A285-B POR EL PROCESO SMAW (Investigación Tecnológica).

Esperamos que este trabajo de investigación tenga alcance hacia las personas involucradas en el área de la soldadura.

- Br. David Gustavo Montalvo Serrano

- Br. Alisar Atayupanqui Zarate

DEDICATORIA

Con mucho cariño a mi padre Genaro Atayupanqui Huamán y madre Francisca Zarate Mamani, quienes se merecen todo mi aprecio, cariño y respeto; me enseñaron que con perseverancia, esfuerzo y sacrificio todo es recompensado. A mis hermanos Cristhian y Angela que me brindaron sus consejos y apoyo incondicional para seguir adelante y lograr mis metas.

A mi familia, quienes depositaron toda su confianza en mí y me alentaron a seguir adelante profesionalmente.

A mis amigos que el destino y la vida me regaló, con quienes compartí tantas aventuras y anécdotas, quienes dieron sentido a la palabra amistad e hicieron del colegio y universidad una de mis mejores etapas.

Y por último, a mis docentes y compañeros de trabajo, personas de gran sabiduría, quienes se han esforzado por ayudarme a llegar al punto en el que me encuentro.

Alisar Atayupanqui Zarate.

DEDICATORIA

Con mucho cariño, a mi amada madre Hilda Serrano, cuya inquebrantable dedicación y apoyo incondicional han sido mi faro en esta travesía.

A mi padre Zenón Montalvo, aunque físicamente ausente, su espíritu perdura en cada logro.

A mi respetado padre político Edgar Rivera, por su apoyo constante y por convertirse en una figura esencial en mi vida.

A mi abuelo Ricardo Serrano, que a pesar de su ausencia física, su legado vive en cada logro. A mi abuela Tula, por su amor y cariño. A mis abuelos Francisco y Victoria que desde el cielo guían mi camino.

A mi hermana María Fernanda, cuyo apoyo ha sido mi motivación constante, y cada logro es también suyo.

Y a ti, mi amada novia Sharmely, por ser mi ancla emocional y mi fuente de inspiración. Tu amor ha iluminado cada paso en este viaje hacia el éxito.

A todos ustedes, mi familia, mis amigos y seres queridos, les dedico con profundo agradecimiento esta tesis, fruto de esfuerzo, aprendizaje y la fortaleza que sus bendiciones me han brindado.

Y por último y no menos importante, a mis docentes e ingenieros de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, quienes con sus enseñanzas y sabiduría nos ayudaron en nuestra formación profesional y personal.

David Gustavo Montalvo Serrano

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, queremos agradecer a Dios por sus bendiciones, de habernos guiado en este camino, a nuestra Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco y a la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, en sus aulas fuimos formados como buenos profesionales.

A nuestro asesor Mgt. Ing. Eduardo Fabián Ortiz Saravia que por su enseñanza de seguir perseverante para la culminación de nuestro trabajo de investigación y cuya motivación fue útil para poder lograr todos los objetivos que nos planteamos al inicio de nuestra investigación

Agradecemos a los todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, por impartirnos sus conocimientos para nuestra formación profesional y nutrir nuestro interés en las diferentes áreas de la metalúrgica, de igual forma, nuestro agradecimiento. Al taller central de la empresa EGEMSA por dar la facilidad en la utilización de sus instalaciones para la realización de la parte experimental.

Alisar Atayupanqui Zarate.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, quiero agradecer a dios por sus bendiciones que guían mi camino, a mi familia por siempre estar a mi lado.

También agradezco a la, a la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional De San Antonio Abad Del Cusco, por brindarme los recursos necesarios y crear un ambiente propicio para la investigación y el aprendizaje.

A mis distinguidos docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional De San Antonio Abad Del Cusco. Su experiencia y conocimientos compartidos en el aula fueron una fuente de inspiración constante. Además, agradecemos a aquellos que, generosamente, dedicaron su tiempo para revisar y evaluar nuestro trabajo, brindándonos valiosos comentarios que contribuyeron significativamente a su mejora., además de brindarme su valiosa amistad.

A nuestro asesor de tesis, Mgt. Ing. Eduardo Fabián Ortiz Saravia, por su orientación constante, su sabiduría y su dedicación. Su experiencia y apoyo fueron fundamentales para la consecución de este proyecto, y estamos agradecidos por la paciencia y la inspiración que nos brindó a lo largo de este proceso.

A la empresa EGEMSA por habernos brindado las facilidades para la realización de la parte experimental.

David Gustavo Montalvo Serrano

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
SIGLAS Y ABREVIATURAS	xii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN.....	xvi
CAPITULO I.....	1
FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACION	1
1.1. Planteamiento del Problema	1
1.2. Formulación del Problema Objeto de Investigación.....	2
1.2.1. Problema General	2
1.2.2. Problemas Específicos	2
1.3. Justificación e Importancia	2
1.3.1. Justificación Tecnológica	2
1.3.2. Justificación Económica	2
1.3.3. Justificación Ambiental	2
1.3.4. Importancia.....	3
1.4. Objetivo General y Específicos	3
1.4.1. Objetivo General.....	3
1.4.2. Objetivos Específicos	3
1.5. Hipótesis General y Específicos	3
1.5.1. Hipótesis General	3
1.5.2. Hipótesis Específicos.....	4
1.6. Variables Dependientes, Independiente e Interviniente.....	4
1.6.1. Variable Dependiente	4
1.6.2. Variables Independientes.....	4
1.6.3. Variables Interviniente o Externa.....	4
CAPITULO II.....	5
FUNDAMENTACION TEORICA	5
2.1. Antecedentes Nacionales e Internacionales	5
2.1.1. Antecedentes Nacionales	5
2.1.2. Antecedentes Internacionales	6
2.2. Procesos de Recubrimientos Metálicos	6
2.2.1. Procesos en Estado de Solución	6
2.2.2. Procesos en Estado Gaseoso.....	12
2.2.3. Procesos en Estado Fundido y Semifundido	17
2.3. Acero ASTM A285.....	23
2.4. Posiciones de Soldadura	24
2.5. Soldadura por Arco con Electrodo Revestido (SMAW)	25
2.5.1. Fundamento Teórico.....	25
2.5.2. Ventajas y Usos Principales	26

2.5.3.	Limitaciones del Proceso.....	26
2.5.4.	Circuito de Soldadura	27
2.5.5.	VARIABLES PRINCIPALES DEL PROCESO SMAW	28
2.5.6.	Clases de corriente eléctrica	29
2.6.	Ciclo Térmico De La Soldadura	31
2.6.1.	Importancia Del Ciclo Térmico	31
2.6.2.	Cambios De Temperatura Durante El Soldeo (Ciclo Térmico)	32
2.6.3.	Factores Que Influyen En Los Cambios De Temperatura Durante La Soldadura Por Arco	32
2.7.	Zonas Metalúrgicas de la Soldadura	34
2.7.1.	Zona de fusión (ZF).....	35
2.7.2.	Zona afectada por el calor (ZAC).....	35
2.7.3.	Metal base (MB).....	36
2.8.	Electrodos Para la Soldadura Eléctrica Por Arco	36
2.8.1.	Electrodos Cubiertos para Soldadura por Arco de Metal Protegido	36
2.8.2.	Clasificación de los Electrodos Cubiertos	38
2.9.	Dilución	50
2.9.1.	VARIABLES DE SOLDADURA QUE AFECTAN LA DILUCIÓN.....	52
2.10.	Composición Química del Cordón de Soldadura.....	54
2.11.	Acero Inoxidable	55
2.11.1.	Clasificación de los Aceros Inoxidables.....	55
2.11.2.	Recubrimiento de acero inoxidable	56
2.12.	Calificación del Procedimiento	56
2.12.1.	Especificación del Procedimiento de Soldadura o WPS (Welding Procedure Specification)	57
2.12.2.	Registro de la Calificación del Procedimiento o PQR (Procedure Qualification Record).....	57
2.12.3.	El registro de la Calificación de la Habilidad del Soldador o WPQR (Welder Performance Qualification Record).....	57
CAPITULO III		58
ENSAYOS EXPERIMENTALES		58
3.1.	Maquinaria, Equipos, Herramientas	58
3.2.	Material de Ensayo y Consumible	60
3.2.1.	Material de Ensayo	60
3.2.2.	Consumibles	60
3.3.	Soldabilidad de las Probetas	63
3.3.1.	Características de las probetas	63
3.3.2.	Preparación de las probetas	63
3.3.3.	Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS) para las probetas de Experimentación.....	65
3.3.4.	Cálculo de la dilución	80
3.3.5.	Cálculo de la composición química del electrodo seleccionado.	81
3.3.6.	Ensayo de Dureza	82
3.4.	Resultados.....	83
3.4.1.	Cálculo de calor neto	83
3.4.2.	Cálculo de la dilución	83
3.4.3.	Resultados de Composición Química del Material de Aporte (Electrodo)	84
3.4.4.	Cálculo de la dureza	84
3.4.5.	Selección del consumible (electrodo).....	84

3.5. Análisis de los Resultados	85
3.5.1. Calor Neto o Calor Aportado.....	85
3.5.2. Dilución	85
3.5.3. Composición Química	85
3.5.4. Dureza.....	85
CONCLUSIONES.....	86
RECOMENDACIONES	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
ANEXOS	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Composición química</i>	24
Tabla 2 <i>Propiedades mecánicas</i>	24
Tabla 3 <i>Metales soldables por el proceso SMAW</i>	27
Tabla 4 <i>Eficiencias térmicas de diferentes procesos de soldadura</i>	33
Tabla 5 <i>Especificaciones de la AWS para electrodos cubiertos</i>	38
Tabla 6 <i>Niveles de dilución de los procesos de soldadura</i>	51
Tabla 7 <i>Composición química del acero inoxidable AISI 304</i>	56
Tabla 8 <i>Análisis químico del metal depositado (%)</i>	61
Tabla 9 <i>Análisis químico del metal depositado (%)</i>	61
Tabla 10 <i>Análisis químico del metal depositado (%)</i>	62
Tabla 11 <i>Análisis químico del metal depositado (%)</i>	62
Tabla 12 <i>Condiciones de soldadura de las probetas</i>	65
Tabla 13 <i>WPS para la probeta 1</i>	66
Tabla 14 <i>WPS para la probeta 2</i>	67
Tabla 15 <i>WPS para la probeta 3</i>	68
Tabla 16 <i>WPS para la probeta 1</i>	69
Tabla 17 <i>WPS para la probeta 2</i>	70
Tabla 18 <i>WPS para la probeta 3</i>	71
Tabla 19 <i>WPS para la probeta 1</i>	72
Tabla 20 <i>WPS para la probeta 2</i>	73
Tabla 21 <i>WPS para la probeta 3</i>	74
Tabla 22 <i>WPS para la probeta 1</i>	75
Tabla 23 <i>WPS para la probeta 2</i>	76
Tabla 24 <i>WPS para la probeta 3</i>	77
Tabla 25 <i>Valores de cálculo de calor aportado</i>	80
Tabla 26 <i>Valores del coeficiente de dilución</i>	80
Tabla 27 <i>Composiciones químicas del material base, del tipo de recubrimiento a realizar y del material de aporte</i>	81
Tabla 28 <i>Valores de la dureza del revestimiento</i>	82
Tabla 29 <i>Resultado de calor neto (J/mm)</i>	83
Tabla 30 <i>Resultado del coeficiente de dilución</i>	83
Tabla 31 <i>Resultado de la composición química</i>	84
Tabla 32 <i>Resultado de la dureza</i>	84
Tabla 33 <i>Resultado de la composición química</i>	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Proceso típico de deposición gaseosa CVD aplicado a herramientas</i>	14
Figura 2 <i>Procesos derivados de la Deposición Química de Vapor (CVD)</i>	15
Figura 3 <i>Zonas presentes en un proceso CVD Térmicamente Activado</i>	16
Figura 4 <i>Procesos de recubrimientos basados en la Deposición Física de Vapor (PVD).</i>	17
Figura 5 <i>Posiciones de las soldaduras según ANSI/AWSA 3.0-8</i>	25
Figura 6 <i>Circuito de Soldadura para el proceso SMAW</i>	27
Figura 7 <i>Polaridad directa</i>	30
Figura 8 <i>Polaridad indirecta</i>	31
Figura 9 <i>Zonas de la soldadura</i>	35
Figura 10 <i>Zonas de un depósito de soldadura para el cálculo de la dilución</i>	51
Figura 11 <i>Tipos de oscilación y su efecto en el cordón de soldadura</i>	53
Figura 12 <i>Efecto de la velocidad de avance sobre la dilución</i>	54
Figura 13 <i>Fuente de poder.</i>	58
Figura 14 <i>Durómetro Equotip 2</i>	59
Figura 15 <i>Probetas de prueba</i>	63
Figura 16 <i>Limpieza de la probeta</i>	64
Figura 17 <i>Solapando un tercio del cordón anterior</i>	64
Figura 18 <i>Soldadura de las probetas</i>	78
Figura 19 <i>Toma de dureza del recubrimiento</i>	82

SIGLAS Y ABREVIATURAS

ASTM: American Society for Testing Materials (Sociedad americana para la prueba de materiales)

AWS: American Welding Society (Sociedad americana de soldadura)

AISI: American Iron and Steel Institute (Instituto Americano del Hierro y Acero)

ANSI: American National Standards Institute (Instituto Nacional Estadounidense de Estándares)

SMAW: Shielded Metal Arc Welding (Soldadura de arco eléctrico con electrodo)

GMAW: Gas Metal Arc Welding (Soldadura por arco bajo gas protector con electrodo consumible)

MIG: Soldadura gas inerte (Metal inert gas)

MAG: Soldadura gas active

TIG: Tungsteno inerte gas revestido)

MB: Metal Base

WPS: Welding Procedure Specification (Especificación del Procedimiento de Soldadura)

ZAC: Zona Afectada por el Calor (también llamada HAZ)

ZF: Zona Fundida

Ksi: Kilo libra por pulgada cuadrada

MPa: megapascal

V: Velocidad de soldeo.

T_{max}: Temperatura máxima

T₀: Temperatura inicial de la chapa.

T_m: Temperatura de fusión o Temperatura del liquidus del metal a soldar.

C: Calor específico del metal sólido.

H_{net}: energía aportada neta.

T: Espesor de la chapa a soldar.

ρ : Densidad del material (g/cm³)

ρC : Calor específico volumétrico.

X_w: Porcentaje promedio del elemento X en el depósito de soldadura

X_A: Porcentaje promedio del elemento X en el metal base A

X_B: Porcentaje promedio del elemento X en el metal base B

D_A: Porcentaje de dilución del metal base A, expresado en decimal

D_B: Porcentaje de dilución del metal base B, expresado en decimal

D_T: Porcentaje de dilución total, expresado en decimal

HRC: Dureza Rockwell C

HRB: Dureza Rockwell B

WPS: Welding Procedure Specification (Especificación del Procedimiento de Soldadura)

PQR: Procedure Qualification Record (Registro de la Calificación del Procedimiento)

WPQR: Welder Performance Qualification Record (Registro de la Calificación de la Habilidad del Soldador)

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo seleccionar el electrodo adecuado para realizar un recubrimiento (overlay) de acero inoxidable del tipo AISI 304 sobre el acero ASTM 285-B con el propósito de recubrir la superficie del metal soldado para proveer una superficie resistente a la corrosión y evitar desgastes prematuros en los elementos recubiertos. El objetivo primordial de la presente investigación es determinar el electrodo de acero inoxidable más adecuado para realizar un depósito “overlay”, para lo cual se han utilizado los diferentes electrodos comercializados en el mercado nacional y probetas de acero ASTM A285 -B que son ampliamente usados en el sector industrial para la fabricación de estructuras y recipientes a presión.

Las probetas seleccionadas se soldaron mediante el proceso de soldadura SMAW de acuerdo a la especificación de procedimiento de soldadura, donde se detallaron los parámetros de soldadura como la intensidad de corriente, tensión de corriente, velocidad de soldadura y rango de dilución para recubrimientos overlay, con los valores experimentales, se realizaron los cálculos de calor neto aportado, coeficiente de dilución con la finalidad de determinar la composición química del electrodo necesario para obtener un recubrimiento con propiedades semejantes a un acero inoxidable AISI 304 de acuerdo al trabajo de investigación se cuenta en el mercado nacional con los electrodos E-316L-16 y E-312-16, que cumplen con el rango de dilución establecido de 10 a 20% para el recargue (Overlay) del acero ASTM A285-B.

Palabras clave: Recubrimiento (overlay), acero ASTM A285 -B, proceso SMAW, dilución.

ABSTRACT

The objective of this research work is to select the appropriate electrode to perform a coating (overlay) of AISI 304 type stainless steel on ASTM 285-B steel with the purpose of covering the surface of the welded metal to provide a surface resistant to corrosion and avoid premature wear on the coated elements. The primary objective of this research is to determine the most suitable stainless steel electrode to make an “overlay” deposit, for which the different electrodes sold in the national market and ASTM A285 - B steel test pieces that are widely used have been used. In the industrial sector for the manufacture of structures and pressure vessels.

The selected specimens were welded using the SMAW welding process according to the welding procedure specification, where the welding parameters such as current intensity, current voltage, welding speed and dilution range for overlay coatings were detailed, with the experimental values, the calculations of net heat input and dilution coefficient were carried out in order to determine the chemical composition of the electrode necessary to obtain a coating with properties similar to an AISI 304 stainless steel according to the research work included in the national market with the E-316L-16 and E-312-16 electrodes, which comply with the established dilution range of 10 to 20% for the overlay of ASTM A285-B steel.

Keywords: Overlay, ASTM A285-B steel, SMAW process, dilution.

INTRODUCCIÓN

En el contexto de la industria metalúrgica, la práctica del recargue (overlay) del acero ASTM A285-B mediante Soldadura por Arco con Electrodo Revestido (SMAW) ha adquirido una relevancia significativa como una estrategia efectiva para restaurar y mantener la integridad estructural de componentes sometidos a desgaste, corrosión o daño mecánico. Este proceso de recargue juega un papel crucial en la prolongación de la vida útil y el rendimiento operativo de una amplia gama de equipos y estructuras utilizados en diversos sectores industriales, tales como la construcción naval, la industria petrolera, la fabricación de maquinaria pesada y la generación de energía, entre otros.

Sin embargo, la eficacia y la calidad de los recargues realizados sobre el acero ASTM A285-B están intrínsecamente ligadas a la selección adecuada del material de aporte. Esta elección, determinada por una variedad de factores, desde la composición química hasta las propiedades mecánicas y la compatibilidad con el metal base, impacta directamente en la resistencia, la tenacidad y la durabilidad del recargue final. Una selección inadecuada del material de aporte puede resultar en recargues que no cumplen con los estándares requeridos de calidad y rendimiento, lo que no solo implica costos adicionales de mantenimiento y reparación, sino también riesgos potenciales para la seguridad y la operatividad de los equipos y estructuras.

En este contexto, surge la necesidad imperativa de abordar de manera sistemática y exhaustiva la problemática de la selección del material de aporte para el recargue del acero ASTM A285-B por el proceso SMAW. Esta investigación tecnológica busca identificar y comprender los factores clave que influyen en esta selección, así como desarrollar criterios y metodologías que permitan optimizar este proceso, mejorar la calidad de los recargues y maximizar la vida útil y el rendimiento de los componentes recargados.

El presente trabajo se enfoca en abordar esta problemática a través de un enfoque multidisciplinario que integra conceptos y técnicas de la metalurgia, la soldadura, la ingeniería de materiales y la tecnología de procesos. A través de un análisis riguroso y sistemático, se espera generar conocimientos y recomendaciones que contribuyan no solo a mejorar la eficiencia operativa y la competitividad de las industrias que emplean el acero ASTM A285-B, sino también a promover prácticas de recargue más sostenibles y seguras en el contexto de la fabricación y mantenimiento de equipos y estructuras industriales.

En las siguientes secciones de este trabajo, se presentará una revisión exhaustiva de la literatura relacionada, se describirá la metodología utilizada para llevar a cabo la investigación, se presentarán los resultados obtenidos y se discutirán sus implicaciones prácticas y sus contribuciones al campo de estudio. Finalmente, se ofrecerán conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones en este campo. Esta introducción establece el contexto, la importancia y la relevancia del problema de investigación, así como el enfoque y los objetivos del estudio que se desarrollará en la tesis

CAPITULO I

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACION

1.1. Planteamiento del Problema

En el ámbito de la industria metalúrgica, el proceso de recargue (overlay) del acero ASTM A285-B mediante Soldadura por Arco con Electrodo Revestido (SMAW, por sus siglas en inglés) es una práctica común para restaurar las propiedades estructurales y funcionales de componentes sometidos a desgaste o daño. Sin embargo, la efectividad y durabilidad de este proceso dependen en gran medida de la selección adecuada del material de aporte.

A pesar de los avances en la metalurgia y la disponibilidad de una amplia gama de materiales de aporte, la selección óptima para el recargue del acero ASTM A285-B sigue siendo un desafío significativo. La falta de criterios claros y específicos para la elección del material de aporte puede resultar en recargues que no cumplen con los estándares requeridos de resistencia, tenacidad y durabilidad, lo que conlleva a un incremento en los costos de mantenimiento y reparación, así como a posibles fallos estructurales que comprometen la integridad de los equipos y estructuras.

Por lo tanto, es imperativo abordar esta problemática mediante una investigación tecnológica que permita identificar los factores clave que influyen en la selección del material de aporte para el recargue del acero ASTM A285-B por el proceso SMAW. Esto incluye consideraciones sobre la composición química, las propiedades mecánicas, la microestructura resultante y la compatibilidad con el metal base, entre otros aspectos relevantes.

1.2. Formulación del Problema Objeto de Investigación

1.2.1. Problema General

¿Cómo seleccionar un material de aporte para ejecutar un recubrimiento (overlay) que tenga la composición química del acero AISI 304 sobre el acero ASTM A285-B por el proceso de soldadura SMAW?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cómo influye la intensidad de corriente en el coeficiente de dilución para seleccionar el material de aporte en el recubrimiento de AISI 304 sobre el acero ASTM A285-B por el proceso SMAW?
- ¿Cómo influye la dilución en la composición química del recubrimiento de AISI 304 sobre el acero ASTM A285-B por el proceso SMAW?

1.3. Justificación e Importancia

1.3.1. Justificación Tecnológica

Permitirá aplicar una tecnología propia y confiable en la selección del material de aporte óptimo para la aplicación de recargues de AISI 304 sobre acero ASTM A285-B.

1.3.2. Justificación Económica

El desgaste hace que el tiempo de vida de los componentes mecánicos se reduzca notablemente, ocasionando grandes pérdidas a la industria debido al costo y tiempo empleados en mantenimiento, las paradas no previstas, entre otros factores. El presente trabajo favorecerá el desarrollo industrial de la región del Cusco y por ende contribuirá en el aspecto económico permitiendo el ingreso de recursos económicos.

1.3.3. Justificación Ambiental

Con el recubrimiento por soldadura de piezas se podrá alargar el promedio de vida de las piezas metálicas evitando se deseche, con lo que se reducirá la contaminación del medio ambiente.

1.3.4. Importancia

La importancia de los recargues radica en el hecho de que las piezas y componentes de las máquinas industriales se ven constantemente sometidas a desgaste por distintos factores que van a afectar su tiempo de vida. Por lo que el recubrimiento de dichas piezas por soldadura es un aspecto de gran importancia en el sector industrial.

1.4. Objetivo General y Específicos

1.4.1. Objetivo General

Seleccionar el material de aporte para ejecutar un recubrimiento (overlay) que tenga la composición química del acero AISI 304 sobre el acero ASTM A285-B por el proceso de soldadura SMAW.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Evaluar el efecto de la intensidad de corriente para determinar el coeficiente de dilución para seleccionar el material de aporte en el recubrimiento de AISI 304 sobre el acero ASTM A285-B por el proceso SMAW.
- Evaluar el coeficiente de dilución para seleccionar el material de aporte en el recubrimiento de AISI 304 sobre el acero ASTM A285-B por el proceso SMAW.

1.5. Hipótesis General y Específicos

1.5.1. Hipótesis General

Todos los electrodos comercializados en el mercado nacional se pueden utilizar para realizar el recubrimiento (overlay) de tipo AISI 304 sobre el acero ASTM A285-B por el proceso SMAW.

1.5.2. Hipótesis Específicos

- La intensidad de corriente no es un factor determinante en la dilución para seleccionar el material de aporte en el recubrimiento de AISI 304 sobre el acero ASTM A285-B por el proceso SMAW.
- El coeficiente de dilución es un factor decisivo en la determinación de la composición química del metal de aporte para realizar el recubrimiento de AISI 304 sobre el acero ASTM A285-B por el proceso SMAW.

1.6. Variables Dependientes, Independiente e Interviniente.

1.6.1. Variable Dependiente

Seleccionar el electrodo adecuado para el recubrimiento (overlay).

1.6.2. Variables Independientes

- Intensidad de corriente.
- Dilución.

1.6.3. Variables Interviniente o Externa

Temperatura ambiental.

CAPITULO II

FUNDAMENTACION TEORICA

2.1. Antecedentes Nacionales e Internacionales

2.1.1. Antecedentes Nacionales

Henry Guzmán (2015) en su trabajo de investigación titulado “Evaluación de procesos SMAW y GMAW para la recuperación de piezas de maquinaria pesada por recubrimientos duros”, realizado en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco en el año 2015, plantea como objetivo recuperar piezas de maquinaria pesada con recubrimientos duros mediante los procesos SMAW Y GMAW, para lo cual utilizo la metodología de análisis y de experimentación, para lo cual se usaron probetas (uña de cargador frontal -CAT-965 H) al cual se realizaron depósitos por soldadura utilizando diferentes parámetros de soldabilidad, se usaron electrodos E7018 como cojín amortiguador y como recubrimiento el AWS: E 10–65 CZ. Llegando a la conclusión que con el proceso de soldadura SMAW, muestra mejores resultados tecnológicos y económicos para la recuperación por soldadura.

Martin Delgado Loaiza (2021), en su trabajo de investigación intitulado “Incremento de la resistencia al desgaste, por impacto y abrasión de los martillos de una chancadora artesanal con recubrimientos duros por el proceso SMAW” busca incrementar la resistencia al desgaste, por impacto y abrasión de los martillos de una chancadora artesanal mediante recubrimientos duros por soldadura SMAW. En dicho trabajo se determinó las condiciones del recubrimiento duro a través de las siguientes variables: tipo de electrodo, composición del acero ASTM A36 y variables de operación en la ejecución de la soldadura (amperaje, longitud de arco, y velocidad de avance). Se hicieron pruebas abrasión en la chancadora artesanal poniendo a prueba los martillos cubiertos con los

electrodos y pruebas de dureza. Finalmente se recolectaron y se compararon los datos, demostrando el incremento de la dureza del acero ASTM A36 y el incremento de la resistencia al desgaste, por impacto y abrasión.

2.1.2. Antecedentes Internacionales

López Ibarra (2012), en su trabajo de tesis “Influencia del coeficiente de dilución sobre la dureza de la capa aportada en el relleno superficial”, realizado en la Universidad Autónoma de Zacatecas en la ciudad de México, se plantea como objetivo determinar la influencia de la dilución sobre la dureza. Para el desarrollo del trabajo usa tres tipos de electrodos de diferentes valores de rendimiento los cuales son utilizados en procedimientos de relleno superficial de piezas. Finalmente es realizado el procesamiento estadístico de los resultados apoyados en técnicas computacionales para obtener expresiones y gráficas para seleccionar la corriente y la temperatura de la superficie de la pieza en función del coeficiente de dilución y dureza deseada.

2.2. Procesos de Recubrimientos Metálicos

2.2.1. Procesos en Estado de Solución

Las principales técnicas de revestimiento en esta categoría son los recubrimientos galvánicos y recubrimiento por electrolisis. Las soluciones usadas son generalmente acuosas, y los depósitos se pueden producir sobre sustratos metálicos y no metálicos. Los métodos pueden dividirse en las categorías de química y electroquímica pero esta relación puede ser no tan fácil ya que algunas reacciones que parecen ser puramente químicas, podrían de hecho, ser también electroquímicas.

2.2.1.1. Niquelado

El proceso niquelado se utiliza ampliamente para fines decorativos, ingeniería, y de electroformación porque la apariencia y otras propiedades del níquel electrodepositado se pueden variar en amplios intervalos mediante el control de la composición y de los parámetros de funcionamiento de la solución de deposición. Aplicaciones decorativas representan alrededor del 80% del níquel consumido en chapado; 20% se consume para propósitos de ingeniería y electroformación. Las aplicaciones de ingeniería de niquelado incluyen aquellos en los que no se requiere una apariencia totalmente brillante. Los depósitos de níquel en ingeniería son generalmente libres de azufre y de apariencia mate. Estos depósitos pueden ser especificados para mejorar la resistencia a la corrosión y desgaste, para salvar o reconstruir las piezas desgastadas, para modificar las propiedades magnéticas, para preparar las superficies para esmaltado o para el revestimiento orgánico, para funcionar como barreras de difusión en aplicaciones electrónicas y para otros fines. Las aplicaciones en ingeniería se dan en la industria química, nuclear, telecomunicaciones, electrónica de consumo, y de computación. (ASM Handbook, 1994)

La electroformación del Níquel se da mediante la electrodeposición aplicada a la manufactura de productos de varios tipos y se diferencia de la galvanoplastia porque este recubrimiento se encuentra metalúrgicamente unido al sustrato y es una parte integral de la superficie. Las aplicaciones de la electroformación incluyen la fabricación de moldes y matrices, mallas y otros productos que son indispensables para las operaciones en la industria textil, aeroespacial, comunicaciones, electrónica.

El Niquelado es similar a otros procesos galvanoplásticos que emplean ánodos metálicos solubles. Este requiere el paso de corriente directa entre dos electrodos que están inmersos en una solución acuosa conductora de sales de níquel. El flujo de corriente directa causa que uno de los electrodos (el ánodo) se disuelva y el otro electrodo (el cátodo) se recubra con níquel. El níquel en la solución está presente en la forma de iones

divalentes cargados positivamente (Ni^{++}). Cuando fluye la corriente, los iones positivos reaccionan con dos electrones ($2e^-$) y se convierten a níquel metálico (Ni^0) en la superficie del cátodo. Lo contrario ocurre en el ánodo, donde el níquel metálico es disuelto a iones divalentes cargados positivamente, lo cual entra a la solución. Los iones de níquel descargados en el cátodo son repuestos por aquellos formados en el ánodo. La descarga de iones de níquel no es la única reacción que ocurre en el cátodo, un pequeño porcentaje de corriente es consumida en la descarga de iones de hidrógeno del agua. Esto reduce la eficiencia del cátodo para la deposición del níquel de 100% a 97 o 92% dependiendo de la naturaleza del electrolito. La descarga de átomos de hidrógeno forma burbujas de gas hidrógeno en la superficie del cátodo. En condiciones normales la eficiencia de la disolución en el ánodo es 100% y no hay iones hidroxilo que se descargan desde el agua. (ASM Handbook, 1994)

2.2.1.2. Anodizado

Es un método electroquímico de conversión de aluminio a óxido de aluminio (Al_2O_3) en la superficie del material a recubrir. Esto se logra haciendo que la pieza de trabajo (ánodo) esté suspendida en una celda electrolítica adecuada. Aunque varios metales pueden ser anodizados, incluyendo aluminio, titanio y magnesio, solamente el aluminio anodizado ha encontrado un amplio uso en la industria. A continuación, se detallan algunas de las razones del uso del anodizado.

- Aumenta la resistencia a la corrosión: recubrimientos anódicos sellados de óxido de aluminio son resistentes a la corrosión y altamente resistente al ataque de la atmósfera y de agua salada. La capa anódica protege el metal subyacente al servir como una barrera a los posibles agentes corrosivos. A fin de lograr la resistencia óptima a la corrosión, el óxido de aluminio amorfo producido por anodización se sella mediante el tratamiento en agua caliente ligeramente acidificada, agua des-ionizada

(desmineralizada) hirviendo, una solución de dicromato caliente, o una solución de acetato de níquel. (ASM Handbook, 1994)

- Aumenta la resistencia a la abrasión: Los procesos de anodizado duro producen recubrimientos de 25 micras (1 milésima) a más de 100 micras (4 milésimas de pulgada) de espesor. Estos recubrimientos, con la dureza inherente de óxido de aluminio, son lo suficientemente gruesas como para su uso en aplicaciones que implican piezas giratorias donde se requiere resistencia a la abrasión. Aunque todas las películas anódicas son más duras que el material del sustrato, los recubrimientos producidos por el ácido crómico y algunos baños de ácido sulfúrico son demasiado delgados o demasiado suaves para cumplir los requisitos de resistencia a la abrasión.
- Mejora la unión adhesiva: Un anodizado producido en baño de ácido crómico mejora la resistencia a la adherencia y durabilidad. Estos revestimientos se utilizan ampliamente en la estructura del fuselaje de la mayoría de los aviones modernos. (ASM Handbook, 1994)

2.2.1.3. Cromado.

Los recubrimientos de cromado se basan en un tratamiento químico o electroquímico de metales o en soluciones de recubrimientos metálicos que contienen cromo hexavalente y usualmente otro componente. El proceso resulta en la formación de un recubrimiento protector amorfo compuesto del sustrato, compuestos complejos del cromo, y otros componentes del baño de tratamiento. El cromado se aplica principalmente para mejorar la:

- La resistencia a la corrosión de materiales desnudos o pintados,
- La adhesión de la pintura u otros acabados orgánicos,
- Proporcionar a la superficie metálica un acabado decorativo.

Los baños decorativos de revestimiento de cromo generalmente producen depósitos que se encuentran en el rango de 0.13 a 1.25 μm de espesor. Para obtener un depósito óptimo y brillante de cromo, el sustrato debe también tener condiciones superficiales uniformes. Si el sustrato no es uniforme, y la superficie es granulosa, opaca o brumosa, entonces debería ser pulida a un acabado de brillo antes de ser revestido con cromo. (ASM Handbook, 1994) Densidades de corrientes excesivamente altas, temperaturas inadecuadas y sustratos pasivos pueden producir depósitos de cromo brumosos y no uniformes.

La adhesión de cromo a un sustrato preparado adecuadamente por lo general no es un problema. Sin embargo, si el cromo es colocado sobre una capa que no se aplicó correctamente y de adherencia cuestionable, se formarán ampollas y luego descamaciones, ya sea inmediatamente después del cromado o durante el almacenamiento o servicio. La clave para la durabilidad a la corrosión ofrecida por el depósito decorativo de cromo, radica en controlar el tipo, tamaño, y distribución de las micro-discontinuidades que se forman en el depósito. Estos pueden ocurrir como poros o grietas. En un medioambiente corrosivo al aire libre, así como en ensayos de corrosión acelerada, la corrosión se ha observado que procede por acción de la celda galvánica entre el níquel y el cromo, en donde el níquel actúa como ánodo. El costo del cromado es a menudo influenciado por la complejidad de la pieza de trabajo. Formas simples pueden ser procesadas a través de todas las secuencias de limpieza y revestimiento, con un mínimo de aproximadamente de 33 μm de cobre y níquel con 0.25 μm de cromo, en aproximadamente 50 min. Proporcionar estos espesores mínimos en formas complejas requiere periodos largos de recubrimiento, fijación especial, ánodos especiales. Los costos por los equipos y otros gastos generales por pieza de trabajo también se incrementan en relación directa al tiempo de cromado. Además, el costo de materiales se

incrementa debido a que mucho metal es cromado innecesariamente sobre proyecciones y otras áreas de alta densidad de corriente. La secuencia de procesos básicos consisten en los siguientes 6 pasos: limpieza, enjuague, recubrimiento de conversión, enjuague después del tratamiento y secado. (ASM Handbook, 1994)

2.2.1.4. Cobreado.

Las aleaciones de cobre son ampliamente usadas como recubrimientos electrodepositados, y estos pueden ser usados con prácticamente cualquier sustrato para revestimiento. Mientras aleaciones como cobre-oro y cobre-oro-níquel son comúnmente electro-depositadas, estas son usualmente consideradas como parte de la tecnología de revestimiento en oro. Los revestimientos más frecuentemente usados de aleaciones de cobre son el latón (aleación principal de cobre y zinc) y bronce (principal aleación de cobre y estaño). Latón y bronce están disponibles en una amplia variedad de composiciones útiles que varían en contenido de prácticamente 100% de Cu a 100% de Zn o Sn. (ASM Handbook, 1994)

La capa protectora de latón en chapa de acero y alambre, realiza una función lubricante en las operaciones de embutición profunda y trefilado. El recubrimiento en latón se utiliza para favorecer la adhesión de caucho unido al acero. Por ejemplo, los alambres en los neumáticos radiales con cinturón de acero están revestido con una aleación de latón que contiene 63 % y 70% de Cu (para asegurar la mejor adherencia, es importante que los límites de la composición de la aleación se mantengan dentro del 1%).

El revestimiento en el trefilado queda de 1.2 mm (0.49in) a aproximadamente 0.15mm (0.006in) de espesor sin interrupciones en el revestimiento. Debido a este recubrimiento no ocurren ampollas entre los alambres unidos al caucho de las llantas. El recubrimiento en latón se puede hacer en todo equipo de recubrimiento estándar,

incluyendo barriles, estanques, y máquinas de hilos y tiras continuas. El acero es el material adecuado para tanques, bobinas y filtros. Sin embargo, se prefieren los tanques de acero inoxidable o titanio revestidos con plásticos o cauchos debido a que el hierro puede formar ferrocianuros que precipitan como ferrocianuros de zinc, lo que resulta en la formación de un lodo color gris. (ASM Handbook, 1994)

El latón puede ser depositado sobre muchas superficies metálicas (como por ejemplo fundiciones de zinc, acero, níquel, y aluminio) después de aplicar procedimientos estándar antes de la deposición. El recubrimiento directo con latón sobre fundiciones de zinc requiere el uso de revestimientos relativamente pesados para prevenir la difusión del latón dentro del zinc dando como resultado pérdida de color; una capa intermedia de revestimiento es a menudo usada para este propósito. Un método de electrodeposición de latón usa esta interacción de difusión para producir latón por electrodeposición separando capas de cobre y zinc de espesores apropiados y entonces calentar el revestimiento para crear la aleación por difusión.

El espesor del recubrimiento puede ser variado según se requiera, a partir de depósitos flash de capas muy delgadas para fines decorativos hasta los depósitos sobre 0.02 mm de espesor. (ASM Handbook, 1994)

2.2.2. Procesos en Estado Gaseoso

Los procesos de estado gaseoso son de considerable interés, una de las funciones importantes de estos métodos es que se pueden realizar deposiciones puras de cerámicos sobre sustratos. Los principales beneficios de los procesos, PVD (Physical Vapor Deposition) o CVD (Chemical Vapor Deposition) se listan a continuación:

- a. Mejoran la adhesión al recubrimiento, debido a la capacidad para limpiar y precalentar los sustratos por bombardeo energético con iones a la superficie del sustrato. Este mecanismo es algunas veces llamado limpieza por pulverización catódica.
- b. Espesores de recubrimiento más uniformes, a través de efectos de dispersión de gas y la capacidad de girar o desplazar muestras a la fuente de vapor durante la deposición.
- c. Evitan un mecanizado final o pulido después de la etapa del revestimiento, como en la mayoría de los casos, el recubrimiento replica el acabado de la superficie original.
- d. Permiten la deposición de una amplia gama de materiales de revestimiento y del sustrato, incluyendo los aisladores, por lo general por el uso de polarización de radiofrecuencia.
- e. Ayudan a controlar la velocidad de deposición, utilizando una amplia variedad de fuentes de vapor incluyendo: calentamiento por resistencia, haz de electrones, inducción y la pulverización catódica magnetrón.
- f. Por lo general no se producen efluentes o contaminantes, como en la mayoría de los casos no existen subproductos nocivos o soluciones químicas tóxicas utilizadas.
- g. Garantiza depósitos de alta pureza a través de la utilización de un ambiente de vacío controlado y materia prima pura.
- h. Evitan problemas de fragilización por hidrógeno experimentadas en galvanoplastia.
(Holmberg & Matthews, 1994, págs. 11-18)

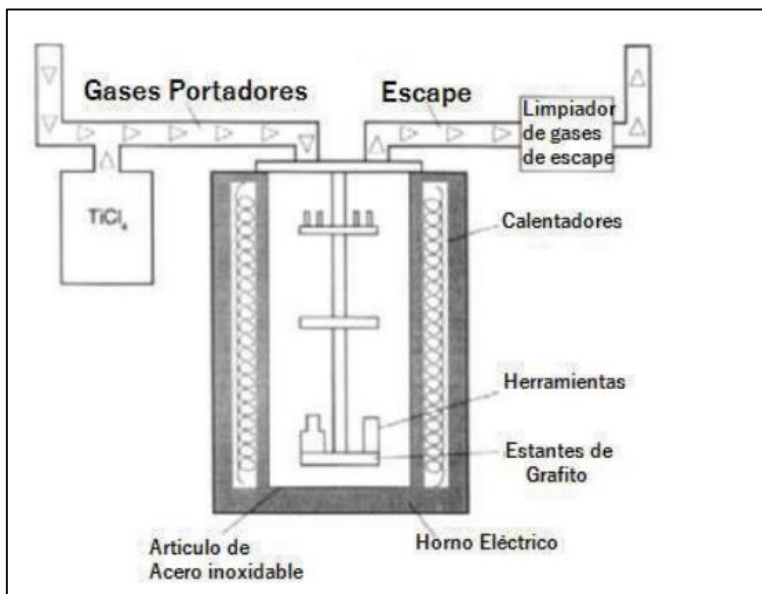
2.2.2.1. Deposición Química de Vapor (CVD).

En el proceso básico del CVD los gases contienen componentes volátiles del elemento o elementos a ser introducidos dentro de la cámara de reacción, esto ayuda a que se condensen sobre el sustrato para formar un recubrimiento. En la figura 1 se muestra el diseño de pared caliente para el proceso CVD, típicamente usado para recubrir herramientas con TiN o TiC.

En la figura 2, se muestran algunos procesos derivativos del proceso CVD básico. Estos han surgido en respuesta a una necesidad de lograr características de recubrimiento específicos, tales como el depósito de una sobre capa cristalina sobre un sustrato cristalino, penetración mejorada en agujeros o temperaturas de deposición más bajas. Además, ciertos tipos de revestimiento (por ejemplo, semiconductores) sólo son alcanzables mediante procesos tecnológicos particulares.

Figura 1

Proceso típico de deposición gaseosa CVD aplicado a herramientas



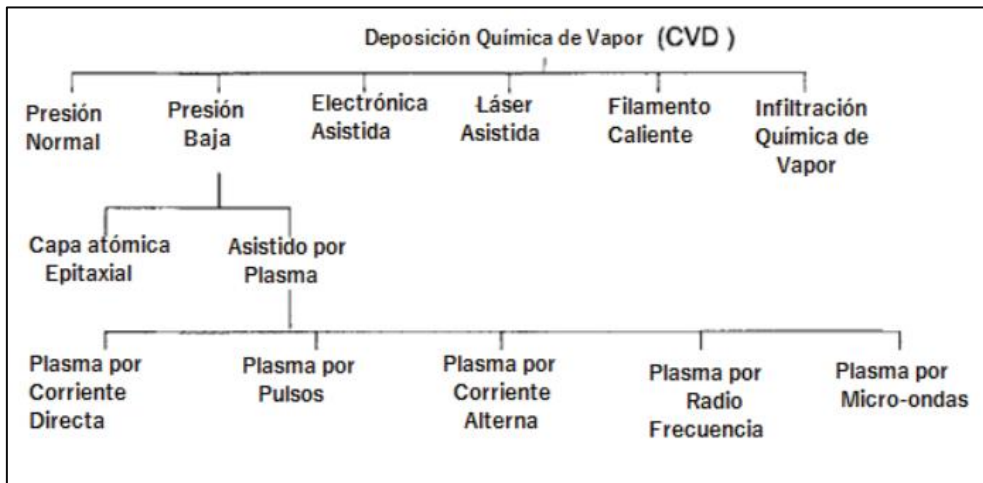
Fuente: (Holmberg & Matthews, 1994, págs. 11-18)

En este sentido el proceso CVD es ahora tan diverso en las variantes disponibles como el proceso VD. La presión de deposición en el proceso CVD puede variar desde la atmosférica de 1 Pascal o menos.

También hay diversos medios para ayudar al proceso, el uso de haces de láser o de electrones, o por bombardeo de iones a las películas en crecimiento.

Figura 2

Procesos derivados de la Deposición Química de Vapor (CVD)

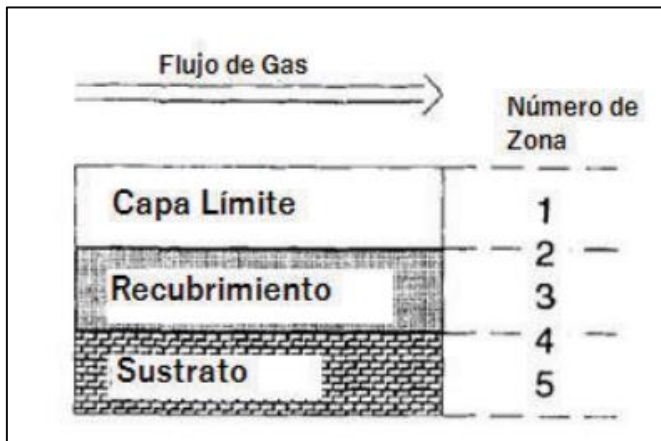


Fuente: (Holmberg & Matthews, 1994, págs. 11-18)

La técnica se puede utilizar para depositar un gran número de recubrimientos resistentes al desgaste como: boruros, carburos, nitruros, óxidos, carbo-nitruros y oxinitruros de casi todos los metales de transición. En la figura 3 se describe esquemáticamente las zonas de reacción presentes en un CVD térmicamente activado. Una característica de este modelo es que se identifica una capa límite alrededor de la cual los reactantes y productos de la reacción son transportados. Este controla la velocidad de deposición. Mientras que las reacciones heterogéneas en la zona 2, como se muestran en la figura 3, usualmente define la microestructura del recubrimiento. Uno de los filmes típicamente depositados por el proceso CVD para aplicaciones tribológicas es el Nitruro de Titanio que tiene un borde de grano de ángulo largo y tamaño de grano en el rango de 0.5 a 5 μm . Fuente: (Holmberg & Matthews, 1994, págs. 11-18)

Figura 3

Zonas presentes en un proceso CVD Térmicamente Activado



Fuente: (Holmberg & Matthews, 1994, págs. 11-18)

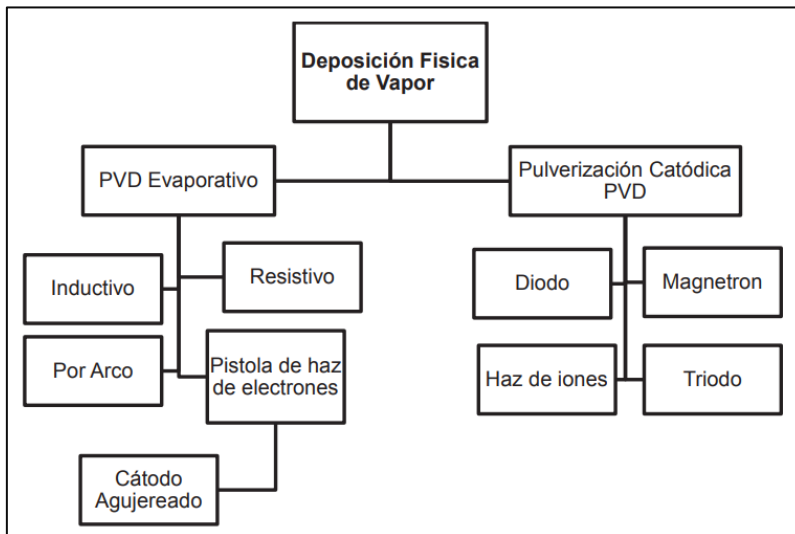
La microestructura depende críticamente de la temperatura de deposición, la cual para TiN es típicamente 950 °C, pero en general para procesos CVD, puede variar desde la temperatura ambiente hasta 2500 °C. A altas temperaturas, varias reacciones en estado sólido, tal como la transformación de fase, precipitación, recristalización y crecimiento de grano pueden ocurrir en las zonas 3 a 5. En la zona 4 de interdifusión, el recubrimiento y el sustrato pueden conducir a la formación de fases intermedias. Tales efectos son críticos para una efectiva adhesión del recubrimiento.

2.2.2.2. Deposición física de vapor (PVD).

El proceso PVD envuelve la atomización o vaporización del material en fase sólida y la deposición de aquel material sobre el sustrato para formar un recubrimiento. Estos incluyen la posibilidad de depositar los compuestos de aleaciones, composiciones y estructuras multicapa, y la capacidad para variar las características de revestimiento de forma continua en toda la película, dando el concepto de un revestimiento funcionalmente calificado. Los desarrollos que conducen a estas mejoras han sido variadas y esto ha producido una proliferación de técnicas y acrónimos para distintos procesos, como se ilustra en la figura 4.

Figura 4

Procesos de recubrimientos basados en la Deposición Física de Vapor (PVD).



Fuente: (Holmberg & Matthews, 1994, págs. 11-18)

2.2.3. Procesos en Estado Fundido y Semifundido

Dentro de esta categoría pueden incluirse los tratamientos superficiales con láser, y las técnicas de hardfacing de spray térmico y soldadura.

2.2.3.1. Hot dip (Galvanizado).

Es un proceso en el cual un recubrimiento protector es aplicado al metal por inmersión del mismo en un molde que contiene el recubrimiento fundido. Este recubrimiento puede proteger numerosos metales. Algunas de las ventajas del galvanizado incluyen la habilidad para cubrir áreas de difícil acceso (como esquinas y bordes) con un espesor estándar de recubrimiento mínimo, resistencia al daño mecánico (por que el recubrimiento esta metalúrgicamente unido al acero), y buena resistencia a la corrosión en numerosos medio ambientes. Sin embargo, el proceso tiene dos factores limitantes. Primero, el recubrimiento debe fundir a temperaturas razonablemente bajas, y segundo, el metal base de acero no debe someterse a cambios de propiedades durante el proceso del revestimiento.

El recubrimiento de galvanizado consiste de una serie de capas. Inicia en la superficie del acero, cada capa es una aleación de hierro-zinc con contenido de hierro sucesivamente bajo hasta que se alcanza la capa externa de zinc puro. En el proceso de galvanizado a menudo se agregan de 0.1 a 0.2% de Al, lo cual suprime la formación de capas de aleación de manera que el recubrimiento es mayormente zinc puro.

El recubrimiento de zinc protege al acero de la corrosión por dos métodos. Primero, en varios ambientes el zinc se corroe más lento que el acero; por tanto, el recubrimiento de zinc forma una barrera entre el acero y el ambiente corrosivo. Segundo, el zinc protege al acero electroquímicamente. Cuando el zinc está unido al acero, el acero es polarizado a un potencial tal que se convierte en el cátodo del par de acero-zinc y es inmune a la corrosión. En la práctica, esto significa que el acero expuesto a un defecto de recubrimiento o corte en un borde, no se oxida hasta que se consume el zinc cercano.

Para que un recubrimiento metálico pueda servir eficazmente como barrera contra la corrosión, este debe corroerse a un ritmo más lento que el acero que es el sustrato.

Recubrimientos de zinc proporcionan una cierta protección al acero contra la oxidación a alta temperatura. Sin embargo, su utilidad para este propósito se limita a una temperatura máxima de aproximadamente 260 °C debido a la tendencia del zinc, a difundirse en los límites de grano del acero y causar la fragilización a temperaturas más altas y tiempos de exposición largos. Fuente: (Holmberg & Matthews, 1994, págs. 11-18)

2.2.3.2. Hardfacing.

El hardfacing es un método de deposición metálica, que da resistencia a las superficies, de bajo costo y que sirve para componentes metálicos, con el fin de extender su vida de servicio. Aunque es usada principalmente para restaurar piezas desgastadas que estuvieron en condiciones de uso, también se utiliza para nuevos componentes antes

de ponerse en servicio. A más de extender la vida útil de los componentes nuevos y usados, el hardfacing brinda los siguientes beneficios:

- Menos piezas de recambio necesarias
- La eficacia operativa se incrementa al reducir el tiempo de inactividad.
- Se reduce el costo de metal base.
- Se reducen los costos generales.

Para reconstruir las partes desgastadas con frecuencia se involucran tres pasos:

- **Buttering.** - Colocar un depósito que va a diluir el contenido de carbono y aleación del metal base.
- **Build-up.** - En este paso las áreas seriamente desgastadas serán reconstruidas cerca del tamaño de trabajo. Los materiales depositados por soldadura son resistentes al agrietamiento y pueden depositarse en un número ilimitado de capas.
- **Hardfacing.** - las superficies resistentes al desgaste depositadas sobre el metal base o sobre los depósitos de reconstrucción extienden la vida de servicio. El hardfacing es usualmente limitado a una, dos o tres capas. (Lincoln Electric, 2012)

2.2.3.2.1. Selección de consumible.

La cuidadosa selección de materiales y consumibles de soldadura puede reducir las diferencias en la macro y micro composición de todo el conjunto soldado y así reducir los efectos galvánicos. Al momento de seleccionar el consumible hay que tener en cuenta factores como: el tipo de material base (sustrato) con el que se cuenta, tipo de desgaste, proceso de soldadura, posición en la que debe efectuarse la soldadura, además de las especificaciones o condiciones de servicio requeridas para llevar a cabo el proceso. De acuerdo a lo antes mencionado, se utilizan los catálogos de los diferentes proveedores para buscar el tipo de electrodo requerido que provea los requerimientos necesarios

acorde a los factores antes mencionados. A continuación, se detallan factores importantes para la selección del material de soldadura (consumible) necesarios para realizar un hardfacing adecuado. (Lincoln Electric, 2012)

a) Metal base

Hay que detectar el tipo de material que se encuentra desgastado para su posterior reconstrucción. · El acero al manganeso es usado para componentes sujetos a cargas de alto impacto. Para recuperar su tamaño original se utilizan electrodos de composición química muy similar al acero a reconstruir. · Los componentes al carbono y aleaciones de acero son reconstruidos a su tamaño usando depósitos de soldadura de baja aleación.

b) Tipo de desgaste

La principal consideración en la selección de una capa final de hardfacing es el tipo de desgaste a ser encontrado en servicio. Estos pueden ser:

- **Fricción Metal-Metal.** - Es el desgaste de piezas de acero que se encuentran en rodadura o deslizamiento uno contra el otro con poca o ninguna lubricación.
- **Impacto Duro.** - El desgaste por golpeteo severo tiende a aplastar y agrietar la superficie. Los depósitos de acero al manganeso, los cuales trabajan en condiciones de servicio duras, proveen la resistencia más alta al impacto.
- **Abrasión más Impacto.** - El desgaste de material granuloso acompañado por el golpeteo severo tiende a socavar, agrietar, así como triturar la superficie.
- **Abrasión Severa.** - Es el desgaste de material granuloso el cual tritura o erosiona las superficies. La abrasión severa es a menudo acompañada por altas compresiones o impactos moderados. Los depósitos duros son requeridos para resistir la abrasión, pero también necesitarían de sustancias resistentes al impacto.
- **Corrosión.** - Ataque químico o electroquímico.

c) Método de Soldadura por Arco

Este método depende principalmente del tamaño y número de componentes, posición del equipo y frecuencia de hardfacing. Existen los siguientes métodos:

- Soldadura Manual, utiliza electrodos revestidos y requiere la menor cantidad de equipo y provee la máxima flexibilidad para las soldaduras en ubicaciones difíciles y todas las posiciones.
- Soldadura Semiautomática, utiliza alimentadores de alambre con atmosfera protectora y electrodos tubulares los cuales incrementan la deposición con respecto a la soldadura manual.
- Soldadura Automática, requiere en gran medida de la instalación inicial, pero esta provee de la más alta deposición lo que maximiza la productividad.

2.2.3.2.2. Proceso de aplicación del depósito de soldadura.

- a) Limpieza. - Eliminar el óxido, suciedad, grasa, aceite y otros contaminantes de las superficies a soldar.
- b) Preparación de la superficie. - Las superficies de trabajo endurecidas, agrietadas, o deformadas deben ser eliminados mediante fresado, rectificado.
- c) Espesor del Depósito. - Evite la acumulación excesiva de depósitos de hardfacing que pueden agrietarse y romperse en servicio.
- d) Temperatura de Pre calentamiento y entre pasadas- La combinación del contenido de la aleación, el contenido de carbono, el tamaño y la rigidez del material crean la necesidad de precalentar la pieza antes de aplicar una capa de recubrimiento. También puede ser necesario el enfriamiento lento.

En aceros al manganeso se requiere bajo o mínimo pre calentamiento, baja entrada de calor, y baja temperatura entre pasadas.

2.2.3.3. Overlay.

La soldadura “overlay” es un proceso de soldadura que se aplica a uno o más metales con características específicas para dar propiedades deseables o para restaurar y llegar a las dimensiones originales de los componentes.

El Overlay también puede llamarse “cladding” (revestimiento), “weld cladding” (soldadura de revestimiento) o “Weld Overlay Cladding” (Overlay de revestimiento). El término Overlay ó weld cladding denota la aplicación de un espesor de capa de 3mm ó 1/8” de metal soldado con el propósito de proveer una superficie resistente a la corrosión.

Los materiales en los que se realiza un overlay son aquellos que poseen como material base aceros al carbono de baja aleación, entre los elementos de este tipo de aceros tenemos: tuberías, accesorios, válvulas y otros componentes comúnmente usados en la industria del petróleo, recipientes a presión, digestores de papel, reactores de urea, recipientes de contención de reactores nucleares. El material para el revestimiento es usualmente acero inoxidable austenítico o una aleación con base de níquel, aunque algunas veces aleaciones con base de cobre son usadas. (ASM Handbook, 1993)

Algunos revestimientos especializados llevan consigo plata como material de relleno. La técnica del overlay es un excelente método para impartir propiedades a la superficie de un sustrato que no están disponible normalmente, o para materiales de precios elevados o que son difíciles de obtener, por el solo uso de una delgada capa superficial sobre el material. Esta técnica tiene muchas limitaciones inherentes o posibles problemas que deberían ser considerados cuando se planea aplicar un “Overlay”. La posición de soldadura también debe ser considerada cuando se selecciona un proceso y un material para overlay. Ciertamente los procesos son limitados de acuerdo a la posición de soldadura; por ejemplo, el proceso SAW solo puede usarse en la posición plana.

Adicionalmente cuando se usa un proceso de alta velocidad de deposición que presenta un largo charco de líquido, la soldadura vertical o sobre cabeza es difícil o imposible. (ASM Handbook, 1993)

Problemas debido a la dilución del acero inoxidable o metales de relleno con base de níquel puede ser minimizado por un primer depósito de capa amortiguadora de níquel de bajo carbono antes de la aplicación de una aleación de revestimiento. La dilución de la fundición en base de hierro dentro del depósito de soldadura puede también mantenerse a un mínimo, teniendo en cuenta:

- La cantidad máxima de metal depositado por unidad de longitud. Las esferas fundidas depositadas deberán traslaparse tanto como sea posible.
- Minimizar la cantidad de calor de entrada con el fin de reducir la cantidad de metal base fundido. El uso de corriente continua de polaridad lineal ayuda a decrecer la penetración. Se debe tener precaución al considerar la reducción por penetración o fusión del sustrato de hierro fundido. El metal depositado por soldadura debería derretir parte del metal para adherirse correctamente. Una regla importante es que un mínimo de 5 a 10% de dilución se necesita para completar la fusión (ASM Handbook, 1994)

2.3. Acero ASTM A285

ASTM A285 es una especificación de acero al carbono de uso general que cubre placas de acero para recipientes a presión y calderas. Las placas de acero A285 normalmente se producen mediante procesos de horno plano, oxígeno alcalino o horno eléctrico y laminado en caliente.

El acero A285 tiene buena soldabilidad y se suelda fácilmente mediante procesos convencionales. Es posible que sea necesario precalentar las secciones más gruesas. Es

adecuado para estructuras soldadas en el rango de resistencia a la tracción de 50 a 100 ksi (345 a 690 MPa). Para mejorar la resistencia a la corrosión, el A285 se puede revestir con aleaciones no ferrosas como acero inoxidable o monel. En la tabla 1 y 2, se detallan la composición química y las propiedades mecánicas de los tipos del acero A285.

Tabla 1

Composición química

Tipo de acero	C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	S (%)
A285 Grado A	0.23	0.9	0.13-0.45	0.035	0.035
A285 Grado B	0.22	0.98	0.08-0.45	0.035	0.035
A285 Grado C	0.28	0.98	0.08-0.45	0.035	0.035

Fuente: Tomado de (Gnee Steel, 2024)

Tabla 2

Propiedades mecánicas

Tipo de acero	Resistencia a la tracción (MPa)	Límite elástico (MPa)	% de alargamiento en 2 pulgadas (50 mm) mín.	Prueba de impacto Temperatura (°C)	Dureza HBW (Brinell)
A285 Grado A	515	295	20	-20,40,-60	224
A285 Grado B	345	185	25	-20,40,-60	141
A285 Grado C	380	205	27	-20,40,-60	421

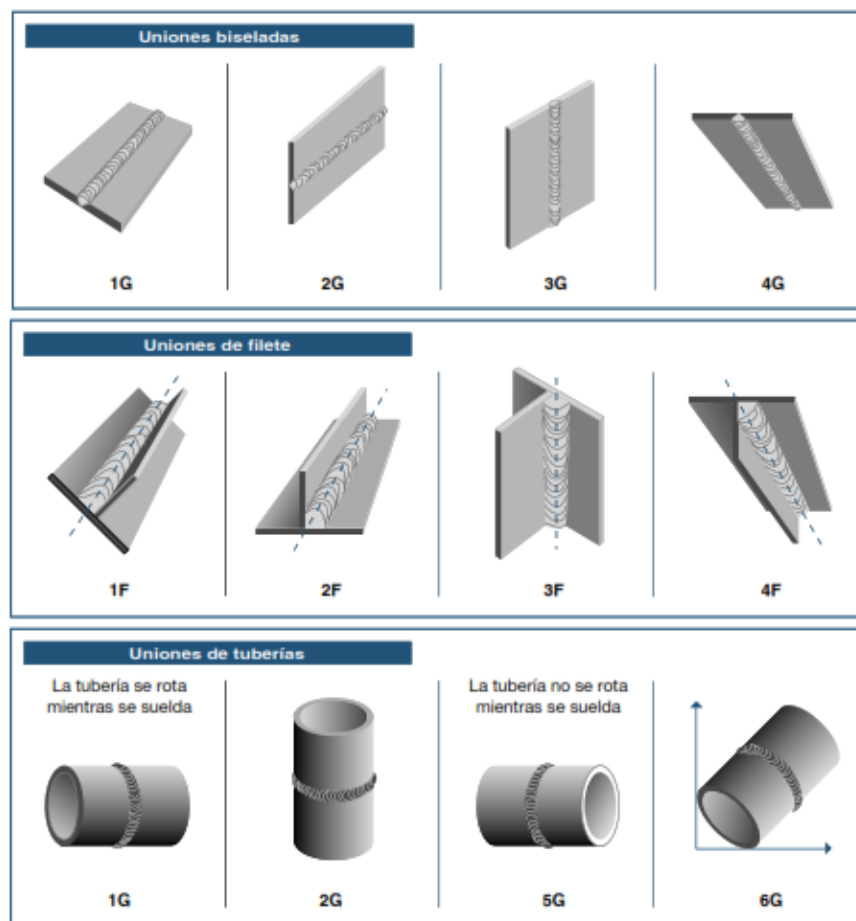
Fuente: Tomado de (Gnee Steel, 2024)

2.4. Posiciones de Soldadura

Según la designación ANSI/AWSA 3.0-8, las posiciones de soldaduras se indican en la Figura 5.

Figura 5

Posiciones de las soldaduras según ANSI/AWSA 3.0-8



Fuente: Tomado de (Masabanda Santos & Yauripoma Guacho, 2009)

2.5. Soldadura por Arco con Electrodo Revestido (SMAW)

2.5.1. Fundamento Teórico

La soldadura por arco metálico protegido SMAW (Shielded Metal Arc Welding) es un proceso manual que incluye un arco entre un electrodo cubierto y el charco de soldadura.

Este proceso se usa con protección de la descomposición de la cobertura del electrodo, sin la aplicación de presión y con metal de aporte proveniente del electrodo. El arco de soldadura por electrodo consumible es una descarga eléctrica sostenida, de alta corriente y bajo voltaje, a través de un plasma altamente conductivo que produce una

energía térmica suficiente. En todos los procesos de soldadura por arco de electrodo consumible se requiere un arco estable para lograr una operación exitosa. Se obtiene un arco metálico estable y sostenido solo cuando la tasa de fusión (o tasa de quemado, es una relación física entre la corriente y el peso del metal fundido) del electrodo es igual a la tasa de alimentación del electrodo hacia el arco. (Jeffus, 2009)

2.5.2. Ventajas y Usos Principales

Es el proceso más popular entre este tipo de procesos. Tiene una flexibilidad máxima y puede soldar muchos metales en todas las posiciones y en cualquier espesor. La inversión del equipo es relativamente pequeña y la mayoría de los soldadores tienen la habilidad necesaria para emplear este proceso. Se utiliza en las operaciones de manufactura y se usa ampliamente en el trabajo de campo para construcción y mantenimiento. Este proceso es idóneo para todas las posiciones, así como cualquier corriente y polaridad dependiendo del electrodo.

Este proceso puede usarse para soldar la mayoría de los aceros y algunos de los metales no ferrosos, como se indica en la tabla 3. Su principal uso es para unir aceros de todo tipo y para soldar hierro fundido y hierros maleables. Se usa para soldar níquel y sus aleaciones, así como el cobre, pero en menor grado. Este tipo de soldadura también se usa para recubrimientos. (Jeffus, 2009)

2.5.3. Limitaciones del Proceso

La principal limitación se encuentra en su característica manual en la cual el soldador debe detenerse, romper la escoria, quitar la colilla del electrodo y colocar un nuevo electrodo. Esto impide que el soldador supere un factor operativo del 25%.

Tabla 3*Metales soldables por el proceso SMAW*

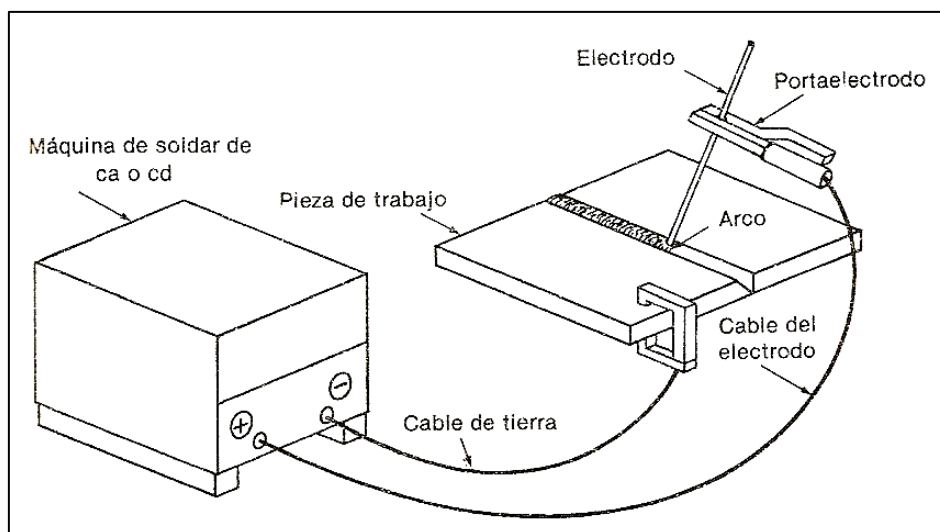
Metal Base	Soldabilidad
Aluminio	Posible pero no popular
Bronces	Soldable
Cobres	Posible pero no popular
Cupro-Niquel	Aceptable
Hierro fundido y maleable	Soldable
Hierro Forjado	Soldable
Inconel	Soldable
Niquel	Soldable
Monel	Soldable
Acero de bajo carbono	Soldable
Acero de baja aleación	Soldable
Alto y mediano Carbono	Soldable
Aceros de aleación	Soldable
Acero inoxidable	Soldable

Fuente: (Society, A. W., 2012)

Otra limitación es la pérdida del material de aporte, la cual produce una utilización total del electrodo revestido de aproximadamente 65%. No se usa para soldar magnesio, metales preciosos y metales refractarios. (Cary, 1992)

2.5.4. Circuito de Soldadura

En la figura 6 se observa el circuito de soldadura del proceso SMAW.

Figura 6*Circuito de Soldadura para el proceso SMAW*

Fuente: (Society, A. W., 2012)

2.5.5. Variables Principales del Proceso SMAW

Estas variables determinan las características importantes del cordón depositado como son: penetración, forma geométrica y otras de naturaleza metalúrgica. (Cary, 1992)

a) Corriente de soldadura

La soldadura por arco de metal protegido puede efectuarse con corriente tanto alterna como continua, siempre que se use el electrodo adecuado. El tipo de corriente de soldadura, la polaridad y los constituyentes de la cobertura del electrodo afectan la rapidez de fusión de todos los electrodos cubiertos. Para un electrodo determinado la rapidez de fusión se relaciona directamente con la energía eléctrica suministrada al arco. Parte de esta energía se destina a fundir una porción del metal base, y la otra parte sirve para fundir el electrodo.

Los electrodos cubiertos de un tamaño y clasificación específicos pueden operar de manera satisfactoria a diversos amperajes dentro de cierto intervalo. Este intervalo varío un poco dependiendo del espesor y la formulación de la cobertura. Para un tipo y tamaño de electrodo específico, el amperaje óptimo depende de varios factores como la posición de soldadura y el tipo de unión. El amperaje debe ser suficiente para obtener una buena fusión y penetración sin perder el control del charco de soldadura. (Society, A. W., 2012).

b) Voltaje en el arco (V)

La longitud del arco es la distancia entre la punta derretida del núcleo del electrodo y la superficie del charco de soldadura. La transferencia de metal desde la punta del electrodo hasta el charco de soldadura no es una acción suave y uniforme. El voltaje instantáneo del arco varía al transferirse gotitas de metal fundido a través del arco, incluso cuando la longitud de este se mantiene constante. Para la longitud de arco correcta se

requiere una alimentación del electrodo constante y consistente. La longitud de arco correcta varía de acuerdo a la clasificación del electrodo, diámetro y revestimiento y además varía con el amperaje y la posición de soldadura. (Society, A. W., 2012)

c) Velocidad de soldadura (S)

La velocidad de soldadura es la tasa a la cual el electrodo se mueve a lo largo de la junta. Una velocidad de soldadura adecuada es aquella que produce un cordón de soldadura de buen perfil y tiene una buena apariencia. La velocidad de soldadura depende de algunos factores como: tipo de corriente y polaridad, amperaje, posición de soldadura, tasa de fusión del electrodo, espesor del material, condición superficial del material base, tipo de junta, entre otros.

La velocidad de soldadura influye en la entrada de calor al metal base. Esto a su vez afecta las estructuras metalúrgicas del metal soldado y la zona afectada por el calor. Bajas velocidades de soldadura incrementan el calor entrante y por lo tanto incrementa el tamaño de la zona afectada por el calor y reduce la tasa de enfriamiento de la soldadura. Altas tasas de enfriamiento pueden incrementar la resistencia y la dureza de la soldadura en un acero endurecible, a menos que un precalentamiento adecuado se realice para evitar endurecimiento. (Society, A. W., 2012).

2.5.6. Clases de corriente eléctrica

2.5.6.1. Corriente alterna (AC).

El flujo de corriente varía de una dirección a la opuesta. Este cambio de dirección se efectúa 120 veces por segundo. El tiempo comprendido entre los cambios de dirección positiva o negativa se conoce con los nombres de ciclos o periodo (60 ciclos).

2.5.6.2. Corriente continua (DC).

El flujo de corriente conserva siempre una misma dirección; del polo negativo al polo positivo (Masabanda Santos & Yauripoma Guacho, 2009, pág. 10)

Masabanda. (2009). Elaboración de un manual para prácticas de la materia teórica de los procesos de soldadura.

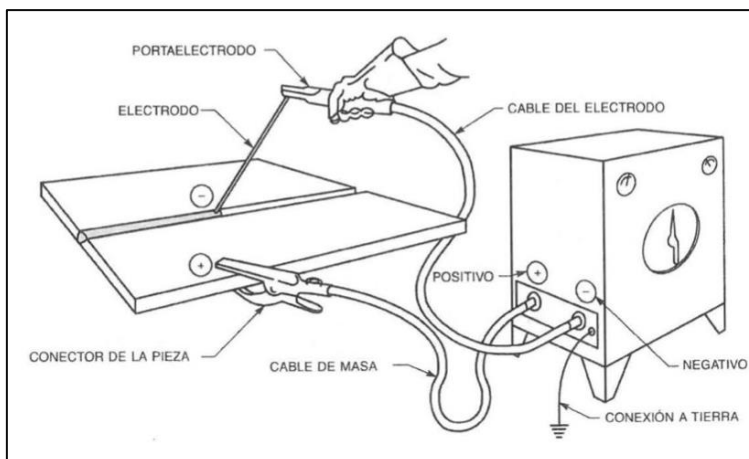
2.5.6.3. Polaridad.

En corriente continua es importante saber la dirección del flujo de corriente. La dirección de flujo de corriente en el circuito de soldadura es expresada en término de polaridad.

- **Polaridad directa.** Se denomina así, si el cable del portal electrodo es conectado al polo negativo (-) de la fuente de poder y el cable de tierra al polo positivo (+). La corriente circula (los electrones) del electrodo hacia el metal base. Ver figura 7.

Figura 7

Polaridad directa



Fuente: (Masabanda Santos & Yauripoma Guacho, 2009)

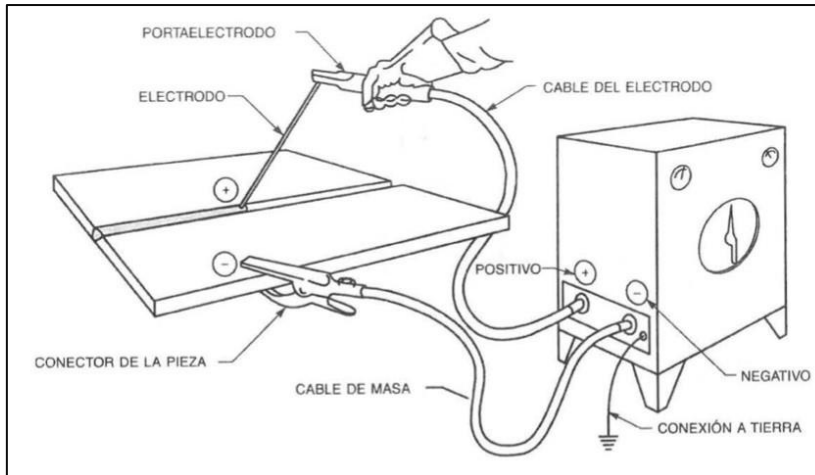
- **Polaridad indirecta (inversa).** Se denomina así, si el cable de la porta electrodos es conectado al polo (+) de la fuente de poder y el cable de tierra al polo negativo (ver

figura 8). La corriente circula (electrones) desde el metal base hacia el electrodo.

(Masabanda Santos & Yauripoma Guacho, 2009, pág. 11)

Figura 8

Polaridad indirecta



Fuente: (Masabanda Santos & Yauripoma Guacho, 2009)

2.6. Ciclo Térmico De La Soldadura

La microestructura de una aleación depende de su “historia térmica”, es decir de los calentamientos y enfriamientos a los que han sido sometidos previamente, Cuando se realiza una soldadura en una pieza. El ciclo térmico está representado básicamente por: (Fosca, 2007).

- La distribución de la temperatura máxima en la zona afectada por el calor (ZAC).
- La velocidad de enfriamiento en el metal fundido y en la ZAC.
- La velocidad de solidificación del metal fundido.

2.6.1. Importancia Del Ciclo Térmico

Muchos de los metales y aleaciones que son expuestos al calor sufren cambios microestructurales, estos a su vez provocan cambios en sus propiedades mecánicas y afectan el comportamiento mecánico en servicio.

La permanencia a determinadas temperaturas y sus enfriamientos posteriores pueden alterar la microestructura de los aceros.

Sin embargo, cuando estos calentamientos y enfriamientos del metal no se realiza con la intención expresa de mejorar sus propiedades mecánicas, sino que es consecuencia inevitable de algún otro proceso involucrado. También el calentamiento y enfriamiento locales trae como consecuencia cambios dimensionales en la pieza, que pueden provocar distorsión o la formación de esfuerzos residuales en la pieza soldada. (Fosca, 2007)

2.6.2. Cambios De Temperatura Durante El Soldeo (Ciclo Térmico)

El metal adyacente a una soldadura está expuesto a ciclos térmicos rápidos, produciéndose en esta región diferentes y complejos cambios metalúrgicos. Teóricamente, si tanto los ciclos térmicos implicados como la respuesta del metal o aleación al ciclo térmico particular fueran conocidos, los cambios resultantes en la microestructura y propiedades mecánicas podrían predecirse. El estado actual de conocimientos apenas incluye información cuantitativa, tanto en relación con el ciclo térmico implicado como con los cambios metalúrgicos producidos en la zona afectada térmicamente por la soldadura. Sin embargo, existen acumulados datos considerables del efecto de las variables del arco de soldeo sobre la distribución de temperaturas en las proximidades de una soldadura; por ello, consideraremos aquí con algún detalle el proceso de soldeo por arco. Ciertas generalidades, aplicables cualitativamente a otros procesos de soldeo, serán también consideradas. (Fosca, 2007)

2.6.3. Factores Que Influyen En Los Cambios De Temperatura Durante La Soldadura Por Arco

La distribución de temperaturas en el soldeo por arco manual con electrodos revestidos (SMAW) está influenciada por los siguientes factores: (Fosca, 2007)

a) Aporte de calor (Heat input). Es la energía que se genera durante la soldadura. Se calcula por la ecuación 1.

$$H_{net} = \frac{V \times I}{v} \times f \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

H_{net} = Calor neto suministrado (j/mm)

I = Intensidad de corriente (A)

V = Tensión eléctrica (V)

v = Velocidad de soldeo (mm/seg)

f = Eficiencia térmica

Este aporte de calor está condicionado por la eficiencia del proceso de soldadura.

En la tabla 4 se muestra las eficiencias térmicas para los diferentes procesos de soldadura.

Tabla 4

Eficiencias térmicas de diferentes procesos de soldadura

Proceso	f
SMAW	0.70 – 0.80
GMAW	0.70 – 0.85
TIG	0.20 – 0.50
SAW	0.90 – 0.99
FCAW	0.65 – 0.85

Fuente: Tomado de (Fosca, 2007)

b) Temperatura inicial de la chapa (o temperatura de precalentamiento).

Es la temperatura a la cual el metal ha de ser o no precalentado antes de soldar.

c) Geometría de la soldadura.

La geometría de la soldadura se refiere al espesor de la pieza, la forma y dimensión del depósito de soldadura y el ángulo entre las piezas a unir. (Fosca, 2007)

d) Características térmicas del material.

Este factor está relacionado con la conductividad térmica del material.

- Cuanto más baja sea la conductividad térmica, más pronunciada será la distribución de temperaturas máximas. En otras palabras, la zona afectada térmicamente será menor.
- Cuanta más alta sea la conductividad térmica del metal, más rápido se enfriará después de la soldadura.
- Cuanta más alta sea la conductividad térmica, más corto será el tiempo de exposición a elevada temperatura

e) Diámetro del electrodo.

Para un diámetro mayor de electrodo se requerirá, mayor aporte de calor para fundirlo. Este factor es de importancia secundaria, pero influye en el tamaño de la fuente de calor.

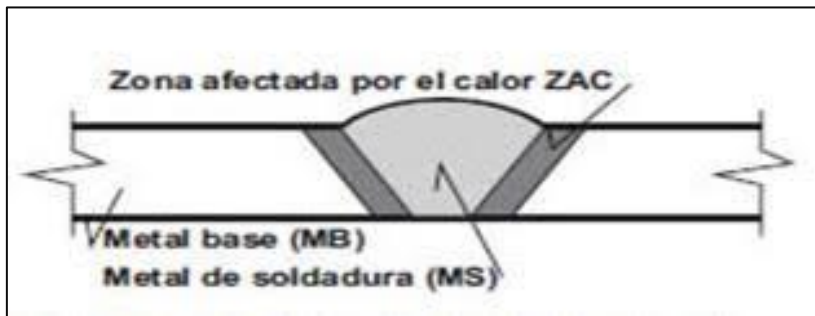
Finalmente, se debe tener en cuenta que determinados rangos de temperatura provocan en el metal transformaciones microestructurales que afectan las propiedades mecánicas de la unión soldada. Generalmente, para el caso de los aceros, los cambios metalúrgicos se producen tras la exposición a temperaturas entre la crítica inferior (723 °C) y la temperatura de fusión (1480°C). Cuando se realiza una soldadura, las regiones de la pieza que alcancen valores entre los límites arriba indicados, experimentarán cambios significativos en su microestructura y por lo tanto en las propiedades mecánicas. (Fosca, 2007)

2.7. Zonas Metalúrgicas de la Soldadura

Fosca, (2007), en soldadura a medida que la fuente de calor interactúa con el material, se puede identificar tres principales zonas, estas son: Zona de Fusión (ZF), también conocida como metal de aporte; Zona afectada por el Calor (ZAC); y Metal Base (MB), estas zonas se observan en la figura 9.

Figura 9

Zonas de la soldadura



Fuente: (Sota Sol, Ríos Vizcaíno, Cruz Crespo, & Rodríguez Peña, 2024)

2.7.1. Zona de fusión (ZF)

Consiste en una mezcla de metal de aporte y metal base que se ha fundido por completo. Esta zona se caracteriza por un alto grado de homogeneidad entre los componentes que se han fundidos durante la soldadura. El principal motivo por el que se mezclan estos componentes es la convección que se suscita en el pozo de soldadura fundida. En la soldadura el molde se forma por medio de los moldes o superficies no fundidos de los componentes que se están soldando.

Es la interfaz entre la región fundida y la región en estado sólido, normalmente es la zona más propicia a inicio de fisuras, ya que existen áreas con fusión parcial. (Fosca, 2007)

2.7.2. Zona afectada por el calor (ZAC)

La zona afectada por el calor (también llamada HAZ) es el volumen de material en o cerca de la soldadura, cuyas propiedades han sido alteradas debido al calor de la soldadura. Debido a que el proceso de soldado por resistencia se basa en calentar dos piezas, es inevitable que haya una ZAC. El material que se encuentra dentro de la ZAC sufre un cambio que puede o no resultar beneficioso para la unión soldada. La composición química en la ZAC es igual a la del metal base, pero en esta zona ha sido tratado con calor debido a las temperaturas de soldadura, por lo que se han alterado sus

propiedades y estructura. La cantidad de daño metalúrgico en la ZAC depende de factores tales como la cantidad de calor que ha ingresado y la máxima temperatura alcanzada, la distancia de la zona de fusión, el intervalo de tiempo al que ha estado sujeto el metal a altas temperaturas, la velocidad de enfriamiento y las propiedades térmicas del metal. El efecto sobre las propiedades mecánicas en la zona afectada por el calor por lo general es negativo y en esta región con frecuencia ocurren fallas en la junta soldada. Conforme aumenta la distancia de zona de fusión, se alcanza por fin la zona de metal base no afectada (Fosca, 2007)

2.7.3. Metal base (MB)

Es la región donde no ha ocurrido cambio metalúrgico, es decir no ocurre cambio micro estructural, aunque el ciclo térmico impuesto por la soldadura puede producir tensiones residuales de contracción longitudinal y transversal. (Fosca, 2007)

2.8. Electrodo Para la Soldadura Eléctrica Por Arco

2.8.1. Electrodo Cubiertos para Soldadura por Arco de Metal Protegido

Además de establecer el arco y proporcionar metal de aporte para el depósito de soldadura, el electrodo introduce otros materiales en el arco o sus inmediaciones, o en ambos lugares. Dependiendo del tipo de electrodo que se use, la cobertura desempeña una o más de las siguientes funciones:

1. Provee un gas para proteger el arco y evitar una contaminación excesiva del metal de aporte derretido por parte de la atmósfera.
2. Suministra limpiadores, desoxidantes y agentes fundentes para purificar la soldadura y evitar un crecimiento excesivo de granos en el metal de soldadura.
3. Establece las características eléctricas del electrodo.

4. Proporciona un manto de escoria que protege el metal de soldadura caliente del aire y mejora las propiedades mecánicas del metal de soldadura.
5. Constituye un medio para añadir elementos de aleación que modifiquen las propiedades mecánicas del metal de soldadura.

Las funciones 1 y 4 evitan la absorción de oxígeno y nitrógeno del aire por parte del metal de aporte derretido en el chorro del arco y del metal de soldadura mientras se solidifica y enfría. La cobertura de los electrodos para SMAW se aplica por el método de extrusión o bien por el de inmersión. La extrusión se usa con mucha más frecuencia; el proceso de inmersión se usa principalmente para los núcleos de varilla colados y algunos de los fabricados.

En todos los casos, la cobertura contiene la mayor parte de los materiales de protección, limpieza y desoxidación. La mayor parte de los electrodos para SMAW tienen un núcleo de metal sólido. Algunos se elaboran con un núcleo fabricado o compuesto formado por metal en polvo encerrado en una funda metálica; en este caso, el propósito de algunos de los polvos metálicos, o incluso de todos, es producir un depósito de soldadura de aleación.

Además de mejorar las propiedades mecánicas del metal de soldadura, las coberturas de electrodo pueden diseñarse para soldar con corriente alterna (C.A). Con C.A, el arco se apaga y reestablece cada vez que la corriente invierte su dirección. Para que el arco de C.A. sea estable, es necesario tener en el chorro del arco un gas que permanezca ionizado durante cada inversión de la corriente. Este gas ionizado hace posible la reignición del arco. Los gases fácilmente ionizables pueden obtenerse de diversos compuestos, incluidos los que contienen potasio. La incorporación de tales compuestos en la cobertura del electrodo es lo que permite a éste operar con C.A. A fin de aumentar la tasa de deposición, las coberturas de algunos electrodos de acero de

carbono y de baja aleación contienen polvo de hierro, el cual es otra fuente de metal disponible para deposición, además del que se obtiene del núcleo del electrodo. La presencia de polvo de hierro en la cobertura también permite aprovechar de manera más eficiente la energía del arco. A menudo se emplean polvos metálicos distintos del hierro a fin de alterar las propiedades metálicas del metal de soldadura. Las coberturas de electrodo gruesas con cantidades relativamente grandes de hierro en polvo incrementan la profundidad del crisol en la punta del electrodo. Este crisol profundo ayuda a contener el calor del arco y permite usar la técnica de arrastre (descrita en el siguiente párrafo) para mantener una longitud de arco constante. Si se añade hierro pulverizado u otros polvos metálicos en cantidades relativamente grandes, la tasa de deposición y la velocidad de soldadura casi siempre se incrementan. Los electrodos de hierro en polvo con coberturas gruesas reducen la habilidad que se necesita para soldar. La punta del electrodo puede arrastrarse sobre la superficie de la pieza manteniendo todo el tiempo un arco de soldadura. Por esta razón, los electrodos gruesos con hierro en polvo se conocen también como electrodos de arrastre. Las tasas de deposición son altas, pero, como la solidificación de la escoria es lenta, estos electrodos no son apropiados para usarse fuera de posición.

2.8.2. Clasificación de los Electrodo Cubiertos

Los electrodos cubiertos se clasifican de acuerdo con los requisitos de especificaciones emitidas por la American Welding Society (AWS). Ciertas agencias del departamento de la defensa de Estados Unidos también emiten especificaciones para los electrodos cubiertos. Los números de especificaciones de la AWS y las clasificaciones de los electrodos correspondientes se dan en la tabla 5.

Tabla 5

Especificaciones de la AWS para electrodos cubiertos.

Tipo de electrodo	Especificaciones de la AWS
Acero al bajo carbono	A5.1
Acero de baja aleación	A5.5
Acero resistente a la corrosión	A5.4
Hierro colado	A5.15
Aluminio y aleaciones de aluminio	A5.3
Cobre y aleaciones de cobre	A5.6
Niquel y aleaciones de niquel	A5.11
Recubrimiento	A5.13 y A5.21

Fuente: Exsa. (2015). *Manual de soldadura*. Lima: Oerlikon. Obtenido de <https://es.slideshare.net/waqanky/manual-sold-oer-exsa>

Los electrodos se clasifican con base en la composición química o en las propiedades mecánicas, o ambas cosas, del metal de soldadura sin diluir. Los electrodos de acero al carbono, acero de baja de aleación y acero inoxidable también se clasifican de acuerdo con el tipo de corriente de soldadura con el que trabajan mejor, y en ocasiones de acuerdo con las posiciones de soldadura en las que pueden emplearse.

2.8.2.1. Electrodos de acero al carbono.

En ANSI/AWS A5.1, Especificación para electrodos de acero al carbono para soldadura por arco, se usa un sencillo sistema de numeración para clasificar los electrodos. En E6010, por ejemplo, la E designa a un electrodo. Los dos primeros dígitos (60) indican la resistencia a la tensión mínima del metal de soldadura sin diluir en Ksi, en la condición “recién soldada”. El tercer dígito representa la posición de soldadura (en este caso, el 1 se refiere a todas las posiciones). El último dígito se refiere al tipo de cobertura y al tipo de corriente con la que puede usarse el electrodo.

Los electrodos de acero al carbono tienen dos niveles de resistencia mecánica: la serie 60 y la serie 70. La resistencia a la tensión mínima permisible para el metal de soldadura de la serie 60 es de 62 Ksi (427 MPa), aunque un alargamiento adicional puede permitir que algunos de éstos bajen hasta 60 Ksi (414 MPa). Para la serie 70, es 72 Ksi

(496 MPa) y, una vez más, algunos de éstos pueden bajar hasta 70 Ksi (483 MPa) con alargamiento adicional. En cuanto a la composición química, los límites superiores para los elementos significativos se dan dentro de las especificaciones de la AWS aplicables a la mayor parte de las clasificaciones de electrodos. Para algunos electrodos de ambas series se dan requisitos de prueba de impacto Charpy con muesca en “V”.

Algunos electrodos de acero al carbono están diseñados para operar sólo con C.C; otros operan tanto con C.C como con C.A. La polaridad en C.C por lo regular es inversa (electrodo positivo), aunque algunos electrodos están hechos para polaridad directa, y otros más pueden usarse con cualquier polaridad.

La mayor parte de los electrodos están diseñados para soldar en todas las posiciones. Sin embargo, los que contienen grandes cantidades de hierro en polvo u óxido de hierro en el recubrimiento generalmente están restringidos a soldaduras de surco en la posición plana y a soldaduras de filete horizontales. Las coberturas de estos electrodos son muy gruesas, lo que impide su uso en las posiciones vertical y arriba de la cabeza.

Varios electrodos de la serie 70 son del tipo de bajo hidrógeno. Sus recubrimientos tienen ingredientes con bajo contenido de humedad y de celulosa y, por tanto, de hidrógeno. El hidrógeno produce la baja ductilidad y el agrietamiento de la franja inferior que en ocasiones se observan en soldaduras muy restringidas. Por esta razón, los electrodos de bajo hidrógeno se usan para soldar aceros endurecibles; también se usan para soldar aceros de bajo azufre y para aportar metal de soldadura con buena tenacidad de muesca a baja temperatura. La especificación no fija un límite para el contenido de humedad de estos electrodos, pero se recomienda que sea menor que el 0.6%.

Para controlar la humedad es necesario un almacenamiento y manejo correctos; las condiciones de almacenamiento y cocimiento típicas se dan en ANSI/AWS A5.1.

2.8.2.2. Electrodo de acero de baja aleación.

ANSI/AWS A5.5, por excepción, Especificación para electrodos de acero de baja aleación para soldadura por arco, clasifica los electrodos de acero de baja aleación cubiertos de acuerdo con un sistema de numeración similar al que acaba de describirse para los electrodos de acero al carbono. Además, esta especificación emplea un sufijo como A1 para designar la composición química (sistema de aleación) del metal de soldadura. Así, una clasificación de electrodo completa es E7010-A1; otra es E8016-C2.

Los sistemas de aleación a los que pertenecen los electrodos son acero al carbono-molibdeno, acero al cromo-molibdeno, acero al níquel y acero al manganeso-molibdeno. Los niveles de resistencia mecánica del metal de soldadura van desde 70 hasta 120 Ksi (480 a 830 MPa) de resistencia a la tensión mínima, en incrementos de 10 Ksi (70 MPa). En esta especificación, los metales de soldadura de uso común que no suelen recibir tratamiento posterior se clasifican con base en sus propiedades en la condición “recién soldada”. De manera similar, los que normalmente se usan en la condición de tensiones liberadas se clasifican con base en las propiedades que tienen después de un tratamiento térmico para liberar las tensiones.

En este respecto, cabe señalar que la liberación de tensiones que prescribe ANSI/AWS A5.5 consiste en mantener el ensamble de prueba a la temperatura indicada durante una hora. Los fabricantes que usen tiempos de retención a temperatura significativamente mayores o menores que una hora tal vez tengan que ser más selectivos en cuanto a los electrodos que usan, y quizá tengan que efectuar pruebas para demostrar que las propiedades mecánicas del metal de soldadura escogido son adecuadas después de un tratamiento térmico de cierta duración y a cierta temperatura. En muchas clasificaciones de electrodos para SMAW se incluyen normas radiográficas de calidad para el metal de soldadura depositado y requisitos de tenacidad de muesca.

Las especificaciones militares para electrodos de acero de baja aleación a veces usan designaciones similares a las de la especificación de la AWS. Además, se producen algunos electrodos que no están clasificados en las especificaciones de la AWS pero que están diseñados para materiales específicos o que corresponden a grandes rasgos a las composiciones AISI estándar para metal base de acero de baja aleación, como 4130.

La especificación A5.5 fija límites para el contenido de humedad para los electrodos de bajo hidrógeno empacados en recipientes sellados herméticamente. Estos límites van desde 0.2 hasta 0.6% en peso, dependiendo de la clasificación del electrodo. Cuanto mayor sea el nivel de resistencia mecánica, más bajo será el límite del contenido de humedad. Esto es porque la humedad es una fuente primaria de hidrógeno, y el hidrógeno puede producir agrietamiento en la mayor parte de los aceros de baja aleación si no se emplea precalentamiento a temperatura elevada y ciclos de enfriamientos largos y lentos.

Cuanto mayor sea la resistencia mecánica de la soldadura y del metal base, mayor será la necesidad de niveles bajos de humedad para evitar el agrietamiento. La exposición a entornos húmedos (70% de humedad relativa o más) puede elevar el contenido de humedad del electrodo en unas cuantas horas.

2.8.2.3. Electrodo de acero resistente a la corrosión.

Los electrodos cubiertos para soldar aceros resistentes a la corrosión se clasifican en ANSI/AWS A5.4, Especificación para electrodos de acero al cromo y al cromo-níquel, resistentes a la corrosión, cubiertos, para soldadura. La clasificación dentro de esta especificación se basa en la composición química del metal de soldadura sin diluir, las posiciones de soldadura y el tipo de corriente con la que se recomienda usar los

electrodos. El sistema de clasificación es similar al de los electrodos de acero al carbono y de baja aleación.

Tomando E310-15 y E310-16 como ejemplos, el prefijo E indica un electrodo. Los tres primeros dígitos se refieren al tipo de aleación (en cuanto a su composición química), y pueden ir seguidos de una o más letras que indiquen una modificación, como E310Mo-15. Los últimos dos dígitos se refieren a la posición de soldadura y al tipo de corriente para la que son apropiados los electrodos. El 1 indica que los electrodos pueden usarse en todas las posiciones hasta diámetros de 4 mm (5/32 pulg). El número 5 indica que los electrodos están hechos para usarse con C.C.E.P (polaridad directa). El número 6 significa que los electrodos son apropiados tanto para C.A como para C.C.E.P (polaridad directa). Los electrodos de más de 4 mm (5/32 pulg) de diámetro se usan en las posiciones plana y horizontal.

La especificación no describe los ingredientes del revestimiento, pero las coberturas 15 por lo regular contienen una proporción elevada de piedra caliza (Carbonato de calcio). Este ingrediente suministra el CO y el CO₂ que sirven para proteger el arco. El aglutinante que mantiene unidos los ingredientes en este caso es silicato de sodio. La cobertura 16 también contiene piedra caliza para protección del arco, pero además suele contener bastante titania (dióxido de titanio) para mejorar la estabilidad del arco. El aglutinante en este caso probablemente será silicato de potasio.

Las diferencias en las proporciones de estos ingredientes producen diferencias en las características del arco. Los electrodos 15 (coberturas tipo cal) tienden a producir un arco más penetrante y una franja más convexa y con ondulaciones más pronunciadas. La escoria se solidifica con relativa rapidez, por lo que muchos los prefieren para trabajos fuera de la posición especificada por el fabricante, como la soldadura de tuberías.

Por otro lado, las coberturas 16 (tipo titanio) producen un arco más uniforme, menos salpicaduras y una franja más uniforme con ondulaciones más finas. La escoria, empero, es más fluida y el electrodo suele ser más difícil de manejar en trabajos fuera de la posición especificada por el fabricante.

Los aceros inoxidable pueden dividirse en tres tipos básicos: austeníticos, martensíticos y ferríticos. El grupo austenítico (2XX y 3XX) es, por mucho, el más grande. Normalmente, la composición del metal de soldadura de un electrodo de acero inoxidable es similar a la del metal base para el que fue diseñado el electrodo.

En el caso de los aceros inoxidable austeníticos, la composición del metal de soldadura difiere un poco de la del metal base con el fin de producir un depósito de soldadura que contenga ferrita (esto es, que no sea del todo austenítico) para evitar fisuras o agrietamiento en caliente del metal de soldadura. La cantidad de ferrita común a los diversos electrodos para soldadura se analiza en ANSI/AWS A5.4 con cierto detalle. En general, basta un contenido de ferrita dentro del intervalo de número de ferrita (FN) de 3 a 5 para evitar el agrietamiento. Existen instrumentos magnéticos para medir directamente el contenido de ferrita del metal de soldadura depositado

Ciertos metales de soldadura de acero inoxidable austenítico (los tipos 310, 320 y 330, por ejemplo) no forman ferrita porque su contenido de níquel es demasiado elevado. En estos materiales se limita el contenido de fósforo, azufre y silicio, o se aumenta el contenido de carbono, a fin de minimizar las fisuras y el agrietamiento.

También pueden usarse procedimientos de soldadura apropiados para reducir las fisuras y el agrietamiento. Por ejemplo, Un bajo amperaje resulta benéfico. También puede ser benéfico un ligero movimiento zigzagueante al soldar, con el fin de promover

el crecimiento celular del grano. Se recomienda seguir los procedimientos adecuados al apagar el arco, a fin de evitar las grietas de cráter.

ANSI/AWS A5.4 contiene dos clasificaciones para los electrodos cubiertos de aceros inoxidable al cromo puro (serie 4XX). Una prescribe del 11 al 13.5% de cromo; la otra, de 15 a 18%. El contenido de carbono en ambas es de 0.1% como máximo. Los metales de soldadura de las dos clasificaciones se endurecen en aire, y las piezas soldadas con ellos requieren precalentamiento y tratamiento térmico posterior para adquirir la ductilidad que se necesita en la mayor parte de las aplicaciones de ingeniería. La especificación también contiene tres clasificaciones de electrodos que se usan para soldar aceros al cromo-molibdeno de 4 a 10%. Estos materiales también se endurecen al aire, y se requiere precalentamiento y tratamiento térmico posterior para obtener uniones firmes y útiles.

2.8.2.4. Electrodos de níquel y aleaciones de níquel.

Los electrodos cubiertos para soldar por SMAW níquel y sus aleaciones tienen composiciones que en general se asemejan a la de los metales base que unen, y algunos tienen adiciones de elementos como Titanio, Manganeso y Niobio para desoxidar el metal de soldadura y evitar el agrietamiento.

ANSI/AWS A5.11, Especificación para electrodos cubiertos para soldar níquel y aleación de níquel, clasifica los electrodos en grupos de acuerdo con sus elementos de aleación principales. La letra “E” al principio indica un electrodo, y el símbolo químico “Ni” identifica los metales de soldadura como aleaciones con base de níquel. Se agregan otros símbolos químicos para indicar los elementos de aleación principales, seguidos por números sucesivos que identifican cada clasificación dentro de su grupo. Por ejemplo, ENiCrFe-1 contiene bastante hierro y cromo además de níquel.

La mayor parte de los electrodos está diseñada para usarse con C.C.E.P (polaridad directa), aunque algunos también pueden operar con C.A para sobreponerse a posibles problemas de golpe del arco (por ejemplo, cuando se suelda acero con 9% de níquel). Casi todos los electrodos pueden usarse en cualquier posición, pero los mejores resultados cuando se suelda fuera de la posición especificada por el fabricante se obtienen con electrodos de 3.2 mm (1/8 pulg) de diámetro o menores. La resistividad eléctrica del alambre del núcleo de estos electrodos es excepcionalmente alta, por lo que un amperaje excesivo sobrecalentará el electrodo y dañará la cobertura, causando inestabilidad del arco y excesiva salpicadura. Cada clasificación y tamaño de electrodo tiene un intervalo de amperaje óptimo.

2.8.2.5. Electrodos de aluminio y aleaciones de aluminio.

ANSI/AWS A5.3, Especificación para electrodos de aluminio y aleación de aluminio para soldadura por arco de metal protegido, contiene dos clasificaciones de electrodos cubiertos para soldar metales base de aluminio. Estas clasificaciones se basan en las propiedades mecánicas del metal de soldadura sin tratamiento térmico y en la composición química del alambre del núcleo. Un alambre de núcleo es aluminio comercialmente puro (1100) y el otro una aleación de aluminio con 5% de silicio (4043). Ambos electrodos se usan con C.C.E.P (polaridad directa). La cobertura de estos electrodos tiene tres funciones. Provee un gas para proteger el arco, un fundente para disolver el óxido de aluminio y una escoria protectora para cubrir la franja de soldadura. Como la escoria puede ser muy corrosiva para el aluminio, es importante que se elimine por completo después de soldar.

La presencia de humedad en la cobertura de estos electrodos es una causa importante de porosidad en el metal de soldadura. Para evitar esta porosidad, los electrodos deben guardarse en un gabinete con calefacción mientras no se usen. Los

electrodos que se hayan expuesto a la humedad deberán reacondicionarse (cocerse) antes de usarse, o desecharse.

Un problema que puede surgir al soldar es la fusión de escoria con el extremo del electrodo si el arco se interrumpe. Para poder encender otra vez el arco, es preciso eliminar esta escoria fusionada. Los electrodos de aluminio cubiertos se emplean principalmente para soldadura no crítica y aplicaciones de reparación. Sólo deben usarse con metales base para los que se recomienden metales de aporte 1100 ó 4043. Estos metales de soldadura no responden a tratamientos térmicos de endurecimiento por precipitación. Si se usan con materiales de este tipo, habrá que evaluar con cuidado cada aplicación.

2.8.2.6. Electrodos de cobre y aleaciones de cobre.

ANSI/AWS A5.6, Especificación para electrodos de cobre y aleaciones de cobre, cubiertos, para soldadura por arco, clasifica los electrodos de cobre y de aleaciones de cobre con base en las propiedades y en la composición química del metal de soldadura sin diluir.

El sistema de designación es similar al de los electrodos de níquel; la diferencia principal es que cada clasificación individual dentro de un grupo se identifica con una letra, la cual en ocasiones va seguida por un número, como en ECuAl-A2, por ejemplo.

Los grupos son: CuSi para el bronce de silicio, CuSn para el bronce fosforado, CuNi para el cupro-níquel y CuAl para el bronce de aluminio. En general, estos electrodos se usan con C.C.E.P (corriente continua electrodo al positivo).

Los electrodos de cobre se usan para soldar cobre puro y reparar revestimientos de cobre en acero o hierro colado.

Los electrodos de bronce de silicio sirven para soldar aleaciones de cobre y cinc, cobre, y algunos materiales con base de hierro. También se usan para recubrimientos que protegen contra la corrosión. Los metales base de bronce fosforado y latón se sueldan con electrodos de bronce fosforado. Estos electrodos también sirven para soldar en fuerte aleaciones de cobre a acero y a hierro colado. Los bronce fosforados son un tanto viscosos cuando se derriten, pero su fluidez mejora precalentando a unos 200°C (392°F). Los electrodos y la pieza deben estar secos.

Los electrodos de cobre-níquel se usan para soldar una amplia gama de aleaciones de cobre y níquel y también revestimientos de cuproníquel en acero. En general, no se requiere recalentamiento para estos materiales. Los electrodos de bronce de aluminio tienen una amplia aplicación en la soldadura de aleaciones con base de cobre y algunas combinaciones de metales disímiles. Se emplean para soldar en fuerte muchos metales ferrosos y aplicar superficies de apoyo resistentes al desgaste y a la corrosión. La soldadura por lo regular se efectúa en posición plana con algo de precalentamiento.

2.8.2.7. Electrodos para hierro colado.

ANSI/AWS A5.15, Especificación para electrodos y varillas para soldar hierro colado, clasifica los electrodos cubiertos para soldar hierro colado. Los electrodos clasificados en A5.15 son de níquel, níquel-hierro, aleaciones de níquel-cobre y una aleación de acero. Se recomienda precalentamiento al soldar piezas de hierro coladas, sobre todo si se emplea el electrodo de acero.

La temperatura específica depende del tamaño y la complejidad de la pieza colada y de los requisitos de maquinabilidad. Los hoyos y grietas pequeños pueden soldarse sin precalentamiento, pero la soldadura no será maquinable. La soldadura se efectúa con C.C.E.P (corriente continua electrodo al positivo) de bajo amperaje para minimizar la

dilución con el metal base. En este caso no se aplica precalentamiento, excepto para minimizar los esfuerzos residuales en otras partes de la pieza colada.

Los electrodos patentados de níquel y aleaciones de níquel también pueden servir para reparar piezas coladas y unir los diversos tipos de hierros colados consigo mismos y con otros metales. La dureza del metal de soldadura depende del grado de dilución del metal base.

Los electrodos de bronce fosforado y de bronce de aluminio se usan para soldar en fuerte hierro colado. El punto de fusión de sus metales de soldadura es menor que el del hierro colado. La pieza colada deberá calentarse a unos 200°C (400°F) y soldarse con C.C.E.P (corriente continua electrodo al positivo) empleando el amperaje más bajo que produzca una buena adhesión entre el metal de soldadura y las caras del surco. Las superficies del hierro colado no deben derretirse.

2.8.2.8. Electrodos de recubrimiento.

La mayor parte de los electrodos de recubrimiento duro se diseñan de modo que cumplan con ANSI/AWS A5.13, Especificación para electrodos y varillas de soldadura para recubrimiento compuesto. Se dispone de una amplia gama de electrodos para SMAW (dentro de ésta y otras especificaciones AWS para metales de aporte) que producen capas resistentes al desgaste, el impacto, el calor o la corrosión sobre diversos metales base. Todos los electrodos cubiertos especificados en A5.13 tienen alambre de núcleo sólido; los especificados en A5.21 tienen un núcleo compuesto. El sistema de designación de los electrodos en ambas especificaciones es similar al que se usa para los electrodos de aleación de cobre, con excepción de los electrodos de carburo de tungsteno, en los que la E de la designación para estos electrodos va seguida por WC y por los límites de tamaño de malla para los gránulos de carburo de tungsteno del núcleo para completar la

designación. En este caso, el núcleo consiste en un tubo de acero relleno con los gránulos de carburo de tungsteno.

El recubrimiento con electrodos cubiertos se emplea para revestimientos, untaduras, engrosamientos y aplicación de superficies duras. El objetivo del depósito de soldadura en estas aplicaciones es conferir a las superficies una o más de las siguientes cualidades:

1. Resistencia a la corrosión.
2. Control metalúrgico.
3. Control dimensional.
4. Resistencia al desgaste.
5. Resistencia al impacto.

La selección de electrodos cubiertos para una aplicación de recubrimiento en particular deberá hacerse después de analizar detenidamente las propiedades que debe tener el metal de soldadura aplicado a un metal base específico.

2.9. Dilución

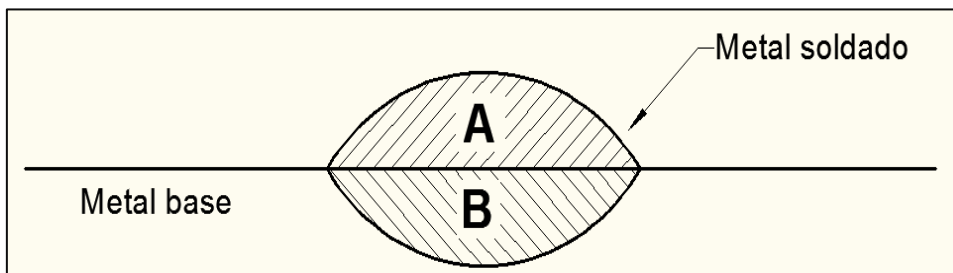
Durante la soldadura por fusión, el metal de cada una de las partes a unir y el aporte (si se utiliza) se funden conjuntamente formando el baño de fusión o metal de soldadura. Tras la posterior solidificación, el metal de soldadura resultante tendrá una sola fase o una mezcla de dos fases.

Para cualquier composición de metal de aporte dada, los cambios en el procedimiento de soldadura pueden causar variaciones en la dilución.

En la figura 10, se muestra esquemáticamente las zonas de un depósito de soldadura para el cálculo de la dilución.

Figura 10

Zonas de un depósito de soldadura para el cálculo de la dilución



Fuente: Fosca, C. (2003). *Introducción a la Metalurgia de la Soldadura*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/476338671/Introduccion-a-la-Metalurgia-de-la-Soldadura-Carlos-Fosca-pdf>

El grado de dilución se puede estimar de acuerdo a la siguiente ecuación 2 y 3.

$$\% \text{ dilucion} = \frac{B}{A+B} \times 100 \quad \text{Ec. 2}$$

$$\% \text{ Dilución} = \frac{\text{Área sombreada}}{\text{Área total del cordón de soldadura}} \times 100 \quad \text{Ec. 3}$$

En la tabla 6, se muestran los niveles de dilución para diferentes procesos de soldadura.

Tabla 6

Niveles de dilución de los procesos de soldadura.

Proceso	Dilución (%)	Observaciones
Electro escoria	100	El metal base contribuye con la zona fundida-
Soldadura por haz de electrones	100	Excepto si se emplea hilo de aporte
Soldadura laser	100	Excepto si se emplea hilo de aporte
Arco eléctrico manual (SMAW)	20 – 30	En general
	30 – 40	Pasada de raíz
	10 - 20	En depósitos (overlay)
Arco sumergido	25-50	En general
	10 - 15	En depósitos (overlay)
MIG/MAG (GMAW)	25 – 50	Arco “spray”
	15 - 30	Arco “Arco cortocuito”
TIG (GTAW)	20 – 50	
	100	Sin material de aporte

Fuente: Fosca, C. (2003). *Introducción a la Metalurgia de la Soldadura*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/476338671/Introduccion-a-la-Metalurgia-de-la-Soldadura-Carlos-Fosca-pdf>

2.9.1. Variables de Soldadura que Afectan la Dilución

Gran cantidad de depósitos se realiza con los procesos de soldadura por arco eléctrico. Debido a la importancia de la dilución, es necesario conocer el efecto de cada variable. Las mismas son:

a) Amperaje

Incrementando el amperaje (densidad de corriente) aumenta la dilución. El arco es más caliente y rígido, la penetración es más profunda y mayor es la fusión del metal base.

b) Polaridad

Con corriente directa con polo negativo al electrodo (CDEN) da menos penetración y, por lo tanto, menor dilución que con el electrodo al polo positivo (CDEP). Alternando las corrientes da diluciones intermedias a ambas.

c) Diámetro del electrodo:

Diámetros pequeños de electrodo significan menores amperajes y por lo tanto menor dilución. En soldadura por arco bajo protección gaseosa, para un dado amperaje, diámetros grandes de electrodo (y bajas densidades de corriente) dan diluciones más bajas si el mayor diámetro resulta en transferencia globular; mientras que los diámetros más pequeños resultan en transferencia de rocío. Con otros procesos de soldadura el resultado puede variar.

d) Extensión del electrodo:

Un electrodo largo disminuye la dilución (para procesos con electrodo consumible) por incremento en la velocidad de fusión del electrodo (calor) y la difusión

de la energía del arco mientras ésta afecte sobre el metal base. A la inversa, un electrodo corto incrementa la dilución, dentro de ciertos límites.

e) Paso o separación de cordones:

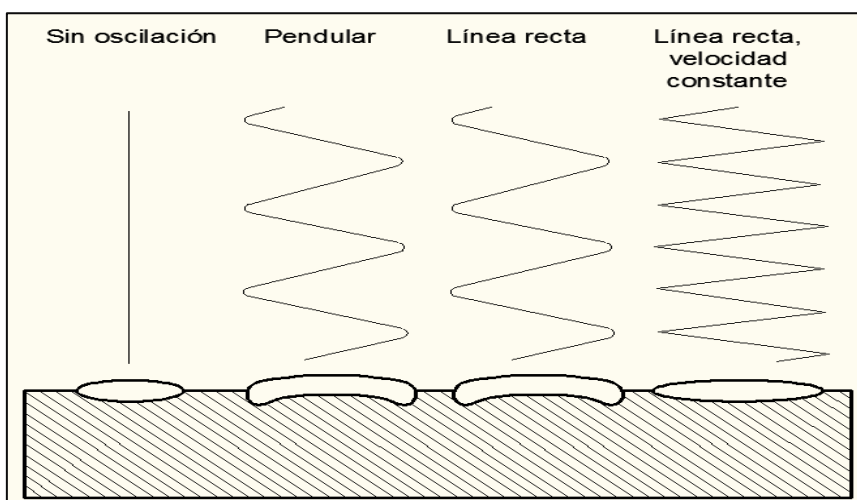
Una ajustada separación entre cordones (mayor superposición) reduce la dilución debido a que mayor cantidad de cordones previos y menor material base se refunden e incorporan a la pileta líquida. Una amplia separación de cordones (menor sobreposición) incrementa la dilución.

f) Oscilación del electrodo:

Cuando se oscila ampliamente el electrodo, se obtienen cordones anchos y de menor penetración, por lo que es menor la dilución; los cordones finos, estirados, producen máxima dilución. La frecuencia de oscilación también afecta la dilución, como regla se puede indicar que a mayor frecuencia de oscilación existirá menor dilución. En la figura 11, se puede observar el efecto que tiene el tipo de oscilación en el depósito.

Figura 11

Tipos de oscilación y su efecto en el cordón de soldadura.



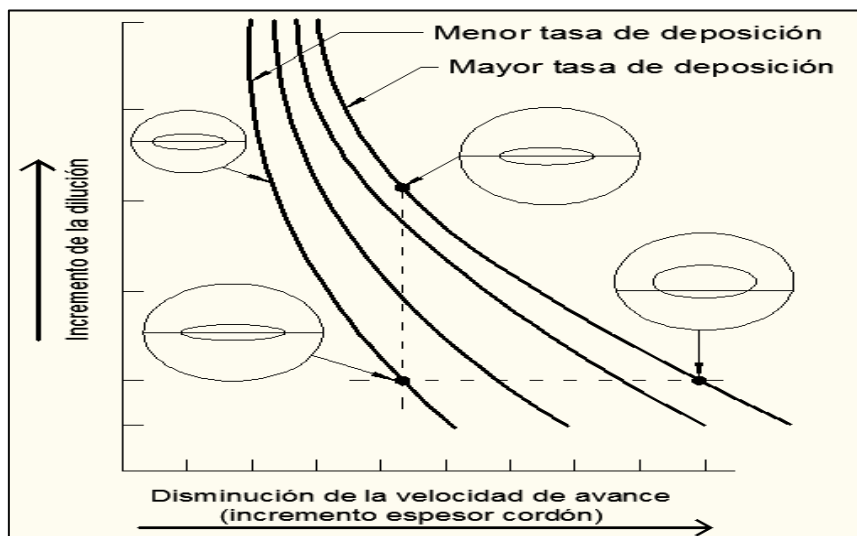
Fuente: Fosca, C. (2003). *Introducción a la Metalurgia de la Soldadura*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/476338671/Introduccion-a-la-Metalurgia-de-la-Soldadura-Carlos-Fosca-pdf>

g) Velocidad de avance

En la figura 12, se muestra el efecto de la velocidad de avance en la dilución. Un decaimiento en la velocidad de avance disminuye la cantidad de metal fundido por unidad de tiempo (t) y/o distancia e incrementa la cantidad de recargue agregado: esto reduce la dilución. Esta reducción se genera por el cambio de forma del cordón y el espesor y por el hecho de que la fuerza del arco es ejercida sobre la pileta líquida más que sobre el metal base.

Figura 12

Efecto de la velocidad de avance sobre la dilución



Fuente: Fosca, C. (2003). *Introducción a la Metalurgia de la Soldadura*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/476338671/Introduccion-a-la-Metalurgia-de-la-Soldadura-Carlos-Fosca-pdf>

h) Posición de soldadura e inclinación de la pieza de trabajo.

Este efecto tiene una importante influencia sobre la dilución. Dependerá de la posición o la inclinación de la pieza de trabajo.

2.10. Composición Química del Cordón de Soldadura

En cuanto a la composición química del cordón de soldadura es preciso conocer las relaciones de dilución y las composiciones químicas del metal base y de aporte.

En ese sentido la composición de un elemento de aleación específico en el cordón de soldadura diluido se calcula mediante la ecuación.

$$X_W = (D_A)(X_A) + (D_B)(X_B) + (1 - D_T)(X_{aporte}) \quad (Ec. 4.)$$

Donde:

- X_W = Porcentaje promedio del elemento X en el depósito de soldadura
- X_A = Porcentaje promedio del elemento X en el metal base A
- X_B = Porcentaje promedio del elemento X en el metal base B
- D_A = Porcentaje de dilución del metal base A, expresado en decimal
- D_B = Porcentaje de dilución del metal base B, expresado en decimal
- D_T = Porcentaje de dilución total, expresado en decimal

Dado que el objetivo de la investigación es encontrar el metal de aporte adecuado para la soldadura sobre un material base (overlay), la ecuación 4 se simplifica a:

$$\Rightarrow X_W = (D_A)(X_A) + (1 - D_T)(X_{aporte})$$

$$X_{aporte} = (X_W - (D_A)(X_A))/(1 - D_A) \quad Ec. 3$$

2.11. Acero Inoxidable

Los aceros inoxidable son aleaciones a base de hierro, cromo, carbono y otros elementos, principalmente, níquel, molibdeno, manganeso y titanio, entre otros, contando con una resistencia particular a la corrosión. Naturalmente, la presencia de cada elemento en determinados porcentajes produce variaciones distintas de las características intrínsecas. Esta característica de buena resistencia a la corrosión se debe a la propiedad de estas aleaciones de pasivarse en un ambiente oxidante. La formación de una película superficial de óxido de cromo sirve para la protección del acero inoxidable.

2.11.1. Clasificación de los Aceros Inoxidables

Los aceros inoxidable se dividen en cuatro grupos: Austeníticos, Martensíticos, Ferríticos y los que se endurecen por precipitación. Estas clasificaciones se refieren principalmente a la estructura de los aceros. La estructura martensítica es dura y frágil, la

ferrítica es blanda y dúctil, en cambio la austenítica es de alta resistencia a la tensión, al impacto y al mismo tiempo dúctil. (Di Caprio, 1999)

2.11.1.1. Los aceros inoxidable austeníticos.

Estos son los aceros inoxidable al cromo-níquel (tipo 3XX) y al cromo-níquel-manganeso (tipo 2XX).

Son muy resistentes al impacto y difíciles de maquinar. Estos aceros tienen la mejor resistencia a altas temperaturas y resistencia a la formación de escamas de todos los demás aceros inoxidable. Su resistencia a la corrosión suele ser mejor que la de los aceros martensíticos o ferríticos. El mayor inconveniente que presenta la soldadura de los aceros austeníticos es la precipitación de carburos que pueden producirse en las zonas cercanas al cordón de soldadura, quedando sensibilizados a la corrosión intergranular. En la tabla 7 se muestra la composición química del acero AISI 304.

Tabla 7

Composición química del acero inoxidable AISI 304

Tipo	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	%N
AISI 304	0.08	2.0	0.75	0.045	0.03	18.0 - 20.0	8.00 - 10.5	2.0-3.0	0.10

Fuente: (Di Caprio, 1999)

2.11.2. Recubrimiento de acero inoxidable

Es un revestimiento de protección para todo tipo de metales. Permite obtener un recubrimiento de buen aspecto y da un acabado homogéneo y brillante. Protege las superficies metálicas contra la corrosión y detiene la oxidación en sus inicios. Recubre eficazmente todos los metales.

2.12. Calificación del Procedimiento

Antes de realizar una soldadura será establecido y calificado un documento detallado del procedimiento para garantizar que la soldadura presente adecuadas

propiedades. La calidad de la soldadura debe ser probada por ensayos destructivos y no destructivos.

2.12.1. Especificación del Procedimiento de Soldadura o WPS (Welding Procedure Specification)

Documento preparado por el departamento técnico o de ingeniería de la empresa, en el cual se proyectan los valores numéricos de las variables para realizar una soldadura. Brinda información relevante para orientar al soldador u operador de soldadura y, para asegurar el cumplimiento de los requerimientos del código. Describe las variables esenciales, las no esenciales, y cuando se requiera las variables suplementarias esenciales de cada procedimiento de soldadura. Debe ser desarrollado en un formato en donde se diligencien todos los campos, y con la firma de validación por el responsable de soldadura.

2.12.2. Registro de la Calificación del Procedimiento o PQR (Procedure Qualification Record)

Documento que valida y califica un WPS; en él se registran los valores reales medidos de las variables del procedimiento de soldadura, mediante la ejecución de una soldadura de calificación en un cupón de prueba estandarizado; el PQR es el documento donde se registra los resultados a soldar y ensayar las probetas o cupones.

2.12.3. El registro de la Calificación de la Habilidad del Soldador o WPQR (Welder Performance Qualification Record)

Es un documento que registra los ensayos de calificación de desempeño requeridos por el código, para determinar la habilidad de los soldadores, para producir soldaduras sanas.

CAPITULO III

ENSAYOS EXPERIMENTALES

3.1. Maquinaria, Equipos, Herramientas

a) Fuente de poder

Para la soldadura (overlay) de las probetas, se utilizó una fuente de poder existente en el taller de soldadura de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, con las siguientes características:

- Marca: MILLER
- Modelo: XMT 304 CC.
- Salida nominal de corriente: 300 Amperios
- Gama de Voltaje: 10 – 35 Voltios.
- Gama de Amperaje: 5 - 400
- Máx Voltaje de circuito abierto CD: 90 V.

En la figura 13, se puede observar la fuente de poder usada.

Figura 13

Fuente de poder.



b) Durómetro Equotip 2

Es un durómetro portátil, liviano de gran uso para todos los materiales metálicos. Mide el valor de Leeb (L) para materiales, que es una relación entre la velocidad de impacto y la velocidad de rebote. Móvil y muy preciso, tiene un amplio rango de medición, desde blando hasta extremadamente duro. Con mediciones en segundos, el Equotip 2 puede mostrar lecturas en otros rangos de prueba de dureza HS, HV, HRB y HRC. Las mediciones de dureza se realizan mediante un método dinámico, que permite realizar pruebas en zonas de difícil acceso.

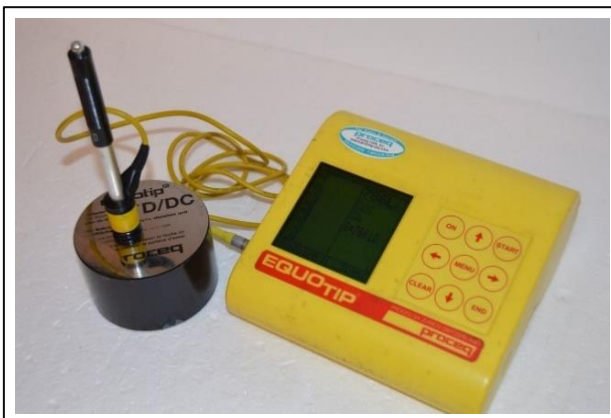
Características:

- Capacidad para realizar mediciones a mano alzada en piezas grandes.
- Rapidez y buena reproducibilidad gracias a una medición precisa de la distancia.
- Muy buena selectividad gracias a una pequeña penetración de unos pocos μm .
- Funcionamiento sencillo y cómodo.
- Conversiones integradas en otras escalas.

En la figura 14 se observa el equipo.

Figura 14

Durómetro Equotip 2



3.2. Material de Ensayo y Consumible

3.2.1. Material de Ensayo

Para la realización de las pruebas se utilizó el acero ASTM A285-B, su composición química y propiedades mecánicas se muestra en la tabla 1 y tabla 2 del capítulo II.

ASTM A285: especificación para aceros al carbono de baja e intermedia resistencia para uso en planchas de recipientes a presión;

3.2.2. Consumibles

Los consumibles utilizados para la experimentación fueron los siguientes:

- **E-316L-16**

Características:

Electrodo rutílico para soldar aceros inoxidable. El extra bajo contenido de carbono ($0,03\% > C$) disminuye la precipitación de carburos de cromo, característica importante en los inoxidables que van a estar expuestos a ácidos altamente corrosivos. El contenido Cr le confiere gran resistencia a la corrosión y oxidación inclusive a temperaturas elevadas, el contenido de Ni además de estabilizar la austenita mejora notablemente las propiedades mecánicas y el contenido de Mo mejora la resistencia a la corrosión en medios ácidos aumentando las características mecánicas. Es un electrodo clásico de estructura austeno-ferrítica, de gran resistencia a la fisuración en caliente. Su revestimiento especial le permite obtener depósitos de buen acabado, con fácil remoción de escoria y soldar con bajos amperajes. En la tabla 8 se muestra el análisis químico del metal depositado.

Tabla 8*Análisis químico del metal depositado (%)*

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0,03	0,80	0,70	máx. 0,025	máx. 0,020	2,5	12,00 14,00	17,00 20,00	-	-

Fuente: *Manual de soldadura*. Lima: Oerlikon. Obtenido de <https://es.slideshare.net/waqanky/manual-sold-oer-exsa>

- **E-309L-16**

Características:

Electrodo del tipo rutílico, de estructura austenítica con contenido de ferrita >9%, lo que le confiere alta resistencia a la fisuración. El material depositado posee características similares a un AISI 309 L. Presenta gran resistencia a la corrosión, fricción metal - metal y soporta altas temperaturas. EL INOX 309 ELC tiene excelentes propiedades mecánicas y se auto endurecen en trabajo. En la tabla 9 se muestra el análisis químico del metal depositado.

Tabla 9*Análisis químico del metal depositado (%)*

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
< 0,04	1,20	0,90	máx. 0.025	máx. 0.020	máx. 0,75	12,00 14,00	22,00 25,00	-	-

Fuente: *Manual de soldadura*. Lima: Oerlikon. Obtenido de <https://es.slideshare.net/waqanky/manual-sold-oer-exsa>

- **E-312-16**

Características:

Su depósito tiene una estructura austeno-ferrítica con Ferrita > 20%, insensible a la fisuración en caliente. El material depositado presenta una alta resistencia a la rotura y es muy empleado para soldar aceros de difícil soldabilidad y unir aceros disímiles. El revestimiento rutílico le permite obtener depósitos libres de poros y con buen acabado. El

INOX 29/9 es resistente al impacto, calor, corrosión y a la fricción metal - metal. Los depósitos son maquinables. En la tabla 10 se muestra el análisis químico del metal depositado.

Tabla 10

Análisis químico del metal depositado (%)

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0,10	1,00	0,90	máx. 0,025	máx. 0,020	0,5	10,00	29,00	-	-

Fuente: *Manual de soldadura*. Lima: Oerlikon. Obtenido de <https://es.slideshare.net/waqanky/manual-sold-oer-exsa>

- **E-308L-16**

Características:

Tiene una estructura austeno-ferrítica, exento de poros y buen acabado. Para soldar aceros inoxidable no estabilizados del grupo 18/8 y 19/9. El revestimiento rutílico le proporciona excelentes características de soldabilidad en corriente continua y corriente alterna, además de facilitar la operación del soldeo, tanto en soldadura de unión como en recargue. Debe soldarse con arco corto y con electrodos secos. Al realizar pulido espejo los cordones depositados se confunden con el metal base 18/8 ó 19/9. El INOX AW posee un contenido extra bajo de carbono (ELC) lo que le disminuye la posibilidad de precipitación de carburos de cromo. En la tabla 11 se muestra el análisis químico del metal depositado.

Tabla 11

Análisis químico del metal depositado (%)

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0,021	0,90	0,80	máx. 0,025	máx. 0,025	-	9,5	19	-	-

Fuente: *Manual de soldadura*. Lima: Oerlikon. Obtenido de <https://es.slideshare.net/waqanky/manual-sold-oer-exsa>

Oerlikon, (2008), las varillas (electrodos revestidos) tienen una longitud de 350 mm, para un electrodo de 1/8" de diámetro su tiempo de fusión es 1 minuto 48 segundos (108 segundos).

3.3. Soldabilidad de las Probetas

3.3.1. Características de las probetas

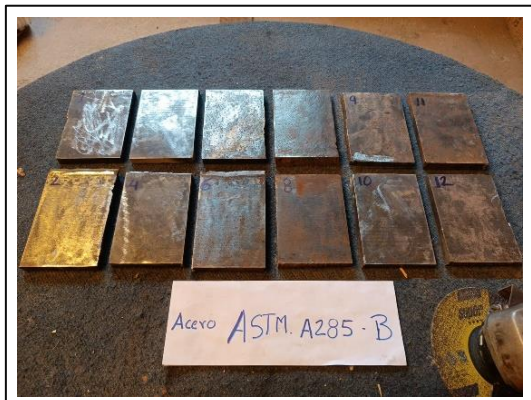
Las probetas tienen las siguientes características:

- Ancho: 150 mm
- Longitud: 200 mm
- Espesor: 3/16" (4.7625 mm)

En la figura 15, se observa las probetas para la prueba.

Figura 15

Probetas de prueba



3.3.2. Preparación de las probetas

a) Limpieza de las probetas.

Previo a la soldadura los probetas deben estar exentos de grasa, aceites, pintura, etc., con la finalidad de que los depósitos no sean contaminados y puedan producir

discontinuidades. En la figura 16 se observa haciendo la limpieza mecánica de una de las probetas.

Figura 16

Limpieza de la probeta



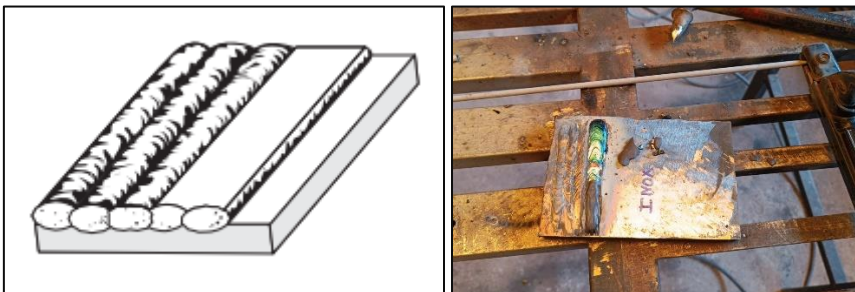
b) Soldadura del recubrimiento (overlay)

Para realizar el recubrimiento se tendrá en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Depositar un cordón a lo largo de la pieza, siguiendo una línea recta.
- Quitar la escoria antes de ejecutar el cordón siguiente.
- Depositar un segundo cordón paralelo al primero y solapándolo en un tercio de su ancho, tal como se observa en la figura 17.

Figura 17

Solapando un tercio del cordón anterior



- Depositar los cordones sucesivos en la misma forma hasta obtener una superficie lisa de metal depositado.

3.3.3. Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS) para las probetas de Experimentación

En la tabla 9, se detallan las condiciones de soldadura de las probetas.

Tabla 12

Condiciones de soldadura de las probetas

Probeta	Electrodo	Intensidad de corriente (A)	Densidad de corriente(V)	Veloc. De soldeo (mm/seg)
1	E-316L-16	60	20	3.24
2	E-316L-16	90	22	3.60
3	E-316L-16	120	24	3.90
1	E-309L-16	60	20	3.24
2	E-309L-16	90	22	3.60
3	E-309L-16	120	24	3.90
1	E-312-16	60	20	3.24
2	E-312-16	90	22	3.60
3	E-312-16	120	24	3.90
1	E-308L-16	60	20	3.24
2	E-308L-16	90	22	3.60
3	E-308L-16	120	24	3.90

En las tablas siguientes se detallan las condiciones de soldadura para cada uno de las probetas.

• **Electrodo E-316L-16**

Tabla 13

WPS para la probeta 1

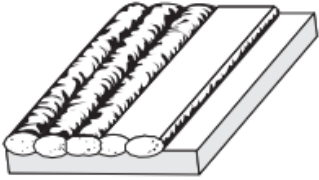
Facultad de Ingeniería Geológica, minas y metalurgia. Escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica									
Especificación del procedimiento de soldadura								WPS	
Institución:							Identificación N°:		Probeta 1
Proceso de soldadura:			SMAW				Soporte PQR N°:		PQR – 01
Tipo:	Manual:	X	Automático:		Semiautomático:			Maquina:	Miller-XMT 304 CC
Revisión:	00	Fecha:		12/12/2023		Revisado por:			
Diseño de la junta.					Posición				
Tipo de junta:					Ranura:		Filete:		
Tipo de soldadura:			Recubrimiento (overlay)		Plancha:		1G	Tubería:	
Abertura de raíz:					Características eléctricas				
Talón altura de raíz o talón:									
Angulo de ranura:									
Soporte:			No		Corriente: proceso SMAW				
Material de aporte:			E-316L-16		DC:		DCEP		X
Limpieza de la raíz:					Pulso:		DCEN		
Metal base					Técnica				
Datos	M.B.1		M.b.2		Aportación		Oscilación		Recta
Grupo:	1				Pase:		Múltiple		Simple
Especificación	ASTM A285				Limpieza en pases		Disco abrasivo.		
Grado:	B				Pre calentamiento				
Espesor:	4.725 mm				Temperatura de pre calentamiento:				--
Diámetro:					Temperatura interpase:				--
					Post calentamiento				
					Temperatura:		-----		Tiempo: -----
Metal de aporte					Protección				
Especificación:			A5.4		Fundente:		--		Gas: ---
Calificación AWS:			A5.4		Composición		--		Composición ---
Marca:			0erlikon						Vel. Flujo
Tamaño de alambre:			-----						
Procedimiento de soldadura									
N.º de pases	Proceso	Material de aporte		Corriente		Voltaje (v)	Vel. De desplazamiento. (mm/seg)		
		Clase	Diámetro	Tipo de Polaridad	Amperaje (a)				
1	SMAW	E-316L-16	1/8"	Dc+	60	20	3.24		
Detalles de la junta soldada									
									
Elaborado por:		David Montalvo S. Alisar Atayupanqui Z.			Fecha.		12/12/2023		
Revisado por:		Mgt. Ing. Eduardo F. Ortiz S.			Institución:		UNSAAC		

Tabla 14

WPS para la probeta 2

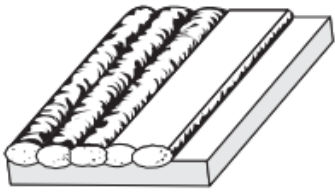
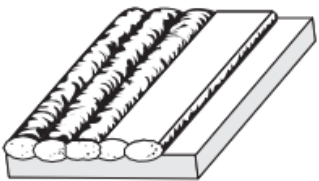
Facultad de Ingeniería Geológica, minas y metalurgia. Escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica									
Especificación del procedimiento de soldadura								WPS	
Institución:					Identificación N°:	Probeta 2			
Proceso de soldadura:		SMAW			Soporte PQR N°:		PQR – 01		
Tipo:	Manual:	X	Automático:		Semiautomático:		Maquina:		Miller-XMT 304 CC
Revisión:	00	Fecha:	12/12/2023		Revisado por:				
Diseño de la junta.					Posición				
Tipo de junta:					Ranura:			Filete:	
Tipo de soldadura:		Recubrimiento (overlay)			Plancha:	1G		Tubería:	
Abertura de raíz:					Características eléctricas				
Talón altura de raíz o talón:									
Angulo de ranura:									
Soporte:		No			Corriente: proceso SMAW				
Material de aporte:		E-316L-16			DC:			DCEP	X
Limpieza de la raíz:					Pulso:			DCEN	
Metal base					Técnica				
Datos	M.B.1	M.b.2		Aportación		Oscilación	Recta		X
Grupo:	1			Pase:		Múltiple	Simple		X
Especificación	ASTM A285-				Limpieza en pases		Disco abrasivo.		
Grado:	B				Pre calentamiento				
Espesor:	4.725 mm				Temperatura de pre calentamiento:			--	
Diámetro:					Temperatura interpase:			--	
					Post calentamiento				
				Temperatura:	-----		Tiempo:	-----	
Metal de aporte					Protección				
Especificación:		A5.4			Fundente:	--		Gas:	---
Calificación AWS:		A5.4			Composición	--		Composición	---
Marca:		0erlikon					Vel. Flujo		
Tamaño de alambre:		-----							
Procedimiento de soldadura									
N. de pases	Proceso	Material de aporte		Corriente		Voltaje (v)	Vel. De desplazamiento. (mm/seg)		
		Clase	Diámetro	Tipo de Polaridad	Amperaje (a)				
1	SMAW	E-316L-16	1/8"	Dc+	90	22	3.60		
Detalles de la junta soldada									
									
Elaborado por:	David Montalvo S. Alisar Atayupanqui Z.			Fecha.	12/12/2023				
Revisado por:	Mgt. Ing. Eduardo F. Ortiz S.			Institución:	UNSAAC				

Tabla 15

WPS para la probeta 3

Facultad de Ingeniería Geológica, minas y metalurgia. Escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica							
Especificación del procedimiento de soldadura							WPS
Institución:				Identificación N°:	Probeta 3		
Proceso de soldadura:	SMAW			Soporte PQR N°:	PQR – 01		
Tipo:	Manual:	X	Automático:	Semiautomático:		Maquina:	Miller-XMT 304 CC
Revisión:	00	Fecha:	12 /12/2023		Revisado por:		
Diseño de la junta.				Posición			
Tipo de junta:				Ranura:	Filete:		
Tipo de soldadura:				Recubrimiento (overlay)	Plancha:	1G	Tubería:
Abertura de raíz:				Características eléctricas			
Talón altura de raíz o talón:							
Angulo de ranura:							
Soporte:				No			
Material de aporte:				E-316L-16			
Limpieza de la raíz:				DC:			
				DCEP			
				X			
Metal base				Técnica			
Datos	M.B.1	M.b.2		Aportación	Oscilación	Recta	X
Grupo:	1			Pase:	Múltiple	Simple	X
Especificación	ASTM A285-			Limpieza en pases	Disco abrasivo.		
Grado:	B			Pre calentamiento			
Espesor:	4.725 mm			Temperatura de pre calentamiento:			--
Diámetro:				Temperatura interpase:			--
				Post calentamiento			
				Temperatura:	-----	Tiempo:	-----
Metal de aporte				Protección			
Especificación:	A5.4			Fundente:	--	Gas:	---
Calificación AWS:	A5.4			Composición	--	Composición	---
Marca:	0erlikon					Vel. Flujo	
Tamaño de alambre:	-----						
Procedimiento de soldadura							
N.- de pases	Proceso	Material de aporte		Corriente		Voltaje (v)	Vel. De desplazamiento. (mm/seg)
		Clase	Diámetro	Tipo de Polaridad	Amperaje (a)		
1	SMAW	E-316L-16	1/8"	Dc+	120	24	3.90
Detalles de la junta soldada							
							
Elaborado por:	David Montalvo S. Alisar Atayupanqui Z.		Fecha:	12/12/2023			
Revisado por:	Mgt. Ing. Eduardo F. Ortiz S.		Institución:	UNSAAC			

Electrodo E-309L-16

Tabla 16

WPS para la probeta 1

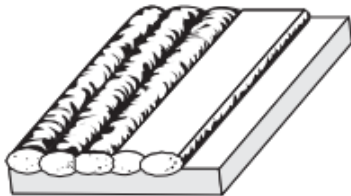
Facultad de Ingeniería Geológica, minas y metalurgia. Escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica							
Especificación del procedimiento de soldadura							WPS
Institución:				Identificación N°:	Probeta 1		
Proceso de soldadura:	SMAW			Soporte PQR N°:	PQR – 01		
Tipo:	Manual:	X	Automático:	Semiautomático:		Maquina:	Miller-XMT 304 CC
Revisión:	00	Fecha:	12/12/2023		Revisado por:		
Diseño de la junta.				Posición			
Tipo de junta:				Ranura:	Filete:		
Tipo de soldadura:		Recubrimiento (overlay)		Plancha:	1G	Tubería:	
Abertura de raíz:				Características eléctricas			
Talón altura de raíz o talón:							
Angulo de ranura:							
Soporte:		No		Corriente: proceso SMAW			
Material de aporte:		E-309L-16		DC:	DCEP		X
Limpieza de la raíz:				Pulso:	DCEN		
Metal base				Técnica			
Datos	M.B.1	M.B.2		Aportación	Oscilación	Recta	X
Grupo:	1			Pase:	Múltiple	Simple	X
Especificación	ASTM A285-			Limpieza en pases	Disco abrasivo.		
Grado:	B			Pre calentamiento			
Espesor:	4.725 mm			Temperatura de pre calentamiento:			--
Diámetro:				Temperatura interpase:			--
				Post calentamiento			
				Temperatura:	-----	Tiempo:	-----
Metal de aporte				Protección			
Especificación:		A5.4		Fundente:	--	Gas:	---
Calificación AWS:		A5.4		Composición	--	Composición	---
Marca:		0erlikon				Vel. Flujo	
Tamaño de alambre:		-----					
Procedimiento de soldadura							
N.º de pases	Proceso	Material de aporte		Corriente		Voltaje (v)	Vel. De desplazamiento. (mm/seg)
		Clase	Diámetro	Tipo de Polaridad	Amperaje (a)		
1	SMAW	E-309L-16	1/8"	Dc+	60	20	3.24
Detalles de la junta soldada							
							
Elaborado por:	David Montalvo S. Alisar Atayupanqui Z.		Fecha.	12/12/2023			
Revisado por:	Mgt. Ing. Eduardo F. Ortiz S.		Institución:	UNSAAC			

Tabla 17

WPS para la probeta 2

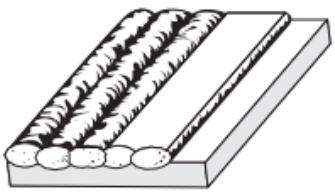
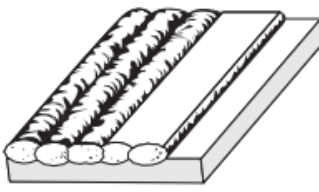
Facultad de Ingeniería Geológica, minas y metalurgia. Escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica							
Especificación del procedimiento de soldadura							WPS
Institución:				Identificación N°:	Probeta 2		
Proceso de soldadura:	SMAW			Soporte PQR N°:	PQR – 01		
Tipo:	Manual:	X	Automático:	Semiautomático:		Maquina:	Miller-XMT 304 CC
Revisión:	00	Fecha:	12 /12/2023		Revisado por:		
Diseño de la junta.				Posición			
Tipo de junta:				Ranura:	Filete:		
Tipo de soldadura:		Recubrimiento (overlay)		Plancha:	1G	Tubería:	
Abertura de raíz:				Características eléctricas			
Talón altura de raíz o talón:							
Angulo de ranura:							
Soporte:		No		Corriente: proceso SMAW			
Material de aporte:		E-309L-16		DC:	DCEP		X
Limpieza de la raíz:				Pulso:	DCEN		
Metal base				Técnica			
Datos	M.B.1	M.b.2		Aportación	Oscilación	Recta	X
Grupo:	1			Pase:	Múltiple	Simple	X
Especificación	ASTM A285-			Limpieza en pases	Disco abrasivo.		
Grado:	B			Pre calentamiento			
Espesor:	4.725 mm			Temperatura de pre calentamiento:			--
Diámetro:				Temperatura interpase:			--
				Post calentamiento			
				Temperatura:	-----	Tiempo:	-----
Metal de aporte				Protección			
Especificación:	A5.4			Fundente:	--	Gas:	---
Calificación AWS:	A5.4			Composición	--	Composición	---
Marca:	0erlikon					Vel. Flujo	
Tamaño de alambre:	-----						
Procedimiento de soldadura							
N.- de pases	Proceso	Material de aporte		Corriente		Voltaje (v)	Vel. De desplazamiento. (mm/seg)
		Clase	Diámetro	Tipo de Polaridad	Amperaje (a)		
1	SMAW	E-309L-16	1/8"	Dc+	90	22	3.60
Detalles de la junta soldada							
							
Elaborado por:	David Montalvo S. Alisar Atayupanqui Z.		Fecha:	12/12/2023			
Revisado por:	Mgt. Ing. Eduardo F. Ortiz S.		Institución:	UNSAAC			

Tabla 18

WPS para la probeta 3

Facultad de Ingeniería Geológica, minas y metalurgia. Escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica									
Especificación del procedimiento de soldadura								WPS	
Institución:					Identificación N°:	Probeta 3			
Proceso de soldadura:	SMAW				Soporte N°:	PQR – 01			
Tipo:	Manual:	X	Automático:		Semiautomático:			Maquina:	Miller-XMT 304 CC
Revisión:	00	Fecha:	12 /12/2023		Revisado por:				
Diseño de la junta.					Posición				
Tipo de junta:					Ranura:			Filete:	
Tipo de soldadura:			Recubrimiento (overlay)		Plancha:	1G		Tubería:	
Abertura de raíz:					Características eléctricas				
Talón altura de raíz o talón:									
Angulo de ranura:									
Soporte:			No		Corriente: proceso SMAW				
Material de aporte:			E-309L-16		DC:			DCEP	X
Limpieza de la raíz:					Pulso:			DCEN	
Metal base					Técnica				
Datos	M.B.1		M.b.2		Aportación	Oscilación		Recta	X
Grupo:	1				Pase:	Múltiple		Simple	X
Especificación	ASTM A285-				Limpieza en pases	Disco abrasivo.			
Grado:	B				Pre calentamiento				
Espesor:	4.725 mm				Temperatura de pre calentamiento:				--
Diámetro:					Temperatura interpase:				--
					Post calentamiento				
					Temperatura:	-----		Tiempo:	-----
Metal de aporte					Protección				
Especificación:	A5.4				Fundente:	--		Gas:	---
Calificación AWS:	A5.4				Composición	--		Composición	---
Marca:	0erlikon						Vel. Flujo		
Tamaño de alambre:	-----								
Procedimiento de soldadura									
N.- de pases	Proceso	Material de aporte		Corriente		Voltaje (v)	Vel. De desplazamiento. (mm/seg)		
		Clase	Diámetro	Tipo de Polaridad	Amperaje (a)				
1	SMAW	E-309L-16	1/8"	Dc+	120	24	3.90		
Detalles de la junta soldada									
									
Elaborado por:	David Montalvo S. Alizar Atayupanqui Z.			Fecha:	12/12/2023				
Revisado por:	Mgt. Ing. Eduardo F. Ortiz S.			Institución:	UNSAAC				

Electrodo E-312-16

Tabla 19

WPS para la probeta 1

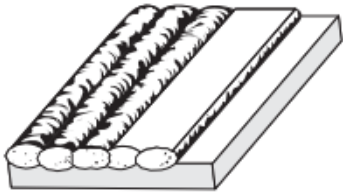
Facultad de Ingeniería Geológica, minas y metalurgia. Escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica							
Especificación del procedimiento de soldadura							WPS
Institución:				Identificación N°:	Probeta 1		
Proceso de soldadura:		SMAW		Soporte PQR N°:		PQR – 01	
Tipo:	Manual:	X	Automático:	Semiautomático:		Maquina:	Miller-XMT 304 CC
Revisión:	00	Fecha:	12/12/2023		Revisado por:		
Diseño de la junta.				Posición			
Tipo de junta:				Ranura:	Filete:		
Tipo de soldadura:		Recubrimiento (overlay)		Plancha:	1G	Tubería:	
Abertura de raíz:				Características eléctricas			
Talón altura de raíz o talón:							
Angulo de ranura:							
Soporte:		No		Corriente: proceso SMAW			
Material de aporte:		E-312-16		DC:	DCEP		X
Limpieza de la raíz:				Pulso:	DCEN		
Metal base				Técnica			
Datos	M.B.1	M.b.2		Aportación	Oscilación	Recta	X
Grupo:	1			Pase:	Múltiple	Simple	X
Especificación	ASTM A285-			Limpieza en pases	Disco abrasivo.		
Grado:	B			Pre calentamiento			
Espesor:	4.725 mm			Temperatura de pre calentamiento:			--
Diámetro:				Temperatura interpase:			--
				Post calentamiento			
				Temperatura:	-----	Tiempo:	-----
Metal de aporte				Protección			
Especificación:		A5.4		Fundente:	--	Gas:	---
Calificación AWS:		A5.4		Composición	--	Composición	---
Marca:		0erlikon				Vel. Flujo	
Tamaño de alambre:		-----					
Procedimiento de soldadura							
N.º de pases	Proceso	Material de aporte		Corriente		Voltaje (v)	Vel. De desplazamiento. (mm/seg)
		Clase	Diámetro	Tipo de Polaridad	Amperaje (a)		
1	SMAW	E-312-16	1/8"	Dc+	60	20	3.24
Detalles de la junta soldada							
							
Elaborado por:	David Montalvo S. Alisar Atayupanqui Z.		Fecha:	12/12/2023			
Revisado por:	Mgt. Ing. Eduardo F. Ortiz S.		Institución:	UNSAAC			

Tabla 20

WPS para la probeta 2

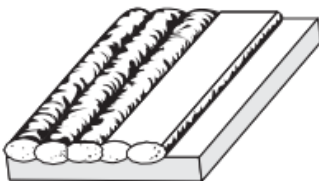
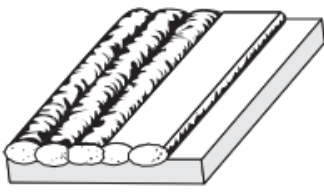
Facultad de Ingeniería Geológica, minas y metalurgia. Escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica							
Especificación del procedimiento de soldadura							WPS
Institución:				Identificación N°:	Probeta 2		
Proceso de soldadura:	SMAW			Soporte N°:	PQR – 01		
Tipo:	Manual:	X	Automático:	Semiautomático:		Maquina:	Miller-XMT 304 CC
Revisión:	00	Fecha:	12 /12/2023		Revisado por:		
Diseño de la junta.				Posición			
Tipo de junta:				Ranura:	Filete:		
Tipo de soldadura:				Recubrimiento (overlay)	Plancha:	1G	Tubería:
Abertura de raíz:				Características eléctricas			
Talón altura de raíz o talón:							
Angulo de ranura:							
Soporte:				No			
Material de aporte:				E-312-16			
Limpieza de la raíz:				DC:			
				DCEP			
				X			
Metal base				Técnica			
Datos	M.B.1	M.b.2		Aportación	Oscilación	Recta	X
Grupo:	1			Pase:	Múltiple	Simple	X
Especificación	ASTM A285-			Limpieza en pases	Disco abrasivo.		
Grado:	B			Precalentamiento			
Espesor:	4.725 mm			Temperatura de precalentamiento:			--
Diámetro:				Temperatura interpase:			--
				Postcalentamiento			
				Temperatura:	-----	Tiempo:	-----
Metal de aporte				Protección			
Especificación:	A5.4			Fundente:	--	Gas:	---
Calificación AWS:	A5.4			Composición	--	Composición	---
Marca:	Oerlikon					Vel. Flujo	
Tamaño de alambre:	-----						
Procedimiento de soldadura							
N.º de pases	Proceso	Material de aporte		Corriente		Voltaje (v)	Vel. De desplazamiento. (mm/seg)
		Clase	Diámetro	Tipo de Polaridad	Amperaje (a)		
1	SMAW	E-312-16	1/8"	Dc+	90	22	3.60
Detalles de la junta soldada							
							
Elaborado por:	David Montalvo S. Alisar Atayupanqui Z.		Fecha:	12/12/2023			
Revisado por:	Mgt. Ing. Eduardo F. Ortiz S.		Institución:	UNSAAC			

Tabla 21

WPS para la probeta 3

Facultad de Ingeniería Geológica, minas y metalurgia. Escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica							
Especificación del procedimiento de soldadura							WPS
Institución:				Identificación N°:	Probeta 3		
Proceso de soldadura:	SMAW			Soporte N°:	PQR – 01		
Tipo:	Manual:	X	Automático:	Semiautomático:		Maquina:	Miller-XMT 304 CC
Revisión:	00	Fecha:	12 /12/2023		Revisado por:		
Diseño de la junta.				Posición			
Tipo de junta:				Ranura:	Filete:		
Tipo de soldadura:				Recubrimiento (overlay)	Plancha:	1G	Tubería:
Abertura de raíz:				Características eléctricas			
Talón altura de raíz o talón:							
Angulo de ranura:							
Soporte:				No			
Material de aporte:				E-312-16			
Limpieza de la raíz:				DC:			
				DCEP			
				X			
Metal base				Técnica			
Datos	M.B.1	M.b.2		Aportación	Oscilación	Recta	X
Grupo:	1			Pase:	Múltiple	Simple	X
Especificación	ASTM A285-			Limpieza en pases	Disco abrasivo.		
Grado:	B			Precalentamiento			
Espesor:	4.725 mm			Temperatura de precalentamiento:			--
Diámetro:				Temperatura interpase:			--
				Postcalentamiento			
				Temperatura:	-----	Tiempo:	-----
Metal de aporte				Protección			
Especificación:	A5.4			Fundente:	--	Gas:	---
Calificación AWS:	A5.4			Composición	--	Composición	---
Marca:	0erlikon			Vel. Flujo			
Tamaño de alambre:	-----						
Procedimiento de soldadura							
N.- de pases	Proceso	Material de aporte		Corriente		Voltaje (v)	Vel. De desplazamiento. (mm/seg)
		Clase	Diámetro	Tipo de Polaridad	Amperaje (a)		
1	SMAW	E-312-16	1/8"	Dc+	120	24	3.90
Detalles de la junta soldada							
							
Elaborado por:	David Montalvo S. Alisar Atayupanqui Z.		Fecha:	12/12/2023			
Revisado por:	Mgt. Ing. Eduardo F. Ortiz S.		Institución:	UNSAAC			

Electrodo E-308L-16

Tabla 22

WPS para la probeta 1

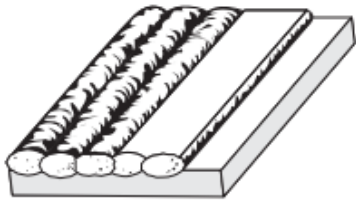
Facultad de Ingeniería Geológica, minas y metalurgia. Escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica							
Especificación del procedimiento de soldadura							WPS
Institución:				Identificación N°:	Probeta 1		
Proceso de soldadura:		SMAW		Soporte PQR N°:		PQR – 01	
Tipo:	Manual:	X	Automático:	Semiautomático:		Maquina:	Miller-XMT 304 CC
Revisión:	00	Fecha:	12/12/2023		Revisado por:		
Diseño de la junta.				Posición			
Tipo de junta:				Ranura:	Filete:		
Tipo de soldadura:		Recubrimiento (overlay)		Plancha:	1G	Tubería:	
Abertura de raíz:				Características eléctricas			
Talón altura de raíz o talón:							
Angulo de ranura:							
Soporte:		No		Corriente: proceso SMAW			
Material de aporte:		E-308L-16		DC:	DCEP		X
Limpieza de la raíz:				Pulso:	DCEN		
Metal base				Técnica			
Datos	M.B.1	M.b.2		Aportación	Oscilación	Recta	X
Grupo:	1			Pase:	Múltiple	Simple	X
Especificación	ASTM A285-			Limpieza en pases	Disco abrasivo.		
Grado:	B			Pre calentamiento			
Espesor:	4.725 mm			Temperatura de pre calentamiento:			--
Diámetro:				Temperatura interpase:			--
				Post calentamiento			
				Temperatura:	-----	Tiempo:	-----
Metal de aporte				Protección			
Especificación:		A5.4		Fundente:	--	Gas:	---
Calificación AWS:		A5.4		Composición	--	Composición	---
Marca:		0erlikon				Vel. Flujo	
Tamaño de alambre:		-----					
Procedimiento de soldadura							
N.º de pases	Proceso	Material de aporte		Corriente		Voltaje (v)	Vel. De desplazamiento. (mm/seg)
		Clase	Diámetro	Tipo de Polaridad	Amperaje (a)		
1	SMAW	E-308L-16	1/8"	Dc+	60	20	3.24
Detalles de la junta soldada							
							
Elaborado por:	David Montalvo S. Alisar Atayupanqui Z.		Fecha.	12/12/2023			
Revisado por:	Mgt. Ing. Eduardo F. Ortiz S.		Institución:	UNSAAC			

Tabla 23

WPS para la probeta 2

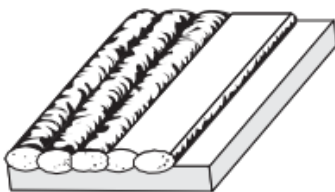
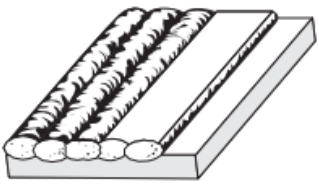
Facultad de Ingeniería Geológica, minas y metalurgia. Escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica									
Especificación del procedimiento de soldadura								WPS	
Institución:					Identificación N°:	Probeta 2			
Proceso de soldadura:	SMAW				Soporte N°:	PQR – 01			
Tipo:	Manual:	X	Automático:		Semiautomático:		Maquina:	Miller-XMT 304 CC	
Revisión:	00	Fecha:	12 /12/2023		Revisado por:				
Diseño de la junta.					Posición				
Tipo de junta:					Ranura:			Filete:	
Tipo de soldadura:			Recubrimiento (overlay)		Plancha:	1G		Tubería:	
Abertura de raíz:					Características eléctricas				
Talón altura de raíz o talón:									
Angulo de ranura:									
Soporte:			No		Corriente: proceso SMAW				
Material de aporte:			E-308L-16		DC:			DCEP	X
Limpieza de la raíz:					Pulso:			DCEN	
Metal base					Técnica				
Datos	M.B.1		M.b.2		Aportación		Oscilación	Recta	X
Grupo:	1				Pase:		Múltiple	Simple	X
Especificación	ASTM A285-				Limpieza en pases		Disco abrasivo.		
Grado:	B				Precalentamiento				
Espesor:	4.725 mm				Temperatura de precalentamiento:				--
Diámetro:					Temperatura interpase:				--
					Postcalentamiento				
					Temperatura:	-----		Tiempo:	-----
Metal de aporte					Protección				
Especificación:			A5.4		Fundente:	--		Gas:	---
Calificación AWS:			A5.4		Composición	--		Composición	---
Marca:			0erlikon				Vel. Flujo		
Tamaño de alambre:			-----						
Procedimiento de soldadura									
N.º de pases	Proceso	Material de aporte		Corriente		Voltaje (v)	Vel. De desplazamiento. (mm/seg)		
		Clase	Diámetro	Tipo de Polaridad	Amperaje (a)				
1	SMAW	E-308L-16	1/8"	Dc+	90	22	3.60		
Detalles de la junta soldada									
									
Elaborado por:	David Montalvo S. Alisar Atayupanqui Z.			Fecha.	12/12/2023				
Revisado por:	Mgt. Ing. Eduardo F. Ortiz S.			Institución:	UNSAAC				

Tabla 24

WPS para la probeta 3

Facultad de Ingeniería Geológica, minas y metalurgia. Escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica									
Especificación del procedimiento de soldadura								WPS	
Institución:					Identificación N°:	Probeta 3			
Proceso de soldadura:	SMAW				Soporte PQR N°:	PQR – 01			
Tipo:	Manual:	X	Automático:		Semiautomático:		Maquina:	Miller-XMT 304 CC	
Revisión:	00	Fecha:	12 /12/2023		Revisado por:				
Diseño de la junta.					Posición				
Tipo de junta:					Ranura:			Filete:	
Tipo de soldadura:			Recubrimiento (overlay)		Plancha:	1G		Tubería:	
Abertura de raíz:					Características eléctricas				
Talón altura de raíz o talón:									
Angulo de ranura:									
Soporte:			No		Corriente: proceso SMAW				
Material de aporte:			E-308L-16		DC:			DCEP	X
Limpieza de la raíz:					Pulso:			DCEN	
Metal base					Técnica				
Datos	M.B.1		M.b.2		Aportación	Oscilación		Recta	X
Grupo:	1				Pase:	Múltiple		Simple	X
Especificación	ASTM A285-				Limpieza en pases	Disco abrasivo.			
Grado:	B				Pre calentamiento				
Espesor:	4.725 mm				Temperatura de pre calentamiento:			--	
Diámetro:					Temperatura interpase:			--	
					Post calentamiento				
					Temperatura:	-----		Tiempo:	-----
Metal de aporte					Protección				
Especificación:	A5.4				Fundente:	--		Gas:	---
Calificación AWS:	A5.4				Composición	--		Composición	---
Marca:	0erlikon						Vel. Flujo		
Tamaño de alambre:	-----								
Procedimiento de soldadura									
N.- de pases	Proceso	Material de aporte		Corriente		Voltaje (v)	Vel. De desplazamiento. (mm/seg)		
		Clase	Diámetro	Tipo de Polaridad	Amperaje (a)				
1	SMAW	<i>E-308L-16</i>	1/8"	Dc+	120	24	3.90		
Detalles de la junta soldada									
									
Elaborado por:	David Montalvo S. Alisar Atayupanqui Z.			Fecha:	12/12/2023				
Revisado por:	Mgt. Ing. Eduardo F. Ortiz S.			Institución:	UNSAAC				

En base a estos WPS, se llegaron a deposita el recubrimiento, tal como se muestra en la figura 18.

Figura 18

Soldadura de las probetas



Para el calcular el calor aportado en la soldabilidad de las probetas se utilizó la ecuación 1 del capítulo II. En la tabla 25, se detallan los valores del calor aportado.

- **Electrodo E-316L-16**

- Probeta 1

$$H_{net} = \frac{60 \times 20}{3.24} \times 0.75 = 277.78 \text{ J/mm}$$

- Probeta 2:

$$H_{net} = \frac{90 \times 22}{3.60} \times 0.75 = 412.50 \text{ J/mm}$$

- Probeta 3:

$$H_{net} = \frac{120 \times 24}{3.90} \times 0.75 = 553.85 \text{ J/mm}$$

- **Electrodo E-309L-16**

- Probeta 1

$$H_{net} = \frac{60 \times 20}{3.24} \times 0.75 = 277.78 \text{ J/mm}$$

- Probeta 2

$$H_{net} = \frac{90 \times 22}{3.60} \times 0.75 = 412.50 \text{ J/mm}$$

- Probeta 3

$$H_{net} = \frac{120 \times 24}{3.90} \times 0.75 = 553.85 \text{ J/mm}$$

• **Electrodo E-312-16**

- Probeta 1

$$H_{net} = \frac{60 \times 20}{3.24} \times 0.75 = 277.78 \text{ J/mm}$$

- Probeta 2

$$H_{net} = \frac{90 \times 22}{3.60} \times 0.75 = 412.50 \text{ J/mm}$$

- Probeta 3

$$H_{net} = \frac{120 \times 24}{3.90} \times 0.75 = 553.85 \text{ J/mm}$$

• **Electrodo E-308L-16**

- Probeta 1

$$H_{net} = \frac{60 \times 20}{3.24} \times 0.75 = 277.78 \text{ J/mm}$$

- Probeta 2

$$H_{net} = \frac{90 \times 22}{3.60} \times 0.75 = 412.50 \text{ J/mm}$$

- Probeta 3

$$H_{net} = \frac{120 \times 24}{3.90} \times 0.75 = 553.85 \text{ J/mm}$$

Tabla 25*Valores de cálculo de calor aportado*

Probeta	Electrodo	Intensidad de corriente (A)	Tensión de corriente(V)	Veloc. de soldeo (mm/seg)	De <i>Calor neto aportado (j/mm)</i>
1	E-316L-16	60	20	3.24	227.78
2	E-316L-16	90	22	3.60	412.50
3	E-316L-16	120	24	3.90	553.85
1	E-309L-16	60	20	3.24	227.78
2	E-309L-16	90	22	3.60	412.50
3	E-309L-16	120	24	3.90	553.85
1	E-312-16	60	20	3.24	227.78
2	E-312-16	90	22	3.60	412.50
3	E-312-16	120	24	3.90	553.85
1	E-308L-16	60	20	3.24	227.78
2	E-308L-16	90	22	3.60	412.50
3	E-308L-16	120	24	3.90	553.85

3.3.4. Cálculo de la dilución

De acuerdo a los valores de calor neto, mostrados en la tabla 25, se calculó las áreas respectivas, para el cálculo del coeficiente de dilución. Dichos valores se muestran en la tabla 26.

Tabla 26*Valores del coeficiente de dilución*

Probeta	Electrodo	Calor neto aportado (j/mm)	Área del depósito (mm ²)	Área total del cordón de soldadura (mm ²)	Coeficiente de dilución (%)
1	E-316L-16	259.26	2.75	48.1	5.72
2	E-316L-16	385.00	9.5	52.3	18.16
3	E-316L-16	516.92	16.0	56.0	28.57
1	E-309L-16	259.26	3.0	48.00	6.25
2	E-309L-16	385.00	12.0	55.00	21.82
3	E-309L-16	516.92	18.0	57.0	31.58
1	E-312-16	259.26	3.0	42.1	7.13
2	E-312-16	385.00	11.0	54.0	20.37
3	E-312-16	516.92	20.0	62.0	32.26
1	E-308L-16	259.26	3.2	50.0	6.40
2	E-308L-16	385.00	14.0	58.0	24.14
3	E-308L-16	516.92	21.0	61.0	34.43

3.3.5. Cálculo de la composición química del electrodo seleccionado.

Para el cálculo de la composición química se calculó de acuerdo a la ecuación 3.

En la tabla 27 se tiene las composiciones químicas de la materia base, del recubrimiento a alcanzar y de los materiales de aporte disponibles.

Tabla 27

Composiciones químicas del material base, del tipo de recubrimiento a realizar y del material de aporte

<i>Material base</i>								
<i>Material</i>	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cr	% Ni	%Mo
<i>ASTM 285-B</i>	0.22	0.98	0.45	0.035	0.035	-----	-----	-----
<i>AISI 304</i>	0.08 Max.	2.0 Max.	0.75 max.	0.045	0.03	19.00	9.25	2.5
<i>Material de aporte</i>								
<i>E-316L-16</i>	0.03	0.80	0.70	0.025 max.	0.020 max.	17.0 20.0	12.0- 14.0	2.5
<i>E 309L-16</i>	< 0.04	1.2	0.90	0.025 max.	0.020 max.	22.0 - 25.0	12.0- 14.0	0.75 max.
<i>E 312-16</i>	0.10	1.0	0.90	0.025 max.	0.020 max.	29.0	10.0	0.5
<i>E 308L-16</i>	0.021	0.90	0.80	0.025 max.	0.025 max.	19.0	9.5	-----

Calculando los valores de los elementos de químicos del material de aporte.

- **Para E-316L-16:**

$$\%C = (0.08 - (0.1816 \times 0.22)) / (1-0.1816) = 0.049$$

$$\% Mn = (2.0 - (0.1816 \times 0.98)) / (1-0.1816) = 2.226$$

$$\% Si = (0.75 - (0.1816 \times 0.45)) / (1-0.1816) = 0.817$$

$$\% Cr = 20.25 / (1-0.1816) = 23.216$$

$$\% Ni = 19 / (1-0.1816) = 11.303$$

$$\% Mo = 2.5 / (1-0.1816) = 3.055$$

Para E-312-16

$$\%C = (0.08 - (0.2037 \times 0.22)) / (1-0.2037) = 0.044$$

$$\% Mn = (2.0 - (0.2037 \times 0.9)) / (1-0.2037) = 2.261$$

$$\% Si = (0.75 - (0.2037 \times 0.45)) / (1-0.2037) = 0.827$$

$$\% Cr = 19.00 / (1-0.2037) = 23.860$$

$$\% Ni = 9.25 / (1-0.2037) = 11.616$$

$$\% Mo = 2.5 / (1-0.2037) = 3.140$$

3.3.6. Ensayo de Dureza

Se realizaron ensayos de dureza en el recubrimiento (overlay) a las probetas seleccionadas, en la tabla 28, se muestra el resultado de la dureza del recubrimiento.

En la figura 19, se muestra la toma de prueba de dureza del recubrimiento.

Figura 19

Toma de dureza del recubrimiento

**Tabla 28**

Valores de la dureza del revestimiento

Probeta	Electrodo	Dureza HBW (Brinell)
2	E-316L-16	147
2	E-312-16	152

3.4. Resultados

3.4.1. Cálculo de calor neto

Tabla 29

Resultado de calor neto (J/mm)

<i>Probeta</i>	<i>Electrodo</i>	<i>Calor neto aportado (j/mm)</i>
1	E-316L-16	277.78
2	E-316L-16	412.50
3	E-316L-16	553.85
1	E-309L-16	277.78
2	E-309L-16	412.50
3	E-309L-16	553.85
1	E-312-16	277.78
2	E-312-16	412.50
3	E-312-16	553.85
1	E-308L-16	277.78
2	E-308L-16	412.50
3	E-308L-16	553.85

3.4.2. Cálculo de la dilución

Tabla 30

Resultado del coeficiente de dilución

# Probeta	Electrodo	Coeficiente de dilución (%)
1	E-316L-16	5.72
2	E-316L-16	18.16
3	E-316L-16	28.57
1	E-309L-16	6.25
2	E-309L-16	21.82
3	E-309L-16	31.58
1	E-312-16	7.13
2	E-312-16	20.37
3	E-312-16	32.26
1	E-308L-16	6.40
2	E-308L-16	24.14
3	E-308L-16	34.43

3.4.3. Resultados de Composición Química del Material de Aporte (Electrodo)

Tabla 31

Resultado de la composición química

Electrodo (dilución)	Composición química					
	% C	% Mn	% Si	% Cr	% Ni	% Mo
E-316L-16 (18.16%)	0.049	2.226	0.817	23.216	11.303	3.055
E-312-16 (20.37%)	0.044	2.261	0.827	23.860	11.616	3.140

3.4.4. Cálculo de la dureza

Tabla 32

Resultado de la dureza

Probeta	Electrodo	Dureza HBW (Brinell)
2	E-316L-16	147
2	E-312-16	152

3.4.5. Selección del consumible (electrodo)

Tabla 33

Resultado de la composición química

Electrodo (dilución)	Composición química					
	% C	% Mn	% Si	% Cr	% Ni	% Mo
E-316L-16 (18.16%)	0.049	2.226	0.817	23.216	11.303	3.055

3.5. Análisis de los Resultados

3.5.1. *Calor Neto o Calor Aportado*

De acuerdo a los resultados obtenidos, se asevera que el calor neto aumenta con el aumento de la intensidad de corriente.

3.5.2. *Dilución*

Dado que con el aumento de la intensidad de corriente aumenta el calor aportado, este también influye en los valores de la dilución, a mayores intensidades de corriente, mayor será la dilución. Para la selección del electrodo se ha tomado en cuenta las probetas que están en el rango recomendado de dilución (10 a 20 % de dilución).

3.5.3. *Composición Química*

La dilución varia de manera considerable en la composición química del metal de aporte.

Dado que el recubrimiento debe tener un depósito igual a la composición química del AISI 304 (acero inoxidable austenítico), comparando los valores de electrodos seleccionados, se ha determinado seleccionar el electrodo E-316L-16, por tener un bajo porcentaje de carbono, parecido al porcentaje de carbono del AISI 304.

3.5.4. *Dureza*

Midiendo la dureza del recubrimiento, se pudo determinar que la dureza del recubrimiento se incrementó ligeramente con respecto al metal base.

CONCLUSIONES

1. En el mercado nacional, existen algunos electrodos de acero inoxidable que si se pueden utilizar para realizar un depósito Overlay que contenga la composición química del acero AISI 304. En el mercado existen los electrodos E 316L-16, E 309L-16, E 312-16 Y E 308L-16.
2. La intensidad de corriente es una variable determinante en la consecución de la dilución, del cual dependerá la composición química del metal de aporte.
3. En el trabajo de investigación se ha hallado para el electrodo E-316L-16 tiene una dilución de 18.16% y para el electrodo E 312-16 se ha hallado 20.37%. Estos valores influyen en la composición química del desposito overlay sobre el acero ASTM 285-B.
4. En base a esta dilución se ha calculado la composición química del electrodo, cuyo valor es:

Electrodo (dilución)	Composición química del electrodo					
	% C	% Mn	% C	% Cr	% C	% Mo
E-316L-16 (18.16%)	0.049	2.226	0.817	23.216	11.303	3.055

De acuerdo a estos resultados, se ha seleccionado el electrodo E 316L-16, por contener menor porcentaje de carbono y manganeso. Así como cumplir con el rango de dilución para el proceso SMAW en depósitos Overlay.

RECOMENDACIONES

1. Realizar investigación sobre la influencia de las otras variables que afectan la dilución, tales como longitud de arco, polaridad, que tienen incidencia en la composición química del depósito de soldadura.
2. Realizar un análisis metalográfico y determinar la microestructura que tienen en el depósito, dado que se trata de soldadura disímil.
3. Evaluar la resistencia mecánica del depósito de soldadura disímil.
4. Para obtener una dilución adecuada en el proceso SMAW para depósitos overlay, se recomienda trabajar en un rango de intensidad de corriente de 85 a 95 amperios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASM Handbook. (1993). *Manual de ASM Volumen 6: Soldadura, soldadura fuerte y soldadura fuerte*. New York: ASM Internacional. Obtenido de <https://www.asminternational.org/wp-content/uploads/files/06480G/06480G-toc.pdf>
- ASM Handbook. (1994). *Manual ASM Volumen 5: Ingeniería de superficies* (Vol. vol. 05). New York: ASM, Surface Engineering,. Obtenido de <https://www.asminternational.org/wp-content/uploads/files/06125G/06125G-toc.pdf>
- Cary, H. (1992). *Manual de soldadura moderna*. Mexico: Prentice Hall.
- Di Caprio, G. (1999). *Los aceros inoxidables*. editorial Grupinox-milano.
- Exsa. (2015). *Manual de soldadura*. Lima: Oerlikon. Obtenido de <https://es.slideshare.net/waqanky/manual-sold-oer-exsa>
- Fosca, C. (2007). *Introducción a la Metalurgia de la Soldadura*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/476338671/Introduccion-a-la-Metalurgia-de-la-Soldadura-Carlos-Fosca-pdf>
- Gnee Steel. (25 de 01 de 2024). *Acero ASTM A285*. Obtenido de <https://gneesteelplate.com/astm-a285-steel/?network=g&xilie=search-ASTM-steel->
- Gualco, A. (2011). . *Efecto de los parámetros de soldadura sobre la microestructura y la resistencia al desgaste de recargues martensíticos depositados con alambres tubulares metal-cored*. Buenos Aires: Universidad De Buenos Aires - Facultad De Ingeniería. .
- Henry Guzman, G. S. (2015). *Evaluacion de procesos SMAW Y GMAW para la recuperacion de piezas demaquinaria pesada por recubrimientos duros*. UNSAAC, Cusco.
- Martin Delgado Loaiza. (2021). *Incremento de la resistencia al desgaste, por impacto y abrasión de los martillos de una chancadora artesanal con recubrimientos duros por el proceso SMAW*. UNSAAC, Cusco.
- Holmberg, K., & Matthews, A. (1994). *Coatings Tribology* (Second Edition ed.). Elsevier. Obtenido de https://users.encs.concordia.ca/~tmg/images/6/64/Coatings_Tribology.pdf
- Jeffus, L. (2009). *Soldadura, principios y aplicaciones*. España: COPYRIGHT 2009 Ediciones.
- Lincoln Electric. (2012). *Product and Procedure Selection*. The Welding Experts.
- Lopez Ibarra, A. (2012). *Influencia del coeficiente de dilucion sobre la dureza de la capa aportada en el relleno superficial*. Universidad Autonoma de Zacatecas, Mexico.
- Masabanda Santos , S. J., & Yauripoma Guacho, M. R. (2009). *Elaboración De Un Manual Para Prácticas De La Materia Teoría De Procesos De Soldadura*. Quito: Escuela Politécnica Nacional. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1492/1/CD-2174.pdf>

Oerlikon. (2008). *Manual de Soldadura & Catálogo de Productos*. Lima: Exsa. Obtenido de <https://www.soldaceros.com.pe/wp-content/uploads/2015/09/Manual-de-Soldadura-OERLIKON.pdf>

Society, A. W. (2012). *Manual de Soldadura*. México: Prentice-Hall Hispanoamerica S.A.

Sota Sol, K., Ríos Vizcaíno, Y., Cruz Crespo, A., & Rodríguez Peña, P. A. (25 de 01 de 2024). *Soldadura con electrodo revestido*. Obtenido de www.monografias.com: <https://www.monografias.com/trabajos82/soldadura-con-electrodo-revestido/soldadura-con-electrodo-revestido2>

ANEXOS

SMAW

Acero Inoxidable



INOX BW - ELC

Electrodo rutilico para soldar aceros inoxidable con contenidos de 16-20%Cr/10-14%Ni/2-3%Mo. El extra bajo contenido de carbono ($0,03\%>C$) disminuye la precipitación de carburos de cromo, característica importante en los inoxidable que van a estar expuestos a ácidos altamente corrosivos. El contenido Cr le confiere gran resistencia a la corrosión y oxidación inclusive a temperaturas elevadas, el contenido de Ni además de estabilizar la austenita mejora notablemente las propiedades mecánicas y el contenido de Mo mejora la resistencia a la corrosión en medios ácidos aumentando las características mecánicas. Es un electrodo clásico de estructura austeno-ferrítica, de gran resistencia a la fisuración en caliente. Su revestimiento especial le permite obtener depósitos de buen acabado, con fácil remoción de escoria y soldar con bajos amperajes.

Clasificación	
AWS A5.4 / ASME SFA-5.4	E316L-16

Análisis Químico de Metal Depositado (valores típicos) [%]

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0,03	0,80	0,70	máx. 0,025	máx. 0,020	2,5	12,00 14,00	17,00 20,00	-	-

Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

Tratamiento Térmico	Resistencia a la Tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía Absorbida ISO-V (+20°C) [J]
Sin tratamiento	560 – 660 (81 200 – 95 700)	> 380 (55 100)	> 30	> 50

Conservación del Producto	Posiciones de Soldadura
<ul style="list-style-type: none"> Mantener en un lugar seco y evitar humedad. Almacenamiento bajo horno: 50°C. Resecado de 300°C a 350°C por 2 horas. 	P, H, Va, Sc.

Parámetros de Soldeo Recomendados

Para corriente alterna(AC) o continua (DC): Electrodo al polo positivo DCEP								
Diámetro	[mm]	1,60	2,00	2,50	3,25	4,00	5,00	6,30
	[pulgadas]	1/16	5/64	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4
Amperaje mínimo		20	-	45	70	100	130	-
Amperaje máximo		30	-	80	120	140	180	-

Aplicaciones

- Para soldar aceros AISI 316 L, 317 L, 318 L.
- Para fabricar recipientes, ductos o tuberías que están expuestos a los ataques químicos por sales o ácidos, donde a la vez de resistencia a la tracción se requiere resistencia a la corrosión, oxidación y/o temperatura.
- Empleado en la industria petroquímica, farmacéutica, textil, alimenticia, etc.
- Usado como base para aplicar cierto tipo de recubrimientos protectores.
- Excelente comportamiento en aplicaciones criogénicas.

SMAW

Acero Inoxidable



INOX 309 ELC

Electrodo del tipo rutilico, de estructura austenítica con contenido de ferrita >9%, lo que le confiere alta resistencia a la fisuración. El material depositado posee características similares a un AISI 309 L. Presenta gran resistencia a la corrosión, fricción metal - metal y soporta altas temperaturas. EL INOX 309 ELC tiene excelentes propiedades mecánicas y se auto endurecen en trabajo.

Clasificación	
AWS A5.4 / ASME SFA-5.4	E309L-16

Análisis Químico de Metal Depositado (valores típicos) [%]

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
< 0,04	1,20	0,90	máx. 0.025	máx. 0.020	máx. 0,75	12,00 14,00	22,00 25,00	-	-

Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

Tratamiento Térmico	Resistencia a la Tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía Absorbida ISO-V (+20°C) [J]
Sin tratamiento	570 – 640 (82 650 – 92 800)	360 - 440 (92 200 - 63 800)	> 30	> 50

Conservación del Producto	Posiciones de Soldadura
<ul style="list-style-type: none"> Mantener en un lugar seco y evitar humedad. Almacenamiento bajo horno: 50°C. Resecado de 250°C a 300°C por 2 horas. 	P, H, Va, Sc.

Parámetros de Soldeo Recomendados

Para corriente continua (DC): Electrodo al positivo DCEP								
Diámetro	[mm]	1,60	2,00	2,50	3,25	4,00	5,00	6,30
	[pulgadas]	1/16	5/64	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4
Amperaje mínimo		-	-	60	90	100	-	-
Amperaje máximo		-	-	90	120	150	-	-

Aplicaciones

- Para soldar aceros inoxidable AISI 309 L y cualquiera del tipo 18/8, donde se requiera alta resistencia.
- Para relleno de ejes de acero al carbono o de baja aleación, donde se necesita, además de buena soldabilidad, buena resistencia a la fricción metálica.
- Ideal para realizar uniones discimiles entre acero al carbono con acero inoxidable y acero inoxidable austenítico con acero inoxidable ferrítico.
- Para soldar y recubrir aceros al manganeso y aceros de difícil soldabilidad.
- Para unir aceros al manganeso con aceros de baja aleación o aceros al carbono.
- Para revestimiento de torres de craqueo.
- Fabricación y reparación de cajas para carburación, tuberías para conducción de fluidos corrosivos, etc.

SMAW

Acero Inoxidable



INOX 29/9

Electrodo cuyo depósito tiene una estructura austeno-ferrítica con Ferrita > 20%, insensible a la fisuración en caliente. El material depositado presenta una alta resistencia a la rotura y es muy empleado para soldar aceros de difícil soldabilidad y unir aceros disímiles. El revestimiento rutilico le permite obtener depósitos libres de poros y con buen acabado. El INOX 29/9 es resistente al impacto, calor, corrosión y a la fricción metal - metal. Los depósitos son maquinables.

Clasificación

AWS A5.4 / ASME SFA-5.4	E312-16
-------------------------	---------

Análisis Químico de Metal Depositado (valores típicos) [%]

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0,10	1,00	0,90	máx. 0,025	máx. 0,020	0,5	10,00	29,00	-	-

Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

Tratamiento Térmico	Resistencia a la tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía absorbida ISO-V (+20°C) [J]
Sin tratamiento	740 - 840 (107 300 - 121 800)	> 600 (87 000)	> 25	-

Conservación del Producto

- Mantener en un lugar seco y evitar humedad.
- Almacenamiento bajo horno: 50°C.
- Resecado de 300°C a 350°C por 2 horas.

Posiciones de Soldadura

P, H, Va, Sc.



Parámetros de Soldeo Recomendados

Para corriente alterna(AC) o continua (DC): Electrodo al polo positivo DCEP								
Diámetro	[mm]	1,60	2,00	2,50	3,25	4,00	5,00	6,30
	[pulgadas]	1/16	5/64	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4
Amperaje mínimo	-	-	55	80	110	160	-	-
Amperaje máximo	-	-	85	120	150	220	-	-

Aplicaciones

- Electrodo especial ideal para labores de mantenimiento y reparación, en todos los sectores industriales.
- Para soldar aceros al carbono y aceros aleados con problemas de soldabilidad (aceros de difícil soldabilidad).
- Para soldar una gran variedad de aceros: herramientas, tratados térmicamente, inoxidable y rápidos.
- Ideal para soldar aceros disímiles, unir acero al carbono con acero inoxidable y planchas de acero galvanizado.
- Para recuperar ejes, matrices, moldes, herramientas, cadenas, engranajes, paletas de agitadores, cremalleras, tornillos extrusores y en general, piezas de alta resistencia.
- Como base para recubrimientos protectores especiales.
- Muy usado en la industria siderúrgica (resistente al descascaramiento hasta 110°C) para relleno de ejes, mandriles, rodillos, cama cojin para cuchilas de corte en caliente, etc.

SMAW

Acero Inoxidable



INOX AW

Material depositado de estructura austeno-ferrítica, exento de poros y buen acabado. Para soldar aceros inoxidables no estabilizados del grupo 18/8 y 19/9. El revestimiento rutílico le proporciona excelentes características de soldabilidad en corriente continua y corriente alterna, además de facilitar la operación del soldeo, tanto en soldadura de unión como en recargue. Debe soldarse con arco corto y con electrodos secos. Al realizar pulido espejo los cordones depositados se confunden con el metal base 18/8 ó 19/9. El INOX AW posee un contenido extra bajo de carbono (ELC) lo que le disminuye la posibilidad de precipitación de carburos de cromo.

Clasificación

AWS A5.4 / ASME SFA-5.4	E308L-16
-------------------------	----------

Análisis Químico de Metal Depositado (valores típicos) [%]

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0,021	0,90	0,80	máx. 0,025	máx. 0,025	-	9,5	19	-	-

Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

Tratamiento Térmico	Resistencia a la Tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía Absorbida ISO-V (+20°C) [J]
Sin tratamiento	550 – 650 (79 750 – 94 250)	> 350 (50 750)	> 35	> 50

Conservación del Producto

- Mantener en un lugar seco y evitar humedad.
- Almacenamiento bajo horno: 50°C.
- Resecado de 350°C a 370°C por 1 hora.

Posiciones de Soldadura

P, H, Va, Sc.



Parámetros de Soldeo Recomendados

Para corriente continua (DC): Electrodo al positivo DCEP								
Diámetro	[mm]	1,60	2,00	2,50	3,25	4,00	5,00	6,30
	[pulgadas]	1/16	5/64	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4
Amperaje mínimo		20	30	50	60	100	130	170
Amperaje máximo		30	60	80	120	140	180	250

Aplicaciones

- Para soldar aceros inoxidables no estabilizados, del tipo: AISI 301, 302, 304, 308, 301L, 302L, 304L y 308L.
- Para soldar cierto tipo de uniones en aceros disímiles.
- Como cama cojín (base) para la aplicación posterior de recubrimientos protectores.
- En la reconstrucción de equipos de minería, como por ejemplo para reconstruir bordes de cucharones de draga, palas, lápices, etc. Ideal para la soldadura de piezas de acero al manganeso.
- En la construcción de tanques, tuberías, ductos, empleados en la industria cervecera, lechera, textil y papelería.
- En la industria química o petroquímica, donde no se presenta corrosión excesiva.