

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



TESIS

**EFECTO DE LA SOLDADURA MULTIPASADAS EN LA COMPOSICION QUIMICA
DEL DEPOSITO DE SOLDADURA EN LA SOLDABILIDAD DEL ACERO ASTM A36
POR EL PROCESO SMAW (INVESTIGACION TECNOLOGICA)**

PRESENTADO POR:

Br. Anderson Patrick Bocangelino Letona

Br. Edyson Marcelino Camilla Huaman

**PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL
DE INGENIERO METALURGICO**

Asesor:

Mgt. Ing. Elías Teodoro Peña Peña

CUSCO – PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

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

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: EFEECTO DE LA SOLDADURA MULTIPASADAS EN LA COMPOSICION QUIMICA DEL DEPOSITO DE SOLDADURA EN LA SOLDABILIDAD DEL ACERO ASMTA36 POR EL PROCESO SMAW (INVESTIGACION TECNOLOGICA)

presentado por: ANDERSON PATRICK Borangelino Letona con DNI Nro.: 72566102 presentado por: EDYSON MARCELINO Camilla Huaman con DNI Nro.: 74554124 para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO METALÚRGO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 1 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, 28 de Octubre de 2024

Firma

Post firma Edyson Marcelino Camilla Huaman

Nro. de DNI 74554124

ORCID del Asesor 0000-0003-4529-0665

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: **oid:** 27259:372317350

NOMBRE DEL TRABAJO

EFFECTO DE LA SOLDADURA MULTIPASAS EN LA COMPOSICION QUIMICA DEL DEPOSITO DE SOLDADURA EN LA SOLD AB

AUTOR

Anderson Patrick Bocangelino L

RECUENTO DE PALABRAS

19307 Words

RECUENTO DE CARACTERES

103072 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

125 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

7.1MB

FECHA DE ENTREGA

Aug 10, 2024 5:58 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Aug 10, 2024 5:59 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
- 0% 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 e Ingeniería Metalúrgica.

Señores Docentes, Miembros del Jurado:

Cumpliendo con las disposiciones del Reglamento de Grados y Títulos vigente de la Escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica y con el objeto de optar al Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico, pongo a vuestra disposición la tesis colectiva intitulada: **EFFECTO DE LA SOLDADURA MULTIPASADAS EN LA COMPOSICION QUIMICA DEL DEPOSITO DE SOLDADURA EN LA SOLDABILIDAD DEL ACERO ASTM A36 POR EL PROCESO SMAW. (INVESTIGACION TECNOLOGICA)**

El presente trabajo de investigación sirve como una guía orientativa para quienes se dedican a la soldadura de mantenimiento, enfocándose en la realización de cordones múltiples y los efectos del calor sobre la composición química y propiedades mecánicas.

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso por haberme permitido llegar hasta este Punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, A mis padres Wilber y Magaly por darme la vida, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien. A mis hermanos Samir y Gareth por estar en esta etapa de vida que fue una lucha constante. A mis queridos abuelos Justino Bocangelino y Hilaria Salas quienes siempre me motivaron a seguir a delante con su enseñanza y perseverancia de no rendirme a pesar de las circunstancias. A mis tíos Fredy y Samuel que con su ejemplo me enseñaron a no caer y seguir adelante. A una persona muy especial mi enamorada Ximena quien desde el primer momento de preparación en mi vida universitaria siempre me empujo para no rendirme.

Anderson Patrick Bocangelino Letona.

A mis padres Marcelino y Vicentina por haberme forjado con buenos sentimientos, hábitos y valores lo cual me ayudo a seguir a delante en los momentos difíciles. A mis hermanos Yolanda, Maribel, Luis, Cesar y Edwin por el gran apoyo que me brindaron, por estar siempre conmigo. A mis familiares mis tías Celia, Nela, Marlene, Maritza, mis tíos Domingo, Hilario y Willy por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye esta etapa de mi vida. Me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

A mis compañeros y amigos presentes y pasados, quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento, alegrías y tristezas y a todas aquellas personas que durante todos estos años estuvieron a mi lado apoyándome y lograron que este sueño se haga realidad.

Edyson Marcelino Camilla Huamán

AGRADECIMIENTO

A nuestro señor de Qoyllorritry por brindarnos salud y bienestar para realizar todos nuestros sueños. Por haber permitido que estos años estuvieran llenos de experiencias, tristezas, alegrías, esfuerzo, amistades.

A nuestra alma mater la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, nuestra casa de educación superior, que nos ha acogido durante muchos años brindándonos los conocimientos necesarios para desempeñarnos en la profesión.

A la Facultad de Ingeniería Geología, Minas y Metalúrgica, en especial a la Escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica y al personal docente que la integra, gracias por su dedicación y paciencia al guiarnos y formarnos no sólo como futuros profesionales, sino también como buenas personas.

A nuestras familias por su apoyo pleno e incondicional en todas las etapas de nuestra educación y desarrollo personal a través de sus sabios consejos y palabras de aliento, importante impulso que nos llevó a la satisfactoria conclusión de este proyecto de investigación tecnológica.

A nuestro asesor de tesis ING. Elias Peña Peña, por su disposición a facilitarnos toda la información necesaria para el desarrollo de nuestro trabajo de tesis.

A todos nuestros amigos sin excluir a ninguno, en especial a Pfura, Cruz, Achahuanco, Pumacayo, mil gracias por todos los momentos compartidos, en especial esas noches de traspasnocho estudiando.

Br. Anderson Patrick Bocangelino Letona

Br. Edyson Marcelino Camilla Huamán

INDICE

PRESENTACIÓN.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO.....	v
INDICE	vi
Índice de tablas	x
Índice de figuras.....	xi
SIMBOLOGIA	xiii
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
CAPITULO I	1
FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	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 Social	2
1.3.3. Justificación Económica.....	3
1.3.4. Justificación Ambiental.....	3
1.4. Importancia.....	3
1.5. Objetivos General y Específicos.....	3
1.5.1. Objetivo General.....	3
1.5.2. Objetivos Específicos.....	4
1.6. Hipótesis.....	4
1.6.1. Hipótesis General.....	4
1.6.2. Hipótesis Específicas	4
1.7. Variables.....	5
1.7.1. Variable Dependiente.....	5
1.7.2. Variables Independientes	5

1.7.3.	Variables Operativas	5
1.8.	Tipo o Nivel de Investigación	5
1.8.1.	Exploratorio	5
1.8.2.	Descriptivo.	5
1.8.3.	Correlacional.	6
1.8.4.	Explicativa.	6
1.9.	Población y Muestra.....	6
1.9.1.	Población.....	6
1.9.2.	Muestra.....	6
1.10.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	6
1.10.1.	Técnicas.....	6
1.11.	Viabilidad.....	7
CAPITULO II.....		8
MARCO TEORICO.....		8
2.1.	Antecedentes Nacionales e Internacionales.....	8
2.1.1.	Antecedentes Nacionales.....	8
2.1.2.	Antecedentes Internacionales	8
2.2.	Acero Estructural ASTM A36.....	9
2.2.1.	Aplicaciones Del Acero ASTM A36	10
2.2.2.	Formas de presentación del acero estructural ASTM A36	11
2.2.3.	Propiedades Mecánicas y Composición Química.....	17
2.3.	Conceptos Básicos de Soldadura	18
2.3.1.	Definición de Soldadura.....	18
2.3.2.	Soldabilidad	19
2.3.2.1.	Tipos de soldabilidad.	19
2.4.	Procesos de Soldadura.....	21
2.4.1.	Proceso de Soldadura por Arco Eléctrico con Electrodo Revestido (SMAW)	21
2.4.1.1.	Definición y descripción del proceso SMAW.....	21
2.4.1.2.	Principios del Proceso SMAW	22
2.4.1.3.	Capacidades y Limitaciones del Proceso	23
2.4.1.4.	Fuentes de poder.....	24

2.4.1.5. Variables de soldadura del proceso.	24
2.5. Electrodos Revestidos	32
2.5.1. Características de los Electrodos	34
2.5.2. Interpretación de las Normas para Electrodos	36
2.6. Posiciones de Soldeo en las Juntas Soldadas	37
2.7. Tipos de Juntas	40
2.8. Zonas Metalúrgicas de la Soldadura	41
2.8.1. Zona Afectada por el Calor (ZAC)	43
2.8.2. El Metal Base.....	44
2.9. Factores que Influyen en los Cambios de Temperatura durante la Soldadura por Arco	44
2.10. Dilución	46
2.10.1. Variables de soldadura que afectan la dilución	49
2.11. Composición Química del Cordón de Soldadura	53
2.12. Calificación del Procedimiento	56
2.12.1. Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS)	56
2.12.2. Registro de Calificación del Procedimiento (PQR)	56
2.12.3. Calificación de Soldadores (WPQ).....	57
CAPITULO III.....	58
METODO EXPERIMENTAL.....	58
3.1. Maquinaria y equipos	58
3.2. Material de Ensayo y de Aporte	60
3.2.1. Material de Ensayo	60
3.2.2. Material de Aporte	60
3.3. Soldabilidad de los Cupones	62
3.3.1. Características de los Cupones	62
3.3.2. Preparación de las probetas	63
3.3.3. Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS) para los Cupones de Experimentación	65
3.4. Cálculo del Calor Neto Aportado	71
3.5. Cálculo del coeficiente de dilución.....	72
3.6. Determinación de la Composición Química.....	75

3.7. Control de Calidad de las probetas	77
3.8. Ensayo de Doblado Guiado de Cara y Raíz	83
3.9. Resultados obtenidos y su discusión.....	89
CONCLUSIONES	97
RECOMENDACIONES	98
BIBLIOGRAFIA	99
ANEXOS	100

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Clasificación de los aceros estructurales</i>	9
Tabla 2 <i>Propiedades mecánicas del acero ASTM A36</i>	18
Tabla 3 <i>Composición química del acero ASTM A36</i>	18
Tabla 4 <i>Comparación entre corriente continua y corriente alterna</i>	29
Tabla 5 <i>Valor de la constante k</i>	31
Tabla 6 <i>Función del revestimiento</i>	35
Tabla 7 <i>Eficiencias térmicas de diferentes procesos de soldadura</i>	45
Tabla 8 <i>Niveles de dilución de los procesos de soldadura</i>	48
Tabla 9 <i>Análisis químico del metal depositado (valores típicos) (%)</i>	61
Tabla 10 <i>Detalle de la junta a tope en V</i>	63
Tabla 11 <i>Valores del calor aportado (J/mm) en la soldadura de las probetas</i>	72
Tabla 12 <i>Resultados del cálculo de dilución</i>	74
Tabla 13 <i>Composición química del material base y material de aporte para el primer pase</i>	75
Tabla 14 <i>Composición química del primer depósito en las cinco probetas</i>	76
Tabla 15 <i>Composición química del metal base, primer depósito y metal de aporte</i>	76
Tabla 16 <i>Composición química del segundo depósito en las cinco probetas</i>	77
Tabla 17 <i>Composición química del tercer depósito en las cinco probetas</i>	77
Tabla 18 <i>Resultados del examen visual</i>	78
Tabla 19 <i>Visualización del examen por tintes penetrantes</i>	82
Tabla 20 <i>Valores de calor neto aportado en la soldadura de las probetas</i>	89
Tabla 21 <i>Inspección visual de los cupones</i>	90
Tabla 21 <i>Resultados de la inspección visual por tintes penetrantes (fluorescentes)</i>	92
Tabla 23 <i>Resultados del ensayo de dobléz</i>	94
Tabla 24 <i>Composición química del primer depósito</i>	95
Tabla 25 <i>Composición química del segundo depósito</i>	95
Tabla 26 <i>Composición química del tercer depósito</i>	95

Índice de figuras

Figura 1 <i>Ángulo estructural en forma de “L”</i>	12
Figura 2 <i>Vigas “H”</i>	12
Figura 3 <i>Vigas en forma de “U”</i>	13
Figura 4 <i>Perfil en “T”</i>	14
Figura 5 <i>Barra redonda lisa y pulida</i>	14
Figura 6 <i>Pletina</i>	15
Figura 7 <i>Pletina</i>	16
Figura 8 <i>Barra hexagonal</i>	16
Figura 9 <i>Chapas</i>	17
Figura 10 <i>Clasificación de los procesos de soldadura y de corte</i>	21
Figura 11 <i>Características del acero y de la soldadura bajo diferentes condiciones</i>	25
Figura 12 <i>Designación del electrodo – Segun AWS</i>	36
Figura 13 <i>Posiciones de soldadura en chapas a tope</i>	38
Figura 14 <i>Posiciones de soldadura en chapas en ángulo</i>	39
Figura 15 <i>Posiciones de soldadura en tubos a tope</i>	40
Figura 16 <i>Tipos de junta</i>	41
Figura 17 <i>Principales zonas de la soldadura</i>	42
Figura 18 <i>Regiones de la zona de fusión</i>	42
Figura 19 <i>Regiones de la zona afectada por el calor</i>	43
Figura 20 <i>Zonas de un depósito de soldadura para el cálculo de la dilución</i>	47
Figura 21 <i>Esquema de dilución de un cordón de soldadura en multipasadas</i>	49
Figura 22 <i>Tipos de oscilación y su efecto en el cordón de soldadura</i>	51
Figura 23 <i>Efecto de la velocidad de avance sobre la dilución</i>	52
Figura 24 <i>Cálculo de dilución entre dos metales disimiles</i>	52
Figura 25 <i>Fuente de poder</i>	59
Figura 26 <i>Equipo de dobléz</i>	59
Figura 27 <i>Kit de tintes penetrantes</i>	60
Figura 28 <i>Probetas de ensayo con su identificación</i>	62
Figura 29 <i>Junta a tope en “V”</i>	63
Figura 30 <i>Preparación de los cupones</i>	64

Figura 31 <i>Preparación de los pares de las probetas.</i>	64
Figura 32 <i>Soldadura de las probetas.</i>	71
Figura 33 <i>Áreas para cálculo de la dilución.</i>	73
Figura 34 <i>Kit de tintes penetrantes.</i>	78
Figura 35 <i>Limpieza química del depósito de soldadura.</i>	79
Figura 36 <i>Rociado con tinte penetrante.</i>	80
Figura 37 <i>Limpieza del exceso de penetrante.</i>	80
Figura 38 <i>Aplicación del tinte revelador</i>	81
Figura 39 <i>Visualización de posibles discontinuidades.</i>	82
Figura 40 <i>Selección de la probeta para la prueba de dobléz.</i>	83
Figura 41 <i>Aplicación de carga en la parte central de la probeta.</i>	84
Figura 42 <i>Secuencia de la prueba de dobléz.</i>	88
Figura 43 <i>Socavadura presente en la probeta 5.</i>	92

SIMBOLOGIA

MIG = Soldadura gas inerte. (Metal inert gas)

MAG = Soldadura gas active

TIG = Tungsteng inerte gas

SMAW = Shield metal arc welding (soldadura por arco electrodo revestivo)

AWS= Sociedad americana de soldadura (American Welding Society)

mm = Milimetro.

CC = Corriente continua.

CA= Corriente alterna.

ANSI= Instituto americano de normas nacionales (American national standards institute)

ZF = Zona de fusión.

ZAC = Zona afectada por el calor.

MB = Metal base.

H= Energía de soldeo, en J/mm

V = voltios.

A = Amperios

v = velocidad de soldeo.

Hnet = energía aportada neta.

t = Espesor de la chapa a soldar.

CDEN = Corriente directa electrodo al polo negativo.

CDEP = Corriente directa electrodo al polo positivo.

HB = Dureza Brinell

h = Altura.

X_f = Porcentaje medio del elemento X en el metal de aporte (a determinar)

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

I = Intensidad de corriente (Amp)

d = Diámetro de electrodo (mm)

k = Constante que depende del tipo de electrodo

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación establece un estudio de la influencia de la soldadura multipasadas en la composición química del metal depositado en la soldadura del acero ASTM A36. Para realizar el trabajo de investigación, se seleccionaron 5 pares de probetas de acero ASTM A36, a los cuales se soldaron tres depósitos con diferentes valores de intensidad de corriente. Posteriormente se evaluó la sanidad de la soldadura con ensayos no destructivos, de inspección visual y líquidos penetrantes y el ensayo destructivo de doblado de raíz y cara, determinándose que las probetas uno y cinco presentaban discontinuidades, las probetas dos, tres y cuatro no presentaban discontinuidades. Mediante fórmulas se determinó la composición química de las probetas en los diferentes pases o depósitos de soldadura, determinándose que la soldadura multipasadas afecta la composición química del depósito de soldadura, determinándose que a mayor intensidad de corriente existe mayor fusión del metal base y por ende variable composición química.

Palabras clave: Soldadura multipasadas, SMAW, intensidad de corriente, dilución, Acero ASTM A36.

ABSTRACT

In the present research work, a study of the influence of multi-pass welding on the chemical composition of the metal deposited in the welding of ASTM A36 steel is established. To carry out the research work, 5 pairs of ASTM A36 steel specimens were selected, to which three tanks with different current intensity values were welded. Subsequently, the health of the weld was evaluated with non-destructive tests, visual inspection and penetrating liquids and the destructive test of root and face bending, determining that specimens one and five presented discontinuities, specimens two, three and four did not present discontinuities. . Using formulas, the chemical composition of the specimens in the different passes or welding deposits was determined, determining that multi-pass welding affects the chemical composition of the welding deposit, determining that the higher the current intensity, the greater the fusion of the base metal and therefore variable chemical composition.

Keywords: Multipass welding, SMAW, current intensity, dilution, ASTM A36 Steel.

CAPITULO I

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

El acero estructural ASTM A-36, constituye una categoría importante de los aceros, la producción mundial de este tipo de aceros se estima que es bastante alta por el uso en estructuras en sus diversas formas que incluyen planchas, perfiles estructurales, tubos, barras, laminas.

Su aplicación se basa en construcción de estructuras metálicas, puentes, torres de energía, torres para comunicación y edificaciones remachadas, atornilladas o soldadas, etc. Los aceros ASTM A-36 son un 20% más livianos que corresponderían a aceros al carbono para la misma resistencia.

En la región del Cusco, existen una gran cantidad de empresas que se dedican a la fabricación de estructuras metálicas mediante la soldadura, pero la soldadura es realizada sin ningún tipo de conocimiento científico, es decir se ejecuta sin tomar en cuenta la participación de las diferentes variables de soldadura. En la soldadura del acero de espesores gruesos, se requiere depositar varios cordones, esto implica que los depósitos de soldadura tienen composiciones químicas diferentes, lo que se traducirá también en cambio de propiedades mecánicas. Sin el conocimiento de la composición química del metal depositado se estaría poniendo en peligro el colapsamiento de las estructuras metálicas y disminuyendo las posibilidades de desarrollo y mejoramiento empresarial.

De aquí que el presente trabajo expone una propuesta para conocer el efecto que puede tener las soldaduras multipasadas en la composición química del depósito de soldadura en el acero ASTM A36 ejecutado por el proceso SMAW.

1.2. Formulación del Problema Objeto de Investigación

1.2.1. Problema General

¿Cómo influirá la soldadura multipasadas en la composición química del metal depositado del acero ASTM A-36 por el proceso SMAW?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cómo influirá la intensidad de corriente en la composición química del acero ASTM A-36 por el proceso SMAW?
- ¿Cómo influirá la dilución en la composición química del acero ASTM A-36 por el proceso SMAW?
- ¿Cómo influirá la cantidad del metal base fundido en el efecto de la composición química con la soldabilidad del acero ASTM A-36 por el proceso SMAW?

1.3. Justificación e Importancia

1.3.1. Justificación Tecnológica

En el aspecto tecnológico, permite el desarrollo de conocimiento propio y tecnología aplicable a las condiciones propias. Aspecto que nos da la oportunidad de conocer la influencia de la dilución en la composición química del metal depositado, lo que implica un cambio de sus propiedades mecánicas.

1.3.2. Justificación Social

En lo social, nos permite preparar cuadros de recursos humanos para atender esta necesidad. Así mismo, este aspecto nos permite ampliar el mercado ocupacional, generando más empleo y consecuentemente, contribuir a mejorar la calidad de vida y bienestar social.

1.3.3. Justificación Económica

En lo económico favorece al desarrollo local, porque contribuye al crecimiento global. La diversificación de la actividad industrial promoviendo la manufactura y mantenimiento, el cual va permitir el ingreso de recursos económicos de los actores.

1.3.4. Justificación Ambiental

Como parte del programa de prevención y conservación del medio ambiente se considera muy importante el cumplimiento de las normativas vigentes. La tecnología que se plantea desarrollar, proporciona la reducción del impacto de desechos metálicos, lo cual contribuye a reducir el impacto ambiental.

1.4. Importancia

El presente trabajo de investigación reviste importancia porque contribuye a tomar en cuenta la influencia de los depósitos multipasadas en la composición química del depósito final. Indudablemente que habrá una variación de la composición química y este incidirá en un cambio de propiedades mecánicas, de esa manera se tomará en cuenta este aspecto para evitar posibles fallas de las piezas soldadas.

1.5. Objetivos General y Específicos

1.5.1. Objetivo General

Determinar la influencia de la soldadura multipasadas en la composición química del depósito en la soldadura del acero ASTM A 36 por el proceso SMAW.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Determinar la influencia de la intensidad de corriente, longitud de arco y velocidad de avance en la composición química del depósito en la soldadura del acero ASTM A 36 por el proceso SMAW.
- Determinar la influencia de la dilución en la composición química del depósito en la soldadura del acero ASTM A 36 por el proceso SMAW.
- Determinar la influencia del porcentaje de fusión del metal base y del material de aporte en la composición química del depósito en la soldadura del acero ASTM A-36 por el proceso SMAW.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis General

La soldadura multipasadas determina un cambio en la composición química del metal depositado en la soldadura del acero ASTM A36 por el proceso SMAW.

1.6.2. Hipótesis Específicas

- La intensidad de corriente aplicado en los cordones multipasadas determina un cambio en la composición química del metal depositado en la soldadura del acero ASTM A36 por el proceso SMAW.
- El coeficiente de dilución influye en la composición química del depósito de soldadura en la soldadura del acero ASTM A36 por el proceso SMAW.
- La composición química del metal base y del metal de aporte influyen en la composición química del depósito de soldadura en la soldadura del acero ASTM A36 por el proceso SMAW.

1.7. Variables

1.7.1. Variable Dependiente

Composición química depósito de soldadura.

1.7.2. Variables Independientes

- Composición química del metal base
- Composición química del metal de aporte
- Coeficiente de dilución.

1.7.3. Variables Operativas

- Humedad Ambiental
- Temperatura ambiental.

1.8. Tipo o Nivel de Investigación

1.8.1. Exploratorio

Se investigará todo y cada uno de los detalles del trabajo, para esto se indagará en cada uno de los parámetros de análisis generando hipótesis y reconociendo las variables de interés investigativo.

1.8.2. Descriptivo.

Esta investigación se la realiza describiendo el problema en una circunstancia espacial determinada, además esta investigación será la más adecuada para la problemática de la investigación, por su origen y su desarrollo.

1.8.3. Correlacional.

En este tipo de investigación va a tener como finalidad determinar el grado de relación o sociedad no causal, existente entre dos o más variables evaluando la hipótesis, sujeta a comprobación.

1.8.4. Explicativa.

La investigación intenta informar de un aspecto de la realidad, explicando su significatividad dentro de una teoría de referencia encargada de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto.

1.9. Población y Muestra

1.9.1. Población

Aceros al Carbono

1.9.2. Muestra

Se usarán cinco (5) pares de probetas de acero estructural ASTM A36.

1.10. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

1.10.1. Técnicas

Se usará la técnica de la inspección visual, dado que las probetas serán objeto de ensayos no destructivos y destructivo. Esta información será sistematizada, analizada, procesada e interpretada para la obtención pertinente de las conclusiones inherentes al tema.

1.11. Viabilidad

Es factible la realización del presente trabajo de investigación. Se dispone de los materiales necesarios como los instrumentos.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes Nacionales e Internacionales

2.1.1. Antecedentes Nacionales

a) Según Pajuelo (2009), en su tesis que tuvo como objetivo evaluar los procesos de soldadura GTAW con y sin material de aporte en planchas de acero estructural, concluye manifestando que los ensayos de tracción indican que, si bien es cierto que hay una pérdida de ductilidad, esta no es significativa pues no presentan fisuras ni agrietamiento después del ensayo de doblado. El proceso de soldadura GTAW sin material de aporte alcanza y hasta supera las características de las uniones soldadas con material de aporte por los resultados de los ensayos en las probetas realizadas, por lo tanto, el uso de este proceso sin material de aporte es beneficioso porque abarata costos al no utilizar material de aporte y aumenta la velocidad de producción.

2.1.2. Antecedentes Internacionales

a) Velastegui (2014) en su investigación el cual tuvo como objetivo estudiar los procesos de soldadura SMAW y GMAW sobre acero ASTM A 36, A- 500 y su incidencia en las propiedades mecánicas en las juntas soldadas de la estructura de buses: el presente investigador concluye afirmando que el Acero ASTM A-500 soldado con Electrodo E-6011 (proceso SMAW) presenta mejores propiedades mecánicas que al soldarlo con alambre ER70S-6 con gas de protección CO₂ (proceso GMAW). El Acero ASTM A 36 soldado mediante el proceso GMAW presenta una resistencia a la tracción y un porcentaje de elongación mayor que cuando soldamos este acero

mediante el proceso SMAW. Además, se comprobó que la resistencia a la tracción y el porcentaje de elongación del acero ASTM A-500 soldado mediante el proceso SMAW es mayor pero no de manera significativa frente al acero ASTM A-500 soldado mediante el proceso GMAW.

2.2. Acero Estructural ASTM A36

El grupo de aceros ASTM A36, son parte de los denominados aceros estructurales, como se observa en la tabla 1. Son utilizados en la industria de la construcción y manufactura de estructuras sometidas a esfuerzos.

Presentan buena soldabilidad, buena resistencia mecánica, trabajabilidad, disponibilidad y mucho más aún tienen relativo bajo costos, factores que le otorgan propiedades adecuadas y propicias para su aplicación para la fabricación de estructuras de trascendental importancia para la industria y el desarrollo social, tales como puentes, maquinaria, transporte automotriz, transporte ferroviario, naval, aeronáutica, torres para transmisión de energía eléctrica, etc.

Tabla 1

Clasificación de los aceros estructurales

Designación de la ASTM	Tipo de Acero	Formas	Usos Recomendados	Esfuerzo mínimo de fluencia Fy, en ksi	Resistencia mínima especificada a la tensión Fu, en ksi
A36	Al carbono	Perfiles, barras y placas	Edificios, puentes y otras estructuras atornilladas soldadas	36, pero 32 si su espesor es mayor de 8 pulg	58-80
A529	Al carbono	Perfiles y placas hasta ½ pulg	Similar al A36	42-50	60-100
A572	Columbio-vanadio de alta resistencia y baja aleación	Perfiles, placas y barras	Construcciones soldada o atornillada, No para puentes soldados con Fy grado 55 o menor.	42-65	60-80

		hasta de 6 pulg.			
A242	De alta resistencia, baja aleación y resistente a la corrosión.	Perfiles, placas y barras hasta de 5 pulg.	Construcciones atornilladas, soldadas o remachadas; técnica de soldado muy importante.	42-50	63-70
A588	De alta resistencia baja aleación y resistente a la corrosión atmosférica	Placas y barras hasta de 4 pulg.	Construcción atornillada	42-50	63-70
A852	Aleación templada y revenida	Placas solo de 2.5 a 6 Pulg.	Construcción soldada o atornillada, principalmente para puentes y edificios soldados. Proceso de soldadura de importancia fundamental.	70	90-110
A514	Baja aleación templada y revenida	Placas solo de 2.5 a 6 Pulg.	Estructura soldada con gran atención a la técnica; no se recomienda si la ductilidad es importante.	90-100	100-130

Nota: Tomada de (Aceros Arequipa , 2020)

“Se reconoce el acero A36 como un acero suave por su contenido de carbono. El acero galvanizado se crea cuando el acero recibe un baño de zinc para mejorar la duración. Resiste a la abrasión y corrosión, no requiere de mantenimiento” (Paredes Balseca, 2017)

2.2.1. Aplicaciones Del Acero ASTM A36

Este acero tiene gran variedad de aplicación en distintas industrias. Algunas aplicaciones son las siguientes:

- Estructura para edificios.
- Estructuras para instalaciones industriales y deportivas.
- Cables para puentes (colgantes, atornilladas, remachados y soldados).

- Estructuras para plataformas petroleras.
- Estructuras de tanques, carcasas, moldes, matrices.
- Láminas plegadas para techos.
- Mallas electro soldadas.
- Etc.

2.2.2. Formas de presentación del acero estructural ASTM A36

El acero ASTM A36 se produce en amplia gama de formas e incluyen:

- Planchas
- Perfiles estructurales con diferentes secciones.
- Tubos
- Barras
- Láminas

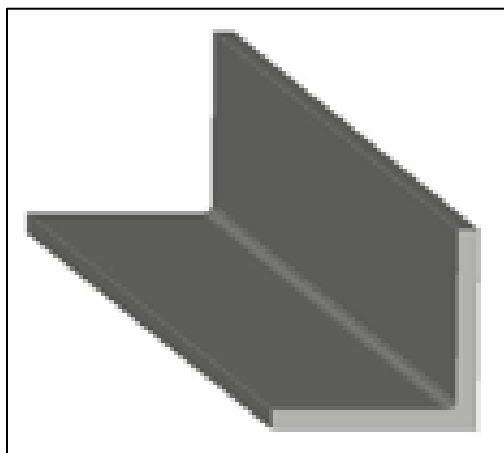
Tienen las siguientes presentaciones:

- **Ángulos en forma de “L”**

Los ángulos estructurales en “L” son productos laminados en caliente. Su presentación transversal forma dos alas con ángulo recto. Se emplean para la fabricación de estructuras para edificaciones, automotriz, grúas, puertas, rejacería, señaléticas, soportes, techados, torres de transmisión, ventanas, entre otros. En la figura 1, se observa este tipo de presentación.

Figura 1

Ángulo estructural en forma de “L”



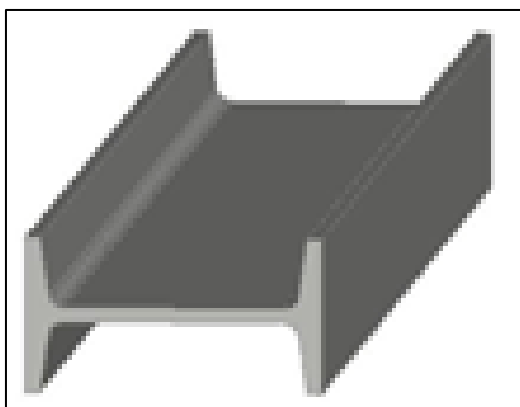
Nota: Extraído de (Aceros Arequipa , 2020)

- **Vigas en forma de “H”**

Las vigas son productos de sección transversal en H, obtenidos por laminación en caliente, soportan altas cargas principalmente por su gran resistencia a la flexión. Estos perfiles son de gran uso en las edificaciones. También tienen amplia aplicación en las estructuras para el sector industrial. Este producto se observa en la figura 2.

Figura 2

Vigas “H”



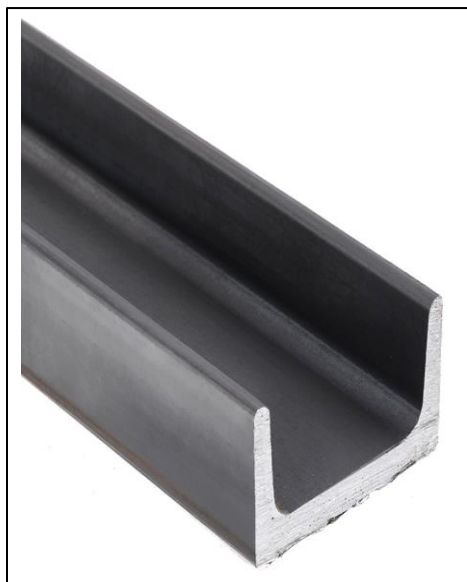
Nota: Extraído de (Aceros Arequipa , 2020)

- **Canales U**

Elaborado por laminación en caliente. La sección transversal presenta la forma de la letra “U”. “Los principales usos incluyen la fabricación de estructuras de vigas, viguetas, carrocerías, cerchas, canales, etc.” (Paredes Balseca, 2017). Este producto se muestra en la figura 3.

Figura 3

Vigas en forma de “U”



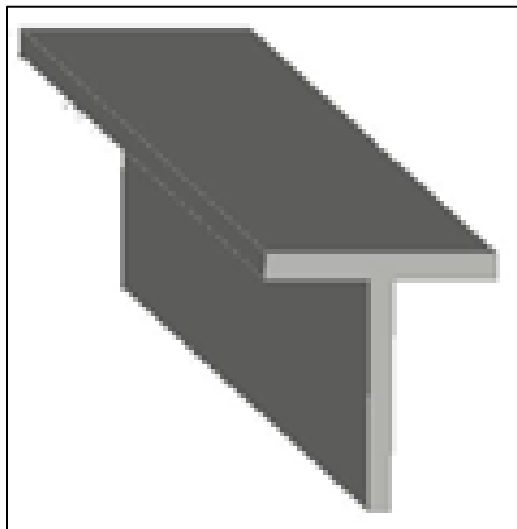
Nota: Extraído de (Aceros Arequipa , 2020)

- **Perfiles en forma de “T”**

Productos obtenidos por laminado en caliente. La sección transversal forma dos alas en ángulo recto. Son muy adecuados y de amplio uso en el rubro de la “carpintería metálica y fabricación de estructuras para almacenes, bastidores, carrocerías, cordones, grúas, molinos, puertas, rejas, silos, techados, torres para transmisión de energía de alta tensión, tijerales, ventanas, entre otros” (Salazar Mara, 2021). Este producto se muestra en la figura 4.

Figura 4

Perfil en "T"



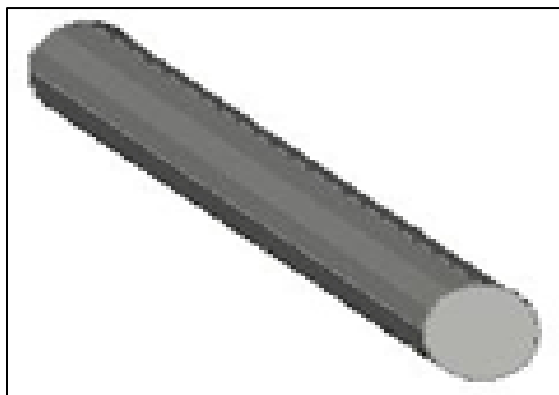
Nota: Extraído de (Aceros Arequipa , 2020)

- **Barras redondas lisas y pulidas**

Producto laminado en caliente, de sección circular y superficie lisa y pulida. Su uso incluye estructuras metálicas para “puertas, ventanas, rejas, cercos, elementos de máquinas, ejes, pernos y tuercas recalcado en caliente o mecanizado; y también jeeps, pines, pasadores, etc.” (Aguirre Sosapanta & Figueroa Bernal, 2008). Este producto se muestra en la figura 5.

Figura 5

Barra redonda lisa y pulida



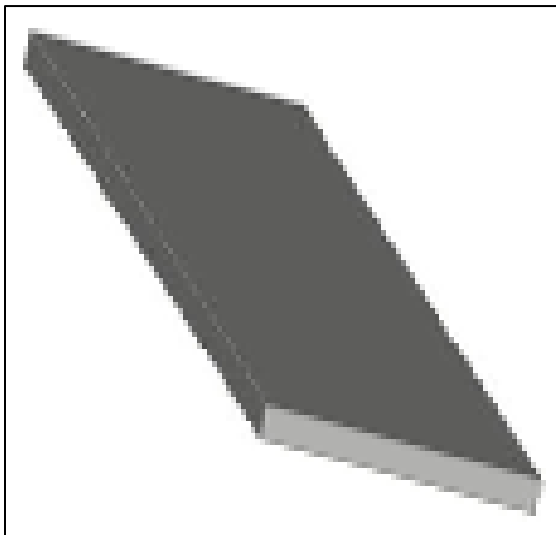
Nota: Extraído de (Aceros Arequipa , 2020)

- **Pletinas**

Producto obtenido por laminación en caliente, de sección transversal rectangular. Entre sus usos principales es para la fabricación de estructuras metálicas, puertas, ventanas, rejas, piezas forjadas, etc. Este producto se observa en la figura 6.

Figura 6

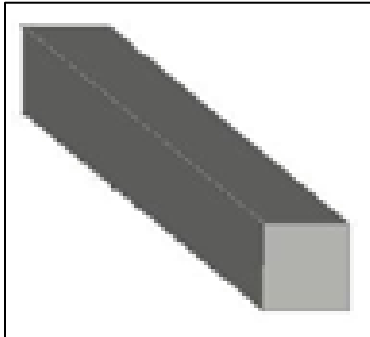
Pletina



Nota: Extraído de (Aceros Arequipa , 2020)

- **Barras cuadradas**

Producto obtenido en caliente por laminación y tiene bastante aplicación en la fabricación de estructuras metálicas para puertas, ventanas, rejas, piezas forjadas, etc. Este producto se muestra en la figura 7.

Figura 7*Pletina*

Nota: Extraído de (Aceros Arequipa , 2020)

- **Barras hexagonales**

Son obtenidas por laminación en caliente. Tienen amplio uso en la fabricación de elementos de ensamble como pernos, tuercas, ejes, herramientas menores (cinceles, barretas, etc.). Los elementos de ensamble fabricados a partir de barras hexagonales pueden ser sometidos a tratamiento térmico de revenido y temple. Este producto se muestra en la figura 8.

Figura 8*Barra hexagonal*

Nota: Extraído de (Aceros Arequipa , 2020)

- **Perfiles obtenidos por soldadura o unión de sus elementos**

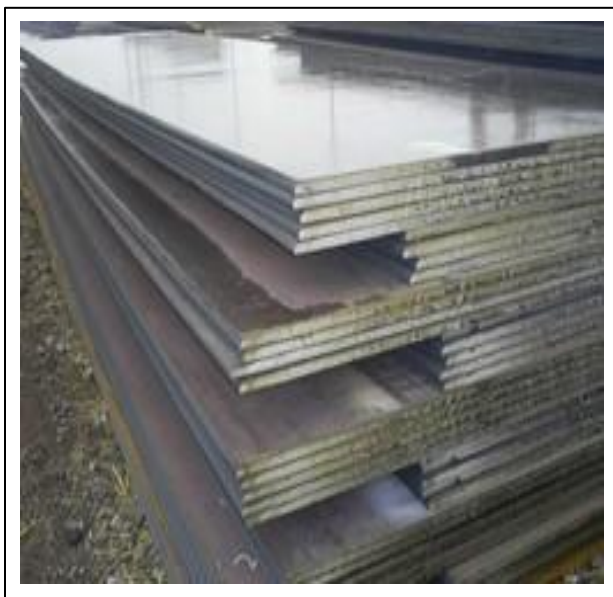
Son estructuras que son ensamblados y tienen la forma rectangular. Elementos ensamblados de estructuras, generalmente, de forma rectangular. Estos perfiles se adecuan a requerimientos de diseño según el análisis estructural calculado.

- **Chapa**

Son obtenidos por laminación en caliente con diferentes espesores. Son usados en calderería, carrocerías de vehículos automotrices, etc. Este producto se observa en la figura 9.

Figura 9

Chapas



Nota: Extraído de (Aceros Arequipa , 2020)

2.2.3. Propiedades Mecánicas y Composición Química

En la Tabla 2, se muestra las propiedades mecánicas y en la Tabla 3 la composición química.

Tabla 2*Propiedades mecánicas del acero ASTM A36*

Límite de fluencia mínimo		Resistencia a la tracción			
Mpa	Psi	Psi		Mpa	
		Min	Max	Min	Max
250	36000	58000	80000	400	550

Nota: Extraído de (Aceros Arequipa , 2020)

Tabla 3*Composición química del acero ASTM A36*

Composición química del acero ASTM A36	
Carbono (C)	0,26% máx.
Manganeso (Mn)	No hay requisito
Fósforo (P)	0.04% máx.
Azufre (S)	0.05% máx.
Silicio (Si)	0.40% máx.
Cobre (Cu)	0.20% mínimo

Nota: Extraído de (Aceros Arequipa , 2020)

2.3. Conceptos Básicos de Soldadura

2.3.1. Definición de Soldadura

La soldadura es el proceso por el cual dos o más piezas de metal se unen en forma permanente por aplicación de calor, presión, o una combinación de ambos, con o sin aporte de otro metal, llamado metal de aportación.

La mayor parte de procesos de soldadura se pueden separar en dos categorías: soldadura por presión, que se realiza sin la aportación de otro material mediante la aplicación de la presión suficiente y normalmente ayudada con calor, y soldadura por fusión, realizada mediante la aplicación de calor a las superficies, que se funden en la zona de contacto, con o sin aportación de otro metal.

Para poder realizar una soldadura debemos conocer la capacidad de soldabilidad de los materiales que van a ser unidos, por lo que este tema lo explicaremos a continuación.

2.3.2. Soldabilidad

Es la capacidad que tienen los materiales, de la misma o diferente naturaleza, para ser unidos de forma permanente mediante los procesos de soldadura hasta constituir una sola unidad. Esta unión puede hacerse siempre y cuando las superficies a soldar estén perfectamente limpias. El aluminio es difícil de soldar debido al constante recubrimiento de óxido, por lo que se habla de mala soldabilidad. En cambio, el hierro, puede ser unido fácilmente, pues tiene excelente soldabilidad. Dependiendo del material que se a va unir existe varios tipos de soldabilidad que se anotan a continuación.

2.3.2.1. Tipos de soldabilidad.

La definición de soldabilidad incorpora algunos puntos de vista diferentes por lo que para su mejor comprensión de esta propiedad se la divide en tres aspectos principales:

a) Soldabilidad operativa

Hace referencia a todas las condiciones tecnológicas de ejecución de uniones soldadas por cualquier proceso de soldadura ya sea por fusión o presión. Existen condiciones que determinan esta soldabilidad, tales como:

1. Tipo de material
2. Tamaño, espesor y forma de las partes soldadas
3. Posición de las juntas
4. Niveles de corrientes

5. Tipo de polaridad
6. Voltaje
7. Velocidad de la soldadura
8. Tipo de protección del arco y de la unión soldada

La mala soldabilidad operativa se podría producir si el metal u oxido tiene altas temperaturas de fusión.

b) Soldabilidad metalúrgica

Es la capacidad que tienen los materiales, de la misma o diferente naturaleza para ser unidos de forma permanente mediante los procesos de soldadura sin presentar transformaciones micro estructurales o variación en las propiedades mecánicas y químicas.

No se debe producir el temple del metal base ni del de aporte, en aceros de bajo carbono, aunque esta posibilidad es mínima, pero en aceros aleados hay mayor posibilidad de que se generen estructuras martensíticas que tornan frágil al material.

c) Soldabilidad constructiva

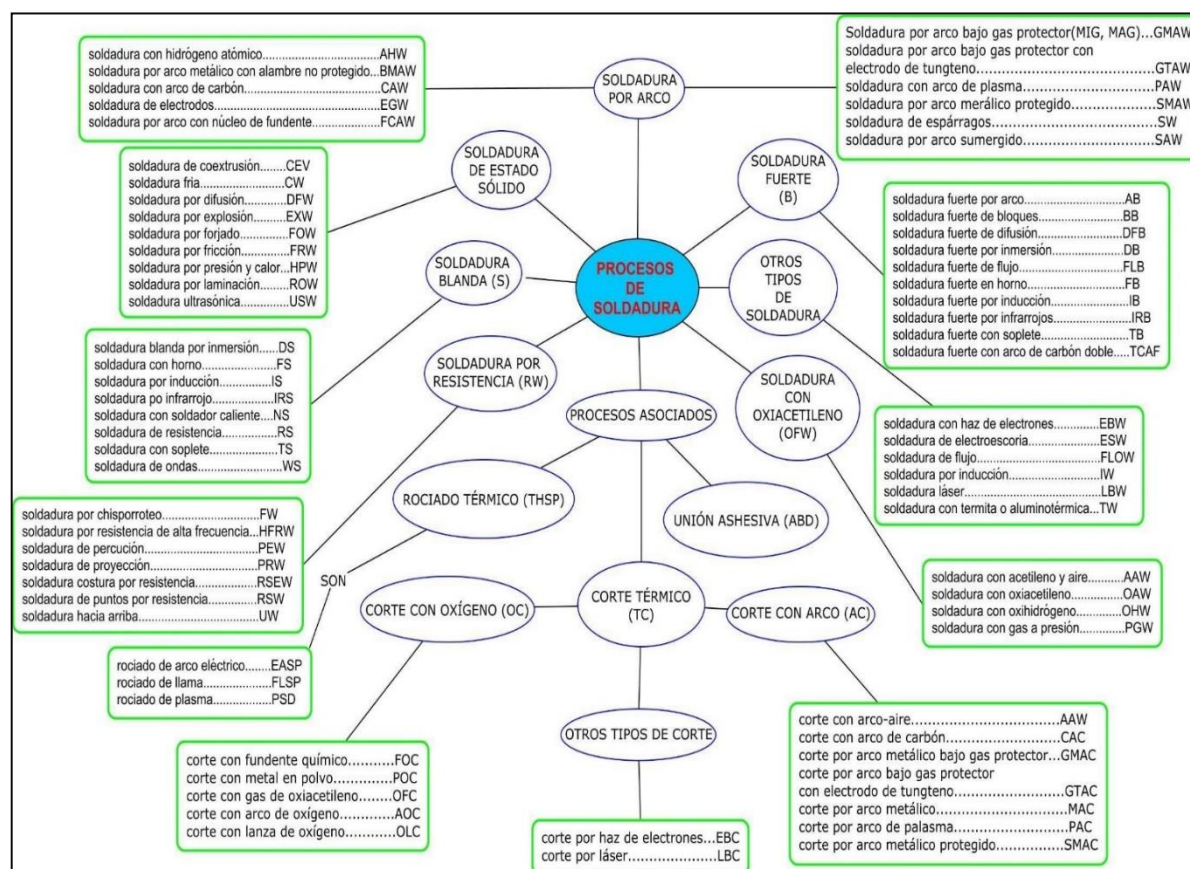
Se liga al proyecto de construcción, a las propiedades físicas del material como son la dilatación y contracción que originan fisuramientos en la unión soldada. Depende también de factores externos como son: la temperatura y humedad ambiental, estos dos aspectos son mucho mas evidentes en países de cuatro estaciones severas, en nuestro medio se puede encontrar ambientes húmedos. También se define como una combinación de propiedades las cuales controlan la facilidad de unir un metal por soldadura bajo una serie de condiciones impuestas para formar una unión, siendo estas propiedades adecuadas para el propósito deseado.

2.4. Procesos de Soldadura

En la figura 10, se observa la clasificación de los procesos de soldadura y corte.

Figura 10

Clasificación de los procesos de soldadura y de corte



Fuente: American Welding Society RI. (2009)

2.4.1. Proceso de Soldadura por Arco Eléctrico con Electrodo Revestido (SMAW)

2.4.1.1. Definición y descripción del proceso SMAW.

La soldadura por arco de metal protegido (shielded metal arc welding, SMAW) es un proceso de soldadura por arco en el que se produce coalescencia de metales por medio del calor de un arco eléctrico que se mantiene entre la punta de un electrodo cubierto y la superficie del metal base en la unión que se está soldando.

El núcleo del electrodo cubierto consiste en una varilla de metal sólida de material estirado o colado, o bien una varilla fabricada encerrando metal en polvo en una funda metálica. La varilla del núcleo conduce la corriente eléctrica al arco y suministra metal de aporte a la unión. Las funciones principales de la cobertura del electrodo son estabilizar el arco y proteger el metal derretido de la atmósfera por medio de los gases que se crean cuando el recubrimiento se descompone por el calor del arco.

La protección empleada, junto con otros ingredientes de la cobertura y del alambre del núcleo, controlan en gran medida las propiedades mecánicas, la composición química y la estructura metalúrgica del metal de soldadura, así como las características de arco del electrodo. La composición de la cobertura del electrodo varía dependiendo del tipo de electrodo (documents. 2020).

2.4.1.2. Principios del Proceso SMAW

La soldadura por arco de metal protegido (SMAW) es el método más comúnmente usado en la soldadura por arco. Se basa en el calor generado por un arco eléctrico para fundir tanto el metal base como la punta de un electrodo consumible recubierto. Este electrodo y la pieza de trabajo forman parte de un circuito eléctrico que incluye una fuente de potencia, cables de soldadura, un portaelectrodos y conexiones con la pieza de trabajo.

El proceso comienza cuando se enciende un arco eléctrico entre la punta del electrodo y el trabajo, fundiendo ambos. Los pequeños glóbulos de metal fundido en la punta del electrodo se transfieren al charco de soldadura fundida, depositando metal de aporte a medida que el electrodo se consume. El arco se desplaza sobre el trabajo, fundiendo y fusionando el metal base mientras se añade metal de aporte.

La corriente eléctrica adecuada es necesaria para fundir tanto el electrodo como el metal base, y se requiere un espacio apropiado entre la punta del electrodo y el trabajo. Los tamaños y tipos de electrodos definen los requisitos de voltaje (16 a 40 V) y amperaje (20 a 550 A) del arco. La corriente puede ser alterna o continua según el electrodo, y la fuente de potencia debe controlarla dentro de un rango apropiado para adaptarse a las variables del proceso. (fdocuments. 2020).

2.4.1.3. Capacidades y Limitaciones del Proceso

La soldadura por arco de metal protegido es uno de los procesos más ampliamente utilizados, sobre todo para soldaduras cortas en trabajos de producción, mantenimiento y reparación, y para construcción en el campo. Las siguientes son ventajas del proceso:

1. El equipo es relativamente sencillo, económico y portátil
 2. El electrodo cubierto proporciona el metal de aporte el mecanismo para proteger dicho metal y el metal de soldadura contra una oxidación perjudicial durante la soldadura.
 3. No se requiere protección con gas auxiliar ni un fundente granular
 4. El proceso es menos sensible al viento y las corrientes de aire que los procesos de soldadura por arco protegidos con gas
 5. Se puede utilizar en áreas de acceso limitado
 6. El proceso es adecuado para la mayor parte de los metales y aleaciones de uso común.
- (fdocuments. 2020).

2.4.1.4. Fuentes de poder.

Son máquinas eléctricas, de las cuales se exige además de la suficiente potencia, las características favorables y necesarias para el fácil encendido y mantenimiento del arco eléctrico, características que son indispensables para una buena soldadura. (Hernandez, G. 1991).

Estas características son:

- Asegurar una alimentación constante de corriente, que permita mantener el arco estable.
- Transformar el voltaje de la red eléctrica a un voltaje en vacío, que permita iniciar el arco (voltaje en vacío es el que suministra la maquina antes de iniciar el arco: varía de 30 a 90 *voltios*).
- Una vez iniciado el arco, debe permitir una conversión automática e instantánea del voltaje en vacío a un voltaje de trabajo, que permita mantener el arco (voltaje de trabajo es el que proporciona la maquina cuando el arco este encendido; varia de 17 a 45 *voltios*).
- Permitir la regulación de la intensidad de corriente o amperaje necesario para soldar; ese amperaje varía según diámetro, espesor de la pieza, posición del trabajo, diámetro del electrodo, etc.
- Además de las características señaladas, una fuente de poder o máquina de soldar debe reunir las condiciones de resistencia y solidez, que le permita trabajar aun estando sometida a las más duras exigencias y según las condiciones en que se desenvuelve la labor del soldador. (Soldexa, 2011, pág. 24)

2.4.1.5. Variables de soldadura del proceso.

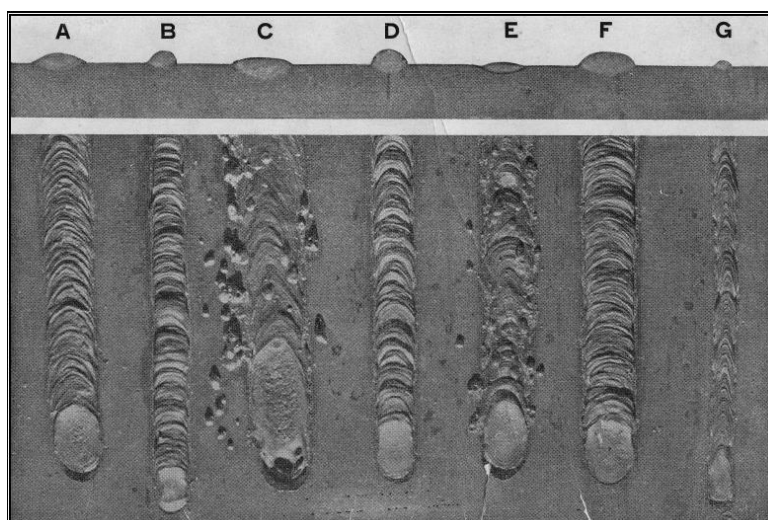
Las Variables de soldadura son los factores que pueden ser ajustados para controlar una soldadura. Para obtener los mejores resultados en el proceso, es necesario conocer el efecto de

cada variable sobre las diversas características o propiedades del proceso de soldadura, tal como se observa en la figura 11.

Figura 11

Características del acero y de la soldadura bajo diferentes condiciones

	A	B	C	D	E	F	G
Amperaje	Normal	BAJO	ALTO	Normal	Normal	Normal	Normal
Voltaje	Normal	Normal	Normal	BAJO	ALTO	Normal	Normal
Velocidad	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	BAJA	ALTA
Fusión del electrodo	Buena	Buena	Profunda	Pobre	Se funde poco metal base	Normal	Normal



Fuente: Soldexa (2015)

Caraballo (2014). Indica que ciertas variables pueden ser continuamente reguladas o fácilmente medidas que aquéllas que no pueden ser medidas o sólo pueden ser modificadas indirectamente, para iniciar el proceso de soldadura, es necesario definir previamente algunas de estas variables, a las que denominaremos. (pág. 2)

- **Variables Preseleccionadas:** Entre ellas se encuentran el diámetro del alambre-electrodo, composición química del mismo. Los criterios que permiten una adecuada selección de estas variables son: tipo de material a ser soldado, su espesor, posición de soldadura, régimen de transferencia metálica deseada y propiedades mecánicas necesarias.

- **Variables Primarias:** Son las que controlan el proceso después que las Variables Preseleccionadas, controlan la forma del cordón, la estabilidad del arco, el régimen de soldadura (velocidad de aporte y cantidad de metal adicionado) y la calidad de soldadura. Estas variables son: tensión de arco, corriente de soldadura y la velocidad de avance. (Caraballo, 2014, pág. 2).

a) **Diámetro del electrodo**

El diámetro del electrodo correcto es aquel que, usado con el amperaje y velocidad de desplazamiento correctos, produce una soldadura del tamaño requerido en el tiempo más corto posible. El diámetro que se escoja dependerá en gran medida del espesor del material

por soldar, la posición en la que se efectuará la soldadura y el tipo de unión. En general se escogerán electrodos más grandes para aplicaciones que impliquen materiales más gruesos y para soldar en la posición plana, a fin de aprovechar sus mayores tasas de deposición. Al soldar en las posiciones horizontal, vertical y cenital, el metal de soldadura fundido tiende a

fluir hacia fuera de la unión debido a la fuerza de gravedad. Esta tendencia puede controlarse empleando electrodos pequeños a fin de reducir el tamaño del charco de soldadura. La manipulación del electrodo y la mayor velocidad de recorrido a lo largo de la unión también ayudarán a controlar el tamaño del charco de soldadura. Al seleccionar el tamaño del electrodo también debe considerarse el diseño del surco de la unión. El electrodo empleado en las primeras pasadas debe ser lo bastante pequeño como para que pueda manipularse con facilidad en la raíz de la unión. (Lincoln Electric, 2013, pág. 15).

b) Intensidad de soldeo

Esta variable es fundamental ya que condiciona el aporte térmico. Por ejemplo, en diámetros pequeños se necesitan intensidades menores y por lo tanto un menor aporte térmico. La intensidad es una variable que depende del tipo de junta y de la posición de soldeo. Una vez iniciado el arco, podemos ajustar la intensidad en función del tipo de baño que se obtenga:

- Si es grande quiere decir que hay un exceso de intensidad. Se deberá reducir.
- Si el baño es pequeño falta intensidad, que deberá aumentarse. (Alonso, 2012, pág. 70)

Cada electrodo, en función de su diámetro, posee un rango de intensidades en el que puede utilizarse, en ningún caso se deben utilizar intensidades por encima de ese rango ya que se producirían mordeduras, proyecciones, intensificación de los efectos del soplo magnético e incluso grietas. (Lincoln Electric, 2013, pág. 15).

c) Longitud de arco

La longitud del arco es la distancia entre la punta del electrodo y el metal que se va a soldar. La longitud del arco a utilizar depende del tipo de electrodo, su diámetro, la posición de soldeo y la intensidad. En general, debe ser igual al diámetro del electrodo, excepto cuando se emplee el electrodo de tipo básico, que deberá ser igual a la mitad de su diámetro.

Es conveniente mantener siempre la misma longitud del arco, con objeto de evitar oscilaciones en la tensión e intensidad de la corriente y con ello una penetración desigual. Un arco demasiado corto puede ser errático y producir cortocircuitos durante la transferencia de metal, un arco demasiado largo perderá direccionalidad e intensidad, además el gas y el fundente generados por el revestimiento no son tan eficaces para la protección del arco y del metal de soldadura, por

lo que se puede producir porosidad y contaminación del metal de soldadura con oxígeno e hidrógeno.

d) Velocidad de soldeo

No existe una regla matemática para regular la velocidad de desplazamiento ya que depende de la habilidad del soldador que debe equilibrar su velocidad de soldadura con el resto de los parámetros. No obstante:

- Cuanto mayor es la velocidad, menor es la anchura del cordón y menor su penetración, menor es el aporte térmico y más rápidamente se enfriará la soldadura, afectando su estructura metalúrgica final y como consecuencia directa a sus propiedades mecánicas finales (carga, rotura, impacto y durezas). (Alonso, 2012, pág. 70).
- Si la velocidad es excesiva se producen mordeduras, se dificulta la retirada de la escoria y se favorece el atrapamiento de gases (produciéndose poros). (Lincoln Electric, 2013, pág. 18)
- Con una baja velocidad el cordón será ancho y convexo y poca penetración, debido a que el arco reside demasiado tiempo sobre el metal depositado, (efecto “colchón”), en vez de concentrarse sobre el metal base.

“En la práctica, hay que intentar que el arco vaya ligeramente adelantado al baño, pero depende de la posición de soldadura”. (Alonso, 2012, pág. 70).

e) Orientación del electrodo

La orientación del electrodo con respecto al trabajo y al surco de soldadura es importante para la calidad de la soldadura. Una orientación incorrecta puede causar atrapamiento de escoria, porosidad y socavamiento. La orientación adecuada depende del tipo y tamaño del electrodo, la posición de soldadura y la geometría de la unión.

f) Corriente de soldadura

Cuando se tiene que realizar la selección del tipo de corriente necesaria, el tipo de electrodos que se va a utilizar es el factor fundamental a la hora de seleccionar tanto el tipo de corriente como el equipo. El primer determinante que hay que tener en cuenta es la disponibilidad de corriente en el lugar donde se van a realizar las tareas de soldadura, todavía la corriente continua (CC6). es el tipo de corriente más utilizada para la soldadura, no obstante, cada vez hay un mayor número de electrodos que utilizan la corriente alterna (CA7). como tipo de corriente de alimentación. En la tabla 4, se da la comparación entre la corriente continua y corriente alterna. (Alonso, 2012, pág. 70)

“Desde el punto de vista de los costes de soldadura, la CA es más barata, pero como este factor tiene cada vez menos importancia en el coste total, no tiene relevancia a la hora de seleccionar el tipo de corriente”. (Alonso, 2012, pág. 70)

Tabla 4

Comparación entre corriente continua y corriente alterna.

Parámetro	Corriente Alterna	Corriente Continua
Cebado de arco	No es fácil especialmente en diámetros pequeños, se debe añadir sustancias para facilitar el cebado.	Fácil
Mantenimiento del arco	Debido al cambio de polaridad es más difícil de mantener estable el arco.	Fácil de mantener el arco.
Tipo de electrodo	No se puede utilizar con todos los electrodos. El revestimiento debe contener sustancias que restablezcan el arco.	Válida para todo tipo de electrodos.
Caída de tensión en los cables	La caída de tensión es pequeña por lo que es especialmente adecuada para el punto de soldadura esté alejado de la fuente de alimentación.	Los cables han de ser tan cortos como sea posible por la gran caída de tensión.
Posiciones de soldeo	Especialmente adecuada para todas las posiciones con el electrodo adecuado.	Es de fácil uso en posición para secciones gruesas.
Salpicaduras	Es más abundante.	Escasas

Soplo magnético	Prácticamente inexistente.	El efecto es muy acusado, especialmente cerca de los bordes o de más. Aumenta con la intensidad.
-----------------	----------------------------	---

Fuente: Alonso, C. (2012). Manual de Soldadura por Arco Eléctrico con electrodo recubierto. Cano Pina Ceysa (pág. 56) .

De una forma más genérica, las principales ventajas e inconvenientes de cada tipo de corriente son:

- Todos los tipos de electrodos pueden usarse con CC, no así los de CA.
- La soldadura de chapa fina es más difícil con CA.
- El transformador es menos caro que el correspondiente rectificador. Tiene una mayor eficiencia que el convertidor o rectificador y sus pérdidas en circuito abierto son muy pequeñas.
- En C.A. prácticamente es inexistente el efecto del soplo magnético.

“Actualmente existen electrodos en los que, salvo para altas intensidades, este efecto es relativamente pequeño”. (Soldexa, 2011, pág. 23)

Por otra parte, hay que tener en cuenta que el equipo tiene que ser capaz de suministrar corriente suficiente para el diámetro adecuado del electrodo. Hay que tener en cuenta, como regla práctica, que la intensidad requerida se calcula aplicando la ecuación 1:

$$I = k \times (d - 1) \quad Ec. 1$$

Donde:

I = Intensidad de corriente (Amp)

d = Diámetro de electrodo (mm)

k = Constante que depende del tipo de electrodo

En la tabla 5, se muestra el valor de la constante k en función al tipo de electrodo.

Tabla 5

Valor de la constante k .

Valor de K	Tipo de electrodo
55	Oxidante, básico, rutilo delgado
60	Ácido y rutilo medio
70	Gran rendimiento

Fuente: (Alonso, 2012, pág. 56).

En cuanto a la polaridad con corriente continua depende del material a soldar y del electrodo empleado, sin embargo, se recuerda que se obtienen mayor penetración con polaridad inversa.

g) Estabilidad del arco

Se necesita un arco estable para producir soldaduras de calidad. Los defectos como fusión inconsistente, escoria atrapada, agujeros de respiración y porosidad pueden ser el resultado de un arco inestable.

Los siguientes factores influyen de manera importante en la estabilidad del arco:

1. El voltaje de circuito abierto de la fuente de potencia
2. Las características de recuperación de voltaje transitorios de la fuente de potencia
3. El tamaño de las gotas de metal de aporte fundido y escoria en el arco
4. La ionización del trayecto del arco desde el electrodo al trabajo
5. La manipulación del electrodo

La acción de protección del arco, es en esencia la misma para todos los electrodos, pero el método específico de protección y el volumen de escoria producido varían de un tipo a otro.

El grueso de los materiales de cobertura de algunos electrodos se convierte en gas por el calor del arco, y sólo se produce una pequeña cantidad de escoria. Los electrodos de este tipo dependen en buena medida de un escudo gaseoso para evitar la contaminación por parte de la atmósfera. El metal de soldadura de tales electrodos puede identificarse por la capa incompleta o clara de escoria que cubre la franja.

h) Eliminación de escoria

La minuciosidad con que se elimina la escoria de cada franja de soldadura antes de soldar sobre ella influye directamente en la calidad de las soldaduras de múltiples pasadas. Si no se limpia exhaustivamente cada franja, aumenta la probabilidad de atrapar escoria y, por tanto, de producir una soldadura defectuosa. Para la eliminación completa y eficiente de la escoria es necesario que cada franja tenga el perfil apropiado y que se funda en forma continua con la franja o el metal base adyacente.

2.5. Electrodo Revestido

Los electrodos constan de dos fases fundamentales. Por una parte, está la varilla que constituye el alma del electrodo y por otra, el revestimiento.

El revestimiento es una pasta que se aplica en estado húmedo. Su proceso empieza con la recepción de las materias primas que se muelen, se criban, y se almacenan. Tiene una gran importancia ya que interviene, fundamentalmente, en el proceso de soldadura desde distintos aspectos: (Alonso, 2012, pág. 39).

a) Físicos:

- Preserva el metal fundido de la contaminación de los componentes del aire (oxígeno y nitrógeno, fundamentalmente), ya sea por formación de gases protectores, o por formación de escoria que cubre las gotas y el baño.
- Permite la formación de escoria que, por diferencia de densidades, flota sobre el metal fundido y se solidifica rápidamente formando una “costra” que protege el baño y que, por ser mala conductora térmica, limita el enfriamiento solidificándose por encima del cordón. (Alonso, 2012, pág. 39).

Una soldadura irregular puede producir inclusiones de escoria dentro del cordón dando lugar a defectos de soldadura. Es fundamental, por lo tanto, que el soldador observe la evolución de la escoria para evitar posibles defectos.

b) Metalúrgicos:

- Afina el grano del metal fundido de la unión modificando sustancialmente el comportamiento mecánico de la unión.
- Controla la velocidad de enfriamiento del cordón evitando que sea muy rápido.

c) Eléctricos

- Facilita el cebado del arco, ya que favorece el proceso ionizando el aire entre el electrodo y las piezas, mejorando así su conductividad.
- Facilita estabilidad al arco, que depende principalmente del estado de ionización de los gases comprendidos entre el electrodo y la pieza.

En este procedimiento, el soldador sostiene en su mano una pinza que porta el electrodo. Lo sitúa a la distancia adecuada de la pieza para que salte el arco y se deposite la cantidad correcta del material de aporte, a la vez que va desplazando el electrodo a la velocidad adecuada para conseguir una soldadura homogénea. (Alonso, 2012, pág. 39).

2.5.1. Características de los Electrodo

El revestimiento está compuesto por varios productos orgánicos, metalúrgicos y minerales, tales como ferroaleaciones (manganeso, silicio, titanio), óxidos de manganeso, de titanio, etc. Como aglutinante se suelen emplear silicatos alcalinos solubles. Cada una de las sustancias que se incluyen en el revestimiento tiene una función como se indica en la tabla 6. En función del tipo de los contenidos del revestimiento, los electrodos se clasifican como:

- Ácidos: sus componentes principales son el feldespato, óxido de manganeso y, sobre todo, óxido de hierro.
- Rutilos: prácticamente el componente principal es el óxido de titanio (rutilo), junto con feldespato que se utiliza como formador de escoria y estabilizador del arco.

Tabla 6*Función del revestimiento.*

Sustancia	Función
Celulosa	Gas protector
Carbonato cálcico	Gas protector
Espato flúor	Formato de escoria
Dolomita	Gas protector
Rutilo TiO ₂	Formador de escoria y estabilizador del arco
Titanio Potásico	Estabilizador del arco y formador de escoria
Feldespatos	Formador de escoria y estabilizador
Mica	Facilita la extrusión y estabilizador
Arcilla	Facilita la extrusión y formador de escoria
Silice	Formador de escoria
Óxido de manganeso	Formador de escoria y aleante
Óxido de hierro	Formador de escoria y aleante
Polvo de hierro	Mejora la velocidad de deposición
Ferrosilicio	Desoxidante
Ferromanganeso	Aleante desoxidante
Silicato sódico	Aglomerante
Silicato potásico	Estabilizador de arco aglomerante

Fuente: (Alonso, 2012, pág. 40).

- Básicos: los componentes principales, prácticamente a partes iguales, son el carbonato cálcico (como formador de gas protector), espato de flúor (como formador de escoria) y óxido de titanio (como formador de escoria y estabilizador del arco).
- Celulósico: en este caso, el revestimiento está compuesto, básicamente, de celulosa (como formador de gas protector) y rutilo.

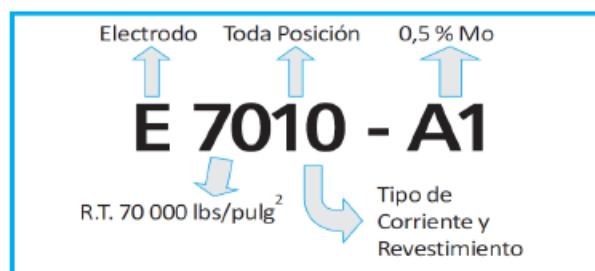
La calidad de la soldadura depende, en gran medida, de los electrodos y éstos dependen de su revestimiento. En algunos tipos de electrodos, más que en otros, el revestimiento es muy sensible a la humedad, que puede provocar poros en la soldadura. Hay que proteger los electrodos de la humedad, especialmente los de tipo básico, almacenándolos en ambiente seco y preservándolos de la lluvia en los trabajos que se ejecutan a la intemperie. (Alonso, 2012, pág. 62).

2.5.2. Interpretación de las Normas para Electroodos

Cada uno de estos electrodos lleva un código impreso en el revestimiento. En la figura 12, e observa la designación según la norma norteamericana AWS.

Figura 12

Designación del electrodo – Según AWS.



Fuente: (Soldexa, 2011, pág. 44).

- a) La letra *E* designa el producto: Electrodo para soldadura eléctrica manual.
- b) Los primeros 2 dígitos en un número de 4 dígitos o 3 dígitos en un número de 5 dígitos señalan la resistencia mínima a la tracción, sin tratamiento térmico post soldadura:
 - $E\ 60XX = 60\ 000\ lbs/pulg\ mínimo$
 - $E\ 70XX = 70\ 000\ lbs/pulg$
 - $E\ 110XX = 110\ 000\ lbs/pulg$

Revestimiento, el que es calificado según el mayor porcentaje de materia prima contenida en el revestimiento; por ejemplo, el electrodo *E*-6010 tiene un alto contenido de celulosa en el revestimiento aproximadamente un 30% o más; es por ello que a este electrodo se le clasifica como un electrodo de tipo celulósico. Similar clasificación se da en los otros electrodos.

- c) El tercer dígito indica la posición en la que se puede soldar satisfactoriamente con un electrodo.
(Soldexa, 2011, pág. 45)

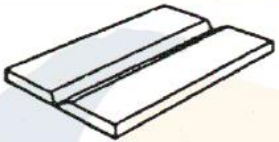
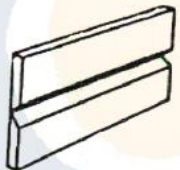

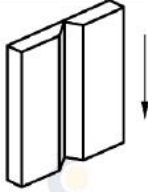

Para tercer dígito, si es:

- 1 = Todas las posiciones
 - 2 = Juntas en ángulo interior, en posición horizontal o plana
 - 3 = Posición plana únicamente
- d) El último dígito, íntimamente relacionado con el penúltimo, es indicativo del tipo de corriente eléctrica y polaridad en la que mejor trabaja el electrodo e identifica a su vez el tipo de revestimiento, el que es calificado según el mayor porcentaje de materia prima contenida en el revestimiento; por ejemplo el electrodo *E-6010* tiene un alto contenido de celulosa en el revestimiento aproximadamente un 30% o más; por ello es que a este electrodo se le clasifica como un electrodo de tipo celulósico. Similar clasificación se da en los otros electrodos.

2.6. Posiciones de Soldeo en las Juntas Soldadas

En las figuras 13,14 y 15, se muestra las diferentes posiciones de soldadura según las normas las normas EN ISO 4063 y AWS A3.0.

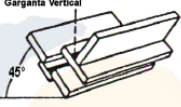
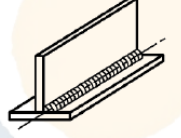
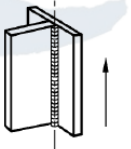
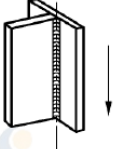
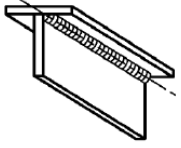
Figura 13*Posiciones de soldadura en chapas a tope*

Soldaduras de chapas a tope			
Norma		Descripción	Croquis
EN ISO 4063	AWS A3.0.		
PA	1G	Chapa horizontal. Soldadura plana.	
PC	2G	Chapa vertical. Soldadura en cornisa	
PF	3G ascendente	Chapa vertical. Soldadura vertical ascendente	
PG	3G descendente	Chapa vertical. Soldadura vertical descendente	
PE	4G	Chapa horizontal. Soldadura bajo techo	

Fuente: ANSI/AWS D1.1. (2000)

Figura 14

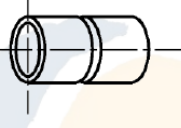
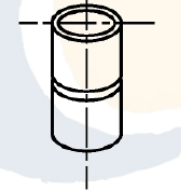
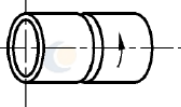
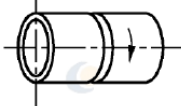
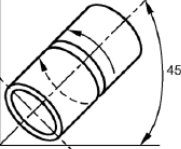
Posiciones de soldadura en chapas en ángulo

Soldaduras de chapas en ángulo			
Norma		Descripción	Croquis
EN ISO 4063	AWS A3.0.		
PA	1F	Chapa inclinada 45°. Soldadura plana acunada.	
PB	2F	Chapa horizontal Soldadura en rincón	
PF	3F ascendente	Chapa vertical Soldadura vertical ascendente	
PG	3F descendente	Chapa vertical Soldadura vertical descendente	
PD	4F	Chapa horizontal Soldadura bajo techo	

Fuente: ANSI/AWS D1.1. (2000)

Figura 15

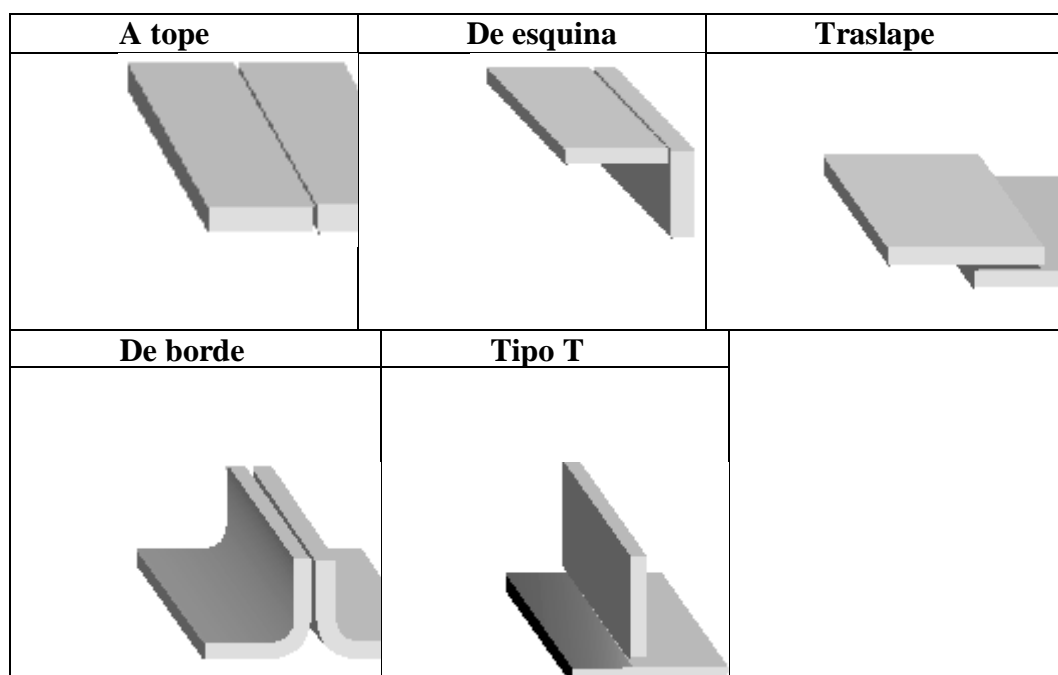
Posiciones de soldadura en tubos a tope.

Soldaduras de tubos a tope			Croquis
Norma		Descripción	
EN ISO 4063	AWS A3.0.		
PA	1G	Tubería horizontal rotando Soldadura plana	
PC	2G	Tubería vertical fija Soldadura en cornisa	
PH	5G ascendente	Tubería horizontal fija Soldadura plana, en vertical y bajo techo	
PJ	5G descendente	Tubería horizontal fija Soldadura plana, en vertical y bajo techo	
H-L045	6G ascendente	Tubería fija a 45° con la horizontal	

Fuente: ANSI/AWS D1.1. (2000)

2.7. Tipos de Juntas

Cuando las piezas de acero son llevadas a la forma de junta, ellas pueden asumir una de las cinco configuraciones presentadas en la Figura 16. Los tipos de juntas son las descripciones de posiciones relativas de los materiales que van a ser unidos y no implica un tipo específico de soldadura.

Figura 16*Tipos de junta*

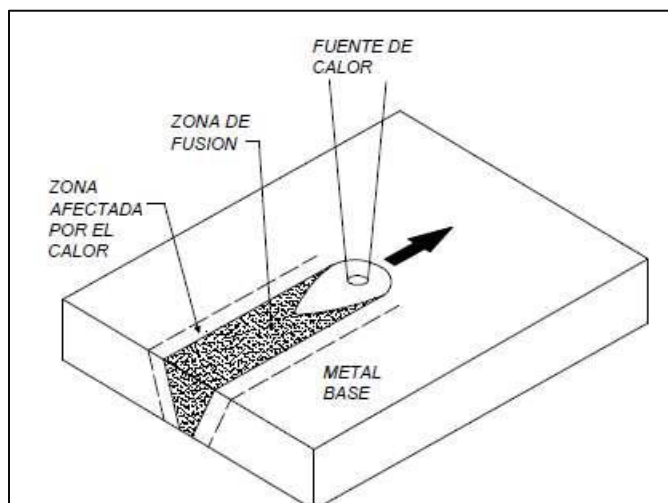
Fuente: ANSI/AWS D1.1. (2000)

2.8. Zonas Metalúrgicas de la Soldadura

“En soldadura 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 17 (Fosca, Introducción a la metalurgia de la soldadura, 2007)

Figura 17

Principales zonas de la soldadura.



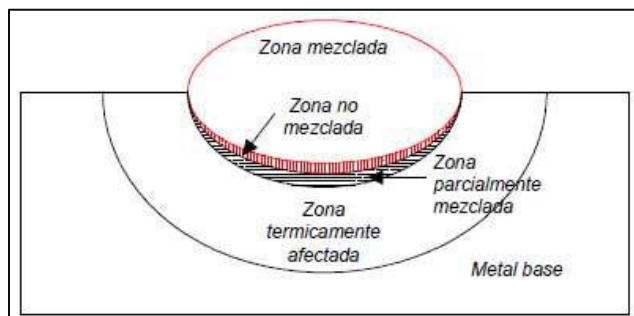
Fuente: (Pérez Cargua & Pullas Rea, 2009).

a) Zona de fusión

“Es la zona formada solamente por el metal que se solidifica desde el estado líquido. Durante la fusión se producen transformaciones químicas, físicas y estructurales. Se diferencian tres regiones en la zona de fusión”, ver la figura 18. (Fosca, Introducción a la metalurgia de la soldadura, 2007).

Figura 18

Regiones de la zona de fusión.



Fuente: (Pérez Cargua & Pullas Rea, 2009).

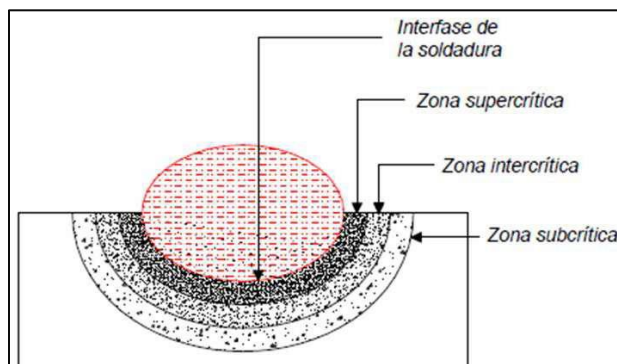
- Zona mezclada: Abarca la mayor parte del cordón de soldadura y es el resultado de la combinación completa del metal base con el metal de aporte en el poso de soldadura.
- Zona no mezclada: Es una capa adyacente a la línea de fusión. (Pérez & Pullas, 2009, pág. 57).
- Zona parcialmente fundida: Se encuentra en el metal base. Esta región corresponde a la transición entre la ZAC y la ZF. (Fosca, 2007)

2.8.1. Zona Afectada por el Calor (ZAC)

En la soldadura de metales, la zona afectada por el calor (ZAC) es el área adyacente a la soldadura que experimenta cambios micro estructurales y de propiedades debido al calor generado durante el proceso de soldadura. Esta región puede experimentar diversas transformaciones, como recristalización, endurecimiento por temple, y cambios en la composición química, dependiendo de la temperatura alcanzada y la velocidad de enfriamiento. La ZAC de la soldadura en un acero se divide en tres regiones: supercrítica, intercrítica y subcrítica, estas zonas se observan en la figura 19.

Figura 19

Regiones de la zona afectada por el calor.



Fuente: (Pérez Cargua & Pullas Rea, 2009)

“En ese sentido, el tamaño de la ZAC es una indicación de la magnitud de cambios estructurales. Para predecir las propiedades de esta zona, debe conocerse la cantidad, magnitud y crecimiento del grano y el ciclo térmico de la soldadura” (Fosca, Introducción a la metalurgia de la soldadura, 2007).

Además, la región supercrítica se divide en dos regiones: el de crecimiento de grano y el de refinamiento de grano.

2.8.2. El Metal Base

Es la región donde no ocurre cambio micro estructural, aunque el ciclo térmico impuesto por la soldadura puede producir tensiones residuales de contracción longitudinal y transversal.

2.9. 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, 2009)

a) Aporte de calor (Heat input).

“El input térmico es la energía aportada por un proceso de soldadura cuando se realiza un cordón por unidad de longitud, es expresado en Joules por milímetro (J/mm). Para procesos de soldadura por arco eléctrico, el input térmico es estimado por la ecuación 2.” (Fosca, Introducción a la metalurgia de la soldadura, 2007)

$$H_{net} = \frac{V \times I}{v} \times f \quad \text{Ec. 2}$$

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

La ecuación 2 permite conocer la energía bruta aportada por la máquina (H). Sin embargo, parte de ésta se pierde antes de llegar a la soldadura, debido a procesos de radiación, convección y conducción en el arco y en la pieza (A.García, 2010).

Este aporte de calor está condicionado por la eficiencia del proceso de soldadura. En la tabla 7 se muestra las eficiencias térmicas para los diferentes procesos de soldadura.

Tabla 7

Eficiencias térmicas de diferentes procesos de soldadura

Proceso	Eficiencia
GTAW	20 – 50 %
GMAW	70 – 85 %
SMAW	70-80 %
SAW	90 – 99 %

Fuente: García (2010)

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

Es la temperatura a la cual el metal ha de ser 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.

d) Características térmicas del material.

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.

2.10. 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. (Lopez Ibarra, 2012).

El número, tipo, cantidad y disposición metalúrgica de las fases presentes determinan en gran medida las propiedades y solidez del metal de soldadura. Las velocidades de solidificación y enfriamiento también tienen un efecto significativo en las fases presentes y la estructura metalúrgica del metal. En la soldadura de metales disímiles, el metal de aporte debe alearse fácilmente con los metales base para producir un metal de soldadura que tenga una matriz de fase dúctil y continua. Específicamente, el metal de relleno debe ser capaz de aceptar dilución por parte de los materiales base sin producir una microestructura propensa a las fracturas.

La microestructura del metal de soldadura también debe ser estable bajo las condiciones de servicio esperadas. La resistencia del metal de soldadura debe ser equivalente o mejor que la del metal base más débil.

La dilución de un cordón está definida por dos cantidades como se muestra en la figura 20, que ilustra un esquema de dilución y los porcentajes de dilución como una función de la cantidad de metal base fundido (B) y el metal depositado (A), de ahí la ecuación 3. (Lopez Ibarra, 2012).

$$\% \text{ Dilución total} = \frac{B}{B+A} \times 100 \quad \text{Ec. 3.}$$

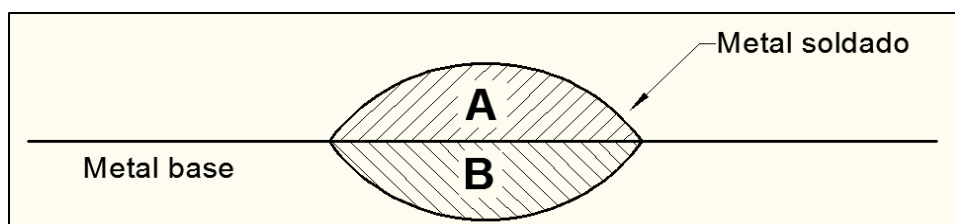
También podría denominarse en función de las áreas, tal como se indica a continuación:

$$\text{Porcentaje de Dilucion} = \frac{\text{Area sombreada}}{\text{Area total del cordon de soldadura}} \times 100$$

En la figura 21, se muestra esquemáticamente las zonas de un depósito de soldadura para el cálculo de la dilución.

Figura 20

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



Fuente: Esquema de dilución de un cordón de soldadura. (Agustín Gualco “efecto de los parámetros de Soldadura”; (2011, p.120)

En la tabla 8 se muestran los niveles de dilución para diferentes procesos de soldadura.

Tabla 8*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 30 – 40 10 - 20	En general Pasada de raíz En depósitos (overlay)
Arco sumergido	25-50 10 - 15	En general En depósitos (overlay)
MIG/MAG (GMAW)	25 – 50 15 - 30	Arco “spray” Arco “Arco cortocuito”
TIG (GTAW)	20 – 50 100	Sin material de aporte

Fuente: Fosca, C. (2007). *Introducción a la metalurgia de la soldadura*. PUCP, Lima, Perú.

Los mecanismos que afectan la dilución en multicapas son más complejos que aquéllos que lo hacen en cordones únicos. En multipasadas, el cordón está formado por la fusión y mezcla de tres materiales aportados por:

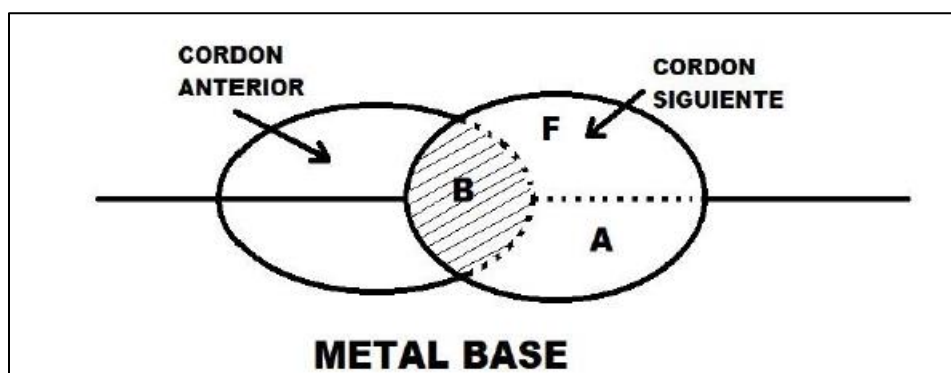
- El material de aporte
- El material base
- El cordón anterior

El cordón de una soldadura multipasada de recargue está formado por 3 áreas, según se presenta en la figura 21, La primera, indicada con F, se refiere a la fracción del cordón formado aportado por el material de aporte. El segundo, indicado con B, representa la fracción de área constituida por el material fundido del cordón anterior. Y la tercera fracción es la constituida por el aporte de material base fundido (A). Debido a que la suma de las tres fracciones debe sumar la unidad. Para medir la dilución en multipasadas, a partir de estas tres áreas, la ecuación Dilucion

del metal A, la ecuación 9, Dilución del metal B nos dan la dilución total cuya ecuación es la 10. Como se indica en la figura 21.

Figura 21

Esquema de dilución de un cordón de soldadura en multipasadas.



Fuente: Agustín Gualco (2011). *Efecto de los parámetros de Soldadura*. (pag. 120)

$$\%D_A \frac{A}{A + B + F} \times 100 \quad Ec. 4$$

$$\%D_B \frac{B}{A + B + F} \times 100 \quad Ec. 5$$

$$D_T \frac{A + B}{A + B + F} \times 100 \quad Ec. 6$$

2.10.1. 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 (Agustín Gualco, 2011):

- **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.

- **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.

- **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.

- **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.

- **Paso o separación de cordones**

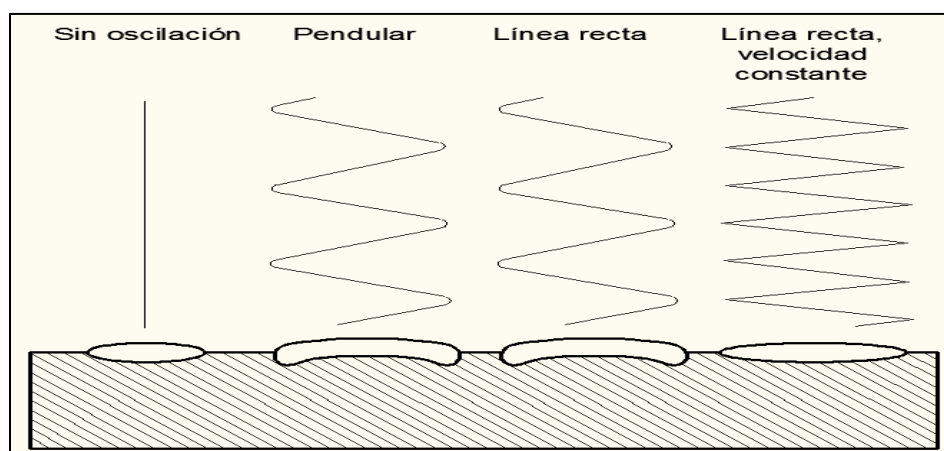
Una ajustada separación entre cordones (mayor superposición) reduce la dilución debido a que mayor cantidad de cordones previos y menor material base se refunden e incorporan a la pileta líquida. Una amplia separación de cordones (menor sobreposición) incrementa la dilución.

- **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 22, se puede observar el efecto que tiene el tipo de oscilación en el depósito.

Figura 22

Tipos de oscilación y su efecto en el cordón de soldadura



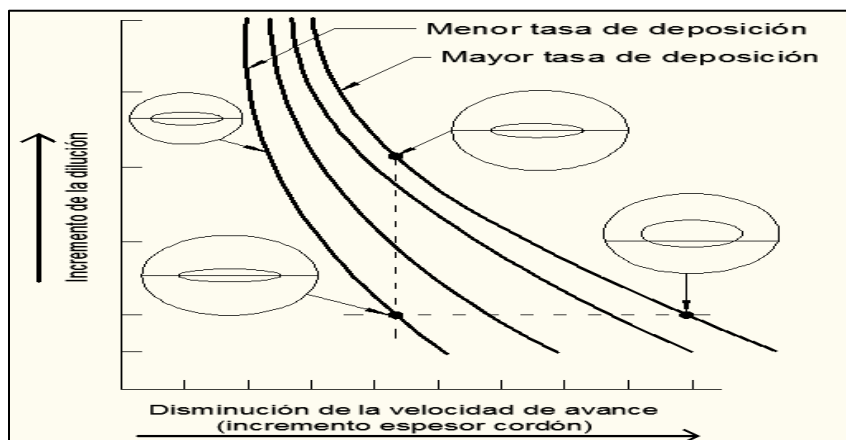
Fuente: Agustín Gualco “efecto de los parámetros de Soldadura”; (2011)

- **Velocidad de avance**

En la figura 23, 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 23

Efecto de la velocidad de avance sobre la dilución



Fuente: Agustín Gualco "Efecto de los parámetros de Spoldadura"; (2011)

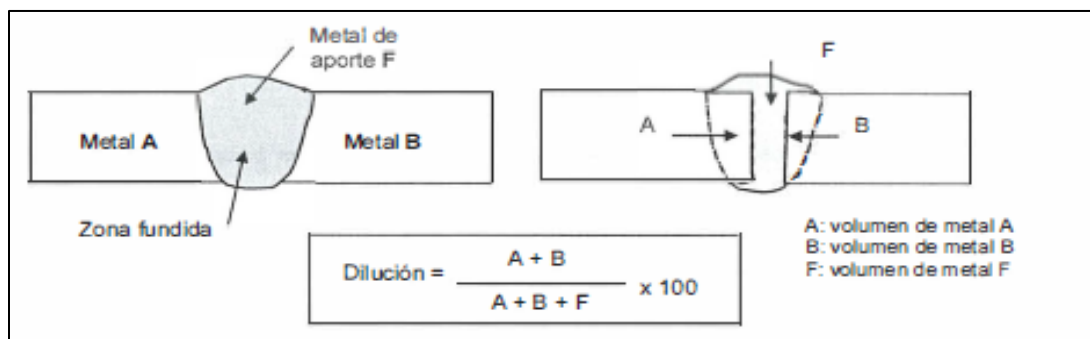
- **Posición de soldadura e inclinación de la pieza de trabajo.**

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

La dilución, también puede estar basada sobre medidas de área en la sección transversal de una unión. En la figura 24, se indica cómo determinar la dilución de dos metales A y B cuando se sueldan con un metal de aporte.

Figura 24

Cálculo de dilución entre dos metales disimiles.



Fuente: Fosca, C. (2007). *Introducción a la metalurgia de la soldadura*. PUCP, Lima, Peru.

2.11. Composición Química del Cordón de Soldadura

Fosca (2007), dice que las propiedades mecánicas son aquellas que tienen que ver con el comportamiento de un material bajo fuerzas aplicadas, estas dependen de la composición química y de la estructura cristalina que tenga. El carbono afecta notablemente el comportamiento de los aceros; en principio, influye sobre la dureza y la morfología de la estructura martensítica.

La temperatura disminuye con el aumento del contenido de carbono y, por lo tanto, también lo hace la probabilidad de autorevenido durante el temple que surge a través del calor aportado en la soldadura.

Los aceros al carbono están constituidos en su mayoría por aleaciones complejas, teniendo como constituyentes fundamentales, además del hierro carbono, también el manganeso y el silicio, y como impurezas el fósforo y el azufre.

- **El Manganeso.** – Su principal característica es que aumenta la desoxidación, aportando a su vez más endurecimiento al elemento final. Este metal está presente en el intervalo de 0.03 a 1.00%. Cuando existe una cantidad de Mn mayor que la requerida para formar MnS, el exceso se combina con carbono para formar el compuesto (Mn_3C) que se asocia con el carburo de hierro (Fe_3C) en cementita. El manganeso también promueve la solidez de las piezas fundidas al acero a través de su acción de desoxidación en acero líquido.
- **El silicio.** – Este elemento aparece en todo el acero, lo mismo que el manganeso, porque se añade intencionalmente durante el proceso de fabricación. Se emplea como elemento desoxidante complementario del manganeso con objeto de evitar que aparezcan en el acero los poros y otros defectos internos. Los aceros pueden tener porcentajes variables de 0.20 a 0.40% de Si. Promueve la desoxidación del acero líquido a través de la formación de dióxido de

silicio, SiO₂, tendiendo así a dar mayor solidez en la pieza fundida, mejora ligeramente la templabilidad y la resistencia de los aceros a disminuir la tenacidad.

- **El fósforo.** - El contenido de fósforo se mantiene por debajo del 0.04%, cantidad que tiende a disolverse en ferrita, aumentando ligeramente la resistencia y la dureza. En algunos aceros, una cantidad de fósforo entre el 0.07 y el 0.12%, parece mejorar las propiedades del corte. En mayores proporciones, el fósforo reduce la ductilidad, aumentando con ello la tendencia del acero a agrietarse cuando se trabaja en frío.
- **El azufre.** - En los aceros comerciales, el azufre se mantiene generalmente por debajo del 0.05%. Este metaloide se combina con el hierro para formar sulfuro de hierro (FeS), el cual forma, a su vez, una aleación eutéctica de bajo punto de fusión, con hierro que tiende a concentrarse en las fronteras de grano. Cuando el acero se forja o lamina a altas temperaturas, se hace frágil debido a la fusión del eutéctico sulfuro de hierro, que impide la cohesión de los granos permitiendo que se desarrollen grietas. En presencia de manganeso, el azufre tiende a formar sulfuro de manganeso (MnS), en vez de sulfuro de hierro. El MnS suele permanecer como inclusiones bien distribuidas por toda la estructura. Así pues, la presencia del Mn es un inhibidor del efecto que produce el azufre. Con la presencia del azufre se mejora la maquinabilidad, esto se debe a la presencia de inclusiones sulfurosas más numerosas, que hacen pedazos las rebabas, reduciendo de esta manera el desgaste de la herramienta.

Para el control de la composición química en la soldadura de una sola pasada de cordón de soldadura se emplea la ecuación 7. (Fosca, 2007).

$$X_W = (D_A) (X_A) + (D_B) (X_B) + (1 - D_T) (X_F) \quad (\text{Ec. 7})$$

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

En la soldadura multipase, la composición de cada cordón de soldadura debe ser relativamente uniforme. La composición media de todo el metal de soldadura puede ser calculada cuando se conocen dos cosas: (1) la relación de los volúmenes de metales de base fundidos con el volumen de metal de soldadura entero, y (2) las composiciones de los metales base y de aporte. La dilución puede basarse en mediciones de área de sección transversal a través de una soldadura de prueba. La figura N° 2.15 ilustra cómo determinar la dilución por dos metales comunes, A y B, al soldar con un material de aporte F. El porcentaje promedio de un elemento de aleación específico en el metal de soldadura diluido puede ser calculado usando la ecuación 8.

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. (Fosca, 2007).

$$X_W = (D_A) (X_A) + (D_B) (X_B) + (1 - D_T) (X_F) \quad (\text{Ec } 8)$$

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

2.12. Calificación del Procedimiento

Antes de iniciar una soldadura de producción 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 (WPS)

Un WPS es un documento preparado y calificado por un departamento técnico o de ingeniería, para dar instrucciones

2.12.2. Registro de Calificación del Procedimiento (PQR)

Documento que valida y respalda el WPS. EL PQR contiene las variables reales de soldadura utilizadas en la prueba y los resultados del ensayo realizado sobre la soldadura para propósitos de calificar las especificaciones del procedimiento de soldadura. El PQR es el registro que documenta los resultados de soldar y ensayar las probetas.

2.12.3. Calificación de Soldadores (WPQ)

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

METODO EXPERIMENTAL

3.1. Maquinaria y equipos

a) Fuente de poder

Para la soldadura de las probetas se utilizó una máquina de soldar del taller de soldadura de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, sus características son:

- 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 25, se puede observar la fuente de poder usada.

Figura 25

Fuente de poder

**b) Equipo de ensayo de doblado guiado en U.**

Este equipo se encuentra en el taller de soldadura de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica. En la figura 26 se puede observar el equipo de ensayo de doblado, cuya presión de trabajo es de 20 toneladas.

Figura 26

Equipo de doblado.



c) Materiales complementarios

- **Kit de tintes penetrantes**

En la figura 27 se observa el kit de tintes penetrantes.

Figura 27

Kit de tintes penetrantes.



3.2. Material de Ensayo y de Aporte

3.2.1. Material de Ensayo

- **Acero ASTM A36**

Su composición química y propiedades mecánicas se detallan en las tablas 2 y 3 del capítulo

II.

3.2.2. Material de Aporte

El consumible utilizado para la soldadura de las probetas es el:

- **Electrodo E-7018**

Este material de aporte está diseñado para producir soldaduras de alta calidad en aplicaciones en las cuales el metal base tiene el peligro de producir agrietamiento.

El arco que produce es sumamente estable, produce poco chisporroteo y para mejores resultados se usa un arco corto. Se recomienda mantener un arco corto para garantizar buenos resultados en inspecciones radiográficas. Este electrodo permite soldar en posición plana, horizontal, sobrecabeza, vertical ascendente y vertical descendente.

Aplicaciones

- Para aceros de mediano y bajo carbono, baja aleación.
- Para aceros laminados en frío, por sus características de resistencia a la deformación a altas temperaturas, su fácil manejo y óptimo rendimiento, es especialmente adecuado.
- Para soldadura de tuberías de vapor
- Calderas de alta presión, tanques.
- Piezas para maquinaria pesada.
- Construcciones metálicas en obra.
- Reparaciones Navales.

En la tabla 9 se muestra su composición química.

Tabla 9

Análisis químico del metal depositado (valores típicos) (%).

C	Mn	Si	P	S
0.05	1.00	0.50	Max. 0.020	Max. 0.020

Fuente: (Soldexa, 2011).

En el anexo 1, se muestra la ficha técnica.

3.3. Soldabilidad de los Cupones

3.3.1. Características de los Cupones

Los cupones tienen las siguientes características:

- Ancho: 150 mm
- Longitud: 200 mm
- Espesor: 12.7 mm

Para un mejor estudio las probetas se identificaron (probeta 1, constituido por las probetas 1A y 1B) como se muestra en la figura 28.

Figura 28

Probetas de ensayo con su identificación.



3.3.2. Preparación de las probetas

a) Limpieza de las probetas

Previo a la soldadura los cupones deben estar exentos de grasa, aceites, pintura, etc, con la finalidad de que los depósitos no sean contaminados y puedan producir discontinuidades. La limpieza se realizó de manera manual, utilizando un disco abrasivo.

b) Preparación de la junta.

Esquemáticamente los cupones tienen una junta a tope en “V” (ver figura 29), las características de la junta se detallan en la tabla 10

Figura 29

Junta a tope en “V”.

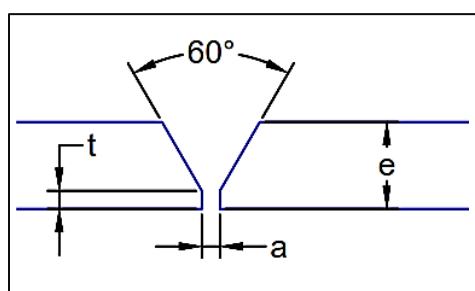


Tabla 10

Detalle de la junta a tope en V.

Símbolo	Descripción	Probeta de experimentación
a	Abertura o luz de la raíz	3 mm
e	Espesor nominal del material base o de la probeta.	1/2 pulg. (12.7 mm)
t	Altura de raíz o talón	3 mm
	Angulo de la ranura	60°

Figura 30

Preparación de los cupones.



En la figura 31, se observa la preparación de los pares de probeta para su soldadura.

Figura 31

Preparación de los pares de las probetas.



3.3.3. Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS) para los Cupones de Experimentación

a) Probeta 1

Facultad de Ingeniería Geológica, minas y metalurgia. Escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica									
Especificación del procedimiento de soldadura								Wps	
Institución:	Particular				Identificación N°:	Probeta 1 (1A-1B)			
Proceso de soldadura:		SMAW			Soporte PQR N°:		PQR – 01		
Tipo:	Manual:	X	Automático:		Semiautomático:		Maquina:	Miller-XMT 304 CC	
Revisión:	00	Fecha:	12 /06/2024			Revisado por:			
Diseño de la junta.					Posición				
Tipo de junta:			A tope		Ranura:		Filete:		
Tipo de soldadura:			Ranura en “v”		Plancha:		1G		Tubería:
Abertura de raíz:			3 mm		Características eléctricas				
Talón altura de raíz o talón:			3 mm						
Angulo de ranura:			60°						
Soporte:			No		Corriente: proceso SMAW				
Material de aporte:			E 7018		DC:		DCEP		
Limpieza de la raíz:					Pulso:		DCEN		X
Metal base				Técnica					
Datos	M.b.1		M.b.2		Aportación		Oscilación		Recta X
Grupo:					Pase:		Múltiple		Simple
Especificación	ASTM A36				Limpieza en pases		Escobilla de acero		
Grado:					Precalentamiento				
Espesor:	12.7 mm				Temperatura de precalentamiento:				- ---
Diámetro:					Temperatura interpase:				----
					Postcalentamiento				
					Temperatura:	-----		Tiempo:	-----
Metal de aporte				Protección					
Especificación:			A5.5		Fundente:		Gas:		---
Calificación AWS:			A5.5		Composición:		Composición:		---
Marca:			Oerlikon				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	Amperaje (a)				
1	SMAW	E 7018	5/32”	DC+	100	23	2.6		

2	SMAW	E 7018	5/32"	DC+	120	24	2.8
3	SMAW	E 7018	5/32"	DC+	150	24	3.0
Detalles de la junta soldada							
Elaborado por:	Anderson Bocangelino – Edyson Camilla		Fecha:	12/06/2024			
Revisado por:	Ing. Eduardo Ortiz S.		Institución:	UNSAAC			

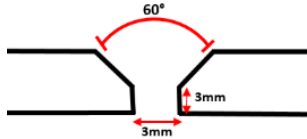
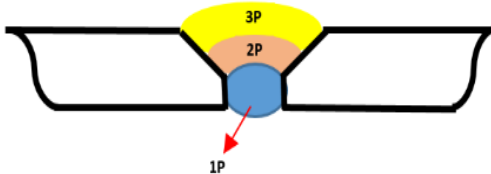
b) Probeta 2

Facultad de Ingeniería Geológica, minas y metalurgia. Escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica							
Especificación del procedimiento de soldadura							Wps
Institución:	Particular			Identificación N°:	Probeta 2 (2A-2B)		
Proceso de soldadura:	SMAW			Soporte PQR N°:	PQR – 02		
Tipo:	Manual:	X	Automático:	Semiautomático:	Maquina:	Miller-XMT 304 CC	
Revisión:	00	Fecha:	12 /06/2024		Revisado por:		
Diseño de la junta.				Posición			
Tipo de junta:		A tope		Ranura:		Filete:	
Tipo de soldadura:		Ranura en “v”		Plancha:		1G	
Abertura de raíz:		3 mm		Características eléctricas			
Talón altura de raíz o talón:		3 mm					
Angulo de ranura:		60°					
Soporte:		No		Corriente: proceso SMAW			
Material de aporte:		E 7018		DC:		DCEP	
Limpieza de la raíz:				Pulso:		DCEN X	
Metal base				Técnica			
Datos		M.b.1		M.b.2		Aportación	
Grupo:				Pase:		Oscilación	
Especificación		ASTM A36		Limpieza en pases		Escobilla de acero	
Grado:				Pre calentamiento			
Espesor:		12.7 mm		Temperatura de pre calentamiento:			- ---
Diámetro:				Temperatura interfase:			----
				Post calentamiento			
				Temperatura:		Tiempo:	
				-----		-----	
Metal de aporte				Protección			
Especificación:		A5.5		Fundente:		Gas:	
				--		---	

Calificación AWS:	A5.5	Composición	--	Composición	---		
Marca:	Oerlikon			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 e Polaridad	Amperaje (a)		
1	SMAW	E 7018	5/32"	DC+	120	24	2.6
2	SMAW	E 7018	5/32"	DC+	140	24	2.8
3	SMAW	E 7018	5/32"	DC+	160	25	3.0
Detalles de la junta soldada							
Elaborado por:	Anderson Bocangelino – Edyson Camilla		Fecha:	12/06/2024			
Revisado por:	Mgt. Ing. Teodoro Peña	Elías	Institución:	UNSAAC			

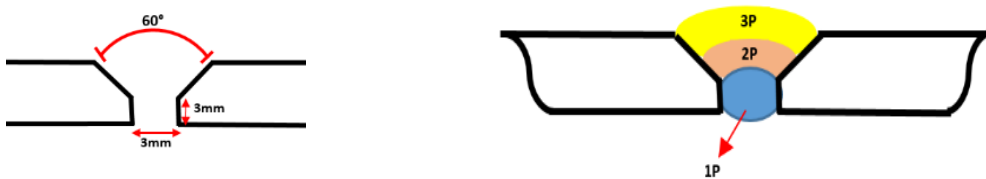
c) Probeta 3

Facultad de Ingeniería Geológica, minas y metalurgia. Escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica							
Especificación del procedimiento de soldadura							Wps
Institución:	Particular			Identificación N°:	Cupón 3 (3A-3B)		
Proceso de soldadura:	SMAW			Soporte PQR N°:	PQR – 03		
Tipo:	Manual:	<input checked="" type="checkbox"/>	Automático:	<input type="checkbox"/>	Semiautomático:	<input type="checkbox"/>	Maquina: Miller-XMT 304 CC
Revisión:	00	Fecha:	12 /06/2024		Revisado por:		
Diseño de la junta.				Posición			
Tipo de junta:	A tope			Ranura:		Filete:	
Tipo de soldadura:	Ranura en “v”			Plancha:	1G	Tubería:	
Abertura de raíz:	3 mm			Características eléctricas			
Talón altura de raíz o talón:	3 mm						
Angulo de ranura:	60°						
Soporte:	No			Corriente: proceso SMAW			
Material de aporte:	E 7018			Dc:		DCEP	
Limpieza de la raíz:				Pulso:		DCEN	X
Metal base				Técnica			
Datos	M.b.1	M.b.2	Aportación	Oscilación		Recta	X
Grupo:			Pase:	Múltiple		Simple	

Especificación	ASTM A36		Limpieza en pases	Escobilla de acero			
Grado:			Precalentamiento				
Espesor:	12.7 mm		Temperatura de precalentamiento:		- ---		
Diámetro:			Temperatura interpase:		----		
			Postcalentamiento				
			Temperatura:	-----	Tiempo: -----		
Metal de aporte			Protección				
Especificación:	A5.5		Fundente:	--	Gas: ---		
Calificación AWS:	A5.5		Composición	--	Composición ---		
Marca:	Oerlikon				Vel. Flujo		
Tamaño de alambre:	-----						
Procedimiento de soldadura							
N.- de pases	Proceso	Material de aporte		Corriente		Voltaje (v)	Veloc. De desplazamiento. (mm/seg)
		Clase	Diámetro	Tipo e Polaridad	Amperaje (a)		
1	SMAW	E 7018	5/32"	DC+	140	24	2.6
2	SMAW	E 7018	5/32"	DC+	160	25	2.8
3	SMAW	E 7018	5/32"	DC+	180	26	3.0
Detalles de la junta soldada							
							
Elaborado por:	Anderson Bocangelino – Edyson Camilla		Fecha:	12/06/2024			
Revisado por:	Mgt. Ing. Elías Teodoro Peña	Institución:	UNSAAC				

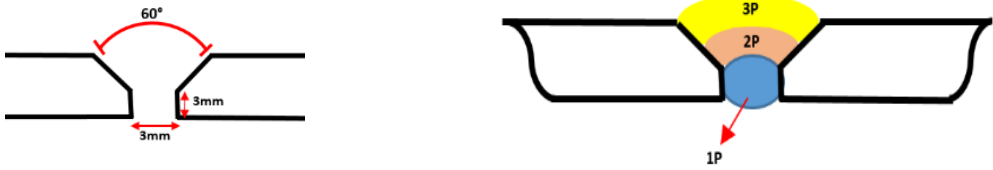
d) Probeta 4

Facultad de Ingeniería Geológica, minas y metalurgia. Escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica							
Especificación del procedimiento de soldadura							Wps
Institución:	Particular			Identificación N°:	Probeta 4 (4A-4B)		
Proceso de soldadura:	SMAW			Soporte PQR N°:	PQR – 04		
Tipo:	Manual: <input type="checkbox"/>	X Automático: <input type="checkbox"/>	Semiautomático: <input type="checkbox"/>	Maquina:	Miller-XMT 304 CC		
Revisión:	00	Fecha:	12 /06/2024		Revisado por:		
Diseño de la junta.				Posición			

Tipo de junta:	A tope		Ranura:		Filete:		
Tipo de soldadura:	Ranura en "v"		Plancha:	1G	Tubería:		
Abertura de raíz:	3 mm		Características eléctricas				
Talón altura de raíz o talón:	3 mm						
Angulo de ranura:	60°						
Soporte:	No		Corriente: proceso SMAW				
Material de aporte:	E 7018		DC:		DCEP		
Limpieza de la raíz:			Pulso:		DCEN	X	
Metal base			Técnica				
Datos	M.b.1	M.b.2	Aportación	Oscilación		Recta X	
Grupo:			Pase:	Múltiple		Simple	
Especificación	ASTM A36		Limpieza en pases	Escobilla de acero			
Grado:			Precalentamiento				
Espesor:	12.7 mm		Temperatura de precalentamiento:			- ---	
Diámetro:			Temperatura interpase:			----	
			Postcalentamiento				
			Temperatura:	-----	Tiempo:	-----	
Metal de aporte			Protección				
Especificación:	A5.5		Fundente:	--	Gas:	---	
Calificación AWS:	A5.5		Composición	--	Composición	---	
Marca:	Oerlikon				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 e Polaridad	Amperaje (a)		
1	SMAW	E 7018	5/32"	DC+	160	25	2.6
2	SMAW	E 7018	5/32"	DC+	180	26	2.8
3	SMAW	E 7018	5/32"	DC+	200	26	3.0
Detalles de la junta soldada							
							
Elaborado por:	Anderson Bocangelino – Edyson Camilla		Fecha.	12/06/2024			
Revisado por:	Mgt. Ing. Elías Teodoro Peña		Institución:	Unsaac			

e) Probeta 5

Facultad de Ingeniería Geológica, minas y metalurgia. Escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica									
Especificación del procedimiento de soldadura								Wps	
Institución:	Particular				Identificación N°:	Probeta 5 (5A-5B)			
Proceso de soldadura:		SMAW			Soporte PQR N°:		PQR – 05		
Tipo:	Manual:	X	Automático:	Semiautomático:		Maquina:		Miller-XMT 304 CC	
Revisión:	00	Fecha:	12 /06/2024		Revisado por:				
Diseño de la junta.				Posición					
Tipo de junta:		A tope		Ranura:			Filete:		
Tipo de soldadura:		Ranura en “v”		Plancha:	1G		Tubería:		
Abertura de raíz:		3 mm		Características eléctricas					
Talón altura de raíz o talón:		3 mm							
Angulo de ranura:		60°							
Soporte:		No		Corriente: proceso SMAW					
Material de aporte:		E 7018		Dc:			Dcep		
Limpieza de la raíz:				Pulso:			Dcen	X	
Metal base				Técnica					
Datos	M.b.1		M.b.2		Aportación		Oscilación	Recta	X
Grupo:					Pase:		Múltiple	Simple	
Especificación	ASTM A36				Limpieza en pases		Escobilla de acero		
Grado:					Precalentamiento				
Espesor:	12.7 mm				Temperatura de precalentamiento:				- ---
Diámetro:					Temperatura interpase:				----
				Postcalentamiento					
				Temperatura:	-----		Tiempo:	-----	
Metal de aporte				Protección					
Especificación:		A5.5		Fundente:	--		Gas:	---	
Calificación AWS:		A5.5		Composición	--		Composición	---	
Marca:		Oerlikon				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	Amperaje (a)				
1	SMAW	E 7018	5/32”	Dc+	180	26	2.6		
2	SMAW	E 7018	5/32”	Dc+	190	26	2.8		
3	SMAW	E 7018	5/32”	Dc+	210	27	3.0		
Detalles de la junta soldada									

			
Elaborado por:	Anderson Bocangelino – Edyson Camilla	Fecha.	12/06/2024
Revisado por:	Mgt. Ing. Elías Teodoro Peña	Institución:	UNSAAC

Con los parámetros mencionados en el WPS, se llegaron a soldar las probetas, tal como se observa en la figura 32

Figura 32

Soldadura de las probetas



3.4. Cálculo del Calor Neto Aportado

a) Primer depósito o pase de raíz

Para el cálculo del aporte de calor, se calculó haciendo uso de la ecuación 3 y 4 del capítulo II, reemplazando en ella los valores de la tabla 8. Se tomó el valor de 75% de eficiencia para el proceso de soldadura utilizado (los cálculos se desarrollan en el anexo 2).

Los valores del calor neto aportado para cada una de las probetas se detallan en la tabla 13.

Tabla 11

Valores del calor aportado (J/mm) en la soldadura de las probetas

Probeta	1er. pase	2do. Pase	3er pase
1	663.46	771.42	900.0
2	796.15	900.0	1000.00
3	900.00	960.00	1170.00
4	1153.80	1253.6	1250.00
5	1350.00	1323.21	1417.50

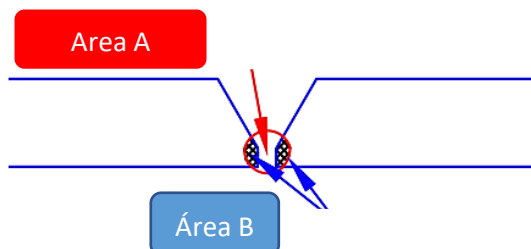
3.5. Cálculo del coeficiente de dilución

Para el cálculo, se realizaron mediciones macro usando un software de dibujo asistido por computadora (autoCAD). Después se aplica las ecuaciones 9, 10 y 11, del capítulo II, respectivamente y se calcula la dilución. En la figura 33 se observa esquemáticamente las zonas para el cálculo de la dilución.

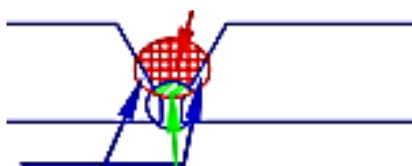
Figura 33

Áreas para cálculo de la dilución.

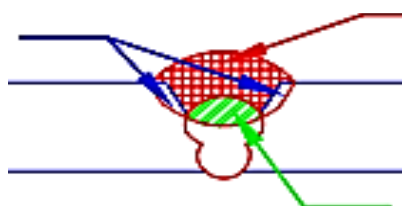
- **Primer pase:**



- **Segundo pase:**



- **Tercer pase:**



Los resultados de la medición y cálculo de la dilución se muestran en la tabla 12.

3.6. Determinación de la Composición Química

La composición química calculamos con la ecuación 10:

$$X_w = (DT) (X_A) + (1-DT) (X_f) \dots \dots \dots (Ec. 2.6)$$

Donde:

X_w = Porcentaje medio del elemento X en el depósito (composición del metal base).

X_A = Porcentaje medio del elemento X en el metal base A.

X_f = Porcentaje medio del elemento X en el metal de aporte (a determinar)

DT = Porcentaje de dilución del metal base A expresado como un decimal.

El cálculo realizado se muestra en el anexo 3.

Resumiendo, los resultados tenemos:

- **Primer pase:**

En base a la composición química del metal de aporte y material base, mostrada en la tabla 13, se calcula la composición química.

Tabla 13

Composición química del material base y material de aporte para el primer pase.

Componente	Acero A 36	Metal de aporte E7018
Carbono (C)	0,27%	0.05%
Manganeso (Mn)	1.00%	1.0%
Fósforo (P)	0,04%	Max.0.020%
Azufre (S)	0,05%	Max. 0.020%
Silicio (Si)	1.00%	0.60%

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 14 se resume la composición química del primer deposito o pasada de las cinco probetas.

Tabla 14

Composición química del primer deposito en las cinco probetas.

Elemento	ASTM A36	E7018	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Probeta 4	Probeta 5
C	0,27%	0.05%	0.13%	0.142%	0.14%	0.15%	0.141%
Mn	1.00%	1.0%	1.0%	1.00%	1.0%	1.0%	1.0%
Si	1.00%	0.60%	0.48 %	0.46 %	0.46 %	0.22 %	0.22 %
P	0,04%	0.020	0.027%	0.028%	0.028%	0.028%	0.028%
S	0,05%	0.020	0.030%	0.028%	0.032%	0.033%	0.032%

- **Segundo pase:**

Para el cálculo de la composición química del segundo pase o deposito, se toma en cuenta la composición química de las probetas tiene la composición química mostrada en la tabla 15.

Tabla 15

Composición química del metal base, primer depósito y metal de aporte

	Acero A36	Primer pase	Metal de aporte 7018
Carbono (C)	0,27%	0.13%	0.05%
Manganeso (Mn)	1.00%	1.0%	1.0%
Silicio (Si)	0,27%	0.48%	0.60%
Fósforo (P)	0,04%	0.027%	0.020
Azufre (S)	0,05%	0.030%	0.020

En la tabla 16 se resume la composición química del primer deposito o pasada de las cinco probetas.

Tabla 16

Composición química del segundo depósito en las cinco probetas

Elemento	ASTM A36	E7018	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Probeta 4	Probeta 5
C	0,27%	0.05%	0.122%	0.122%	0.119%	0.126%	0.135%
Mn	1.00%	1.0%	1.0%	1.00%	1.0%	1.0%	1.0%
Si	1.00%	0.60%	0.43 %	0.485 %	0.488 %	0.492 %	0.471 %
P	0,04%	0.020	0.026%	0.026%	0.026%	0.026%	0.027%
S	0,05%	0.020	0.029%	0.029%	0.029%	0.030%	0.031%

- **Tercer pase:**

En la tabla 17 se resume la composición química del tercer depósito o pasada de las cinco probetas.

Tabla 17

Composición química del tercer depósito en las cinco probetas.

Elemento	ASTM A36	E7018	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Probeta 4	Probeta 5
C	0,27%	0.05%	0.125%	0.125%	0.129%	0.130%	0.136%
Mn	1.00%	1.0%	1.0%	1.00%	1.0%	1.0%	1.0%
Si	1.00%	0.60%	0.47 %	0.484 %	0.342 %	0.479 %	0.477 %
P	0,04%	0.020	0.026%	0.027%	0.027%	0.031%	0.029%
S	0,05%	0.020	0.030%	0.030%	0.031%	0.027%	0.032%

3.7. Control de Calidad de las probetas

a) Inspección visual de los cupones

Este ensayo permite la detección de discontinuidades que afectan la sanidad de las probetas.

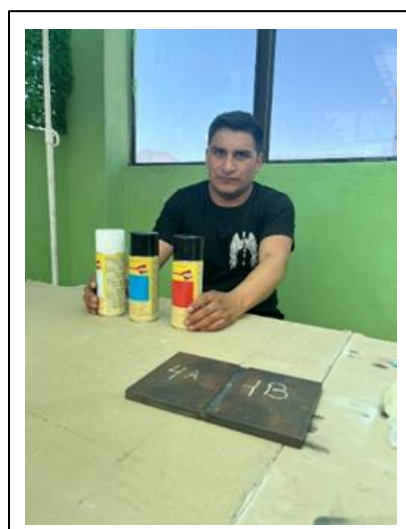
En la tabla 18 se detallan los resultados del examen visual.

Tabla 18*Resultados del examen visual.*

N° de Cupón	Defecto	Causa	Calificacion
1	Falta de penetración	Intensidad de corriente baja.	Rechazado
2	Deposito aceptable	Intensidad de corriente baja,	Aceptado
3	Deposito aceptable	Intensidad de corriente aceptable, velocidad de soldeo y ángulo de soldeo ideales.	Aceptado
4	Deposito Correcto	Intensidad de corriente aceptable, velocidad de soldeo y ángulo de soldeo ideales.	Aceptado
5	Socavaduras	Intensidad de corriente muy alta	Aceptado

b) Inspección con tintes penetrantes (fluorescentes)

En la figura 34, se observa el kit de tintes penetrantes aplicado en el ensayo.

Figura 34*Kit de tintes penetrantes*

- **Procedimiento para realizar en ensayo de líquidos penetrantes:**

- ✓ **Limpieza de la superficie.**

Dado que la zona del depósito puede estar contaminada por impurezas, tales como grasa, polvo, escoria lo que podría dar una lectura errónea, se realiza la limpieza.

Se realizó la limpieza de forma mecánica y química. La limpieza mecánica se realizó con una escobilla de acero inoxidable y la limpieza química con un disolvente en forma de spray, tal como se observa en la figura 35.

Figura 35

Limpieza química del depósito de soldadura.



- ✓ **Aplicación del tinte penetrante**

Después de verificar que el depósito de soldadura este limpio, se procede a la aplicación del tinte penetrante. El envase del tinte penetrante debe estar a una distancia aproximada de unos 30 cm de la superficie. El rociado del penetrante se realizó en forma paralela y uniforme a lo largo de la zona a inspeccionar (zona de soldadura). En la figura 36, se observa esta operación.

Figura 36

Rociado con tinte penetrante.



✓ **Remoción del exceso de tinte penetrante.**

Durante 10 minutos se deja actuar al penetrante, posterior a este lapso de tiempo, se limpia con un paño el exceso del líquido penetrante, como se observa en la figura 37.

Figura 37

Limpieza del exceso de penetrante.



✓ **Aplicación del tinte revelador.**

Se distribuye de manera uniforme una capa delgada en el área a examinar, manteniendo una distancia de aproximadamente 20 a 30 cm entre el recipiente del revelador y la soldadura a probar. Se deja reposar durante 15 minutos para que las discontinuidades en el área inspeccionada se hagan visibles. Esta operación se observa en el a figura 38.

Figura 38

Aplicación del tinte revelador



✓ **Visualización del tinte revelador.**

El revelador debe permanecer sobre la superficie de la muestra durante 15 minutos para permitir que el penetrante salga de cualquier defecto superficial.

Figura 39

Visualización de posibles discontinuidades.



✓ Limpieza del cupón.

La operación final de este proceso es una limpieza general del cupón.

✓ Inspección e interpretación.

Una vez realizados los pasos anteriores se realizó las interpretaciones las que se muestran en la tabla 19.

Tabla 19

Visualización del examen por tintes penetrantes

Probeta	Observaciones	Defectos
1	Presenta discontinuidad.	Falta de fusión
2	No presenta discontinuidad.	Ninguna
3	No presenta discontinuidad	Ninguna
4	No presenta discontinuidad.	Ninguna
5	Presenta discontinuidad	Socavadura

3.8. Ensayo de Doblado Guiado de Cara y Raíz

Para realizar esta prueba las probetas deben seleccionarse. En la figura 40, se muestra como se selecciona una probeta para la prueba de doblez.

Figura 40

Selección de la probeta para la prueba de doblez.



En esta prueba, la probeta se apoya sobre dos puntos normalmente ubicados en sus extremos, mientras que un tercer apoyo (llamado punzón) ejerce la fuerza para provocar el doblado en la parte central de la probeta hasta doblar un Angulo de 180° . Esta acción se observa en la figura 41.

Figura 41

Aplicación de carga en la parte central de la probeta.





Fuente: Elaboración propia.



3.8.1 Registro de calificación del procedimiento (PQR)

El PQR, es un documento que valida y respalda el WPS. EL PQR contiene las variables reales de soldadura utilizadas en la prueba y los resultados del ensayo realizado sobre la soldadura para propósitos de calificar las especificaciones del procedimiento de soldadura. El PQR es el registro que documenta los resultados de soldar y ensayar las probetas. En las tablas siguientes se detallan los resultados de la prueba de dobléz de las cinco probetas:

- **Probeta 1**



	Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalurgia Escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica.						
Ensayo de doblado guiado.							PQR
Datos informativos del espécimen a ensayar							
Proceso de soldado	SMAW	Amperaje	Variado	Voltaje		vel. de soldeo	Variado
Tipo de estudio:	De laboratorio			Nº de probeta:	1		
Norma aplicable:	ASTM A36			Fecha de elaboración:	18/06/2024		
Realizado por:	Anderson Bocangelino y Edison Camilla			Asesor:	Mgt. Ing. Elías Teodoro Peña		
Centro de estudio y análisis:	Taller de soldadura. Escuela prof. De ing. Metalúrgica. UNSAAC						
Espesor de la probeta:	12.75 mm	Longitud de la probeta:			200 mm		
Resultados.							
Probeta	Lado de la prueba			Observaciones			
1	Cara			No presenta discontinuidad			
	Raíz			Presenta discontinuidad			
Aprobación:				No aprueba			

- **Probeta 2**



	Facultad de ingeniería geológica, minas y metalurgia Escuela profesional de ingeniería metalúrgica.						
Ensayo de doblado guiado.							PQR
Datos informativos del espécimen a ensayar							
Proceso de soldado	SMAW	Amperaje	Variado	Voltaje		Vel. De soldeo	Variado
Tipo de estudio:	De laboratorio			Nº de probeta:	2		
Norma aplicable:	ASTM A36			Fecha de elaboración:	18/06/2024		
Realizado por:	Anderson Bocangelino y Edison Camilla			asesor:	Mgt. Ing. Elías Teodoro Peña		

Centro de estudio y análisis:	Taller de soldadura. Escuela Prof. De Ing. Metalúrgica. UNSAAC		
Espesor de la probeta:	12.75mm	Longitud de la probeta:	200 mm
Resultados.			
Probeta	Lado dela prueba		Observaciones
2	Cara		No presenta discontinuidad
	Raiz		No presenta discontinuidad
Aprobación:			Aprueba



- **Probeta 3**

	Facultad de ingeniería geologica, minas y metalurgia Escuela profesional de ingeniería metalurgica.						
Ensayo de doblado guiado.							PQR
Datos informativos del especimen a ensayar							
Proceso de soldado	SMAW	Amperaje	Variado	Voltaje		Vel. De soldeo	Variado
Tipo de estudio:	De laboratorio			Nº de probeta:	3		
Norma aplicable:	ASTM A36			Fecha de elaboración:	18/06/2024		
Realizado por:	Anderson Bocangelino y Edison Camilla			asesor:	Mgt. Ing. Elías Teodoro Peña		
Centro de estudio y análisis:	Taller de soldadura. Escuela Prof. De Ing. Metalúrgica. UNSAAC						
Espesor de la probeta:	12.75mm	Longitud de la probeta:			200 mm		
Resultados.							
Probeta	Lado dela prueba				Observaciones		
2	Cara				No presenta discontinuidad		
	Raiz				No presenta discontinuidad		
Aprobación:					Aprueba		

- **Probeta 4**

		Facultad de ingeniería geológica, minas y metalurgia Escuela profesional de ingeniería metalúrgica.						
Ensayo de doblado guiado.							PQR	
Datos informativos del espécimen a ensayar								
Proceso de soldado	SMAW	Amperaje	Variado	Voltaje		Vel. de soldeo	De	Variado
Tipo de estudio:	De laboratorio			Nº de probeta:	4			
Norma aplicable:	ASTM A36			Fecha de elaboración:	18/06/2024			
Realizado por:	Anderson Bocangelino y Edison Camilla			asesor:	Mgt. Ing. Elías Teodoro Peña.			
Centro de estudio y análisis:	Taller de soldadura. Escuela Prof. De Ing. Metalúrgica. UNSAAC							
Espesor de la probeta:	12.75mm	Longitud de la probeta:			200 mm			
Resultados.								
Probeta	Lado de la prueba				Observaciones			
2	Cara				No presenta discontinuidad			
	Raíz				No presenta discontinuidad			
Aprobación:					Aprueba			

- **Probeta 5**

		Facultad de ingeniería geológica, minas y metalurgia Escuela profesional de ingeniería metalúrgica.						
Ensayo de doblado guiado.							PQR	
Datos informativos del espécimen a ensayar								
Proceso de soldado	SMAW	Amperaje	Variado	Voltaje		Vel. de soldeo	De	Variado
Tipo de estudio:	De laboratorio			Nº de probeta:	5			

Norma aplicable:	ASTM A36	Fecha de elaboración:	18/06/2024
Realizado por:	Anderson Bocangelino y Edison Camilla	asesor:	Mgt. Ing. Elías Teodoro Peña
Centro de estudio y análisis:	Taller de soldadura. Escuela Prof. De Ing. Metalúrgica. UNSAAC		
Espesor de la probeta:	12.75mm	Longitud de la probeta:	200 mm
Resultados.			
Probeta	Lado dela prueba	Observaciones	
2	Cara	No presenta discontinuidad	
	Raiz	No presenta discontinuidad	
Aprobación:		Aprueba	

En la figura 41, se observa una secuencia de prueba de doblez con la probeta 2. En la figura 42 (a), se observa la colocación de la probeta, en la figura 42 (b), se observa un doblez de aproximadamente 90° y en la figura 42 (c), se observa un doblez de 180°.

Figura 42

Secuencia de la prueba de doblez.



(a)



(b)



(c)

3.9. Resultados obtenidos y su discusión

a) Calor neto aportado

Los resultados del calor neto aportado se muestran en la tabla 20.

Tabla 20

Valores de calor neto aportado en la soldadura de las probetas.

Probeta	1er. pase	2do. Pase	3er pase
1	663.46	771.42	900.0
2	796.15	900.0	1000.00
3	900.00	960.00	1170.00
4	1153.80	1253.6	1250.00
5	1350.00	1323.21	1417.50

De acuerdo a los resultados, podemos interpretar lo siguiente:

El aumento del amperaje en el proceso de soldadura influye directamente en el aporte de calor neto. En la soldadura del acero ASTM A36, un aumento en el amperaje tiene las siguientes implicaciones:

- 1. Mayor Aporte de Calor:** El amperaje es uno de los componentes clave que determina la cantidad de calor generada durante la soldadura. Un aumento en el amperaje incrementa la cantidad de calor que se transfiere al metal base, lo cual es fundamental para fundir el material de aporte y las superficies del metal base que se van a unir.
- 2. Profundidad de Penetración:** Aumentar el amperaje generalmente resulta en una mayor profundidad de penetración de la soldadura. Esto significa que el calor penetra más profundamente en el metal base, lo cual es importante para obtener una buena fusión y una unión sólida.

3. **Velocidad de Soldadura:** Un mayor amperaje puede permitir una velocidad de soldadura más alta, ya que se puede fundir más material en un menor tiempo. Sin embargo, esto debe manejarse cuidadosamente para evitar defectos en la soldadura.
4. **Riesgo de Defectos:** Un amperaje excesivamente alto puede causar varios problemas, como quemaduras, salpicaduras excesivas, distorsión del material y aumento del riesgo de porosidad en la soldadura. Además, el sobrecalentamiento puede afectar negativamente la microestructura del acero, reduciendo sus propiedades mecánicas.
5. **Control Térmico:** El aumento del aporte de calor puede llevar a una zona afectada por el calor (ZAT) más grande. Esto puede resultar en cambios microestructurales no deseados en el acero ASTM A36, como el crecimiento de grano, que puede debilitar la zona soldada.

b) Inspección visual de las probetas (ver tabla 31)

Tabla 21

Inspección visual de los cupones.

Probeta	Defecto	Causa	Calificación
1	Falta de penetración	Intensidad de corriente baja.	Rechazado
2	Deposito aceptable	Intensidad de corriente baja,	Aceptado
3	Deposito aceptable	Intensidad de corriente aceptable, velocidad de soldeo y ángulo de soldeo ideales.	Aceptado
4	Deposito Correcto	Intensidad de corriente aceptable, velocidad de soldeo y ángulo de soldeo ideales.	Aceptado
5	Socavaduras	Intensidad de corriente muy alta	Rechazado

Visto los resultados de la inspección visual, se afirma lo siguiente:

✓ **Probeta 1: Insuficiente Penetración**

La primera probeta presenta insuficiente penetración en la soldadura, esto se debe a un amperaje insuficiente durante la soldadura como también a una alta velocidad de soldadura y una deficiente preparación de las juntas. Por lo que se recomienda ajustar el amperaje y la velocidad de soldadura para asegurar una adecuada penetración y revisar la preparación de las superficies antes de realizar la soldadura.

✓ **Probeta 2:**

Sin efectos visuales significativos. La soldadura es uniforme y sin irregularidades notables. Esto implica que se han usado correctamente los parámetros de soldadura.

✓ **Probeta 3:**

Sin efectos visuales significativos. La soldadura es uniforme y sin irregularidades notables. Esto implica que se han usado correctamente los parámetros de soldadura.

✓ **Probeta 4:**

Sin efectos visuales significativos. La soldadura es uniforme y sin irregularidades notables. Esto implica que se han usado correctamente los parámetros de soldadura.

✓ **Probeta 5: Socavaciones**

La última probeta presenta socavaciones en la soldadura. Se debe a un excesivo amperaje durante la soldadura o a una velocidad de soldadura lenta que hace que se concentre el calor en exceso en ciertas áreas. Podría producirse también por una inadecuada técnica de soldadura incorrecta.

c) Inspección por tintas penetrantes

Los resultados de la prueba de tintes penetrantes se resumen en la tabla 33.

Tabla 22

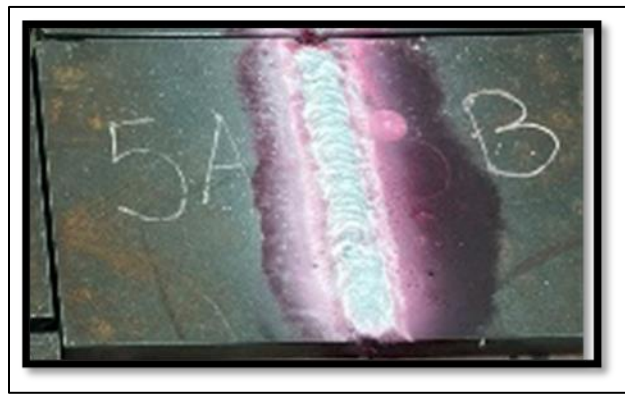
Resultados de la inspección visual por tintes penetrantes (fluorescentes).

Probeta	Observaciones	Defectos
1	Presenta discontinuidad.	Falta de fusión
2	Presenta discontinuidad.	Ninguna
3	Presenta discontinuidad	Ninguna
4	No presenta discontinuidad.	Ninguna
5	Presenta discontinuidad	Socavadura

En la figura 43, se puede observar la socavadura presente en paralelo al eje del cordón.

Figura 43

Socavadura presente en la probeta 5.



Se realizaron pruebas de tintes penetrantes en cinco probetas soldadas para detectar posibles discontinuidades superficiales. A continuación, se presentan los resultados y observaciones para cada probeta:

✓ **Probeta 1: Insuficiente Penetración**

Probeta rechazada. La prueba de tintes penetrantes reveló insuficiente penetración en la soldadura. La insuficiente penetración indica que la soldadura no ha alcanzado la profundidad necesaria para asegurar una unión sólida y duradera. Este defecto puede comprometer la integridad estructural de la soldadura, por lo que esta probeta ha sido rechazada. Para evitar , se debe revisar y ajustar los parámetros de soldadura, tales como el amperaje y la velocidad de soldadura, para asegurar una penetración adecuada.

✓ **Probeta 2: Sin Discontinuidades**

Esta probeta es aceptada. La prueba de tintes penetrantes no reveló ninguna discontinuidad.

La soldadura de esta probeta es uniforme y no presenta defectos superficiales, lo que indica un proceso de soldadura correctamente ejecutado.

✓ **Probeta 3: Sin Discontinuidades**

Esta probeta es aceptada. La prueba de tintes penetrantes no reveló ninguna discontinuidad.

La soldadura de esta probeta es uniforme y no presenta defectos superficiales, lo que indica un proceso de soldadura correctamente ejecutado.

✓ **Probeta 4: Sin Discontinuidades**

Esta probeta es aceptada. La prueba de tintes penetrantes no reveló ninguna discontinuidad.

La soldadura de esta probeta es uniforme y no presenta defectos superficiales, lo que indica un proceso de soldadura correctamente ejecutado.

✓ **Probeta 5: Presenta socavaciones**

Esta probeta es rechazada. La prueba de tintes penetrantes reveló socavaciones en la soldadura. Las socavaciones representan una pérdida de material en los bordes de la soldadura, lo que puede debilitar la unión y comprometer la resistencia de la estructura. Este defecto ha llevado al rechazo de esta probeta.

d) Ensayo de doblez.

En la tabla 23 se muestra los resultados obtenidos del ensayo de doblez.

Tabla 23

Resultados del ensayo de doblez.

Probeta	Doblado		Discontinuidad o defecto.	Calificación	
	Cara	Raíz		Cumple	No cumple
1		X	Presenta		X
2	X	X	No presenta	X	
3	X	X	No presenta	X	
4	X	X	No presenta	X	
5	X		Presenta		X

Fuente: Elaboración propia.

e) Composición química del deposito

En las tablas 24, 25 y 26, se muestra la composición química del primer, segundo y tercer deposito.

Tabla 24*Composición química del primer deposito*

Elemento	ASTM A36	E7018	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Probeta 4	Probeta 5
C	0,27%	0.05%	0.13%	0.142%	0.14%	0.15%	0.141%
Mn	1.00%	1.0%	1.0%	1.00%	1.0%	1.0%	1.0%
Si	1.00%	0.60%	0.48 %	0.46 %	0.46 %	0.22 %	0.22 %
P	0,04%	0.020	0.027%	0.028%	0.028%	0.028%	0.028%
S	0,05%	0.020	0.030%	0.028%	0.032%	0.033%	0.032%

Tabla 25*Composición química del segundo deposito*

Elemento	ASTM A36	E7018	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Probeta 4	Probeta 5
C	0,27%	0.05%	0.122%	0.122%	0.119%	0.126%	0.135%
Mn	1.00%	1.0%	1.0%	1.00%	1.0%	1.0%	1.0%
Si	1.00%	0.60%	0.43 %	0.485 %	0.488 %	0.492 %	0.471 %
P	0,04%	0.020	0.026%	0.026%	0.026%	0.026%	0.027%
S	0,05%	0.020	0.029%	0.029%	0.029%	0.030%	0.031%

Tabla 26*Composición química del tercer deposito*

Elemento	ASTM A36	E7018	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Probeta 4	Probeta 5
C	0,27%	0.05%	0.125%	0.125%	0.129%	0.130%	0.136%
Mn	1.00%	1.0%	1.0%	1.00%	1.0%	1.0%	1.0%
Si	1.00%	0.60%	0.47 %	0.484 %	0.342 %	0.479 %	0.477 %
P	0,04%	0.020	0.026%	0.027%	0.027%	0.031%	0.029%
S	0,05%	0.020	0.030%	0.030%	0.031%	0.027%	0.032%

De acuerdo a los resultados anteriormente mostrados, podemos indicar lo siguiente: El aumento del amperaje durante procesos de soldadura tiene un impacto significativo tanto en la dilución como en la composición química del metal base.

Respecto a la dilución podemos indicar que, al incrementar el amperaje la cantidad de energía térmica suministrada a la zona de soldadura también aumenta. Esto causa una mayor fusión

del metal base, resultando en una mayor dilución lo que altera las propiedades mecánicas y químicas de la junta soldada, ya que la proporción de metal base en la mezcla final aumenta.

Respecto a la composición química, se observa que un aumento de amperaje en los diferentes pases o depósitos de soldadura aumenta la dilución, por ende cambia significativamente la composición química del cordón de soldadura, lo que lógicamente puede afectar la resistencia, dureza, ductilidad y otras propiedades mecánicas del metal soldado.

CONCLUSIONES

Primera. La soldadura multipasadas en el proceso SMAW del acero ASTM A36 influye significativamente en la composición química del depósito de soldadura. A medida que se añaden capas, la mezcla de elementos del metal base y del metal de aporte se homogeniza, afectando las propiedades mecánicas y metalúrgicas del depósito final. Un control adecuado de los parámetros de soldadura, la selección de electrodos y la secuencia de soldadura es esencial para lograr las propiedades deseadas en la soldadura final.

Segunda. En la soldadura multipasadas, el amperaje tiene una influencia significativa en la composición química del metal base y del cordón de soldadura en cada una de las pasadas. En las tablas se observa que al aumento de la intensidad de corriente

Tercera. El coeficiente de dilución en la soldadura SMAW del acero ASTM A36 influye significativamente en la composición química del depósito de soldadura. Un mayor coeficiente de dilución resulta en una mayor incorporación de elementos del metal base, lo que puede alterar las propiedades mecánicas y metalúrgicas del depósito de soldadura. Controlar este coeficiente a través de los parámetros de soldadura y la selección de electrodos es esencial para lograr las propiedades deseadas en la soldadura final.

Cuarta. La composición química del metal base (acero ASTM A36) y del metal de aporte (E 7018) influyen significativamente en la composición química del depósito de soldadura. La interacción entre estos materiales, junto con los parámetros de soldadura, determina las propiedades finales de la soldadura, incluyendo su resistencia, ductilidad y resistencia a la corrosión. Controlar estos factores es esencial para lograr soldaduras de alta calidad con las propiedades deseadas.

RECOMENDACIONES

Primera. Para realizar ensayos no destructivos con líquidos penetrantes, se debe crear un ambiente adecuado. Esto incluye iluminación natural, humedad y corrientes de aire.

Segunda. Evaluar la microestructura del depósito de soldadura y su influencia en las propiedades mecánicas del acero ASTM A36.

Tercera. Determinar el ancho de la ZAC (zona afectada por el calor), para determinar la influencia de la soldadura multipasada en el acero ASTM A36.

Cuarta. Se debe contar con EPPS adecuados para la manipulación de los productos químicos que contienen el kit de líquidos penetrantes, procesos de elaboración de probetas.

Quinta. Se debe contar con soldadores homologados para la realización de las operaciones de soldadura.

Sexta. Se sugiere a la escuela profesional de ingeniería metalúrgica ampliar en la malla curricular cursos de especialidad referente a la industria de la soldadura.

BIBLIOGRAFIA

- A.Garcia, A. J. (2010). Estudio tribologico de aceros austeniticos tipo hadfield, influencia del manganeso en su respuesta frente al desgaste. *Metalurgia*, 46, 47-52. Obtenido de https://www.academia.edu/11560942/Estudio_tribol%C3%B3gico_de_aceros_austen%C3%ADticos_tipo_Hadfield_influencia_del_manganeso_en_su_respuesta_frente_al_desgaste
- Aceros Arequipa . (2020). *Catálogo de productos*.
- Aguirre Sosapanta, C., & Figueroa Bernal, A. (2008). *Análisis Técnico económico entre proyectos de construccion de estructura metálica y hormigón armado para edificios*. Tesis de pre grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/607/1/CD-1570%282008-06-30-03-17-36%29.pdf>
- Alonso, C. (2012). *Manual de Soldadura por Arco Eléctrico con electrodo recubierto*. Cano Pina Ceysa.
- American Welding Society Rl. . (26 de Agosto de 2009). *Manual de Soldadura*. Obtenido de <https://pdfcoffee.com/manual-de-soldadura-vol-1-aws-pdf-free.html>
- Fosca, C. (2007). Introducción a la metalurgia de la soldadura. *Introduccion a la metalurgia de la soldadura*. PUCP, Lima, Peru. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/476338671/Introduccion-a-la-Metalurgia-de-la-Soldadura-Carlos-Fosca-pdf>
- Fosca, C. (2009). Introducción a la metalurgia de la soldadura. *Introduccion a la metalurgia de la soldadura*. PUCP, Lima, Peru.
- Lincoln Electric. (2013). *Soldeo manual con electrodos revestidos*. Lincoln Electric. Obtenido de https://www.academia.edu/7303830/Manual_Lincol_Electrodos
- Paredes Balseca, M. (2017). *Análisis del proceso de corte por plasma en planchas de acero en la empresa ATU artículos de acero S.A. y su incidencia en la productividad*. Tesis de pre grado, Universidad Tecnológica Indoamérica, Quito. Obtenido de <https://repositorio.uti.edu.ec/bitstream/123456789/444/1/TESIS%20DE%20INGENIER%20INDUSTRIAL%20DE%20PAREDES%20BALSECA%20MARCO%20ANTONIO%20.pdf>
- Pérez Cargua, M. A., & Pullas Rea, L. M. (2009). Influencia De La Utilización De Insertos De Varilla Corrugada Sobre Las Soldaduras De Perfil Estructural. *Tesis de posgrado*. Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba. Obtenido de <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/270/3/15T00419.pdf>
- Salazar Mara. (2021). *Aceros Aleados*. Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño, Maracaibo.
- Soldexa. (2011). *Manual de Soldadura y Catálogo de Productos*. Oerlikon. Obtenido de <https://es.slideshare.net/RonPincu/manual-soldadura-soldexa-15139801>
- Soldexa. (2015). *Manual de Soldadura y Catálogo de Productos* (Sétima edición ed ed.). México.

ANEXOS

ANEXO 01

MATRIZ DE CONSISTENCIA				
EFECTO DE LA SOLDADURA MULTIPASADAS EN LA COMPOSICION QUIMICA DEL DEPOSITO DE SOLDADURA EN LA SOLDABILIDAD DEL ACERO ASTM A36 POR EL PROCESO SMAW (Investigación Tecnológica)				
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>El acero estructural ASTM A-36, su aplicación se basa en construcción de estructuras metálicas, puentes, torres de energía, torres para comunicación y edificaciones remachadas, atornilladas o soldadas, etc. Los aceros ASTM A-36 son un 20% más livianos que corresponderían a aceros al carbono para la misma resistencia. En la región del Cusco, existen una gran cantidad de empresas que se dedican a la fabricación de estructuras metálicas mediante la soldadura, pero la soldadura es realizada sin ningún tipo de conocimiento científico, es decir se ejecuta sin tomar en cuenta la participación de las diferentes variables de soldadura. En la soldadura del acero de espesores gruesos, se requiere depositar varios cordones, esto implica que los depósitos de soldadura tienen composiciones químicas diferentes, lo que se traducirá también en cambio de propiedades mecánicas. Sin el conocimiento de la composición química del metal depositado se estaría poniendo en peligro el colapsamiento de las estructuras metálicas y disminuyendo las posibilidades de desarrollo y mejoramiento empresarial.</p> <p>De aquí que el presente trabajo expone una propuesta para conocer el efecto que puede tener las soldaduras multipasadas en la composición química del depósito de soldadura en el acero ASTM A36 ejecutado por el proceso SMAW.</p> <p>Problema general ¿Cómo influirá la soldadura multipasadas en la composición química del metal depositado del acero ASTM A-36 por el proceso SMAW?</p> <p>Problemas específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo influirá la intensidad de corriente en la composición química del acero ASTM A-36 por el proceso SMAW? • ¿Cómo influirá la dilución en la composición química del acero ASTM A-36 por el proceso SMAW? • ¿Cómo influye la cantidad del metal base fundido en la composición química del acero ASTM A-36 por el proceso SMAW? 	<p>Objetivo general</p> <p>Determinar la influencia de la soldadura multipasadas en la composición química del depósito en la soldadura del acero ASTM A 36 por el proceso SMAW.</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>a) Determinar la influencia de la intensidad de corriente en la composición química del depósito en la soldadura del acero ASTM A 36 por el proceso SMAW.</p> <p>b) Determinar la influencia de la dilución en la composición química en la composición química del depósito en la soldadura del acero ASTM A 36 por el proceso SMAW.</p> <p>c) Determinar la influencia de la composición química del metal base y del material de aporte en la composición química del depósito en la soldadura del acero ASTM A-36 por el proceso SMAW.</p>	<p>Hipótesis general La soldadura multipasadas determina un cambio en la composición química del metal depositado en la soldadura del acero ASTM A36 por el proceso SMAW.</p> <p>Hipótesis específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> • La intensidad de corriente aplicado en los cordones multipasadas determina un cambio en la composición química del metal depositado en la soldadura del acero ASTM A36 por el proceso SMAW. • El coeficiente de dilución influye en la composición química del depósito de soldadura en la soldadura del acero ASTM A36 por el proceso SMAW. • La composición química del metal base y del metal de aporte influyen en la composición química del depósito de soldadura en la soldadura del acero ASTM A36 por el proceso SMAW. 	<p>Variables independientes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Composición química del metal base • Composición química del metal de aporte • Coeficiente de dilución. <p>Variables dependientes Composición química depósito de soldadura.</p>	<p>Tipo de investigación</p> <p>a) Exploratorio. Se investigará todo y cada uno de los detalles del trabajo, para esto se indagará en cada uno de los parámetros de análisis generando hipótesis y reconociendo las variables de interés investigativo.</p> <p>b) Descriptivo. Esta investigación se la realiza describiendo el problema en una circunstancia espacial determinada, además esta investigación será la más adecuada para la problemática de la investigación, por su origen y su desarrollo.</p> <p>c) Correlacional. En este tipo de investigación va a tener como finalidad determinar el grado de relación o sociedad no causal, existente entre dos o más variables evaluando la hipótesis, sujeta a comprobación.</p> <p>d) Explicativa. La investigación intenta informar de un aspecto de la realidad, explicando su significatividad dentro de una teoría de referencia encargada de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto.</p>

ANEXO 02

SMAW

Aceros al Carbono y Baja Aleación



SUPERCITO

Electrodo revestido de tipo básico, de bajo hidrógeno con extraordinarias características mecánicas y de soldabilidad. Presenta un arco muy suave, bajo nivel de salpicaduras y la escoria es de muy fácil remoción. El contenido de hierro en polvo mejora su tasa de depósito. Dentro de su categoría es el producto que presenta los mejores niveles de resistencia a la tracción.

Clasificación		Aprobaciones	Grados
AWS A5.1 / ASME-SFA 5.1	E7018	ABS LR GL	3H1 5,3Y 3m,3ym 3Y

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

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0,05	1,00	0,60	máx. 0,020	máx. 0,020	-	-	-	-	-

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 [°C (°F)] [J (Ft-Lbf)]
Sin tratamiento	520 – 610 (75 400 – 88 450)	mín. 400 (58 000)	mín. 23	[-30 °C (-22 °F)] mín. 70 (57)

Conservación del Producto	Posiciones de Soldadura
<ul style="list-style-type: none"> Mantener en un lugar seco y evitar humedad. Almacenamiento en horno: 125 - 150°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	2,50	3,25	4,00	5,00	6,30
	[pulgadas]	1/16	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4
Amperaje mínimo		-	60	90	120	170	210
Amperaje máximo		-	90	140	190	240	280

Aplicaciones

- Para aceros de mediano a alto contenido de carbono, alta resistencia y baja aleación.
- Para aceros de alto contenido de azufre y fácil fresado.
- Para aceros laminados al frío.
- Por sus características de resistencia y su fácil manejo, especialmente adecuado para: Soldaduras de tuberías de vapor, calderas de alta presión, piezas de maquinaria pesada, instalaciones de la industria petrolera, petroquímica y minera.

Nota: El precalentamiento está en función al tipo y espesor del material a soldar.

ANEXO 03

Cálculo del calor neto aportado en las diferentes probetas.

- **Probeta 1:**

Primer pase:

$$H_{net} = \frac{23 \times 100}{2.6} \times 0.75 = 663.46 \text{ J/mm}$$

Segundo pase:

$$H_{net} = \frac{24 \times 120}{2,8} \times 0.75 = 771.42 \frac{J}{mm}$$

Tercer pase:

$$H_{net} = \frac{24 \times 150}{3.0} \times 0.75 = 900.0 \text{ J/mm}$$

- **Probeta 2**

Primer pase:

$$H_{net} = \frac{23 \times 120}{2.6} \times 0.75 = 796.15 \text{ J/mm}$$

Segundo pase:

$$H_{net} = \frac{24 \times 140}{2.8} \times 0.75 = 900.0 \text{ J/mm}$$

Tercer pase:

$$H_{net} = \frac{25 \times 160}{3.0} \times 0.75 = 1000.00 \text{ J/mm}$$

- **Probeta 3:**

Primer pase:

$$H_{net} = \frac{24 \times 140}{2.6} \times 0.75 = 900.00 \text{ J/mm}$$

Segundo pase:

$$H_{net} = \frac{24 \times 160}{2.8} \times 0.75 = 960.00 \text{ J/mm}$$

Tercer pase:

$$H_{net} = \frac{26 \times 180}{3.0} \times 0.75 = 1170.00 \text{ J/mm}$$

- **Probeta 4:**

Primer pase:

$$H_{net} = \frac{25 \times 160}{2.6} \times 0.75 = 1153.80 \text{ J/mm}$$

Segundo pase:

$$H_{net} = \frac{26 \times 180}{2.8} \times 0.75 = 1253.6 \text{ J/mm}$$

Tercer pase:

$$H_{net} = \frac{25 \times 200}{3.0} \times 0.75 = 1250.00 \text{ J/mm}$$

- **Probeta 5:**

Primer pase:

$$H_{net} = \frac{26 \times 180}{2.6} \times 0.75 = 1350.00 \text{ J/mm}$$

Segundo pase:

$$H_{net} = \frac{26 \times 190}{2.8} \times 0.75 = 1323.21.00 \text{ J/mm}$$

Tercer pase:

$$H_{net} = \frac{27 \times 210}{3.0} \times 0.75 = 1417.50 \text{ J/mm}$$

ANEXO 04

a. Cálculos para hallar la composición química del depósito de soldadura en el primer pase:

- **Probeta 1**

$$\%C = 0.37(0.27) + (1-0.37) (0.05) = 0.13\%$$

$$\%Mn = 0.37(1) + (1-0.37) (1.0) = 1.0\%$$

$$\%Si = 0.37(0.27) + (1-0.37) (0.60) = 0.48 \%$$

$$\%P = 0.37(0.04) + (1-0.37) (0.02) = 0.02\%$$

$$\%S = 0.37(0.05) + (1-0.37) (0.02) = 0.03\%$$

- **Probeta 2**

$$\%C = 0.4081(0.27) + (1-0.4081) (0.05) = 0.142\%$$

$$\%Mn = 0.4081(1) + (1-0.4081) (1.0) = 1.00\%$$

$$\%Si = 0.4081(0.27) + (1-0.4081) (0.60) = 0.46 \%$$

$$\%P = 0.4081(0.04) + (1-0.4081) (0.02) = 0.028\%$$

$$\%S = 0.4081(0.05) + (1-0.4081) (0.02) = 0.0280\%$$

- **Probeta 3**

$$\%C = 0.4313(0.27) + (1-0.4313) (0.05) = 0.14\%$$

$$\%Mn = 0.4313(1) + (1-0.4313) (1.0) = 1.0\%$$

$$\%Si = 0.4313(0.27) + (1-0.4313) (0.60) = 0.46 \%$$

$$\%P = 0.4313(0.04) + (1-0.4313) (0.02) = 0.028\%$$

$$\%S = 0.4313(0.05) + (1-0.4313) (0.02) = 0.032\%$$

- **Probeta 4**

$$\%C = 0.44(0.27) + (1-0.44) (0.05) = 0.015\%$$

$$\%Mn = 0.44(1) + (1-0.44) (1.0) = 1.0\%$$

$$\%Si = 0.44(0.27) + (1-0.44) (0.60) = 0.45 \%$$

$$\%P = 0.44(0.04) + (1-0.44) (0.02) = 0.028\%$$

$$\%S = 0.44(0.05) + (1-0.44) (0.02) = 0.033\%$$

- **Probeta 5**

$$\%C = 0.4081(0.27) + (1-0.37) (0.05) = 0.141\%$$

$$\%Mn = 0.4081(1) + (1-0.4081) (1.0) = 1.0\%$$

$$\%Si = 0.4081(0.27) + (1-0.4081) (0.60) = 0.220 \%$$

$$\%P = 0.4081(0.04) + (1-0.4081) (0.02) = 0.028\%$$

$$\%S = 0.4081(0.05) + (1-0.4081) (0.02) = 0.032\%$$

b. Cálculo de la composición química del segundo pase o deposito.

- **Probeta 1**

$$\%C = 0.212(0.27) + 0.319(0.13) + (1-0.53) (0.05) = 0.122 \%$$

$$\%Mn = 0.212(1) + 0.319(1.0) + (1-0.52) (1.0) = 1.00\%$$

$$\%Si = 0.212(0.27) + 0.319(0.29) + (1-0.52) (0.60) = 0.43\%$$

$$\%P = 0.212(0.04) + 0.319(0.027) + (1-0.52) (0.02) = 0.026\%$$

$$\%S = 0.212(0.05) + 0.319(0.03) + (1-0.52) (0.02) = 0.029\%$$

- **Probeta 2**

$$\%C = 0.22(0.27) + 0.30(0.13) + (1-0.52)(0.05) = 1.22\%$$

$$\%Mn = 0.22(1) + 0.30(1.0) + (1-0.53)(1.0) = 1.00\%$$

$$\%Si = 0.22(0.27) + 0.30(0.48) + (1-0.53)(0.60) = 0.485\%$$

$$\%P = 0.22(0.04) + 0.30(0.027) + (1-0.53)(0.02) = 0.026\%$$

$$\%S = 0.22(0.05) + 0.30(0.030) + (1-0.53)(0.02) = 0.029\%$$

- **Probeta 3**

$$\%C = 0.21(0.27) + 0.30(0.13) + (1-0.52)(0.05) = 0.119\%$$

$$\%Mn = 0.21(1) + 0.30(1.0) + (1-0.52)(1.0) = 1.00\%$$

$$\%Si = 0.21(0.27) + 0.30(0.48) + (1-0.52)(0.60) = 0.488\%$$

$$\%P = 0.21(0.04) + 0.30(0.027) + (1-0.52)(0.02) = 0.026\%$$

$$\%S = 0.21(0.05) + 0.30(0.030) + (1-0.52)(0.02) = 0.029\%$$

- **Probeta 4**

$$\%C = 0.23(0.27) + 0.31(0.13) + (1-0.53)(0.05) = 0.1259\%$$

$$\%Mn = 0.23(1) + 0.31(1.0) + (1-0.53)(1.0) = 1.00\%$$

$$\%Si = 0.23(0.27) + 0.31(0.48) + (1-0.53)(0.60) = 0.492\%$$

$$\%P = 0.23(0.04) + 0.31(0.027) + (1-0.53)(0.02) = 0.026\%$$

$$\%S = 0.23(0.05) + 0.31(0.030) + (1-0.53)(0.02) = 0.030\%$$

- **Probeta 5**

$$\%C = 0.27(0.27) + 0.33(0.13) + (1-0.60) (0.05) = 0.135 \%$$

$$\%Mn = 0.27(1) + 0.33(1.0) + (1-0.60) (1.0) = 1.00\%$$

$$\%Si = 0.27(0.27) + 0.33(0.48) + (1-0.60) (0.60) = 0.471\%$$

$$\%P = 0.27(0.04) + 0.33(0.027) + (1-0.60) (0.02) = 0.027\%$$

$$\%S = 0.27(0.05) + 0.33(0.030) + (1-0.60) (0.02) = 0.031\%$$

c. Cálculo de la composición química del tercer pase o depósito.

- **Probeta 1**

$$\%C = 0.25(0.27) + 0.28(0.122) + (1-0.53) (0.05) = 0.125 \%$$

$$\%Mn = 0.25(1) + 0.28(1.0) + (1-0.53) (1.0) = 1.00\%$$

$$\%Si = 0.25(0.27) + 0.28(0.43) + (1-0.53) (0.60) = 0.47 \%$$

$$\%P = 0.25(0.04) + 0.28(0.026) + (1-0.53) (0.02) = 0.026\%$$

$$\%S = 0.25(0.05) + 0.28(0.029) + (1-0.53) (0.02) = 0.030\%$$

- **Probeta 2**

$$\%C = 0.25(0.27) + 0.29(0.122) + (1-0.54) (0.05) = 0.125 \%$$

$$\%Mn = 0.25(1) + 0.29(1.0) + (1-0.54) (1.0) = 1.00\%$$

$$\%Si = 0.25(0.27) + 0.29(0.485) + (1-0.54) (0.60) = 0.484 \%$$

$$\%P = 0.25(0.04) + 0.29(0.026) + (1-0.54) (0.02) = 0.267\%$$

$$\%S = 0.25(0.05) + 0.29(0.029) + (1-0.54) (0.02) = 0.030\%$$

- **Probeta 3**

$$\%C = 0.26(0.27) + 0.31(0.119) + (1-0.56) (0.05) = 0.129 \%$$

$$\%Mn = 0.26(1) + 0.31(1.0) + (1-0.56) (1.0) = 1.00\%$$

$$\%Si = 0.26(0.27) + 0.31(0.488) + (1-0.56) (0.60) = 0.342 \%$$

$$\%P = 0.26(0.04) + 0.31(0.026) + (1-0.56) (0.02) = 0.027\%$$

$$\%S = 0.26(0.05) + 0.31(0.029) + (1-0.56) (0.02) = 0.0307\%$$

- **Probeta 4**

$$\%C = 0.26(0.27) + 0.32(0.122) + (1-0.58) (0.05) = 0.130 \%$$

$$\%Mn = 0.26(1) + 0.32(1.0) + (1-0.58) (1.0) = 1.00\%$$

$$\%Si = 0.26(0.27) + 0.32(0.492) + (1-0.58) (0.60) = 0.479 \%$$

$$\%P = 0.26(0.04) + 0.32(0.026) + (1-0.58) (0.02) = 0.31\%$$

$$\%S = 0.26(0.05) + 0.32(0.030) + (1-0.58) (0.02) = 0.0266\%$$

- **Probeta 5**

$$\%C = 0.25(0.27) + 0.36(0.135) + (1-0.60) (0.05) = 0.136 \%$$

$$\%Mn = 0.25(1) + 0.36(1.0) + (1-0.60) (1.0) = 1.00\%$$

$$\%Si = 0.25(0.27) + 0.36(0.471) + (1-0.60) (0.60) = 0.477 \%$$

$$\%P = 0.25(0.04) + 0.36(0.027) + (1-0.60) (0.02) = 0.29\%$$

$$\%S = 0.25(0.05) + 0.36(0.031) + (1-0.60) (0.02) = 0.032\%$$