

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA COMPOSICIÓN DEL GAS
PROTECTOR EN LA CONFORMACIÓN DEL CORDÓN DE
SOLDADURA PARA EL PROCESO GMAW UTILIZANDO ARCO
PULSADO Y CORTOCIRCUITO**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

MONAR AGUIAR TAMARA SILVANA

tamara.monar@epn.edu.ec

SEGOVIA SÁNCHEZ JUAN CARLOS

juan.segovia02@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING.HOMERO BARRAGÁN, M.Sc.

homero.barragan@epn.edu.ec

Quito, Enero 2016

DECLARACIÓN

Nosotros, Tamara Silvana Monar Aguiar y Juan Carlos Segovia Sánchez, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Tamara Silvana Monar Aguiar

Juan Carlos Segovia Sánchez

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Tamara Silvana Monar Aguiar y Juan Carlos Segovia Sánchez bajo mi supervisión.

Ing. Homero Barragán, M.Sc.
DIRECTOR DE PROYECTO

Ing. Gabriel Velasteguí, M.Sc.
COLABORADOR DEL
PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme dado un hogar estable, una familia maravillosa, salud mental y física, alimento, vestimenta y buenos amigos en quien confiar.

Agradezco a mis padres Sandra Sánchez y Carlos Segovia, por su apoyo incondicional, por su amor y respeto, por fomentar la unión en familia, por la educación y por la libertad que me han dado para tomar mis propias decisiones.

Agradezco a mi hermana Ana María Segovia, por estar conmigo desde que nacimos hasta la fecha y posteriormente, por acompañarme en mis noches de desvelo, por su amor y generosidad.

Agradezco a mi novia hermosa Johana Martínez, por su amor y su paciencia cuando más lo necesité durante más de cuatro años, por aceptarme como soy, con mis defectos y virtudes, en los días buenos y malos.

Agradezco a mis amigos: Andrés Ortiz, Andrés Solís, David Pereira, Nataly Ortiz, Johanna Beltran, Guillermo Montesdeoca. Personas buenas, agradables y sinceras con las que compartí momentos inolvidables a lo largo de mi carrera y antes de ella.

Agradezco a mis compañeros y amigos: Daniel Pozo, Tamara Monar, Danilo Noroña, Guillermo Landázuri, Andrea Quinde, Mauricio Gordillo, Guillermo Pineda, Andrés Jaramillo, Xavier Guerra, y en especial a Tammy. Personas muy responsables con las que pude realizar cualquier trabajo o proyecto en mi vida estudiantil, llegando a formar una amistad muy grande y sincera la cual quisiera conservar muchos años más.

Agradezco a mis profesores, en especial al Ing. Homero Barragán, Ing. Gabriel Velasteguí, Ing. Miguel Ortega, Ing. Hugo Zúñiga, por el conocimiento que compartieron conmigo, por ser un ejemplo a seguir y por el apoyo no sólo académico que me brindaron.

Agradezco a todas las personas que trabajan en la empresa “Comercio y Tecnología MIG-MAG Cía. Ltda.”, por colaborar con la realización del presente proyecto.

Juan Carlos

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios porque me ha permitido culminar una etapa más de las muchas que espero lograr.

A mi madre Elvia, que aparte de ser una maravillosa mamá es mi mejor amiga. Le agradezco su amor incondicional, su entrega y soporte durante toda mi carrera.

A mis hermanas Erika y Lizeth por estar a mi lado y apoyarme en los momentos de dificultad. A mi sobrinita por ser un angelito que alegra mi vida y a Ramón que ha sido como un Padre y me ha impulsado durante la carrera.

A mí enamorado Xavi por su cariño, comprensión y paciencia. Le agradezco por aparecer cuando menos lo esperaba, por estar conmigo durante esta etapa y hacerme una mejor persona.

A mis 3 amigas del colegio Karina, Gabriela y Dayana, con las que he compartido momentos inolvidables. Gracias por ser mis mejores amigas y porque a pesar de la distancia han estado conmigo en los momentos más importantes.

A mi amigo Álvaro que ha sido como un hermano y Stalin que ha estado en los peores momentos. Les doy las gracias por su amistad incondicional, paciencia y cariño.

Le agradezco a mi compañero de tesis Juan Carlos y a todos mis amigos de la universidad con los que he compartido largas horas de clase y desvelos. A mi amiga Andrea por escucharme y ser mi confidente. A Fátima y María F. por hacerme reír siempre.

A mis profesores que me dieron las bases para finalizar este proyecto. En especial a mi director de tesis el ingeniero Homero Barragán quien nos guió en el desarrollo del proyecto y al ingeniero Gabriel Velasteguí, por su apoyo desinteresado y su valiosa amistad.

Tamara

DEDICATORIA

A mi padre Carlos Marcelo Segovia, que siempre ha sido un ejemplo de persona en todos los aspectos. La mejor herencia que me puede dejar es y será siempre la educación. La dedicación y el esfuerzo que ha puesto para dar a su familia todo lo necesario y más para vivir bien han sido admirables. Me siento muy orgulloso de ser su hijo. Gracias por su amor y apoyo incondicional, sin los cuales no hubiera logrado los objetivos alcanzados.

A mi madre Sandra Sánchez León, quien me dio la vida y ha cuidado de mí siempre, preocupándose por mi bienestar. Es una mujer que ha renunciado a sus intereses personales por el bien de su familia. Ha sido una madre muy buena y amorosa. Me ha enseñado el valor de la honestidad y el respeto a los demás. Gracias por el amor y cariño que me ha brindado.

Juan Carlos

Este proyecto está dedicado a la persona más importante para mí y la razón por la que lucho cada día. A quien me conoce como nadie y que a pesar de todo siempre está a mi lado, mi mamá.

Tamara

CONTENIDO

RESUMEN	XVIII
PRESENTACIÓN.....	XIX
CAPÍTULO 1 EL ARCO ELÉCTRICO PARA SOLDADURA GMAW	1
1.1. DEFINICIÓN DEL ARCO ELÉCTRICO.....	1
1.2. ARCO ELÉCTRICO EN LA SOLDADURA.....	1
1.2.1. ÁNODO	3
1.2.2. CÁTODO.....	3
1.2.3. ARCO PLASMA	4
1.2.4. INFLUENCIA DEL POTENCIAL DE IONIZACIÓN EN EL ARCO ELÉCTRICO.....	5
1.2.5. TIPOS DE CORRIENTE	7
1.2.6. TIPOS DE POLARIDAD.....	8
1.3. GASES DE PROTECCIÓN PARA GMAW.....	10
1.3.1. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS GASES DE PROTECCIÓN	10
1.3.2. GASES PUROS	15
1.3.3. MEZCLA DE GASES	16
1.3.4. SELECCIÓN DEL GAS PROTECTOR.....	20
1.4. MODOS DE TRANSFERENCIA DE METAL	23
1.4.1. BALANCE DE LAS FUERZAS ESTÁTICAS EN LA TRANSFERENCIA DEL METAL DE APORTE.....	25
1.4.2. MODO DE TRANSFERENCIA CORTO CIRCUITO.....	27
1.4.3. MODO DE TRANSFERENCIA GLOBULAR	29
1.4.4. MODO DE TRANSFERENCIA SPRAY	30

1.4.5. MODO DE TRANSFERENCIA SPRAY TIPO AXIAL	30
1.4.6. MODO DE TRANSFERENCIA SPRAY PULSADO.....	31
1.4.7. MODO DE TRANSFERENCIA DE ROCÍO O “STREAMING”	33
1.4.7. MODO DE TRANSFERENCIA DE ALTA DENSIDAD DE CORRIENTE “ROTATIONAL SPRAY”	33
1.4.8. COMPARACIÓN ENTRE ARCO PULSADO Y ARCO SPRAY	34
1.4.9. ARCO PULSADO MULTI-CONTROL (PMC)	34
CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	36
2.1. DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS	36
2.1.1. MATERIAL BASE.....	36
2.1.2. MATERIAL DE APORTE.....	37
2.1.2.1. APLICACIONES INDUSTRIALES.....	38
2.1.3. GASES DE PROTECCIÓN	39
2.2. PROCEDIMIENTO PARA OBTENER LAS PROBETAS SOLDADAS	39
2.2.1. PREPARACIÓN DEL MATERIAL BASE.....	40
2.2.2. PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE A SOLDAR	41
2.2.3. SOLDADURA DE LAS PROBETAS.....	41
2.2.4. DENOMINACIÓN DE LAS PROBETAS.....	42
2.3. PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE MACROGRAFÍAS.....	43
2.3.1. CORTE DE LAS PROBETAS	43
2.3.2. PREPARACIÓN DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES PARA LA MACROGRAFÍA	45
2.3.3. OBTENCIÓN DE LAS MACROGRAFÍAS	47
2.4. TRATAMIENTO DE DATOS	47

2.4.1. MEDICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL CORDÓN	47
2.5. PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	49
2.5.1. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE LA NORMA AWS D1.1	49
2.5.2. TABLAS DE RESULTADOS	52
CAPÍTULO 3 PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	56
3.1. PREPARACIÓN DEL MATERIAL BASE.....	56
3.1.1. PROCESO DE CORTE.....	56
3.1.2. PROCESO DE LIMADO.....	57
3.1.2.1. LIMADO AUTOMÁTICO.....	57
3.1.2.2. LIMADO MANUAL.....	58
3.1.3. PROCESO DE RECTIFICADO	58
3.2. ENSAMBLE DE JUNTAS EN T.....	59
3.3. EQUIPOS DE SOLDADURA.....	60
3.3.1. MEZCLADOR DE GASES BM	60
3.3.2. FLEXTRACK 45 CARRO DE SOLDADURA	61
3.3.3. TPS/I INTELLIGENT REVOLUTION	62
3.4. SOLDADURA DE JUNTAS EN T.....	65
3.4.1. POSICIONAMIENTO DE LA PROBETA	65
3.4.2. SELECCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE SOLDADURA	66
3.5. SOLDADURA DE DEPÓSITOS.....	70
3.5.1. POSICIONAMIENTO DE LA PROBETA	70
3.5.2. SELECCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE SOLDADURA	70
3.6. REGISTRO DE DATOS DE SOLDADURA.....	71
3.6.1. FILETES Y DEPÓSITOS CON MÉTODO CORTOCIRCUITO.....	71

3.6.2. FILETES Y DEPOSITOS CON MÉTODO PULSADO.....	72
3.6.3. FILETES Y DEPOSITOS CON MÉTODO PULSADO PMC.....	73
3.7. CORTE DE ESPECÍMENES PARA MACROGRAFÍA	74
3.7.1. CORTE TRANSVERSAL	74
3.7.2. DESBASTE GRUESO.....	75
3.7.3. DESBASTE FINO.....	75
3.7.4. ATAQUE QUÍMICO.....	76
3.8. OBTENCIÓN DE MACROGRAFÍAS.....	77
3.9. MACROGRAFÍAS	78
3.10. ANÁLISIS MACROGRÁFICO	82
3.10.1. INSPECCIÓN VISUAL	82
3.10.2. CUMPLIMIENTO DE LOS REQUERIMIENTOS DE LA NORMA AWS D1.1 PARA JUNTAS EN T	86
3.11. MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS	91
3.11.1. FILETES CON EL MODO DE TRANSFERENCIA CORTOCIRCUITO ..	91
3.11.2. DEPÓSITOS CON EL MODO DE TRANSFERENCIA CORTOCIRCUITO	91
3.11.3. FILETES CON EL MODO DE TRANSFERENCIA PULSADO	92
3.11.4. DEPOSITOS CON EL MODO DE TRANSFERENCIA PULSADO.....	92
3.11.5. FILETES CON EL MODO DE TRANSFERENCIA PULSADO PMC	92
3.11.6. DEPOSITOS CON EL MODO DE TRANSFERENCIA PULSADO PMC	93
CAPÍTULO 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	94
4.1. ANÁLISIS DE LA CONFORMACIÓN DEL CORDÓN DE SOLDADURA A DIFERENTE COMPOSICIÓN DE GAS CON EL TIPO DE TRANSFERENCIA CORTOCIRCUITO EN JUNTA-T Y SOLDADURA DE FILETE	94

4.1.1. INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE CO ₂ EN LA PENETRACIÓN	95
4.1.2. INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE CO ₂ EN LA PROFUNDIDAD DE FUSIÓN.....	96
4.1.3. INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE CO ₂ EN LA CARA DEL FILETE ..	97
4.2. ANÁLISIS DE LA CONFORMACIÓN DEL CORDÓN DE SOLDADURA A DIFERENTE COMPOSICIÓN DE GAS CON EL TIPO DE TRANSFERENCIA CORTOCIRCUITO EN DEPÓSITOS	97
4.3. ANÁLISIS DE LA CONFORMACIÓN DEL CORDÓN DE SOLDADURA A DIFERENTE COMPOSICIÓN DE GAS CON EL TIPO DE TRANSFERENCIA SPRAY PULSADO EN JUNTA-T Y SOLDADURA DE FILETE	100
4.4. ANÁLISIS DE LA CONFORMACIÓN DEL CORDÓN DE SOLDADURA A DIFERENTE COMPOSICIÓN DE GAS CON EL TIPO DE TRANSFERENCIA SPRAY PULSADO EN DEPÓSITOS	104
4.5. ANÁLISIS DE LA CONFORMACIÓN DEL CORDÓN DE SOLDADURA A DIFERENTE COMPOSICIÓN DE GAS CON EL TIPO DE TRANSFERENCIA PULSADO PMC EN JUNTA-T Y SOLDADURA DE FILETE	106
4.6. ANÁLISIS DE LA CONFORMACIÓN DEL CORDÓN DE SOLDADURA A DIFERENTE COMPOSICIÓN DE GAS CON EL TIPO DE TRANSFERENCIA PMC EN DEPÓSITOS	110
4.7. ANÁLISIS DE LA CONFORMACIÓN DEL CORDÓN DE SOLDADURA A DIFERENTE TIPO DE TRANSFERENCIA DE METAL, UTILIZANDO UNA MEZCLA DEL 10%CO ₂ - AR, EN JUNTA-T Y SOLDADURA DE FILETE.....	113
4.8. ANÁLISIS DE LA CONFORMACIÓN DEL CORDÓN DE SOLDADURA A DIFERENTE TIPO DE TRANSFERENCIA DE METAL, UTILIZANDO UNA MEZCLA DEL 10%CO ₂ - AR, EN DEPÓSITOS	115
4.9. ANÁLISIS DE LA CONFORMACIÓN DEL CORDÓN DE SOLDADURA A DIFERENTE TIPO DE TRANSFERENCIA DE METAL, UTILIZANDO UNA MEZCLA DEL 25%CO ₂ - AR, EN JUNTA-T Y SOLDADURA DE FILETE.....	117

4.10. ANÁLISIS DE LA CONFORMACIÓN DEL CORDÓN DE SOLDADURA A DIFERENTE TIPO DE TRANSFERENCIA DE METAL, UTILIZANDO UNA MEZCLA DEL 25%CO ₂ - AR, EN DEPÓSITOS	119
CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	122
BIBLIOGRAFÍA	126
ANEXOS	128

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Caída de voltaje en el cátodo y ánodo.	2
Figura 1.2 Flujo de corriente en el arco eléctrico con corriente directa.	3
Figura 1.3 Fase de plasma.....	5
Figura 1.4 Grado de ionización (escala logarítmica) en función de la temperatura.	6
Figura 1.5 Esquema la corriente alterna.	7
Figura 1.6 Representación de la corriente continua.	8
Figura 1.7 Esquema del flujo de electrones e iones en polaridad directa.	9
Figura 1.8 Esquema del flujo de electrones e iones en polaridad inversa.....	10
Figura 1.9 Órbitas de los átomos helio y argón.	12
Figura 1.10 Conductividad térmica de los gases vs temperatura.	13
Figura 1.11 Comparación de la columna del arco de Argón y dióxido de carbono...	14
Figura 1.12 Esquema de los tipos de transferencia de metal.....	25
Figura 1.13 Esquema del funcionamiento del Efecto Pinch.	27
Figura 1.14 Diagrama de corriente por arco cortocircuito.	28
Figura 1.15 Diagrama de corriente y voltaje con arco pulsado.....	32
Figura 1.16 Diagrama de corriente con arco PMC	35
Figura 2.1 Dimensiones de la platina utilizada para depósitos de soldadura.	40
Figura 2.2 Dimensiones de la junta en T.....	41
Figura 2.3 Esquema para realización de corte de las juntas soldadas.....	45
Figura 2.4 Dimensiones para macrografías de depósito de soldadura.	48
Figura 2.5 Dimensiones de las gargantas para macrografías de juntas en T.	48
Figura 2.6 Dimensiones del tamaño del cordón para macrografías de juntas en T..	49
Figura 2.7 Perfiles de soldadura inaceptables.....	50
Figura 2.8 Dimensiones utilizadas para cumplimiento de criterios de aceptación....	52
Figura 3.1 Corte de las platinas en la sierra alternativa.	57
Figura 3.2 Limado automáticos para juntas en T.	58
Figura 3.3 Limado manual para remoción de residuos.	58
Figura 3.4 Rectificado de la superficie a soldar.....	59
Figura 3.5 Ensamblados terminados de juntas en T.	60

Figura 3.6 Mezclador de gases BM.....	61
Figura 3.7 Equipo Flextrack 45, carro de soldadura.....	62
Figura 3.8 Equipo Plataforma TPS/i Intelligent Revolution.....	63
Figura 3.9 Esquema de la extensión del electrodo.....	63
Figura 3.10 Esquema de la distancia entre la punta de contacto y pieza de trabajo .	64
Figura 3.11 Funcionamiento del estabilizador de penetración.	65
Figura 3.12 Posicionamiento de la probeta en posición 1F.....	66
Figura 3.13 Orientación de la probeta y ángulo de la boquilla.	69
Figura 3.14 Interfaz gráfica del equipo plataforma TPSi de la empresa Fronius.	70
Figura 3.15 Soldaduras de depósitos terminados.	71
Figura 3.16 Probeta C25F, soldada con el proceso GMAW.....	72
Figura 3.17 Probeta SP15F, soldada con el proceso GMAW.....	73
Figura 3.18 Probeta P10F, soldada con el proceso GMAW.....	74
Figura 3.19 Sierra alternativa o de vaivén.....	74
Figura 3.20 Equipo de desbaste grueso. Laboratorio de metalografía EPN.	75
Figura 3.21 Banco de lijas para desbaste fino. Laboratorio de metalografía EPN. ..	76
Figura 3.22 Probetas de desbaste fino y desbaste grueso.	76
Figura 3.23 Macrografía obtenida P25F.....	77
Figura 3.24 Macrografía obtenida P25F.....	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Propiedades del gas de protección utilizado en soldadura.....	11
Tabla 1.2	Potenciales de ionización de algunos elementos (Voltios).....	11
Tabla 1.3	Características de los gases utilizados en soldadura.....	17
Tabla 1.4	Mezclas de gases recomendados según ASM Handbook.....	18
Tabla 1.5	Comparación entre arco pulsado y arco spray.....	34
Tabla 2.1	Composición del Acero ASTM A36.....	37
Tabla 2.2	Propiedades del Acero ASTM A36.....	37
Tabla 2.3	Propiedades del Acero ASTM A36.....	37
Tabla 2.4	Propiedades del metal de aporte ER70S-6.....	38
Tabla 2.5	Parámetros recomendados por el fabricante del electrodo.....	38
Tabla 2.6	Denominación de las probetas a soldar.....	42
Tabla 2.7	Características de los reactivos de ataque químico.....	46
Tabla 2.8	Tamaño mínimo de pierna en soldaduras de filete.....	50
Tabla 2.9	Selección del programa según tipo de soldadura y tipo de junta.....	51
Tabla 2.10	Criterios de aceptación para el programa C.....	52
Tabla 2.11	Aceptación de los cordones según su forma y defectos encontrados..	126
Tabla 2.12	Cumplimiento de los requerimientos de la norma AWS D1.1.....	126
Tabla 3.1	Parámetros de soldadura recomendados por el fabricante de ER70S-6..	67
Tabla 3.2	Distancia libre de electrodo recomendado.....	68
Tabla 3.3	Rangos de corriente típica para el método de transferencia cortocircuito.	69
Tabla 3.4	Parámetros de soldadura, método de transferencia cortocircuito.....	71
Tabla 3.5	Parámetros de soldadura, método de transferencia pulsado.....	72
Tabla 3.6	Parámetros de soldadura, método de transferencia pulsado PMC.....	73
Tabla 3.7	Macrografías obtenidas de la soldadura con cortocircuito.....	79
Tabla 3.8	Macrografías obtenidas de la soldadura con arco pulsado.....	80
Tabla 3.9	Macrografías obtenidas de la soldadura con arco pulsado PMC.....	81
Tabla 3.10	Detalle de la Inspección visual de las macrografías obtenidas con cortocircuito.....	83

Tabla 3.11 Detalle de la Inspeccion visual de las macrografías obtenidas con método pulsado	84
Tabla 3.12 Detalle de la Inspeccion visual de las macrografías obtenidas con el método pulsado PMC.....	85
Tabla 3.13 Detalle del cumplimiento de los requerimientos en las probetas de cortocircuito.....	86
Tabla 3.14 Detalle del cumplimiento de los requerimientos en las probetas de arco pulsado.....	87
Tabla 3.15 Detalle del cumplimiento de los requerimientos en las probetas de arco pulsado PMC.....	89
Tabla 3.16 Resultados de las soldaduras de filetes con el modo de transferencia cortocircuito.....	91
Tabla 3.17 Resultados de la medición de depósitos con el modo de transferencia cortocircuito.....	91
Tabla 3.18 Resultados de las soldaduras de filetes con el modo de transferencia pulsado.....	92
Tabla 3.19 Resultados de la medición de depósitos con el modo de transferencia pulsado.....	92
Tabla 3.20 Resultados de las soldaduras de filetes con el modo de transferencia pulsado PMC.....	93
Tabla 3.21 Resultados de la medición de depósitos con el modo de transferencia pulsado PMC.....	93
Tabla 4.1 Análisis de penetración en toda la probeta con cortocircuito.....	96
Tabla 4.2 Análisis de penetración en toda la probeta con cortocircuito.....	98
Tabla 4.3 Análisis de penetración en toda la probeta con pulsado.	102
Tabla 4.4 Análisis de penetración en toda la probeta con pulsado.	104
Tabla 4.5 Análisis de penetración en toda la probeta con pulsado PMC.	108
Tabla 4.6 Análisis de penetración en toda la probeta con pulsado PMC.	110

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfico 4.1 Gargantas vs Porcentaje de CO ₂	95
Gráfico 4.2 Profundidad de fusión vs Porcentaje de CO ₂	96
Gráfico 4.3 Convexidad o concavidad vs Porcentaje de CO ₂	97
Gráfico 4.4 Penetración vs Porcentaje CO ₂	98
Gráfico 4.5 Ancho vs Porcentaje CO ₂	99
Gráfico 4.6 Altura del cordón vs Porcentaje CO ₂	100
Gráfico 4.7 Gargantas vs Porcentaje de CO ₂	101
Gráfico 4.8 Profundidad de Fusión vs Porcentaje CO ₂	102
Gráfico 4.9 Convexidad vs Porcentaje CO ₂	103
Gráfico 4.10 Penetración vs Porcentaje CO ₂	104
Gráfico 4.11 Ancho vs Porcentaje CO ₂	105
Gráfico 4.12 Altura de refuerzo vs Porcentaje CO ₂	106
Gráfico 4.13 Gargantas vs Porcentaje de CO ₂	107
Gráfico 4.14 Profundidad de Fusión vs Porcentaje de CO ₂	108
Gráfico 4.15 Convexidad vs Porcentaje de CO ₂	109
Gráfico 4.16 Penetración vs Porcentaje CO ₂	110
Gráfico 4.17 Ancho vs Porcentaje CO ₂	111
Gráfico 4.18 Altura de refuerzo vs Porcentaje CO ₂	112
Gráfico 4.19 Gargantas vs Modos de Transferencia.....	113
Gráfico 4.20 Profundidad de Fusión vs Modos de Transferencia.....	114
Gráfico 4.21 Convexidad vs Modos de Transferencia.....	114
Gráfico 4.22 Penetración vs Modos de Transferencia.....	115
Gráfico 4.23 Ancho vs Modos de Transferencia.....	116
Gráfico 4.24 Altura de refuerzo vs Modos de Transferencia.....	116
Gráfico 4.25 Gargantas vs Modos de Transferencia.....	117
Gráfico 4.26 Profundidad de Fusión vs Modos de Transferencia.....	118
Gráfico 4.27 Convexidad vs Modos de Transferencia.....	118
Gráfico 4.28 Penetración vs Modos de Transferencia.....	119
Gráfico 4.29 Ancho vs Modos de Transferencia.....	120

Gráfico 4.30 Altura de refuerzo vs Modos de Transferencia 120

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo identificar el grado de influencia de los gases de protección y modos de transferencia de metal en el arco eléctrico de soldadura del proceso GMAW.

Para esto se ha recopilado información acerca de las propiedades de los gases tales como: el potencial de ionización, conductividad térmica y energía de disociación. Se ha investigado también los modos de transferencia desde los convencionales hasta los actuales.

Para analizar la penetración y demás parámetros geométricos del cordón de soldadura que se obtiene al variar la composición de la mezcla de gas entre Argón y CO₂ utilizando diferentes tipos de transferencia de metal como: cortocircuito, pulsado y pulsado PMC, se ha desarrollado una metodología. En esta se describe el material base, los gases de protección, el metal de aporte, el procedimiento para la obtención de los especímenes macrográficos, medición de los parámetros geométricos de las macrografías, el tratamiento de los datos y el procedimiento para analizar los resultados.

En las pruebas experimentales se desarrolla la metodología mostrando de forma detallada el proceso para la obtención de las pruebas, los equipos y los parámetros de soldadura utilizados. Se realiza el análisis macrográfico y tabulan los parámetros geométricos de los cordones obtenidos.

En el análisis de resultados, con la ayuda de gráficas de los parámetros geométricos respecto a la composición del gas y los modos de transferencia, se llega a determinar la influencia que tiene el porcentaje de cada gas Ar-CO₂ en la conformación del cordón. Además se identifica que la aportación de calor de cada modo de transferencia influye en el tamaño del cordón.

Al finalizar el proyecto se presentan las conclusiones y recomendaciones de la influencia de la composición del gas protector y modos de transferencia de metal en la conformación del cordón de soldadura.

PRESENTACIÓN

El campo de la soldadura ha sido de trascendental importancia en los últimos años para el desarrollo de la era industrial en todo el mundo. Los estudios que se han desarrollado para asegurar la calidad y confiabilidad de las juntas soldadas han sido exhaustivos. Para asegurar la calidad de una junta soldada se busca la disminución de defectos producidos en el proceso de soldadura. Entre muchas características del cordón de soldadura, la penetración que se consiga influye en la resistencia a esfuerzos y posterior desempeño de la junta.

En los últimos años, el proceso de soldadura GMAW ha ido aumentando su grado de utilización por su gran productividad, flexibilidad y posibilidad de automatización. El tipo de gas de protección influye directamente en las características de fusión de las soldaduras, en el encendido del arco y en la penetración. Con una simple variación en la composición del gas de protección se puede obtener cordones con diferente ancho, altura de refuerzo, penetración, ángulo de mojado y de fusión, etc. Además, los modos de transferencia de metal que se puede obtener con las nuevas máquinas soldadoras prometen proveer mejores propiedades al cordón de soldadura.

Por lo tanto, el presente proyecto pretende elaborar una metodología para realizar el análisis de la forma y profundidad de penetración que se obtiene con el proceso GMAW. Para este análisis se utilizará diferentes composiciones de la mezcla de gases de protección: argón y dióxido de carbono.

Además se realizará el mismo análisis para los modos de transferencia de metal convencionales respecto a los más tecnológicos existentes en el mercado. Los resultados de este análisis podrán ser utilizados para el estudio de la influencia de la composición del gas protector y los distintos modos de transferencia de metal modernos para optimizar las características de fusión de la soldadura.

CAPÍTULO 1

EL ARCO ELÉCTRICO PARA SOLDADURA GMAW

1.1. DEFINICIÓN DEL ARCO ELÉCTRICO

Se define el arco eléctrico como una descarga eléctrica controlada producida entre dos electrodos de diferente signo y separados por una atmosfera gaseosa, formando un circuito eléctrico por donde va a circular la corriente. El electrodo negativo, desde el cual los electrones se desprenden, se le denomina cátodo. El electrodo positivo, el cual recibe a los electrones, se denomina ánodo. La atmosfera gaseosa existente entre los electrodos se denomina arco plasma. (Lancaster, 1986)

El arco eléctrico se presenta con un desprendimiento de luz y calor, el cual es aprovechado como fuente de energía para los procesos por arco eléctrico en soldadura. (HASHMI, 2014)

1.2. ARCO ELÉCTRICO EN LA SOLDADURA

Para la producción del arco de soldadura es necesario de tres elementos denominados: el electrodo, la pieza de trabajo y el gas conductor. La descarga eléctrica es producida por el movimiento de los electrones desde el polo negativo hacia el positivo y por los iones que viajan en sentido contrario. Esto se puede observar en la figura 1.2.

Para permitir el paso de electrones debe existir una diferencia de potencial entre el electrodo y la pieza de trabajo, los cuales deben estar conectados a diferentes polos. En los procesos de soldadura se tienen dos tipos de polaridades: la directa, en donde el electrodo está conectado al polo negativo y la inversa, en donde la pieza de trabajo es la que se conecta al polo negativo.

La obtención de soldaduras de calidad depende del control de la corriente y longitud del arco. Cuando se incrementa la corriente, la cantidad de calor producida por el arco aumenta. Un cambio en la longitud del arco producirá un cambio en la cantidad de calor disponible. (HASHMI, 2014)

En un arco existe una caída de voltaje en las regiones muy cercanas al ánodo y al cátodo, la cual para electrodos metálicos está entre 1-12V. En la figura 1.1 se observa que la caída de voltaje en el cátodo es de mayor magnitud que en el ánodo.

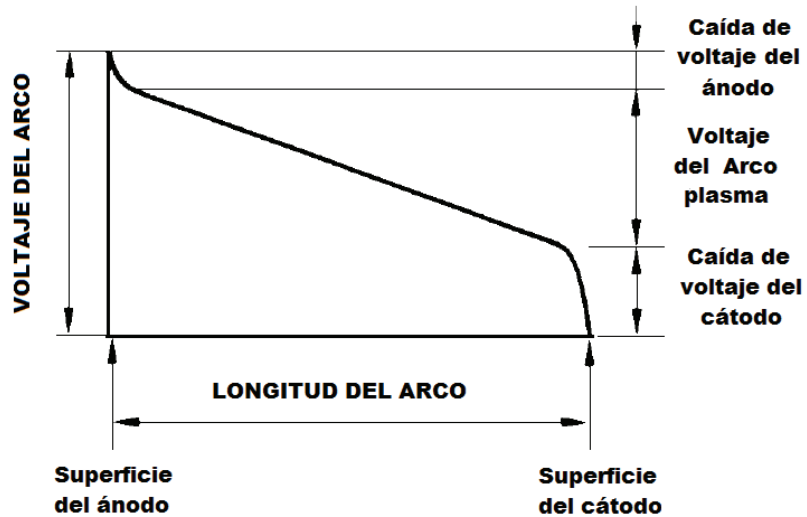


Figura 1.1 Caída de voltaje en el cátodo y ánodo.

Fuente: (Lancaster, 1986)

En la figura 1.2 se puede observar que el voltaje del arco es la suma de los voltajes del ánodo y cátodo, más el voltaje que atraviesa el arco plasma.

$$V = U_{k1} + U_{p1} + U_{An}$$

Donde:

V = Voltaje del arco

U_{k1} = Voltaje del cátodo

U_{p1} = Voltaje del arco plasma

U_{An} = Voltaje del ánodo

Este voltaje se incrementa cuando el electrodo se separa de la pieza de trabajo y disminuye cuando se acerca. También está fuertemente influenciado por la conductividad eléctrica del gas protector (HASHMI, 2014).

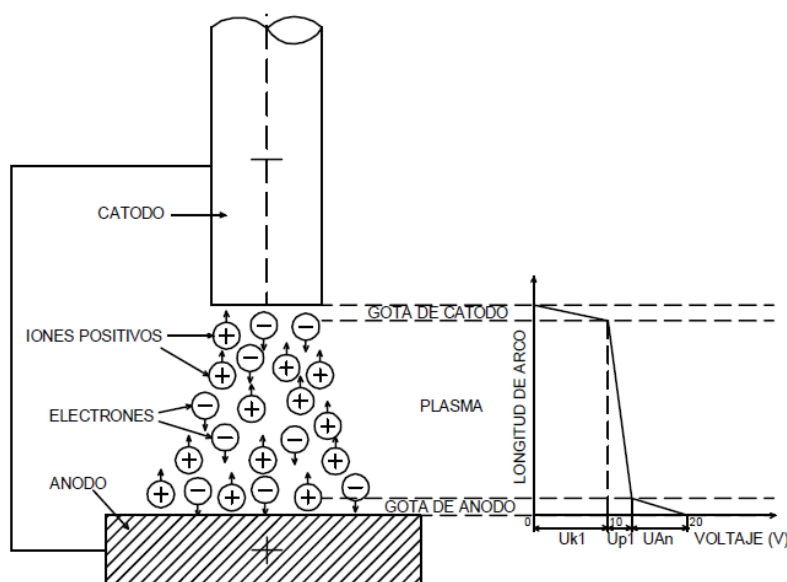


Figura 1.2 Flujo de corriente en el arco eléctrico con corriente directa.

Fuente: (HASHMI, 2014)

1.2.1. ÁNODO

Es el polo positivo de la formación del arco eléctrico. Este puede ser el electrodo o la pieza de trabajo, dependiendo de la polaridad del sistema. El voltaje del ánodo no depende directamente de la longitud del arco. Por otro lado, este depende de la composición del material de aporte y del gas que lo rodea. (ASM International, 1993)

1.2.2. CÁTODO

Es el polo negativo del arco eléctrico. Este puede ser el electrodo o la pieza de trabajo, dependiendo de la polaridad seleccionada del sistema. El voltaje del cátodo es similar al voltaje del ánodo. Este depende del material próximo a la zona del cátodo. (ASM International, 1993)

Estudios han demostrado que los mecanismos básicos para formar el arco eléctrico se concentran en la región próxima al cátodo. Para la formación del arco eléctrico se requiere de un flujo de electrones que se extraen del cátodo y un flujo de iones positivos que ingresan hacia este, como se observa en la figura 1.2. Por esta razón, se considera más complejo el estudio del cátodo con respecto al ánodo. (Lancaster, 1986)

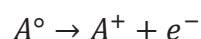
1.2.3. ARCO PLASMA

El arco plasma es un estado temporal del gas en el cual se convierte en un conductor eléctrico. Debido a que los gases en condiciones normales de presión y temperatura funcionan como aislantes, es necesario incrementar la temperatura para cambiar la estructura atómica de este y llevarlo a un estado de conductor eléctrico. Para la formación de este medio conductor es necesario producir la ionización de los átomos del gas, el cual consiste en la separación de estos en iones (cargas positivas) y electrones (cargas negativas) por la adición de calor.

Cuando se produce un incremento de temperatura, el gas se ioniza producto de la pérdida de uno o más electrones formando así un ion positivo. En el arco plasma se tiene dos tipos de ionización: ionización térmica y ionización termo-iónica (HASHMI, 2014).

Para desprender los electrones del electrodo es necesario inducirle una energía suficiente. Es por eso que al iniciar el arco es necesario realizar un pequeño cortocircuito producido por el contacto entre los dos conductores generando una chispa que aumenta la temperatura del ambiente circulante. Con este cortocircuito y debido al efecto joule se incrementa la temperatura de los átomos del electrodo, aumentando así la energía interna de los electrones de las últimas capas.

Cuando la energía interna de los electrones supera el potencial de ionización los electrones abandonan el átomo dando lugar a la primera ionización llamada térmica. La siguiente ecuación muestra la transformación de un átomo neutro en iones y electrones producto de la ionización.



Luego del cortocircuito, el electrodo se separa una cierta distancia del material base (longitud del arco) con lo cual se somete los elementos de la atmósfera protectora a un campo magnético. Este proceso disminuye el potencial de ionización permitiendo que los electrones que durante la primera ionización incrementaron su energía interna

puedan sobrepasar el potencial de ionización actual. A esto se denomina segunda ionización o termoiónica. (Lancaster, 1986)

En la figura 1.3 se puede observar que los átomos en estado gaseoso a condiciones normales tienen igual número de protones y electrones, y que los átomos en fase de plasma han perdido un electrón producto de la ionización.

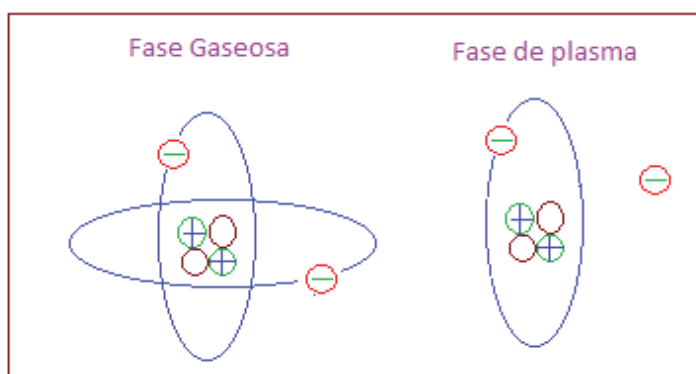


Figura 1.3 Fase de plasma.

Fuente: <http://eltamiz.com/2012/09/14/mecanica-de-fluidos-i-liquidos-gases-y-plasmas/>

El paso de un gas al estado de plasma está relacionado con varios procesos de interacción entre las partículas. Uno de los procesos es la ionización y otro es la recombinación, que es el proceso inverso. (García, 2013)

La reacción de ionización se desarrolla con absorción de energía mientras que la recombinación contribuye en el incremento de la temperatura del arco debido a que se produce con desprendimiento de energía. (García, 2013)

1.2.4. INFLUENCIA DEL POTENCIAL DE IONIZACIÓN EN EL ARCO ELÉCTRICO

El potencial de ionización de los componentes del gas protector influye directamente en el encendido del arco y la estabilidad de este. Además, está relacionado con la cantidad de energía transportada a través del arco.

El gas producido de la descomposición del revestimiento de un electrodo tiene moléculas y átomos de diferentes potenciales de ionización. Al revestimiento se le adicionan elementos como el sodio, potasio y el calcio, que son de bajo potencial de ionización como se observa en la tabla 1.2, para facilitar el encendido del arco. De esta manera, los elementos con menor potencial de ionización se ionizan primero,

aumentando la temperatura del arco y facilitando la ionización de los demás elementos del revestimiento. (García, 2013)

En el caso de procesos que utilizan gas de protección, los gases como el argón o el dióxido de carbono, los cuales son de menor potencial de ionización respecto al Helio como se muestra en la tabla 1.1, permiten que sus átomos sean ionizados con mayor facilidad. Por otro lado los gases de mayor potencial, dificultan el encendido y la estabilidad del arco.

Los niveles de energía requeridos para ionizar estos gases de protección deben ser constantes. El voltaje del arco está directamente influenciado por el potencial de ionización de cada gas, por lo tanto cuando se utiliza como gas protector el helio se obtiene mayor voltaje que con el argón. Por consecuencia la aportación de calor al material base es mayor con el helio. (HASHMI, 2014)

Con respecto al grado de ionización como se observa en la figura 1.4, los elementos de muy bajo potencial de ionización como el potasio o el calcio permiten mayor grado de ionización a bajas temperaturas, mientras que los elementos como el oxígeno y el nitrógeno, que tiene mayor potencial de ionización, necesitan mayor temperatura para obtener el mismo grado de ionización. (García, 2013)

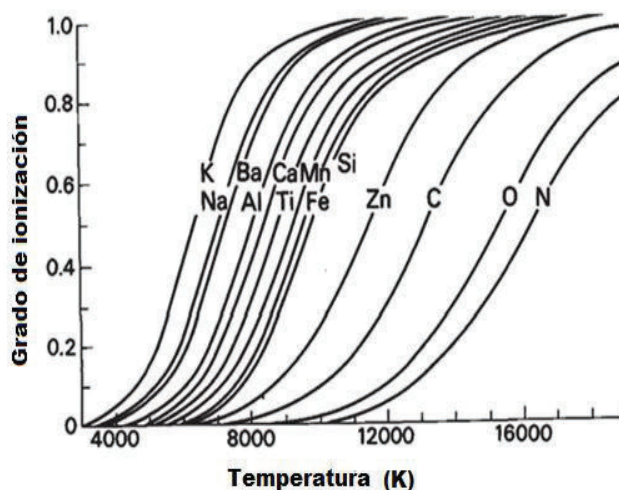


Figura 1.4 Grado de ionización (escala logarítmica) en función de la temperatura.

Fuente: (Lancaster, 1986)

1.2.5. TIPOS DE CORRIENTE

Para la soldadura se pueden utilizar dos tipos de corriente: alterna y continua.

1.2.5.1. Corriente alterna

La corriente alterna difiere de la corriente continua en que su magnitud y sentido cambia de forma cíclica entre negativa y positiva.

En la siguiente figura 1.5 muestra la onda de la corriente alterna.

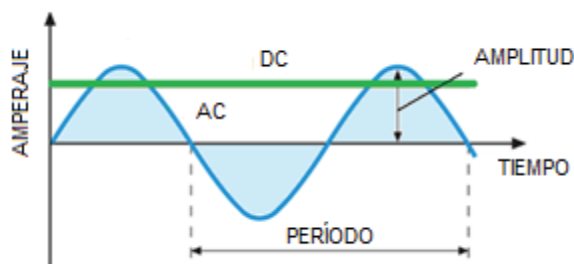


Figura 1.5 Esquema la corriente alterna.

Fuente: (PROMETEC, s.f.)

Cuando se utiliza la corriente alterna en el proceso de soldadura, el electrodo se comporta como ánodo en la primera mitad de un ciclo y como cátodo en la segunda mitad, es decir de forma alternada el electrodo es positivo y negativo. Estos ciclos se producen dependiendo de la frecuencia de corriente que se tenga, en el caso de Ecuador es 60Hz. (PROMETEC, s.f.)

La ventaja de usar este tipo de corriente es que se consigue tener las dos polaridades de la corriente continua por cortos intervalos de tiempo. Sin embargo, esta corriente no se utiliza con frecuencia porque presenta dificultad para mantener el arco eléctrico, debido a que el voltaje que entrega la fuente de energía está variando continuamente e incluso llega a ser cero. En consecuencia, el arco en corriente alterna es más inestable que el arco en corriente continua.

1.2.5.2. Corriente continua

En este tipo de corriente, las cargas eléctricas circulan en la misma dirección y por lo tanto se comporta en forma constante, como se indica en la figura 1.6. Para esta corriente se tiene dos tipos de polaridad: directa e inversa.

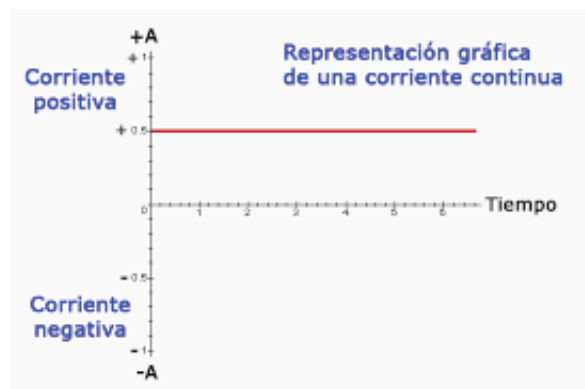


Figura 1.6 Representación de la corriente continua.

Fuente: (Radio electronica.es, 2010)

1.2.6. TIPOS DE POLARIDAD

1.2.6.1. Polaridad directa

Se produce cuando el electrodo es el polo negativo o cátodo y la pieza de trabajo es el polo positivo o ánodo. Esta polaridad se conoce con el nombre de corriente directa electrodo negativo (DCEN). Cuando se utiliza esta polaridad, la dirección del flujo de electrones es hacia el metal base. Así como, los iones van en sentido contrario al de los electrones, desde el metal base hacia el electrodo. La penetración de soldadura y la productividad son mejoradas con esta polaridad. Se obtiene cordones de buena profundidad pero estrechos. Cuando el electrodo está conectado al polo negativo tiene la capacidad de soportar intensidades mayores que cuando está conectado al polo positivo debido a que se calienta menos. En la figura 1.7 se puede observar la influencia en la penetración cuando se utiliza polaridad directa en el proceso de soldadura. (PRAXAIR, 1999)

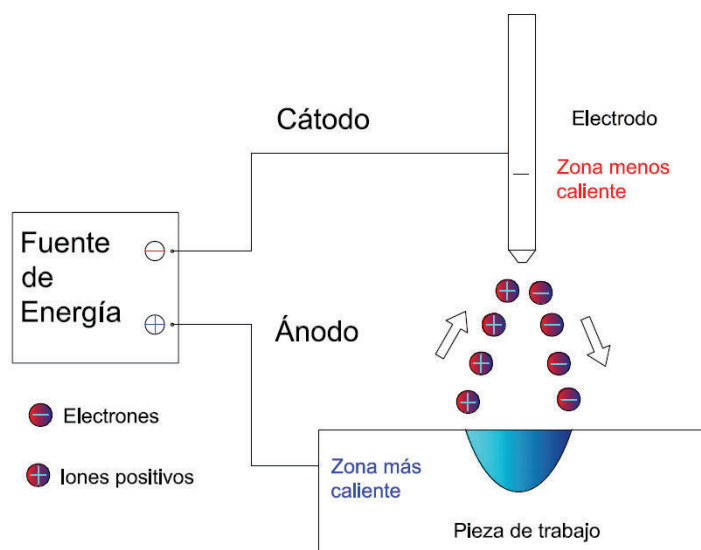


Figura 1.7 Esquema del flujo de electrones e iones en polaridad directa.

Fuente: (PRAXAIR, 1999)

1.2.6.2. Polaridad Inversa

Se produce cuando el electrodo es el polo positivo o ánodo y la pieza de trabajo es el polo negativo o cátodo. Esta polaridad se conoce con el nombre de corriente directa electrodo positivo (DCEP). Con este tipo de polaridad, el calor producido por el flujo de electrones se concentra en la punta del electrodo. Debido a esto, se facilita la fusión del material de aporte y se incrementa el refuerzo del cordón. Estas características se recomiendan para soldadura de mantenimiento.

Se obtiene un cordón relativamente ancho y de poca penetración. La acción de limpieza de superficie, resultado del bombardeo de iones, es otra característica de este tipo de polaridad. Se puede utilizar esta polaridad para soldar aluminio y magnesio, ya que facilita la remoción de la capa de óxido refractario que poseen estos materiales, la cual es perjudicial para la soldadura. Este proceso se conoce como limpieza iónica. En la figura 1.8 se observa la influencia de la polaridad inversa en la penetración. (PRAXAIR, 1999)

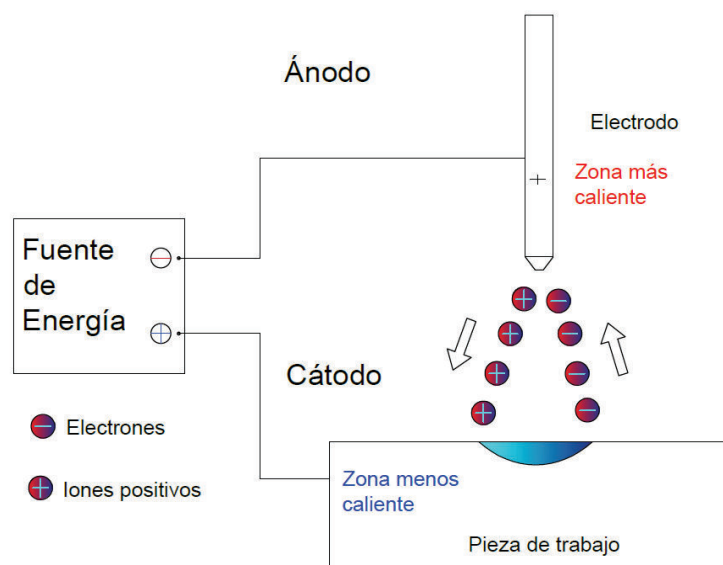


Figura 1.8 Esquema del flujo de electrones e iones en polaridad inversa.

Fuente: (PRAXAIR, 1999)

1.3. GASES DE PROTECCIÓN PARA GMAW

El gas de protección tiene una gran influencia en la formación y estabilización del arco en el proceso de soldadura. Su función principal es crear una atmósfera que proteja el metal fundido de elementos presentes en el aire como: el nitrógeno, el oxígeno y otros elementos contaminantes. Otra de las funciones es permitir el paso de la corriente eléctrica desde el cátodo al ánodo. (ASM International, 1993)

1.3.1. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS GASES DE PROTECCIÓN

La formación y estructura del arco plasma está directamente relacionado con las propiedades del gas protector usado en la soldadura.

En la tabla 1.1 se indican las propiedades de los gases de protección y en la tabla 1.2 se muestra los potenciales de ionización de algunos de elementos. La tabla completa de los potenciales de ionización se muestra en el Anexo B, Tabla B1.

Tabla 1.1 Propiedades del gas de protección utilizado en soldadura.

Gas	Símbolo Químico	Peso molecular	Gravedad Específica (A)	Densidad		Potencial de ionización	
				g/ft ³	g/l	aj ^(B)	eV
Argón	AR	39.95	1.38	0.1114	1.784	2.52	15.7
Dióxido de carbono	CO ₂	44.01	1.53	0.1235	1.978	2.26	14.4
Helio	HE	4.00	0.1368	0.0111	0.178	3.92	24.5
Hidrógeno	H ₂	2.016	0.0695	0.0056	0.090	2.16	13.5
Nitrógeno	N ₂	28.01	0.967	0.782	12.5	2.32	14.5
Oxígeno	O ₂	32.00	1.105	0.0892	1.43	2.11	13.2

(A) A 100KPA(1ATM) Y 0°C(32°F); AIRE = 1

(B) 10⁻¹⁸ J

Fuente: (ASM International, 1993)

Tabla 1.2 Potenciales de ionización de algunos elementos (eV).

Elemento	Estado de ionización		
	I	II	III
Potasio	4.339	31.81	46
Sodio	5.138	47.29	71.65
Calcio	6.11	11.87	51.21
Titanio	6.83	13.63	28.14
Hierro	7.90	16.18	30.64
Silicio	8.149	16.34	33.46
Carbono	11.264	24.376	47.864
Hidrógeno	13.595		
Oxígeno	13.614	35.146	54.934
Nitrógeno	14.54	29.605	47.426
Argón	15.755	27.62	40.90

Nota: El número romano indica el número de electrones que pierden en el estado de ionización

Fuente: (Lancaster, 1986)

1.3.1.1. Potencial de ionización

Es la energía requerida para remover un electrón desde un átomo de gas, transformando este en un ión o átomo cargado eléctricamente. Esta energía está expresada en electrón voltios. Cuando el peso molecular del elemento gaseoso

aumenta, su potencial de ionización disminuye, como se puede observar en la tabla 1.1. (ASM International, 1993)

La ionización es un proceso en el cual la energía interna de los átomos debe ser mayor al potencial de ionización de cada elemento, y esta depende de la resistencia de los electrones del átomo del gas a ser extraídos de su última órbita. (García, 2013)

La fuerza de atracción que mantiene a los electrones en su órbita es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia desde el núcleo. Como se indica en la figura 1.9, los electrones de la última órbita del átomo de Argón están más separadas de su núcleo que los electrones del átomo de helio.

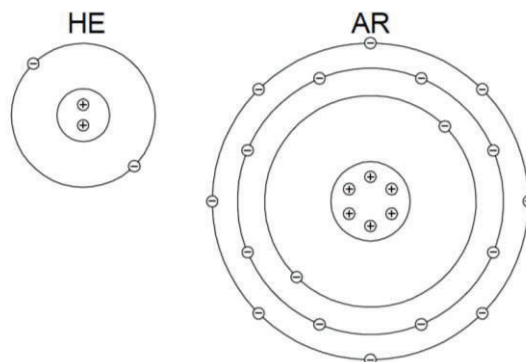


Figura 1.9 Órbitas de los átomos helio y argón.

Fuente: (PRAXAIR, 1999)

Por tanto, en un elemento como el argón de bajo potencial de ionización con respecto al helio, la energía que se requiere para remover sus electrones es menor que la que se requiere para remover uno del helio. Para separar un electrón de Argón de su órbita, es decir para que la ionización sea posible, es necesario una energía de alrededor de 15.7 electrón voltios (eV). A estos niveles de energía se crean los electrones necesarios para permitir el flujo de corriente y formar el arco plasma.

1.3.1.2. Conductividad térmica del gas protector

Es la capacidad del gas para conducir calor a través de este. La conductividad térmica, al igual que la conductividad eléctrica de un gas a baja presión, aumenta con un incremento en la temperatura. Mientras el argón puro tiene baja conductividad térmica, el helio, la mezcla de argón con hidrógeno y argón con dióxido de carbono tiene alta

conductividad. En la figura 1.10 se muestra una gráfica de la conductividad térmica de los gases con respecto a la temperatura. (ASM International, 1993)

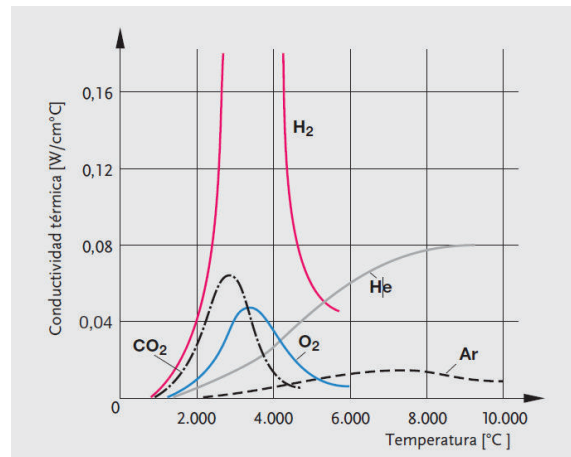


Figura 1.10 Conductividad térmica de los gases vs temperatura.

Fuente: (Abelló Linde, 2004)

Esta conductividad influye en la pérdida de calor desde el centro hacia la periferia de la columna de plasma, así como la transferencia de calor entre el plasma y metal líquido. Debido a que el argón tiene una baja conductividad térmica, el calor se concentra en el núcleo del arco. En cambio, el dióxido de carbono presenta una columna de arco más amplia debido a que tiene una conductividad mayor. En la figura 1.11 se observa una comparación entre la columna de arco que se forma con los gases Ar y CO₂. Por estas razones, se afirma que la conductividad térmica afecta de forma directa al perfil del cordón y la geometría de la penetración. (Abelló Linde, 2004)

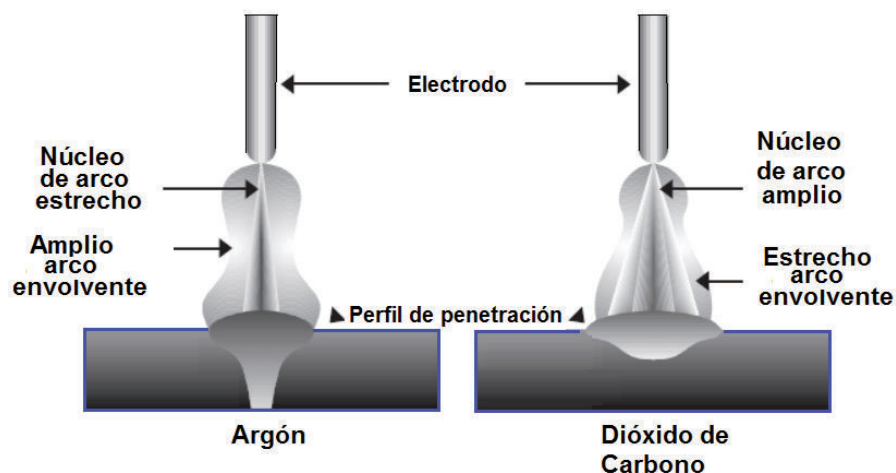


Figura 1.11 Comparación de la columna del arco de Argón y dióxido de carbono.

Fuente: (PRAXAIR, 1999)

1.3.1.3. Disociación y recombinación de gases

A altas temperaturas, los gases como el dióxido de carbono, hidrógeno y el oxígeno, los cuales son moléculas multi-atómicas, se separan o disocian en sus componentes atómicos ionizándose parcialmente, produciendo así electrones libres y flujo de corriente. Cuando los gases disociados entran en contacto con la superficie de trabajo a menor temperatura sus átomos se recombinan liberando calor. Este calor causa que los gases multi-atómicos se comporten como si tuvieran una conductividad térmica más elevada como la del Helio. Esta recombinación no se presenta en gases que están formados por un átomo único como el argón. El calor generado en la superficie de trabajo con gases como el dióxido de carbono e hidrógeno es relativamente más elevado que con otros gases. (ASM International, 1993)

1.3.1.4. Potencial de reactividad y oxidación

Los gases como argón y helio son no reactivos e inertes por lo tanto no afectan directamente al metal de soldadura, mientras que el dióxido de carbono y el oxígeno son gases activos y oxidantes que reaccionan con los elementos del material de aporte formando escoria. Además, el oxígeno libre se combina químicamente con los componentes de los aceros, como son el silicio, manganeso y el hierro formando

óxidos. Utilizar gases reactivos mejora la estabilidad del arco y afecta el tipo de metal de transferencia obtenida.

Cuando el porcentaje de oxígeno en el gas de protección aumenta, disminuye el tamaño de las gotas de metal de aporte pero aumenta el número de gotas transferidas por unidad de tiempo. El oxígeno también reduce la tensión superficial del metal fundido y se obtiene velocidades de soldadura más elevadas. Lo mismo sucede cuando se adiciona pequeñas cantidades de dióxido de carbono. (PRAXAIR, 1999)

1.3.1.5. Pureza del gas

Dependiendo del material base y el proceso de soldadura utilizado, pequeñas cantidades de impurezas en el gas pueden afectar a la velocidad de soldadura, apariencia de la superficie del cordón, solidificación del metal líquido y niveles de porosidad. (ASM International, 1993)

1.3.1.6. Densidad del gas

Es el peso del gas contenido en una unidad de volumen. La densidad es uno de los principales factores que influyen en la efectividad del gas de protección. Por lo tanto, los gases que tienen densidad mayor al aire requieren menores flujos de gas para asegurar una protección adecuada que los que son menos densos como el helio. (ASM International, 1993)

1.3.2. GASES PUROS

1.3.2.1. Argón

Se utiliza generalmente argón puro para soldar metales no ferrosos como el aluminio, níquel, cobre, aleaciones de magnesio y titanio. El argón como gas protector, genera una excelente estabilidad del arco y buena penetración. Debido a su bajo potencial de ionización, facilita el encendido del arco. También produce una columna de arco restringida concentrando la energía en una pequeña área, la cual produce un cordón profundo pero estrecho. (ASM International, 1993)

1.3.2.2. Dióxido de carbono

Este gas generalmente se utiliza para juntas de acero al carbono como material base. Comparado con las mezclas con argón, este gas provee mayores niveles de

salpicadura y humo, así como menor eficiencia de aportación de metal. Una de las características del CO₂ es su alto potencial de ionización, lo que permite obtener mayor fusión y penetración en la soldadura, además de conseguir buenas propiedades mecánicas. (ASM International, 1993)

1.3.2.3. Helio

Con el helio puro se puede obtener mayor aportación de calor en la soldadura debido a que tiene una alta conductividad térmica. Se utiliza para soldar aluminio, magnesio y aleaciones de cobre frecuentemente. Comparado con el argón, se mejora la velocidad de soldadura y el perfil del cordón. (ASM International, 1993)

1.3.3. MEZCLA DE GASES







En la actualidad se ha desarrollado una cantidad enorme de mezclas de gases para la protección del cordón de soldadura en el proceso GMAW, especialmente en juntas de acero al carbono como material base. Se conocen cuatro categorías de gases de protección: gases puros, mezclas argón-oxígeno, mezclas argón-dióxido de carbono, y mezclas entre tres gases utilizando gases como el argón, helio, oxígeno, dióxido de carbono o hidrógeno.

1.3.3.1. Componentes de una mezcla de gases

Cada aplicación específica de soldadura que utiliza gas como medio de protección, requiere una mezcla diferente de gases, que provea de mejores características al cordón de soldadura. Cada gas contribuye con ciertas características al desempeño de la mezcla de gas protector. Estas mezclas pueden ser utilizadas para materiales específicos bajo condiciones de soldadura determinadas.

En la tabla 1.3 se muestra los componentes de una mezcla de gases que se utilizan en la soldadura.

Tabla 1.3 Características de los gases utilizados en soldadura.

COMPONENTES		CARACTERÍSTICAS
Argón		Gas inerte, bajo potencial de ionización, buena estabilidad del arco, baja conductividad térmica. Transferencia de metal tipo Spray.
Helio		Menor densidad que el aire, gas inerte, alta conductividad térmica y alto potencial de ionización. Mejora el desempeño de la mezcla y perfil del cordón. Permite mayor velocidad de soldadura.
Oxígeno		Mejora la estabilidad del arco de soldadura y la fluidez de la piqueta de soldadura. Se mezcla en pequeñas cantidades con gases inertes. El tamaño de la gota decrece pero aumenta la cantidad.
Dióxido de carbono		Gas reactivo. Fácil oxidación del metal base, mejora la estabilidad del arco de soldadura, la penetración y las características de la piqueta. Alta conductividad térmica por la disociación y recombinación de sus componentes. Transfiere mayor cantidad de calor al metal base que el argón.
Hidrógeno		Más liviano e inflamable. Incrementa la aportación de calor. Su uso es limitado para aplicaciones especiales como la soldadura de acero inoxidable.
Nitrógeno		Considerado gas inerte excepto a altas temperaturas. Utilizado para soldaduras de cobre y para corte con plasma.

Fuente: (ASM International, 1993)

La tabla 1.4 se muestra las mezclas de gases recomendados por el ASM HANDBOOK según el tipo de material, espesor y modo de transferencia de metal.

Tabla 1.4 Mezclas de gases recomendados según ASM Handbook.

Material	Espesor		Modo de transferencia	Gas protector recomendado	Ventajas y limitaciones	
	mm.	In.				
Acero al carbono	<2.0	<0.08	Corto-circuito	AR-25CO ₂	Buena penetración y control de distorsión para reducir posibles quemones.	
				AR-15CO ₂		
					AR-8CO ₂	
	2.0-3.2	0.08-0.125	Corto-circuito	AR-8CO ₂	Mayor tasa de deposición con mínima distorsión y salpicadura. Buen control de la pileta para posiciones diferentes a la plana.	
				AR-15CO ₂		
				AR-25CO ₂		
	>3.2	>0.125	Corto-circuito	AR-15CO ₂	Alta velocidad de soldadura, buena penetración y control de pileta para posiciones diferentes a la plana.	
AR-25CO ₂						
				CO ₂		
				Globular	AR-25CO ₂	Apropiado para alta corriente y alta velocidad de soldadura, penetración profunda, pero con potencial de quemones.
				CO ₂		
		Arco spray convencional	AR-1O ₂	Buena sustentabilidad del arco, mayor fluidez de pileta con incremento de O ₂ , buena apariencia del cordón y control de pileta		
			AR-2O ₂			
			AR-5CO ₂			
		Spray pulsado	AR-5CO ₂	Se logra buena estabilidad de spray pulsado con un amplio rango de características de arco y tasas de deposición. Para posiciones diferentes a la plana.		
			Mezclas:			
			AR-HE-CO ₂			
			AR-CO ₂ -O ₂			

Fuente: (ASM International, 1993)

1.3.3.2. Argón-Oxígeno

Con la adición de oxígeno al argón en pequeños porcentajes se mejora la estabilidad del arco, aumenta la tasa de aportación de las gotas de metal de aporte, disminuye la corriente de transición de spray, la piqueta de soldadura es más fluida y permanece fundida mayor tiempo permitiendo al metal fluir.

Las mezclas más frecuentes entre Ar-O₂ contienen los siguientes porcentajes: 1, 2, 5 o 8% de oxígeno. (ASM International, 1993)

1.3.3.3. Argón-Dióxido de carbono

Son generalmente utilizadas para aceros al carbono y de baja aleación, además está limitado el uso para ciertos aceros inoxidables. Con la adición de dióxido de carbono al argón en bajos porcentajes se produce un efecto similar a la mezcla con oxígeno. Conforme se incrementa el contenido de CO₂, se incrementa el ancho del perfil del cordón, la tasa de aportación de calor y el riesgo de producirse exceso de penetración.

Las mezclas más comunes entre Ar-CO₂ para transferencia spray son: 5, 8, 10, 13 hasta 18% de CO₂. Transferencias como corto-circuito y globular se obtienen con rangos entre 15%-25% CO₂. Los tres modos de transferencia convencionales se pueden obtener con mezcla de argón - dióxido de carbono. (ASM International, 1993)

1.3.3.4. Argón-Oxígeno-Dióxido de carbono

La mezcla de los tres gases permite utilizar los tres modos de transferencia de metal base: corto-circuito, globular y spray. Este tipo de mezcla se usa generalmente para uniones de acero al carbón y de baja aleación. (ASM International, 1993)

1.3.3.5. Argón-Helio-Dióxido de carbono

La adición ciertas cantidades de helio y dióxido de carbono al argón produce un incremento en la aportación de calor, mejorando la fluidez de la piqueta de soldadura y el perfil de la gota. La mezcla que contiene helio y dióxido de carbono con un porcentaje máximo de 40% permite obtener transferencia tipo spray en aceros al carbono y aceros de baja aleación.

Cuando el porcentaje de helio en la mezcla excede el 50% la transferencia se restringe a corto-circuito y globular. Con el objetivo de evitar la pérdida de resistencia a la corrosión en la soldadura de aceros inoxidable, se debe realizar con un contenido de dióxido de carbono relativamente bajo, menores al 5%. (ASM International, 1993)

1.3.3.6. Argón-Dióxido de carbono-hidrógeno

Este tipo de mezcla se utiliza para la unión de aceros inoxidables austeníticos mediante el método de transferencia spray y corto-circuito. No se recomienda soldar aceros al carbono debido a que se adiciona hidrógeno a la mezcla. Las ventajas de adicionar dióxido de carbono e hidrógeno al argón es el incrementar la tasa de aportación de calor al metal base, mejorar las características de la forma de la gota y la velocidad de soldadura. (ASM International, 1993)

1.3.4. SELECCIÓN DEL GAS PROTECTOR

Determinar la mejor mezcla de gas protector depende de una serie de requerimientos de trabajo específicos. La elección de la combinación de gases está limitada por la naturaleza del electrodo, el material base utilizado, además de las características que se requiera para el cordón de soldadura obtenido.

La elección correcta del tipo de mezcla de gas utilizada tiene las siguientes ventajas:

- Mejora las propiedades del metal de soldadura, tales como la resistencia a la tracción y a la corrosión.
- Mejora el perfil del cordón de soldadura y su tamaño.
- Aumenta la calidad de la soldadura, reduciendo los defectos.
- Aumento en la velocidad de soldadura, así como reducción de los tiempos de producción.
- Requiere menor experiencia del soldador manteniendo la calidad de la soldadura.

1.3.4.1. Propiedades que provee el gas de protección al metal de soldadura

El gas de protección utilizado en el proceso de soldadura tiene la capacidad de influir directamente en las propiedades del metal de soldadura como es la resistencia, ductilidad, dureza y resistencia a la corrosión.

Como se explicó anteriormente, la adición de un porcentaje de oxígeno o dióxido de carbono a la mezcla de gas protector aumenta su potencial de oxidación. Por lo tanto, a medida que aumenta el potencial de oxidación del gas, disminuye la resistencia y dureza de la soldadura. Esto ocurre debido a que los componentes de oxígeno aumentan el número de inclusiones de óxido y reduce el nivel de magnesio y silicio en el material. (The linde Group, 2015)

Además, al utilizar mezclas con porcentajes de dióxido de carbono se puede producir una transferencia de carbono en la soldadura desde el gas y este puede aumentar la concentración de carbono en el material hasta llegar a niveles inaceptables.

1.3.4.2. Perfil y calidad de soldadura

Aunque las mezclas de gas con bajos niveles de oxígeno o dióxido de carbono proveen de altas propiedades mecánicas al cordón de soldadura, también puede existir defectos de fusión mayor que al utilizar gases con mayores potenciales de oxidación. Además, las mezclas con bajos potenciales de oxidación producen cordones con un perfil más estrecho en forma de copa de vino. Sin embargo, aumentar el porcentaje de dióxido de carbono incrementa el ancho del cordón, su penetración y redondez reduciendo el riesgo a los defectos de fusión.

La adicción de helio al argón puede reducir defectos tales como porosidad, falta de penetración o falta de fusión. Esto se debe a la alta conductividad térmica del helio, la cual aumenta la cantidad de energía transferida al metal de soldadura y por tanto mejora la fusión y disminuye el tiempo de enfriamiento permitiendo así que los gases atrapados escapen.

Adicionalmente, el gas de protección puede mejorar la calidad de la soldadura disminuyendo la altura del refuerzo del cordón. Si esta altura es relativamente grande, aumenta los concentradores de esfuerzos en el cambio de sección entre el metal base y el cordón. El método común para remover o reducir el exceso de refuerzo del cordón es pasando este por el esmeril, pero esto es tanto costoso como una pérdida de tiempo. Una apropiada selección de la mezcla de gas protector reducirá la tensión

superficial del metal de soldadura y permitirá al metal que se está solidificando descender y lograr un refuerzo más bajo.

El uso de dióxido de carbono puro como gas de protección para soldadura de acero al carbono puede causar grandes cantidades de salpicadura. Remover la salpicadura después del proceso de soldadura no sólo es costoso, sino también puede causar problemas de estética.

Se puede escoger la mezcla de gas más apropiada dependiendo de las características más importantes que se requiere para la junta. Estas pueden ser velocidad de soldadura mayor, bajos niveles de defectos, mejores propiedades mecánicas y mejor apariencia del cordón. (The linde Group, 2015)

1.3.4.3. Criterios de selección

Un gran número de fabricantes de uniones soldadas generalmente sólo consideran el costo de la soldadura, sin tomar mucho en cuenta la calidad de esta. Este costo se puede dividir en cuatro elementos principales: el gas, el alambre electrodo, hora-hombre y fuente de poder. Tomando en cuenta el costo del gas de protección, independientemente del material a soldar, este costo representa aproximadamente menos del 10% del costo total.

Un criterio que es muy importante a la hora de seleccionar el gas es la calidad de soldadura para lograr reducir la altura del refuerzo, disminuir la limpieza de salpicaduras, reducir los defectos y remover las imperfecciones en la superficie. Para realizar las actividades mencionadas se requiere de un sistema de esmerilado y acabado final. Esto puede incurrir en costos adicionales que pueden llegar a ser mayores al ahorro que se consiguió con los gases de protección seleccionados sólo por su costo.

El ahorro que se puede obtener con la selección adecuada de la mezcla de gas puede ser enorme. La calidad de soldadura que se consigue puede prevenir de posibles accidentes, los cuales pueden representar mayor costo que el costo inicial de fabricación. Además se puede conseguir mejoras en las características de penetración y fusión en la junta.

El costo que se puede originar luego de encontrar defectos en el cordón de soldadura puede ser muy alto. Se consideran 4 elementos de criterio: Ensayos de rayos X o ultrasonido, la remoción de defectos, la re-soldadura y volver a hacer los ensayos. En el peor de los casos, cuando la junta no se puede reparar y tiene que ser desechada, se origina un costo elevado para obtener una junta totalmente nueva.

Finalmente se puede decir que no existen criterios definidos para cada aplicación. Cada una debe ser analizada por separado para asegurar el mejor criterio, aumentar así la productividad y disminuir el costo de las juntas soldadas. (The linde Group, 2015)

1.3.4.4. Precisión de las mezclas de gas protector

La precisión con la que deben ser mezclados los gases depende de la forma como se va a suministrar estos. Si se tiene una mezcla de gases entre argón y oxígeno Ar-2O₂, la mezcla de gas contendrá un porcentaje entre 1.8-2.2 O₂. Además, cuando los cilindros de gas han sido llenados correctamente, los componentes de esta mezcla no se separarán a menos que la temperatura del ambiente disminuya considerablemente por debajo de la temperatura de trabajo. Si los gases se obtienen de una fuente líquida, la precisión de la mezcla está en función del equipo de mezclado utilizado. (ASM International, 1993)

1.4. MODOS DE TRANSFERENCIA DE METAL

Es la forma en que el metal de aporte fundido se traslada desde la punta de un electrodo consumible hasta la pieza de trabajo. El modo de transferencia depende de la corriente de operación, diámetro y composición del electrodo, la longitud del arco, el voltaje, las características de la energía suministrada y el gas protector. Para seleccionar el tipo de transferencia a utilizar en el proceso, uno de los factores más importantes a considerar es el espesor del material base. En caso de espesores delgados, se requiere el uso de un modo de transferencia de bajo nivel de corriente como el corto circuito. Para secciones de mayor espesor, se obtienen mejores resultados con el modo de transferencia spray. Estos modos de transferencia producen

una alta tasa de aportación de calor, máxima penetración y alta tasa de aportación de metal. (PRAXAIR, 1999)

El campo de aplicación del proceso GMAW depende en gran magnitud de la forma como se transfiere el metal de aporte a la pileta de soldadura. Esto influye directamente en características como: el grado de salpicadura, la porosidad o el perfil de penetración del cordón de soldadura.

En GMAW se conocen 3 modos convencionales de transferencia de metal:

- Corto circuito
- Globular
- Spray

Existen diferentes variaciones del modo de transferencia spray dependiendo del tipo de corriente utilizada o de los niveles de corriente. Si los parámetros de soldadura se mantienen constantes, el modo de transferencia de metal a la más baja velocidad de alimentación del electrodo será tipo globular. (Lincoln Electric, 2015)

Conforme se va aumentando la velocidad de alimentación el modo cambia de globular a spray y luego al modo “streaming”. Estos modos de transferencias se pueden obtener con corriente directa y corriente pulsada. Cuando se utiliza la corriente pulsada se consigue el modo de transferencia pulsado, el cual es una variación del modo spray.

Cuando se aumenta la corriente de soldadura se obtiene la llamada transferencia “rotating”, en la cual las gotas rotan elípticamente bajo la influencia de un campo magnético alrededor del arco. Cuando se utiliza este tipo de transferencia, se produce un chorro controlado de gotas de metal, el cual es transferido desde el electrodo a la pileta en un área relativamente amplia. Adicionalmente existe la transferencia corto circuito, la cual se produce cuando las gotas son transferidas a la pileta por fuerzas de tensión superficial luego del contacto entre la gota y la pileta de soldadura. (Lincoln Electric, 2015)

En la figura 1.12 se muestra como se producen los modos de transferencia según la intensidad de corriente.

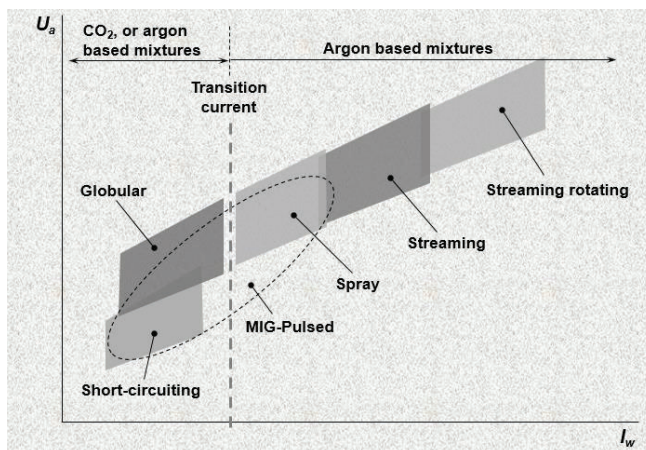


Figura 1.12 Esquema de los tipos de transferencia de metal.

Fuente: (Ponomarev V., 2015)

Información adicional de la clasificación de los modos de transferencia se muestra en el Anexo B, figura B2 y tabla B2.

1.4.1. BALANCE DE LAS FUERZAS ESTÁTICAS EN LA TRANSFERENCIA DEL METAL DE APORTE

El desprendimiento de la gota se produce cuando las fuerzas estáticas de separación presentes en el arco eléctrico superan las fuerzas estáticas de retención producidas en la superficie del electrodo. La siguiente ecuación muestra el balance entre las fuerzas de separación y de retención. (Andocilla & Maldonado, 2007)

$$F_s = F_g + P + F_d$$

Donde:

F_s = Fuerza de tensión superficial

F_g = Fuerza gravitacional

P = Fuerza electromagnética de "Pinch"

F_d = Fuerza de arrastre

Las fuerzas estáticas que se consideran de separación son: la fuerza electromagnética de "Pinch", la fuerza gravitacional y la fuerza de arrastre del arco. La fuerza de tensión superficial actúa en contra de la separación de la gota, por lo que se la considera como

una fuerza de retención. Para profundizar este tema se muestra una figura del comportamiento de las fuerzas en el Anexo B, figura B1. (Andocilla & Maldonado, 2007)

1.4.1.1. Fuerza gravitacional

Es la fuerza de atracción que ejerce la tierra sobre los objetos que tienen una masa apreciable. En el proceso de soldadura, esta fuerza actúa sobre las gotas de metal fundido separándolas del electrodo y atrayéndolas hacia la pileta de soldadura cuando el proceso se realiza en posición plana. Esta fuerza es igual a la masa de la gota por el valor de la gravedad (9.8m/s^2). (Andocilla & Maldonado, 2007)

1.4.1.2. Fuerza electromagnética de “Pinch” (Efecto pinch)

El efecto pinch es producido por el flujo de corriente en el alambre o electrodo, en el cual la gota es apretada por un campo magnético que lo rodea. Las fuerzas electromagnéticas, que son directamente proporcionales al cuadrado de la corriente aplicada, tienen un fuerte efecto sobre la transferencia del metal de aporte en la soldadura. (Lincoln Electric, 2015).

$$P \propto I^2$$

Donde:

P= Fuerza electromagnética de Pinch

I= Intensidad de corriente

En el proceso GMAW, cuando el electrodo se calienta cerca de su punto de fusión, este “Efecto Pinch” provoca que se formen las gotas de transferencia del metal y se transfieran al metal base. El tamaño de la gota transferida depende de la fuerza electromagnética, la corriente aplicada y el tipo de gas de protección. (PRAXAIR, 1999)

En la figura 1.13 se ilustra el “Efecto Pinch” en el proceso de soldadura.

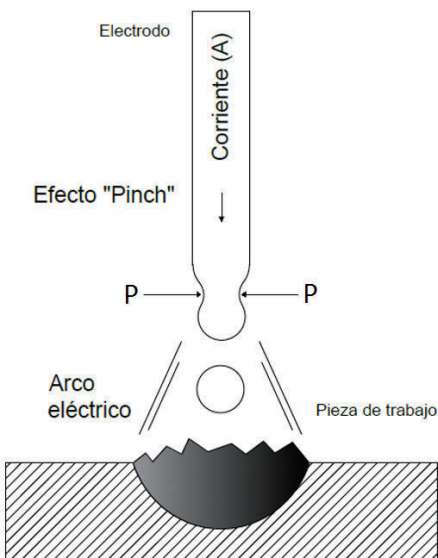


Figura 1.13 Esquema del funcionamiento del Efecto Pinch.

Fuente: (PRAXAIR, 1999)

1.4.1.3. Fuerza de arrastre del arco

Es la fuerza que ejerce un fluido, en este caso el gas de protección, sobre el metal fundido. Esta actúa en la misma dirección del flujo del gas, promoviendo así la separación de la gota. Por esta razón, es una fuerza de separación. (Andocilla & Maldonado, 2007)

1.4.1.4. Fuerza de tensión superficial

Las fuerzas intermoleculares de atracción al interior de un fluido son las que generan el fenómeno conocido como tensión superficial. Este fenómeno se produce entre la superficie de la punta del electrodo y la gota fundida.

La tensión superficial en la soldadura es la fuerza que se opone al desprendimiento de la gota y finaliza cuando el metal fundido entra en contacto con la pileta de soldadura. Esta fuerza produce un aumento del tamaño de la gota, debido a que aumenta el tiempo que permanece la gota adherida al electrodo. (Andocilla & Maldonado, 2007)

1.4.2. MODO DE TRANSFERENCIA CORTO CIRCUITO

En este tipo de transferencia el metal de aporte se transfiere cuando el electrodo está en contacto directo con la pileta de soldadura y el electrodo es alimentado a velocidad constante. En este instante no existe un arco y la corriente se incrementa calentando

el electrodo. Al mismo tiempo el alambre electrodo se deforma debido a la fuerza electromagnética de Pinch. Como resultado del incremento de la corriente y el Efecto Pinch se produce una gota de metal que se transfiere a la pileta de soldadura. Después se genera un nuevo arco, esto ocurre entre 50 a 250 veces por segundo. (PRAXAIR, 1999)

En el modo de transferencia corto circuito es necesario tomar en cuenta la técnica de soldadura y el procedimiento que se va a realizar cuando se suelda materiales de un espesor considerable, debido a que con este modo se tiene una tasa de aportación de calor baja y una tasa de fusión relativamente superficial.

Las características de este tipo de transferencia producen un rápido enfriamiento del charco de soldadura, por lo que se convierte en un proceso ideal para soldar en todas las posiciones. (American Welding Society, 1996)

La transferencia cortocircuito permite la soldadura de chapas de metal sin una afectación considerable en la forma del material. También es frecuentemente utilizado para la soldadura de pase de raíz en secciones de espesor delgado con junta tipo ranura.

Los gases de protección que se utilizan frecuentemente son el dióxido de carbono al 100%, mezclas entre argón/dióxido de carbono, argón/oxígeno y la mezcla argón/oxígeno/dióxido de carbono. (Lincoln Electric, 2015)

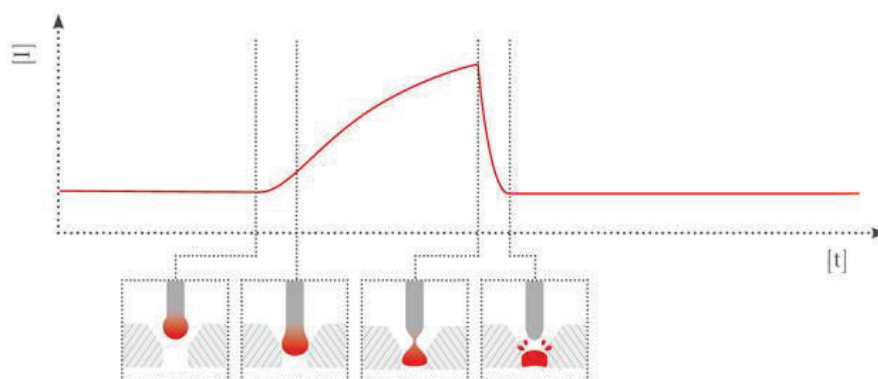


Figura 1.14 Diagrama de corriente por arco cortocircuito.

Fuente: (Fronius International, 2014)

En la figura 1.14 se puede observar la gráfica de corriente de una transferencia por cortocircuito. El proceso inicia cuando a través del electrodo se conduce una corriente determinada, la cual produce una pequeña gota de material en la punta del electrodo. Después de esto existe un aumento de amperaje que hace que la gota aumente de tamaño. Cuando el electrodo hace contacto con la pileta de soldadura, el voltaje se aproxima a cero y los niveles de corriente se elevan hasta un pico máximo. Esto produce que la gota formada se estrangule y se desprenda debido al efecto Pinch. Luego el voltaje comienza a incrementar y el amperaje a disminuir para iniciar un nuevo ciclo.

La rapidez con que aumenta la corriente se controla a través de la inductancia de la fuente de poder y esta debe ser suficiente para calentar el electrodo y promover la transferencia de material sin provocar demasiada salpicadura.

1.4.3. MODO DE TRANSFERENCIA GLOBULAR

La transferencia globular está caracterizada por la formación de gotas grandes que atraviesan el arco. El tamaño de las gotas es de 2 a 4 veces más grandes que el diámetro del electrodo. (PRAXAIR, 1999)

Este modo de transferencia toma lugar entre los niveles de corriente y voltaje de la transferencia corto-circuito y spray. La transferencia globular puede ocurrir con ambos tipos de gases inertes y activos o con una mezcla de argón y dióxido de carbono.

Con una atmósfera de dióxido de carbono, la gota no es propulsada a través del arco debido a las fuerzas de repulsión que actúan hacia arriba de la punta del alambre. Por estas fuerzas, la gota se mantiene en la punta del alambre electrodo y va aumentando de tamaño con el tiempo hasta que, ya sea por gravedad o por un cortocircuito, el metal es transferido al material base.

El método globular permite conseguir altas velocidades de soldadura pero con altos niveles de salpicaduras. Las soldaduras con este método son propensas a producir defectos como la falta de fusión. La forma del cordón de soldadura es convexa debido a que presenta baja mojabilidad. (American Welding Society, 1996)

1.4.4. MODO DE TRANSFERENCIA SPRAY

El metal fundido se transfiere a la junta en forma de pequeñas gotas. Se consigue este tipo de transferencia con mezclas de gas de al menos 80% de Argón y niveles apropiados de corriente y voltaje dependiendo del diámetro del electrodo. Las mezclas que se pueden utilizar son: argón – dióxido de carbono y argón – oxígeno. (ASM International, 1993)

El cambio de transferencia de globular a spray se produce en la llamada corriente de transición.

Dependiendo del nivel de corriente se puede dividir en 4 tipos de transferencia spray:

- Axial
- Pulsada
- Rocío o streaming
- Rotacional o rotating

1.4.5. MODO DE TRANSFERENCIA SPRAY TIPO AXIAL

Se produce inmediatamente después de alcanzar niveles de energía un poco mayores a los de la corriente de transición. El tamaño de las gotas que se obtienen con esta transferencia es igual o menor al diámetro del electrodo. La transferencia de metal está dirigida axialmente a la pieza de trabajo y la tasa de transferencia puede ser de algunos cientos de gotas por segundo. Estas gotas se desprenden de la punta del electrodo luego de hacer un breve corto circuito con la piqueta de soldadura. (PRAXAIR, 1999)

Este tipo de transferencia brinda ventajas tales como: altas tasas de aportación, buenas características de fusión y penetración, buena apariencia del cordón de soldadura, requiere poca limpieza post-soldadura, alta eficiencia de consumo de electrodo, capacidad para utilizar alambre electrodo de mayor tamaño y presencia mínima de salpicadura. Además tiene algunas limitaciones como por ejemplo: soldadura de materiales de espesor mayor a 3mm (1/8") y está limitado a soldar en posiciones plana y horizontal debido al charco fluido que se obtiene. (PRAXAIR, 1999)

Los niveles de corriente que se requieren para obtener esta transferencia deben ser mayores al intervalo entre 220-250 A, dependiendo de la composición del gas protector, del material base o del diámetro del electrodo. Además, se necesita la protección de mezclas de gas con argón como principal componente y el uso de polaridad inversa o corriente directa electrodo positivo (DCEP).

1.4.6. MODO DE TRANSFERENCIA SPRAY PULSADO

En los procesos de soldadura se busca disminuir la tasa de aportación de calor a los materiales para evitar cambios que afecten directamente a la microestructura y las propiedades mecánicas de estos. Por esta razón, es conveniente utilizar el proceso de soldadura GMAW con intensidad de corriente menor a la corriente de transición entre el modo de transferencia globular y spray. (Lancaster, 1986)

El modo de transferencia pulsado tiene un amplio rango de intensidades de corriente que van desde valores menores a la corriente de transición hasta valores mayores. El nivel de corriente bajo que utiliza esta transferencia permite la soldadura de metales de espesor menor a 3mm (1/8"). Además, es posible la soldadura en todas las posiciones con altas velocidades. (PRAXAIR, 1999)

Este tipo de transferencia se produce con cada uno de los impulsos de la corriente de soldeo de una manera controlada. Para conseguir este tipo de transferencia es necesario una fuente de poder que provee de dos niveles de energía: corriente de fondo y corriente de pulso. La corriente de fondo es demasiado baja en magnitud para producir la transferencia pero es necesaria para mantener el arco eléctrico y la aportación de calor. Esta corriente esta entre 50 y 100A. (Lancaster, 1986)

Por otra parte, la corriente de pulso tiene alto nivel de energía que produce la formación y transferencia de las gotas de metal fundido desde el electrodo. Esta corriente ocurre en intervalos de tiempo controlados, como se indica en la figura 1.15. Finalmente se tiene una corriente que varía de alta a baja intensidad en cientos de ciclos por segundo. (PRAXAIR, 1999)

La transferencia por pulsos fue desarrollada para un mejor control de las salpicaduras y la eliminación de los defectos de fusión incompleta que aparecen en la transferencia

globular y cortocircuito. Además se logra disminuir la tasa de aportación de calor en comparación con el método spray axial, lo que resulta en niveles menores de distorsión por calor del material.

Al igual que la transferencia tipo spray, el gas de protección utilizado debe ser argón o mezclas de argón. La transferencia del metal se realiza únicamente en los picos de la corriente de pulso, de esta forma una gota se transfiere con cada pulso. La frecuencia en que ocurren los pulsos incrementa de forma proporcional a la velocidad de alimentación del alambre. (PRAXAIR, 1999)

La tasa de transferencia depende de varios factores como: el tipo de metal base, el espesor, el diámetro del alambre y la posición de soldadura.

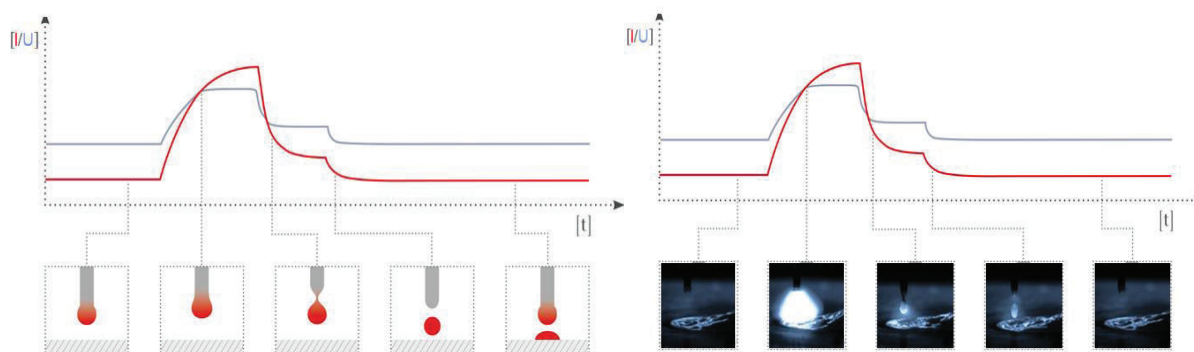


Figura 1.15 Diagrama de corriente y voltaje con arco pulsado.

Fuente: (Fronius International, 2014)

En la figura 1.15 se muestra una gráfica en la que indica tanto el amperaje como el voltaje para producir el modo de transferencia pulsado.

El proceso inicia con un voltaje y amperaje relativamente bajos, los cuales producen el calentamiento de la punta del electrodo. Con un incremento en el voltaje y en el amperaje se produce la formación de la gota. El amperaje continúa subiendo hasta un pico máximo mientras el voltaje permanece constante aumentando el tamaño de la gota. Después de esto, se tiene un descenso ligero de corriente y voltaje para provocar el estrangulamiento de la gota. Cuando la gota es estrangulada, la caída de amperaje y voltaje no es suficiente para provocar su desprendimiento. Por un instante se

mantiene constante el amperaje y voltaje haciendo que la gota se desprenda lentamente del electrodo, con lo cual se disminuye las salpicaduras. Finalmente, un último descenso de la corriente libera completamente la gota y se inicia un nuevo ciclo.

1.4.7. MODO DE TRANSFERENCIA DE ROCÍO O “STREAMING”

Se origina con un nivel intermedio de corriente sobre la corriente de transición. Comparado con el tipo axial, se tiene mayor tasa de aportación de metal cercano a las 1000 gotas por segundo. El arco tiende a formar un cono desde la punta del electrodo hasta el metal base concentrando la energía en una mayor área a diferencia de la transferencia axial que es lineal y directa. Conforme el nivel de corriente aumenta, el tamaño de las gotas obtenidas disminuye hasta ser menor a la transferencia spray tipo axial. (ASM International, 1993)

1.4.7. MODO DE TRANSFERENCIA DE ALTA DENSIDAD DE CORRIENTE “ROTATIONAL SPRAY”

Esta transferencia se puede lograr con altos niveles de corriente además de una combinación entre velocidad de alimentación del alambre, longitud libre del electrodo y gas de protección. La velocidad de alimentación del alambre electrodo debe ser alta, la longitud libre será también amplia y una combinación entre argón, dióxido de carbono y oxígeno.

Las fuerzas electromecánicas generadas por el flujo de corriente en el alambre causan que se funda la punta del electrodo y se genere el patrón de rotación elíptico.

Las principales características de este modo son: alta deposición de metal, alta salpicadura y forma irregular del cordón, por tanto requiere de altos niveles de corriente. Se puede soldar piezas de gran espesor con un alto rendimiento utilizando mezclas especiales de base de argón en donde se adiciona también el helio.

Los gases de protección con adición de dióxido de carbono o helio tienden a subir la corriente de transición spray - rotacional y suprimen la rotación de la gota. Debido a esto, la fuente de calor se concentra en un área reducida y la profundidad de fusión aumenta. (PRAXAIR, 1999)

1.4.8. COMPARACIÓN ENTRE ARCO PULSADO Y ARCO SPRAY

Tabla 1.5 Comparación entre arco pulsado y arco spray.

Método de transferencia	Ventajas	Limitaciones
Pulsado	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de salpicaduras. • Control del número de gotas (un pulso-una gota). • Penetración controlable. • Control del aporte térmico. • Permite soldadura de espesores delgados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Amplio enfoque del arco. • Alta tendencia al socavado. • Sonido fuerte del proceso.
Spray	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de salpicaduras. • Penetración profunda. • Alta tasa de aportación de material. • Buena fusión y penetración en el material. 	<ul style="list-style-type: none"> • Rango de potencia limitada • Alta tasa de aportación de calor • Elevada radiación térmica • Limitada a procesos en posición horizontal.

Fuente: (Fronius International, 2014)

1.4.9. ARCO PULSADO MULTI-CONTROL (PMC)

PMC un proceso desarrollado por la empresa Fronius. Es el pulsado convencional con nuevas funciones y estabilizadores.

Sus principales características son:

- Aumento de la estabilidad del proceso a través de un control preciso.
- Características del pulso optimizado y mejorada de ignición.
- Mejor estabilidad de energía reducida por unidad de longitud (velocidad de soldadura y longitud del arco).
- Estabilización de penetración para que sea más constante.

- Aumento de la estabilidad del arco por medio de un estabilizador de longitud de arco que ayuda al soldador a establecer los parámetros de soldadura adecuados para cada junta.
- Útil para realizar soldaduras mecanizadas, especialmente en áreas estrechas y posiciones difíciles de alcanzar.

1.4.9.1. Tecnología de control de onda

Actualmente se utiliza equipos del tipo inversor, los cuales presentan características de control de la onda de corriente. La corriente de soldadura es obtenida por medio de un amplificador de alta velocidad. Los equipos de última tecnología cuentan con un software desarrollado para manejar la corriente de soldadura y optimizarla para los diferentes modos de transferencia de metal. Uno de los desarrollos en tecnología más notables es para el modo de transferencia spray pulsado (GMAW-P).

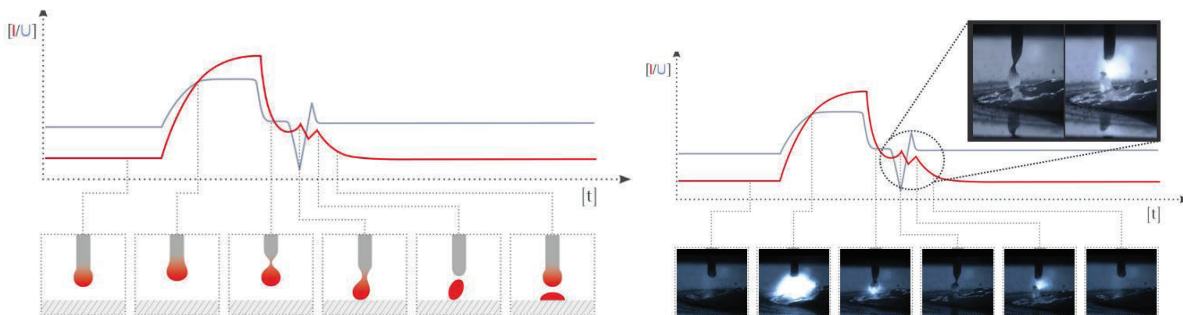


Figura 1.16 Diagrama de corriente con arco PMC

Fuente: (Fronius International, 2014)

En la figura 1.16 se muestra el diagrama de corriente y voltaje del modo pulsado PMC. El proceso de formación y estrangulamiento de la gota es similar al de cualquier arco pulsado pero con un mayor control de la gota producida y depositada en la piletilla de soldadura. Antes de liberar la gota, existe una caída de voltaje que mantiene la gota unida a la punta del electrodo por más tiempo, para finalmente con un incremento de voltaje depositarla suavemente en la piletilla. (Fronius International, 2014)

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

En el presente capítulo se explica detalladamente del procedimiento propuesto para la realización de la investigación del presente proyecto de titulación. Para el análisis de la influencia de la composición del gas protector en la conformación del cordón de soldadura para el proceso GMAW se propone realizar macrográficas de la sección transversal de cordones sobre placas de soldadura, como de juntas soldadas en filete.

Primeramente se obtiene las probetas con la transferencia de metal corto-circuito, spray pulsado convencional y spray pulsado multi-control (PMC Fronius). Luego se realiza el corte de las probetas y una vez obtenido las macrográficas se realiza la medición de los parámetros geométricos del cordón. Con estas dimensiones se compara las características que presentan las diferentes mezclas de gas de protección en distintos porcentajes de Ar y CO₂.

2.1. DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS

En la siguiente sección se explica las razones por las cuales se ha seleccionado los parámetros necesarios para el desarrollo del presente proyecto. La selección se basa en el cumplimiento de los objetivos principales y criterios técnicos.

2.1.1. MATERIAL BASE

En el presente análisis se utiliza el material ASTM A36, el cual es uno de los aceros más utilizados y comerciales en el Ecuador para proyectos que no requieran de un material de alta resistencia. Es un acero ferrítico-perlítico de bajo contenido de carbono que presenta una buena soldabilidad, lo cual facilita la realización del proyecto.

A continuación se indica en la tabla 2.1 la composición y en la tabla 2.2 las propiedades del Acero A36.

Tabla 2.1 Composición del Acero ASTM A36.

Material	Carbono %	Manganesio %	Fosforo %	Azufre %	Silicio %	Cobre %
ASTM A36	0,26	0,65-1,2	0,04	0,05	0,4	0,2

Fuente: ASTM A36/A36M (2014). *Standard Specification for Carbon Structural Steel. USA*, pág. 3.

Tabla 2.2 Propiedades del Acero ASTM A36.

Material	Resistencia tracción MPa	Resistencia Fluencia MPa	Alargamiento % en 50mm
ASTM A36	400-550	250	23%

Fuente: ASTM A36/A36M (2014). *Standard Specification for Carbon Structural Steel. USA*, pág. 2.

2.1.2. MATERIAL DE APORTE

Para el proceso de soldadura de las probetas se utiliza el alambre electrodo AWS ER70S-6 de diámetro 1.2mm, el cual es muy utilizado en la industria ecuatoriana y presenta alta tasa de aportación. Es un electrodo continuo de acero de bajo carbono con revestimiento de una delgada capa de cobre. Presenta una buena soldabilidad cuando se utiliza mezclas de CO₂ o Ar/CO₂ como gas de protección.

La tabla 2.3 muestra la composición química del alambre ER70S-6 tomado del catálogo de Indura.

Tabla 2.3 Propiedades del Acero ASTM A36

	INDURA	Especificación AWS
Carbón	0,09%	0,06/0,15
Manganeso	1,45%	1,40/1,85
Silicio	0,95%	0,80/1,15
Fósforo	<0,02%	0,025 máx.
Azufre	<0,02%	0,035 máx.

Fuente: Indura, *Catálogo Alambre MIG/MAG AWS ER 70S-6 / ER 48S-6*, pág. 2.

2.1.2.1. APLICACIONES INDUSTRIALES

Se detallan algunas aplicaciones del alambre electrodo ER70S-6 a continuación:

- Soldadura estructural en acero dulce.
- Construcción de equipo pesado.
- Relleno y reparación de ejes.
- Tanques a presión.
- Aplicaciones en la industria automotriz.
- Trabajos de taller en general.

En la tabla 2.4 se muestra las propiedades del metal de aporte tomado del catálogo de Indura.

Tabla 2.4 Propiedades del metal de aporte ER70S-6.

	Medida	Alambre gas aplicado 100% CO₂	Alambre gas aplicado 75% Ar 25% CO₂	Alambre gas aplicado 80% Ar 20% CO₂	Especif. AWS gas aplicado 100% CO₂
Resist. tracción	MPa	520	535	530	480
Resist. Fluencia	MPa	440	450	450	400
Alargamiento	% en 50mm	28%	31%	32,8%	22% min

Fuente: Indura, *Catálogo Alambre MIG/MAG AWS ER 70S-6 / ER 48S-6, pág. 2.*

En la tabla 2.5 se indica los parámetros recomendados por el fabricante tomados del catálogo de Indura.

Tabla 2.5 Parámetros recomendados por el fabricante del electrodo.

Diámetro (mm)	Corriente (Amps)	Voltaje (Volts)	Velocidad alambre (m/min)	Flujo gas (l/min)
0,8	30-50	16-17	1,3-1,8	8-10
	35-60	16-17,5	1,3-2,0	8-11

	40-70	17-18	1,5-3,0	9-11
0,9	70-90	18-19	3,0-3,6	10-12
	80-110	19-20	3,3-3,8	11-13
	120-130	20-21	3,6-4,1	11-14
1,2	120-180	20-22	4,6-6,1	11-16
	160-180	21-22	5,1-6,1	14-17
	190-200	22-23	6,4-7,1	14-17
	200-210	23-24	7,0-7,4	14-17
	220-250	24-25	7,5-8,9	14-17
	240-260	28-29	8,4-9,5	14-17
1,6	280-300	30-32	4,6-5,1	17-19

Fuente: Indura, *Catálogo Alambre MIG/MAG AWS ER 70S-6 / ER 48S-6*, pág. 2.

2.1.3. GASES DE PROTECCIÓN

Los gases de protección que se utilizan en el presente proyecto son el Argón, el Dióxido de carbono y mezclas de ambos. Estos han sido seleccionados por su alta aplicación en el proceso GMAW y su amplia comercialización en el Ecuador. Los dos gases por separado proporcionan características específicas en la apariencia y el proceso de conformación del cordón de soldadura que se han especificado en el capítulo anterior. Por lo tanto el principal objetivo de este proyecto es utilizar mezclas de ambos gases para observar la influencia de cada uno en las diferentes composiciones y determinar la composición óptima en la que se obtienen las mejores características geométricas.

2.2. PROCEDIMIENTO PARA OBTENER LAS PROBETAS SOLDADAS

En esta sección se describe el procedimiento para conseguir las probetas soldadas. El proceso comienza con la preparación del material base y de la superficie a soldar. Además se indica información de las probetas a obtener y la denominación de las mismas.

2.2.1. PREPARACIÓN DEL MATERIAL BASE

A continuación se indica la preparación del material base tanto para las probetas depósitos de soldadura, como para juntas en filete.

2.2.1.1. Para depósitos de soldadura

Se utiliza 1 platina de 10mm (3/8") de espesor, 50 mm (2") de ancho y 400 mm de longitud. En la siguiente figura se observa un esquema de la probeta en la cual se realiza la soldadura longitudinal del cordón.

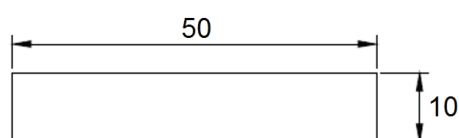


Figura 2.1 Dimensiones de la platina utilizada para depósitos de soldadura.

Fuente: (Propia)

2.2.1.2. Para juntas en filete

Se utiliza 2 platinas de 10mm (3/8") de espesor, 50 mm (2") de ancho y 400 mm de longitud. El siguiente procedimiento se realizará para obtener las juntas tipo filete:

- Limpiar la superficie de la platina donde se realizará la soldadura.
- Rectificar las superficies en contacto entre las dos platinas para formar la junta en filete.
- Ensamblar la platina vertical perpendicular a la platina horizontal y realizar puntos de soldadura en ambos extremos de las probetas.

La figura 2.2 se muestra como se posiciona las platinas para realizar la junta:

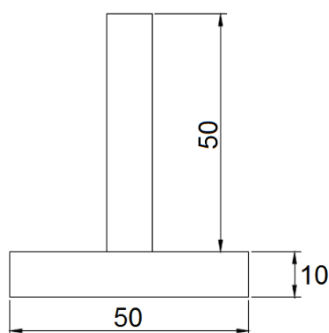


Figura 2.2 Dimensiones de la junta en T

Fuente: (Propia)

2.2.2. PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE A SOLDAR

Para las probetas que se utilizan en las juntas en filete es necesario realizar el siguiente proceso:

- Limado de la superficie de la probeta vertical en contacto con la superficie horizontal.
- Rectificado de la superficie a soldar en la probeta vertical.
- Rectificado de la superficie horizontal.

2.2.3. SOLDADURA DE LAS PROBETAS

En esta sección se describe los parámetros que se van a mantener constantes durante la soldadura y los que van a variar.

2.2.3.1. Probetas de cortocircuito

Manteniendo constante el tipo de transferencia de metal cortocircuito y la velocidad de avance de soldadura, se realiza la soldadura de dos tipos de probetas: una de tipo aportación de metal simple y otra de una junta en T, soldadura de filete. Para cada una de las probetas se utiliza las siguientes composiciones de mezcla de gas protector:

- Dióxido de carbono al 100%
- Mezcla de Argón al 10% de dióxido de carbono
- Mezcla de Argón al 25% de dióxido de carbono

En total se suelda 6 probetas las cuales constan de un cordón de relleno y una junta en T para cada tipo de gas protector.

2.2.3.2. Probetas de pulsado convencional y Pulsado Multi-control (PMC)

Se suelda con dos tipos de transferencia de metal, pulsado convencional y pulsado PMC, para poder realizar la comparación se mantiene constante la velocidad de avance de soldadura.

Para cada tipo de transferencia se hace el mismo procedimiento antes mencionado, es decir se suelda dos tipos de probetas: una de aportación simple y otra de una junta en T. Para cada una se utiliza las siguientes composiciones de mezcla de gas protector:

- Mezcla de Argón al 10% de dióxido de carbono
- Mezcla de Argón al 15% de dióxido de carbono
- Mezcla de Argón al 25% de dióxido de carbono

En total se suelda 6 probetas para la transferencia pulsada y 6 para PMC.

2.2.4. DENOMINACIÓN DE LAS PROBETAS

A continuación se muestra la tabla 2.6 con la denominación de las probetas.

Tabla 2.6 Denominación de las probetas a soldar.

Transferencia de metal	Tipo de Gas	Soldadura		Denominación
		Depósitos simples	Juntas de filete	
CORTO CIRCUITO	Dióxido de carbono	x		CDD
	Dióxido de carbono		x	CDF
	Mezcla de Argón- 10% CO ₂	x		C10D
	Mezcla de Argón- 10% CO ₂		x	C10F
	Mezcla de Argón- 25% CO ₂	x		C25D
	Mezcla de Argón- 25% CO ₂		x	C25F

SPRAY PULSADO	Mezcla de Argón- 10% CO ₂	x		SP10D
	Mezcla de Argón- 10% CO ₂		x	SP10F
	Mezcla de Argón- 15% CO ₂	x		SP15D
	Mezcla de Argón- 15% CO ₂		x	SP15F
	Mezcla de Argón- 25% CO ₂	x		SP25D
	Mezcla de Argón- 25% CO ₂		x	SP25F
PULSADO MULTI-CONTROL (PMC)	Mezcla de Argón- 10% CO ₂	x		P10D
	Mezcla de Argón- 10% CO ₂		x	P10F
	Mezcla de Argón- 15% CO ₂	x		P15D
	Mezcla de Argón- 15% CO ₂		x	P15F
	Mezcla de Argón- 25% CO ₂	x		P25D
	Mezcla de Argón- 25% CO ₂		x	P25F

Fuente: (Propia)

2.3. PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE MACROGRAFÍAS

En esta sección se describe el corte de los especímenes, la preparación de la sección transversal y las macrografías.

2.3.1. CORTE DE LAS PROBETAS

Generalmente para la preparación de las macrografías es necesario obtener muestras que no excedan una pulgada de grosor. En casos especiales, cuando se tiene muestras muy pequeñas es necesario utilizar moldes de resina poliéster con el objetivo de realizar la preparación del ensayo metalográfico de forma correcta y segura. Las probetas pueden ser extraídas de cortes transversales o longitudinales dependiendo de ciertas consideraciones como se describe a continuación:

Corte transversal:

- Determinar la naturaleza del material.
- Conocer los diferentes aleantes.
- Tratamiento térmico al que fue sometido el material.

- Homogeneidad.
- Segregaciones.
- Inclusiones.
- Características geométricas.
- Proceso de fabricación.
- Defectos del material.

Corte Longitudinal

- Proceso de fabricación.
- Defectos del material.
- Tratamiento térmico al que fue sometido el material.

Por tanto para poder observar las características geométricas del cordón se requiere realizar cortes transversales a las probetas. Esta información fue extraída del folleto de prácticas del laboratorio de Metalografía de la facultad de Ingeniería Mecánica de la EPN.

2.3.1.1. Corte transversal

Para el corte de las probetas a examinarse debe tomarse en cuenta el tipo de material que se utiliza. Si el material es blando como los aceros al carbono, aleaciones blandas de aluminio o de cobre, el corte se puede realizar con una sierra de mano de diente grande. Cuando el material es duro como el caso de los aceros aleados, templados, no ferrosos endurecidos, el corte debe realizarse con discos abrasivos delgados a altas velocidades cuidando el proceso de refrigeración. En cuanto a los materiales frágiles como fundición blanca, aceros templados o bronce con alto contenido de estaño, es importante escoger adecuadamente el método de corte porque incluso un golpe con martillo puede dañar la probeta.

Se propone obtener 2 especímenes macrográficos de cada probeta soldada con el objetivo de determinar si la penetración se mantiene constante a lo largo de la probeta. La longitud recomendada para cada espécimen macrográfico es de 1 pulgada o 25mm. Esta longitud es la necesaria para tener un fácil manejo de la pieza y seguridad cuando se realice el proceso de preparación de las macrografías.

Las probetas tienen una longitud de 400 mm. En los extremos se descarta 100 mm con el objetivo de eliminar posibles defectos en el arranque y finalización del cordón de soldadura. A continuación se observa en la figura 2.3 la posición de los cortes que se realiza a cada probeta.

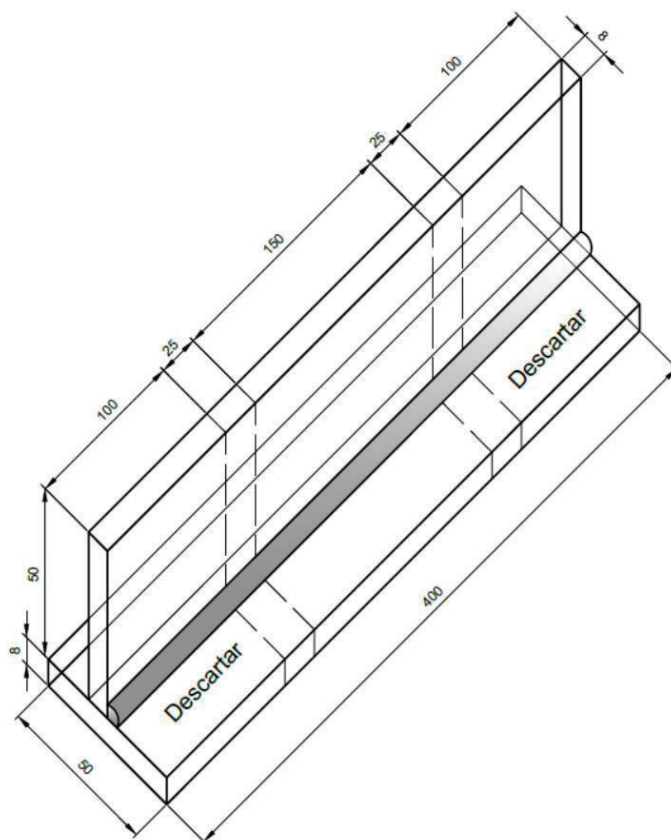


Figura 2.3 Esquema para realización de corte de las juntas soldadas.

Fuente: (Propia)

2.3.2. PREPARACIÓN DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES PARA LA MACROGRAFÍA

Después de realizar el corte de 2 especímenes por cada probeta soldada se procede a realizar tanto el desbaste grueso como el fino.

2.3.2.1. Desbaste grueso

El objetivo de este proceso es obtener una superficie completamente plana y libre de marcas producidas por la sierra alternativa. Para obtener esta superficie se utiliza una

lija de lona numeración 100. Tanto para el proceso de desbaste grueso como para el fino, se debe utilizar un medio refrigerante como el agua.

2.3.2.2. Desbaste fino

Es un proceso consecutivo en el cual se pasa el espécimen macrográfico por lijas de grano cada vez más fino. Estas lijas deben estar sobre superficies totalmente planas y duras, para evitar que se formen rayaduras que interfieran en la visualización de las macrográficas. Para obtener un mejor acabado superficial es necesario realizar un desbaste fino utilizando 5 diferentes lijas con la siguiente numeración: N° 240, 320, 400, 600, 1000.

2.3.2.3. Ataque químico

Este procedimiento se realiza con el objetivo de evidenciar la estructura o aleación del material. La tabla 2.7 muestra los tipos de reactivos utilizados en las metalografías. La selección depende el tipo de material a examinar.

Tabla 2.7 Características de los reactivos de ataque químico.

Reactivos de ataque para examen metalográfico			
Reactivo de ataque	Composición		Usos
Ácido nítrico (Nital)	Ácido nítrico	5cc	Aceros y hierros
	Alcohol etílico	95cc	
Ácido picrico (Picral)	Ácido picrico	4mg	Aceros de baja aleación
	Alcohol etílico	100ml	
Cloruro férrico y ácido hidroclicóric	Cloruro férrico	10mg	Aceros austeníticos al níquel y aceros inoxidables
	Ácido hidroclicóric	50ml	
	Agua	100ml	
Persulfato de amonio	Persulfato de amonio	10mg	Cobre, latón, bronce, aluminio, níquel y plata
	Agua	90ml	
Ácido hidroflicóric	Ácido hidroflicóric	0.5ml	Aluminio y sus aleaciones
	Agua	99.5 ml	

Fuente: (Fuentes, 2015)

El reactivo que generalmente se utiliza para realizar el ataque químico en hierros y aceros al carbono es el Nital. Como se observa en la tabla anterior este está compuesto por 5% de ácido nítrico concentrado en alcohol etílico.

2.3.3. OBTENCIÓN DE LAS MACROGRAFÍAS

Se utiliza el microscopio del laboratorio de metalografía para obtener las macrografías de excelente calidad y con un cierto aumento. Los datos técnicos del microscopio estereoscópico SZX7 se muestran en el Anexo C.

2.4. TRATAMIENTO DE DATOS

Se muestra en esta sección las medidas que se toman en consideración para analizar la penetración y demás parámetros geométricos.

2.4.1. MEDICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL CORDÓN

Para poder realizar un análisis comparativo entre los cordones soldados con diferente composición del gas protector y diferente modo de transferencia se plantea realizar las siguientes mediciones:

- Convexidad o concavidad
- Garganta efectiva
- Garganta real
- Garganta teórica
- Longitud de pierna horizontal y vertical
- Tamaño del cordón horizontal y vertical
- Profundidad de fusión
- Ancho de soldadura

A continuación se muestra en la figura 2.4, un esquema con las medidas de los cordones en las macrografías de los depósitos de soldadura.

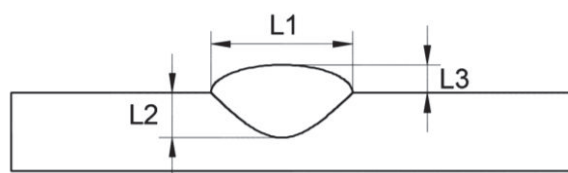


Figura 2.4 Dimensiones para macrografías de depósito de soldadura.

Fuente: (Propia)

Donde:

L1= Ancho del cordón

L2= Penetración

L3= Altura de refuerzo

Las figuras 2.5 y 2.6 muestran las mediciones que se realiza en las macrografías de las juntas en T.

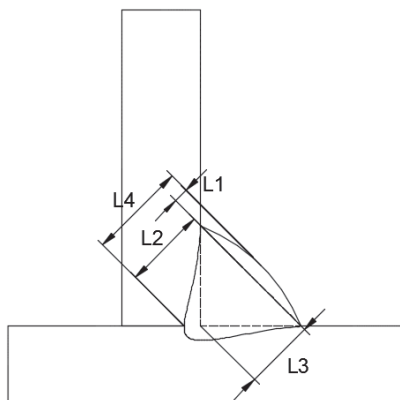


Figura 2.5 Dimensiones de las gargantas para macrografías de juntas en T.

Fuente: (Propia)

Donde:

L1= Convexidad o Concavidad

L2= Garganta Efectiva

L3= Garganta Teórica

L4= Garganta Real

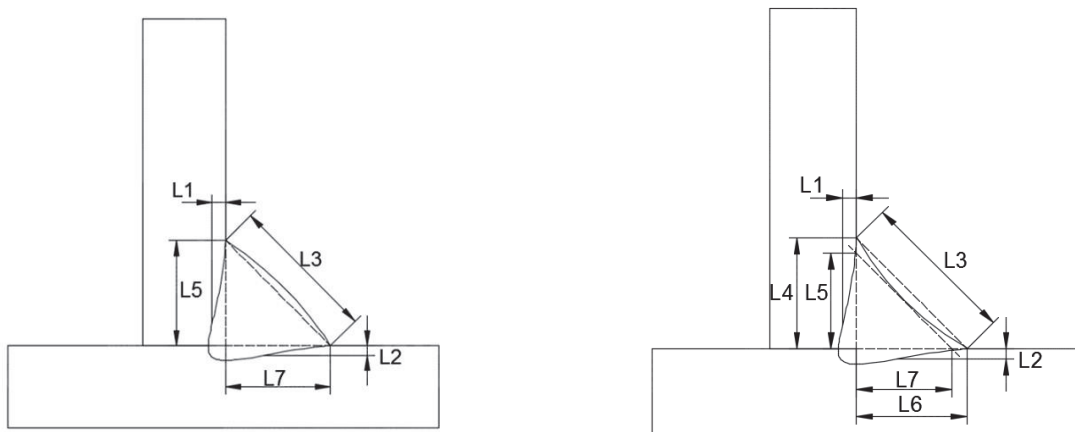


Figura 2.6 Dimensiones del tamaño del cordón para macrografías de juntas en T.

Fuente: (Propia)

Donde:

L1= Profundidad de fusión vertical.

L2= Profundidad de fusión horizontal.

L3= Ancho del cordón.

L4= Tamaño del cordón de soldadura vertical.

L5= Longitud de pierna vertical.

L6= Tamaño del cordón de soldadura horizontal.

L7= Longitud de pierna horizontal.

2.5. PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el análisis de resultados se toma en cuenta los criterios de aceptación de la norma AWS D1.1 y se generan tablas de resultados con las mediciones realizadas.

2.5.1. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE LA NORMA AWS D1.1

La sección 4.9.4.1 de la norma AWS D1.1 versión 2010 describe los criterios de aceptación para ensayos macrográfico los cuales se detallan a continuación:

Requerimientos

- Los filetes de soldadura deben tener fusión en la raíz de la junta, pero no necesariamente más allá.

- No debe tener fisuras ni grietas.
- Los perfiles de soldadura deben ser conformados según lo especificado en el artículo 5.24.
- No socavamiento que exceda 1mm.

En la Sección 5.24 de la norma AWS D1.1 se describe que todas las soldaduras deben estar libres de fisuras, solapamiento y discontinuidades de perfil inaceptables que se muestran en la siguiente figura 2.7.

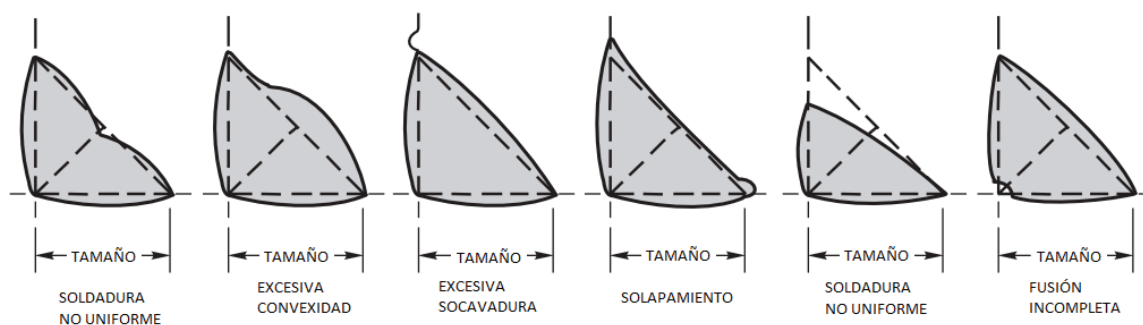


Figura 2.7 Perfiles de soldadura inaceptables.

Fuente: American Welding Society AWS D1.1. (2010). *Structural Welding Code Steel*. Miami, pp:139.

La siguiente tabla 2.8 muestra los tamaños de pierna mínimos en soldadura de filete permitidos por la norma AWS D1.1 según el espesor del material base. En base a estas dimensiones se determinará si los perfiles obtenidos cumplen con este requerimiento.

Tabla 2.8 Tamaño mínimo de pierna en soldaduras de filete.

Espesor del metal base (T)		Tamaño mínimo pierna en soldadura de filete	
in	mm	in	mm
$T \leq 1/4$	$T \leq 6$	1/8	3
$1/4 < T \leq 1/2$	$6 < T \leq 12$	3/16	5
$1/2 < T \leq 3/4$	$12 < T \leq 20$	1/4	6
$3/4 < T$	$3/4 < T$	5/16	8

Fuente: (AWS D1.1, 2010)

Las caras de los filetes de soldadura pueden ser planas, ligeramente convexas o cóncavas sin exceder los valores determinados dependiendo del tipo de soldadura y de la junta. (AWS D1.1, 2010)

Para poder verificar si la concavidad o convexidad obtenidas de las pruebas experimentales está dentro del rango recomendado por la fabricación de soldaduras de filete con junta tipo T de la norma AWS D1.1, es necesario definir en qué programa se encuentran las juntas soldadas del presente proyecto.

A continuación se muestra la tabla 2.9 obtenida de la AWS D1.1 en la que especifica el tipo de programa a elegir según el tipo de soldadura.

Tabla 2.9 Selección del programa según tipo de soldadura y tipo de junta.

Tipo de soldadura	Tipo de Junta					
	Tope	Esquina Interna	Esquina Externa	Junta T	Traslape	Tope con Repisa
De canal (CJP o PJP)	Figura 5.4A	Figura 5.4B	Figura 5.2C	Figura 5.4D	N/A	Figura 5.4G
	Programa A	Programa B	Programa A	Programa B	N/A	Ver nota c
Filete	N/A	Figura 5.4E	Figura 5.4F	Figura 5.4E	Figura 5.4E	N/A
	N/A	Programa C	Programa C	Programa C	Programa C	N/A

Fuente: (AWS D1.1, 2010)

Como la soldadura que se realiza es de filete y la junta tipo T, la tabla 2.9 muestra que se debe considerar al programa C. Una vez identificado el tipo de programa en el que entra las juntas soldadas del presente proyecto se puede conocer la concavidad máxima permitida. En la tabla 2.10 se muestran los criterios de aceptación para el programa C.

Tabla 2.10 Criterios de aceptación para el programa C.

W	C min.	C max.
$\leq 5/16$ pulg (8mm)	0	1/16 pulg (2 mm)
$>5/16$ pulg (8mm) <1 pulg (25 mm)	0	1/8 pulg (3 mm)
≥ 1 pulg (25 mm)	0	3/16 pulg (5 mm)

Fuente: (AWS D1.1, 2010)

Donde:

W=ancho de la cara de soldadura o cordón individual de superficie;

C=convexidad o concavidad permisible

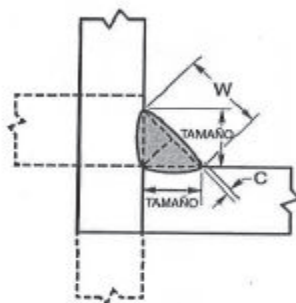


Figura 2.8 Dimensiones utilizadas para cumplimiento de criterios de aceptación

Fuente: (AWS D1.1, 2010)

2.5.2. TABLAS DE RESULTADOS

Con la finalidad de presentar de forma clara los resultados obtenidos y facilitar el análisis de resultados se propone la realización de las siguientes tablas:

- Aceptación de los cordones según su forma y defectos encontrados
- Cumplimiento de los requerimientos de la norma AWS D1.1

Con los datos obtenidos después de las pruebas se realizan gráficas de la influencia del porcentaje de argón y dióxido de carbono en los parámetros geométricos de los

cordones como son la penetración, el ancho del cordón, profundidad de fusión y altura de refuerzo.

Se presenta en las tablas 2.11 y 2.12 el modelo que utilizan en el desarrollo de las pruebas experimentales

Tabla 2.11 Aceptación de los cordones según su forma y defectos encontrados.



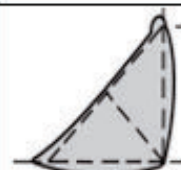



		PERFILES DE SOLDADURA INACCEPTABLES						RESULTADO				
PERFILES SOLDADOS CON EL METODO CORTO CIRCUITO	DENOMINACION		EXCESIVA CONVEXIDAD		MORDEDURA		SOLAPA-MIENTO		SOLDADURA NO UNIFORME		FALTA DE FUSION	
			SOLDADURA NO UNIFORME	PERFIL DE SOLDADURA ACEPTABLE.								

Tabla 2.12 Cumplimiento de los requerimientos de la norma AWS D1.1.

Macrografía - Ancho cordón	Macrografía - Gargantas	Denom.	W	C	C	Aceptación
				máx.		
		CDD	8,34	3	0,98	Aprueba

CAPÍTULO 3

PRUEBAS EXPERIMENTALES

En el presente capítulo se describe en primer lugar las características de los materiales utilizados y en segundo lugar el procedimiento para llegar a obtener las juntas soldadas que servirán para la realización de las macrográficas y posterior análisis de la conformación del cordón. Se detalla la realización de la metodología.

Además se presentan los resultados obtenidos al finalizar la etapa experimental como son las macrográficas. Como se explica en la metodología, las características geométricas más importantes a considerar en el análisis son:

- Dimensión de la garganta efectiva, garganta real y garganta teórica del cordón.
- Dimensión de la concavidad o convexidad del cordón.
- Dimensión de la profundidad de fusión del cordón.
- Dimensión de la pierna vertical y horizontal del cordón.
- Dimensión del ancho de la cara del cordón.

3.1. PREPARACIÓN DEL MATERIAL BASE

Se indica a continuación los detalles de los procesos de corte, proceso de limado y proceso de rectificado.

3.1.1. PROCESO DE CORTE

El material base utilizado se comercializa en platinas de 6 m de largo por 50 mm de ancho y 9 mm de espesor. Por lo tanto, fue necesario realizar cortes de 400 mm de longitud, como se propone en la metodología. Para esto se utilizó una sierra alternativa, disponible en el laboratorio de máquinas herramientas, con el objetivo de obtener de forma automática un buen acabado superficial de corte. La capacidad del equipo permite colocar 3 platinas juntas para realizar el corte. A continuación se muestra la figura 3.1 que indica el proceso de corte.



Figura 3.1 Corte de las platinas en la sierra alternativa.

Fuente: (Propia)

3.1.2. PROCESO DE LIMADO

En esta sección se muestra el proceso de limado tanto automático como el manual.

3.1.2.1. LIMADO AUTOMÁTICO

Para obtener una superficie de contacto plana entre la platina vertical y la platina horizontal en la junta en T se utiliza una limadora automática. El equipo desbasta 2 mm de la superficie hasta eliminar los radios de acuerdo intrínsecos de cada platina. En la figura 3.2 se muestra el posicionamiento de las probetas para el limado automático.



Figura 3.2 Limado automáticos para juntas en T.

Fuente: (Propia)

3.1.2.2. LIMADO MANUAL

Con el objetivo de eliminar todas las virutas producidas por el proceso de corte o limado automático se realiza un limado manual. Para esto se sujeta las platinas en una entenalla de banco y se procede a limar con una lima plana como se observa en la figura 3.3.



Figura 3.3 Limado manual para remoción de residuos.

Fuente: (Propia)

3.1.3. PROCESO DE RECTIFICADO

Debido a que las platinas tienen una capa de óxido en toda su superficie es necesario limpiarla antes de soldar. Con esto se puede prevenir posibles inclusiones de óxido en el cordón de soldadura. Se realiza el proceso de rectificando en una de las superficies

de las platinas ya que se suelda en un sólo lado. En total se rectifica 1 mm en cada superficie, con lo cual se logra una superficie libre de óxido con un buen acabado final. La figura 3.4 muestra el proceso de rectificado.



Figura 3.4 Rectificado de la superficie a soldar.

Fuente: (Propia)

3.2. ENSAMBLE DE JUNTAS EN T

El proceso de soldadura involucra una gran cantidad de calor que se aporta al material. Cuando se suelda un material, este va a deformarse por la intensa cantidad de calor. Por lo tanto, en todo proceso de soldadura es necesario restringir el movimiento del material base para prevenir esta deformación. El ensamble entre la platina vertical y la horizontal para formar una junta en T por lo general se realiza con puntos de soldadura en los extremos. Después de realizar una junta de prueba se determina que es necesario realizar 3 puntos separados la misma distancia con un electrodo de alta resistencia como es el E7018. A continuación en la figura 3.5 se muestra los ensambles antes de ser soldados.

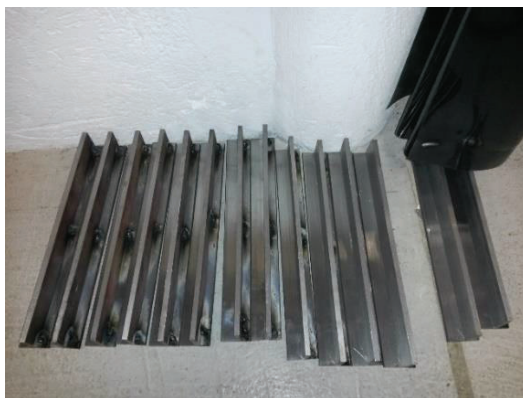


Figura 3.5 Ensamblados terminados de juntas en T.

Fuente: (Propia)

3.3. EQUIPOS DE SOLDADURA

Para realizar la soldadura de las probetas se va a utilizar los siguientes equipos proporcionados por la empresa Comercio y Tecnología MIG-MAG Cía. Ltda.

- Mezclador de gases BM
- Flextrack 45 Carro de soldadura
- TPS/i Intelligent Revolution

Los equipos mencionados se describen a continuación y los datos técnicos se muestran en el Anexo C.

3.3.1. MEZCLADOR DE GASES BM

Es un equipo que permite obtener mezclas de gases de protección en porcentajes de 0 a 25% de un gas suplementario y el resto del gas principal. El gas principal es el gas que se añade en mayor porcentaje a la mezcla y el gas suplementario es el de menor porcentaje de la composición de la misma. Para hacer el ajuste de la mezcla se tiene un regulador que permite la selección del porcentaje deseado del gas suplementario. Para el manejo del caudal de la mezcla se cuenta con un botón giratorio, que permite variar entre 8 a 25 litros.



Figura 3.6 Mezclador de gases BM.

Fuente: (Propia)

La puesta en marcha del equipo se produce al abrir los grifos de los tanques de gas y la entrega de la mezcla se hace directamente al equipo de soldadura. No requiere de tanques intermedios de almacenamiento de mezcla. Las ventajas que se obtienen del mezclador de gases son:

- Solo se necesita almacenar dos tanques de gas en lugar de varios con mezclas a diferentes porcentajes.
- Es un equipo económico debido a que no requiere de más componentes como reguladores de presión.
- Se presenta en un diseño compacto.
- Es de fácil instalación y de fácil utilización.
- Posee dos válvulas de seguridad que brindan protección al sistema contra sobrepresiones.
- Permite la conexión directa con los tanques de gas.

3.3.2. FLEXTRACK 45 CARRO DE SOLDADURA

Es un carro de soldadura que ofrece un amplio campo de aplicaciones, cuenta con tres tipos de riel disponibles para diferentes posiciones de soldadura. El Flextrack 45 se adapta a muchas operaciones universales.



Figura 3.7 Equipo Flextrack 45, carro de soldadura.

Fuente: (Propia)

3.3.3. TPS/I INTELLIGENT REVOLUTION

Este equipo se destaca por su alta inteligencia y funcionalidad. Ofrece mayores ventajas al usuario con su personalización individual teniendo la posibilidad de ser actualizado por medio de internet. Se convierte de un equipo de soldadura estándar a una máquina pulsada en un tiempo mínimo. Cuenta con un “display” que muestra toda la información necesaria para obtener una buena soldadura, además muestra información de parámetros recomendados de soldadura. El software automáticamente detecta los componentes disponibles según la aplicación específica que se utilice y advierte al usuario de inconsistencias en el proceso.

Este equipo se adapta a las nuevas tecnologías modificando sus curvas características e implementando aplicaciones adicionales. Con el diseño de este equipo se logra mejorar las propiedades de soldadura y optimizar la comunicación hombre-máquina. Se puede utilizar para varios procesos de soldadura. El equipo se muestra en la figura 3.8.

En el presente proyecto se utiliza el proceso GMAW con transferencia de metal corto circuito y pulsado. Para el proceso pulsado se compara entre el proceso convencional

(GMAW- P) y PMC un proceso propio de la empresa Fronius, en el que se utiliza un mejor control de las variables de soldadura.



Figura 3.8 Equipo Plataforma TPS/i Intelligent Revolution.

Fuente: (Propia)

3.3.3.1. Extensión del electrodo

La extensión del electrodo es la longitud entre el tubo de contacto y la punta del electrodo donde comienza el arco, conocido también como Stick-out o la longitud de electrodo visible para el soldador. Este término es utilizado para soldadura semiautomática. La distancia no incluye la longitud del arco, como se indica en la siguiente figura 3.9.

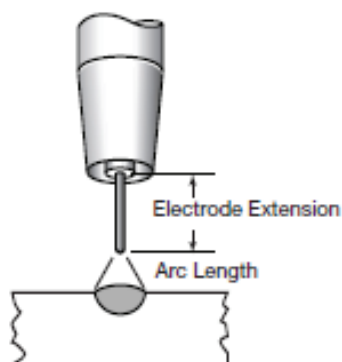


Figura 3.9 Esquema de la extensión del electrodo.

Fuente: (Lincoln Electric, 2015)

3.3.3.2 Distancia entre la punta de contacto y la pieza de trabajo (CTWD)

Es la distancia entre el tubo de contacto y la pieza de trabajo. Este término se utiliza para referirse a la extensión libre en aplicaciones robotizados y mecanizados.

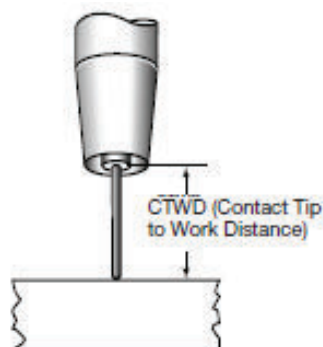


Figura 3.10 Esquema de la distancia entre la punta de contacto y pieza de trabajo

Fuente: (Lincoln Electric, 2015)

La variación de la longitud del electrodo afecta directamente a la corriente del arco y por consecuencia a la penetración. Incrementando la extensión del electrodo existe un aumento en la resistencia al flujo de corriente y por lo tanto la corriente en el arco disminuye, así mismo si se disminuye la extensión del electrodo aumenta la corriente en el arco. Es importante mantener constante este parámetro durante la soldadura para conseguir soldaduras de calidad y de buena penetración.

3.3.3.3 Estabilizador de penetración

Cuando se realizan soldaduras manuales o semiautomáticas se tiende a variar la longitud del electrodo libre. Esta variación produce diferencias de corriente y por lo tanto características geométricas del cordón distintas. El estabilizador de penetración permite obtener una corriente constante ajustando la alimentación del alambre cuando se producen una diferencia de longitud entre el tubo de contacto y la pieza de trabajo. Se puede ajustar la variación máxima de alimentación del alambre en el “display” del equipo.

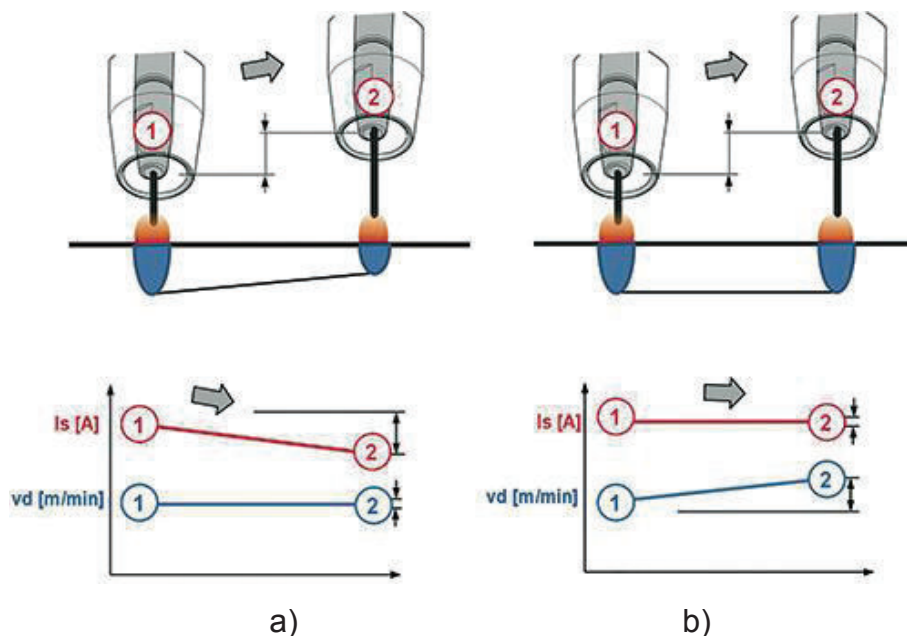


Figura 3.11 Funcionamiento del estabilizador de penetración.

a) Sin estabilizador de penetración b) Con estabilizador de penetración

Fuente: (Fronius International, 2014)

La figura 3.11 a) no tiene estabilizador de penetración por tanto, una variación en la longitud del electrodo libre provoca que el amperaje disminuya y en consecuencia disminuye la penetración a lo largo del cordón.

En la figura 3.11 b) se muestra el estabilizador de penetración en funcionamiento para compensar la variación del amperaje y mantener constante la penetración el equipo proporciona un aumento de velocidad de alimentación del alambre.

3.4. SOLDADURA DE JUNTAS EN T

Se muestra el posicionamiento de la probeta y la selección de los parámetros de soldadura.

3.4.1. POSICIONAMIENTO DE LA PROBETA

Para la conformación de los cordones con soldadura de filete y junta tipo T es necesario en primer lugar el posicionamiento adecuado de la probeta. Para la posición plana 1F, la probeta debe soldarse con un ángulo de 45° con respecto a la mesa de trabajo como se indica en la siguiente figura 3.12.



Figura 3.12 Posicionamiento de la probeta en posición 1F.

Fuente: (Propia)

3.4.2. SELECCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE SOLDADURA

3.4.2.1. Variables preseleccionadas

Las variables preseleccionadas del proceso GMAW son las siguientes:

- Diámetro del alambre
- Composición química del alambre electrodo
- Tipo y caudal de gas de protección

El diámetro de electrodo es de 1.2mm, debido a que este electrodo es de alta comercialización en el país, permite obtener considerables tasas de aportación de metal de aporte y además muestra una buena definición del perfil de cordón. La

composición química del alambre se selecciona considerando que el metal base es acero ASTM A36.

El tipo de gas de protección se escoge por su alta aplicación en el proceso GMAW y su amplia comercialización en el Ecuador. El caudal se selecciona de acuerdo a las recomendaciones del fabricante del metal de aporte según el diámetro del electrodo.

3.4.2.2. Variables primarias

Estas variables son las que controlan la conformación del cordón, la estabilidad del arco y la tasa de aportación. Estas variables son las siguientes:

- Corriente de soldadura
- Voltaje del arco
- Velocidad de avance

Los parámetros se seleccionan tomando en cuenta las recomendaciones de la norma AWS D1.1 para WPS precalificados, la cual indica que la corriente máxima que se puede utilizar para procesos de soldadura GMAW es la recomendada por el fabricante del material de aporte.

Tabla 3.1 Parámetros de soldadura recomendados por el fabricante de ER70S-6.

Diámetro (mm)	Corriente (Amps)	Voltaje (Volts)	Velocidad alambre (m/min)	Flujo gas (l/min)
1,2	120-180	20-22	4,6-6,1	11-16
	160-180	21-22	5,1-6,1	14-17
	190-200	22-23	6,4-7,1	14-17
	200-210	23-24	7,0-7,4	14-17
	220-250	24-25	7,5-8,9	14-17
	240-260	28-29	8,4-9,5	14-17

La velocidad de soldadura es de 40 cm/min debido a que se utiliza un equipo de soldadura automático y este permite grandes velocidades sin perjudicar la uniformidad y conformación del cordón. Para grandes velocidades de soldadura y un espesor del metal base de 8 mm, es necesario utilizar altos amperajes (con respecto al diámetro del electrodo utilizado) con el objetivo de tener una buena tasa de aportación que permita la penetración adecuada de las juntas en T. Los rangos de amperaje, voltaje y flujo de gas en los que se va a trabajar durante el proceso están definidas en la tabla 3.1.

3.4.2.3. Variables secundarias

Estas variables en procesos automáticos son difíciles de medir, se pueden modificar de manera continua durante el proceso y afectan directamente a las variables primarias.

Estas variables son:

- Velocidad de alimentación del alambre
- Distancia libre del electrodo
- Ángulo de la boquilla
- Distancia entre la tobera del gas y la pieza

Al igual que el amperaje y el voltaje, la velocidad de alimentación del alambre se escogió de acuerdo a la recomendación del fabricante del alambre electrodo. Está fue de 7,0-7,4 m/min. La distancia libre del electrodo se selecciona tomando la recomendación del manual "Metal Gas Arc Welding" de Lincoln. Ver tabla 3.2.

Tabla 3.2 Distancia libre de electrodo recomendado.

Modo de transferencia	Stick out
Corto circuito	3/8" – 1/2" (10-20 mm)
Spray axial	3/4" – 1" (19-25mm)
Spray pulsado	3/4" – 1" (19-25mm)

Fuente: (Lincoln Electric, 2015)

El ángulo de boquilla es de 90° debido a que la posición de soldadura es 1F, con un ángulo de 45°, como se muestra en la figura 3.13.



Figura 3.13 Orientación de la probeta y ángulo de la boquilla.

Fuente: (Propia)

3.4.2.4. Modo de transferencia

Los tipos de transferencia que se analizan en el presente proyecto son: Cortocircuito, pulsado y pulsado PMC (Fronius). Cada tipo de transferencia requiere de parámetros de soldadura diferentes para la obtención de soldaduras aceptables. Con el objetivo de analizar entre los diferentes modos de transferencia se escogen parámetros similares sin exceder los rangos de corriente que aseguran estar dentro del modo de transferencia especificado.

Debido a que el modo de transferencia cortocircuito tiene un rango de corriente relativamente bajo y limitado comparado con el modo pulsado, se ha tomado en consideración los rangos máximos que se puede utilizar para el método cortocircuito. En la norma AWS D1.1 se tiene una tabla que indica los rangos de corriente para el modo cortocircuito dependiendo del diámetro del electrodo y la posición de soldadura.

Tabla 3.3 Rangos de corriente típica para el método de transferencia cortocircuito.

Diámetro del electrodo		Corriente de soldadura, Amperios (Electrodo Positivo)			
		Posición plana y horizontal		Posición vertical y sobre cabeza	
in	mm	Min.	Max.	Min.	Max.
0.030	0.8	50	150	50	125
0.035	0.9	75	175	75	150
0.045	1.2	100	225	100	175

Fuente: (ASM International, 1993)

En la tabla 3.3 se puede observar que para el diámetro de electrodo 1.2 y la posición plana el rango de amperaje esta entre 100-225 A. Después de realizar algunas pruebas de soldadura se determina que a 200 A se obtienen perfiles de soldadura adecuados.

A continuación se presenta la figura 3.14 que muestra la interfaz gráfica del equipo de soldadura en la que se indica los parámetros de soldadura seleccionados.

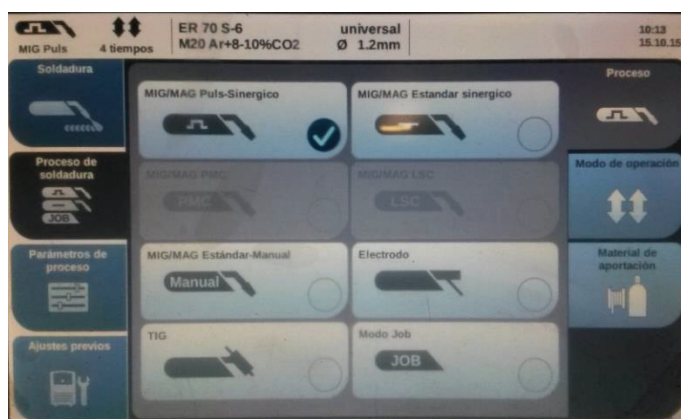


Figura 3.14 Interfaz gráfica del equipo plataforma TPSi de la empresa Fronius.

Fuente: (Propia)

3.5. SOLDADURA DE DEPÓSITOS

En esta sección se indica el posicionamiento de las probetas y la selección de parámetros de soldadura.

3.5.1. POSICIONAMIENTO DE LA PROBETA

En la conformación de los depósitos de soldadura es necesario sujetar las probetas adecuadamente para evitar que se deformen por el incremento de calor durante la soldadura de estas. Todas las probetas se sueldan en posición plana.

3.5.2. SELECCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE SOLDADURA

En la soldadura de los depósitos se utiliza los mismos parámetros indicados para las juntas en T. Mediante los cordones de relleno se realiza una comparación de la profundidad de penetración obtenida a diferentes composiciones del gas protector con el método cortocircuito y el pulsado.



Figura 3.15 Soldaduras de depósitos terminados.

Fuente: (Propia)

3.6. REGISTRO DE DATOS DE SOLDADURA

Esta sección del presente proyecto muestra los parámetros principales que se utilizan para cada proceso de soldadura.

3.6.1. FILETES Y DEPÓSITOS CON MODO DE TRANSFERENCIA CORTOCIRCUITO

La tabla 3.4 muestra los parámetros de soldadura obtenidos al utilizar el modo de transferencia cortocircuito.

Tabla 3.4 Parámetros de soldadura, método de transferencia cortocircuito.

Composición del gas protector.	100% CO ₂	10% CO ₂ – 90%Ar	25% CO ₂ – 75%Ar
Voltaje [V]	24.5	24.5	24.5
Amperaje [A]	200	200	200
Velocidad de alimentación [m/min]	7,5	7,5	7,5
Velocidad de soldadura [cm/min]	40	40	40
Calor de entrada [KJ]	302.6	304.8	306.1



Figura 3.16 Probeta C25F, soldada con el proceso GMAW.

Fuente: (Propia)

En la figura 3.16 se puede observar una probeta soldada con el método de transferencia cortocircuito con una composición de gas del 25% CO₂ y 75% Ar.

3.6.2. FILETES Y DEPOSITOS CON MODO DE TRANSFERENCIA PULSADO

La tabla 3.5 muestra los parámetros de soldadura que se obtiene al utilizar el modo de transferencia spray-pulsado.

Tabla 3.5 Parámetros de soldadura, método de transferencia pulsado.

Composición del gas protector.	10% CO ₂ – 90%Ar	15% CO ₂ – 85%Ar	25% CO ₂ – 75%Ar
Voltaje [V]	23.8	23.8	23.8
Amperaje [A]	200	200	200
Velocidad de alimentación [m/min]	7,5	7,5	7,5
Velocidad de soldadura [cm/min]	40	40	40
Calor de entrada [KJ]	346.7	337.9	348.8



Figura 3.17 Probeta SP15F, soldada con el proceso GMAW.

Fuente: (Propia)

En la figura 3.17 se puede observar una probeta soldada con el método de transferencia pulsado con una composición de gas del 15% CO₂ y 85% Ar.

3.6.3. FILETES Y DEPOSITOS CON MODO DE TRANSFERENCIA PULSADO PMC

La tabla 3.6 muestra los parámetros de soldadura obtenidos al utilizar el modo de transferencia pulsado multi-control (PMC).

Tabla 3.6 Parámetros de soldadura, método de transferencia pulsado PMC.

Composición del gas protector.	10% CO ₂ – 90%Ar	15% CO ₂ – 85%Ar	25% CO ₂ – 75%Ar
Voltaje [V]	24	24	24
Amperaje [A]	200	200	200
Velocidad de alimentación [m/min]	7,5	7,5	7,5
Velocidad de soldadura [cm/min]	40	40	40
Calor de entrada [KJ]	315.8	298.3	322.3



Figura 3.18 Probeta P10F, soldada con el proceso GMAW.

Fuente: (Propia)

En la figura 3.18 se puede observar una probeta soldada con el método de transferencia pulsado PMC con 10% CO₂ y 90% Ar.

3.7. CORTE DE ESPECÍMENES PARA MACROGRAFÍA

Como se indica en la metodología se realizan cortes transversales para observar el perfil del cordón de soldadura.

3.7.1. CORTE TRANSVERSAL

Para este proyecto se utiliza una sierra alternativa, la cual cuenta con un motor eléctrico y un mecanismo de vaivén. Se muestra a continuación la sierra que se utiliza.



Figura 3.19 Sierra alternativa o de vaivén.

Fuente: (Propia)

3.7.2. DESBASTE GRUESO

Luego de realizar el corte de los especímenes para las macrografías es necesario realizar un desbaste grueso. Es recomendable utilizar agua como medio refrigerante durante el proceso para evitar el sobrecalentamiento de la superficie a examinar. Se utiliza un banco para desbaste grueso con una lija de lona número 100 como se muestra en la figura 3.20.



Figura 3.20 Equipo de desbaste grueso. Laboratorio de metalografía EPN.

Fuente: (Propia)

3.7.3. DESBASTE FINO

Para comenzar el proceso se utiliza lijas de grano 240, las cuales sirven para eliminar las líneas originadas por el desbaste grueso. Cuando se termina el proceso por una lija determinada, todas las marcas deben estar orientadas en la misma dirección. Para continuar el proceso con la siguiente lija, se debe rotar 90 grados el espécimen y borrar las marcas anteriores completamente. El proceso se termina cuando se obtiene una superficie completamente plana, con marcas muy finas y en el mismo sentido. Las lijas utilizadas fueron las siguientes: grano 240, 320, 400, 600, 1000 y 1500. A continuación se muestra en la figura 3.21 el banco que se utiliza para el desbaste fino.



Figura 3.21 Banco de lijas para desbaste fino. Laboratorio de metalografía EPN.

Fuente: (Propia)

En la siguiente figura 3.22 se puede observar el resultado del desbaste grueso en comparación con el desbaste fino.

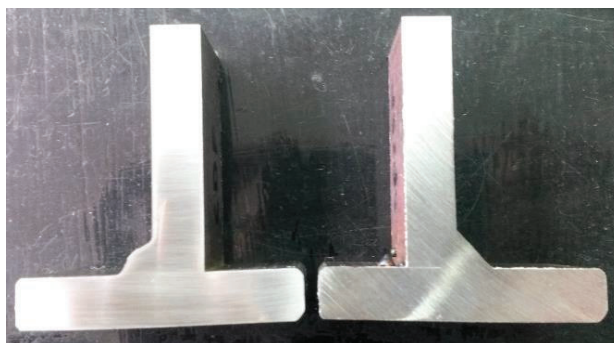


Figura 3.22 Probetas de desbaste fino y desbaste grueso.

Fuente: (Propia)

3.7.4. ATAQUE QUÍMICO

El primer paso es colocar un reactivo adecuado en un contenedor en el que se facilite la introducción y extracción del espécimen. Se sumerge este por un tiempo limitado y luego se observa cómo va apareciendo el perfil del cordón de soldadura y la zona afectada por el calor. Es necesario utilizar guantes de nitrilo y mascarilla, ya que este reactivo puede afectar directamente a la piel o al sistema respiratorio. Luego de observar el perfil y decidir si es suficiente el tiempo del ataque químico, se debe lavar bien el espécimen con agua y algodón para retirar residuos del reactivo. Después es necesario colocar alcohol industrial para prevenir el proceso de oxidación sobre la

superficie a examinar. Para finalizar se seca a corriente de aire caliente con un secador eléctrico. La figura 3.23 muestra el resultado del ataque químico.

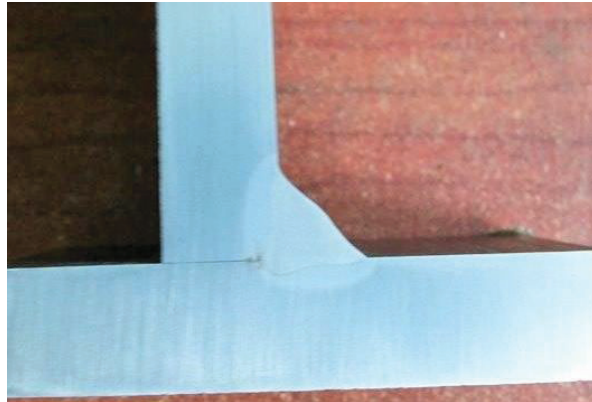


Figura 3.23 Espécimen después del ataque químico

Fuente: (Propia)

3.8. OBTENCIÓN DE MACROGRAFÍAS

Para obtener las macrografías se utiliza un microscopio estereoscópico SZX7 Zoom, el cual se encuentra disponible en el laboratorio de metalografía. Para observar detalladamente el cordón de soldadura, se determina que es necesario realizar un aumento de 6.3X. En el software del mismo microscopio se puede realizar las mediciones necesarias para el análisis de la influencia del gas protector en la conformación del cordón de soldadura. La figura 3.24 muestra una macrografía con las medidas de gargantas y concavidad o convexidad.

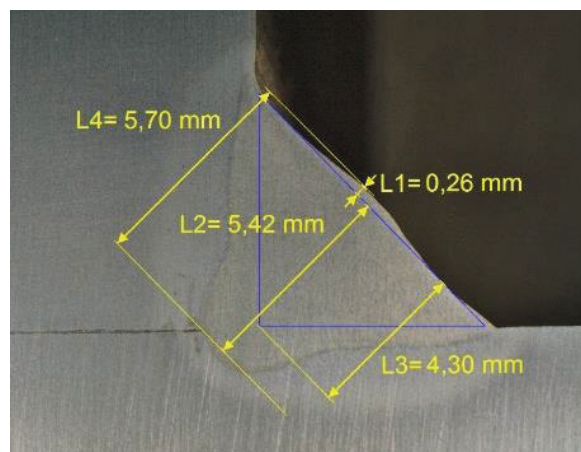


Figura 3.24 Macrografía obtenida P25F.

Fuente: (Propia)

Además se realiza otra macrografía con las demás medidas propuestas en la metodología como se muestra en la figura 3.25.

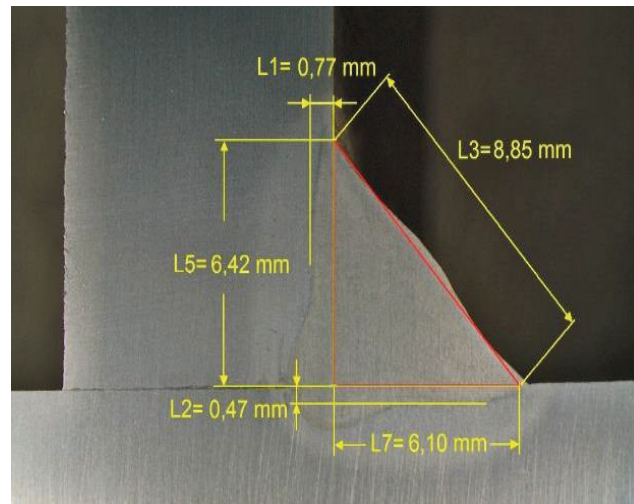


Figura 3.25 Macrografía obtenida P25F.


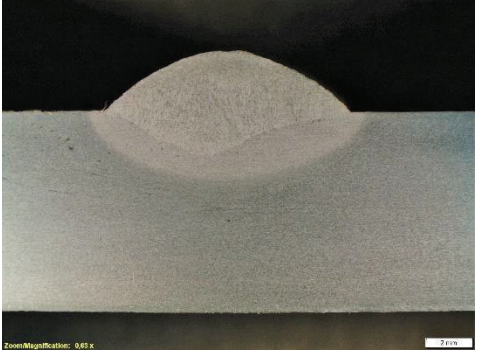



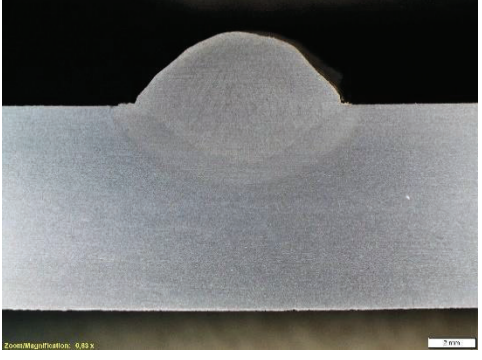
Fuente: (Propia)

3.9. MACROGRAFÍAS

Se realizan 2 especímenes macrográficos de cada probeta soldada para verificar si la penetración se mantuvo constante en toda la probeta. En las tablas 3.7, 3.8 y 3.9 se muestran las macrografías de un espécimen de cada probeta soldada.


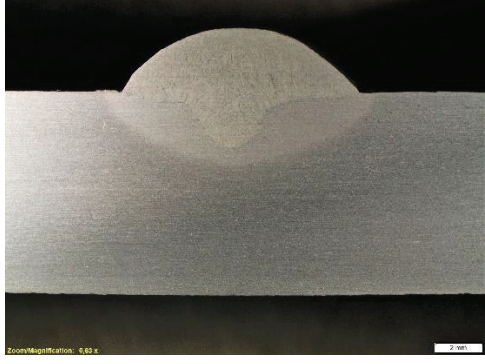
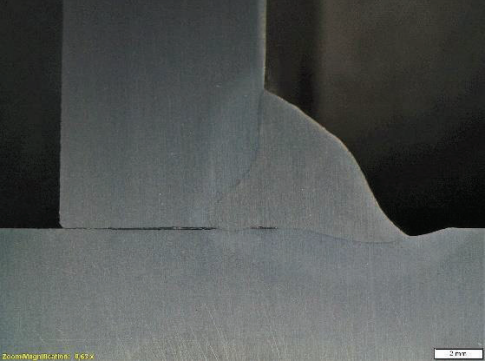
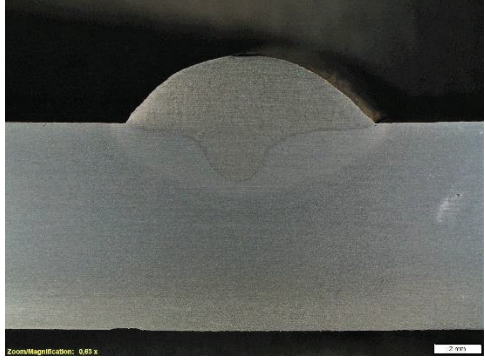
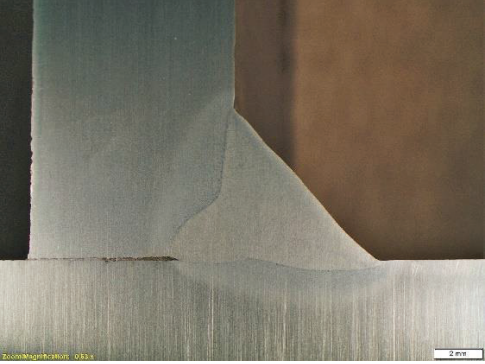
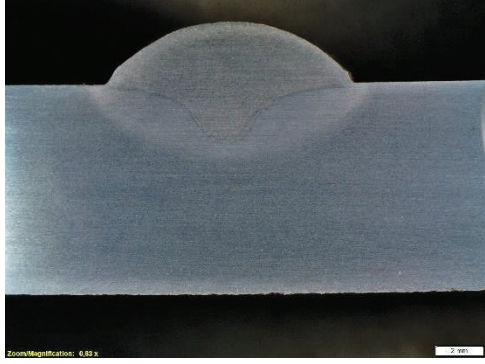
En el Anexo A se puede observar los informes macrográficos de todos los especímenes realizados.

Tabla 3.7 Macrografías obtenidas de la soldadura con cortocircuito.

Cortocircuito	Junta tipo T	Depósitos
10%CO ₂ - 90%Ar		
25%CO ₂ 75%Ar		
100%CO ₂		

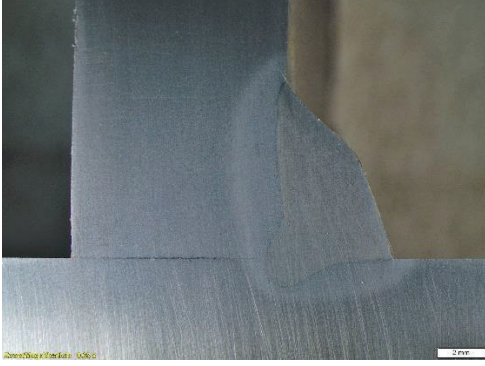
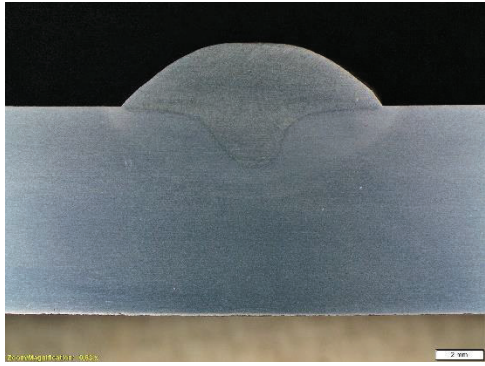
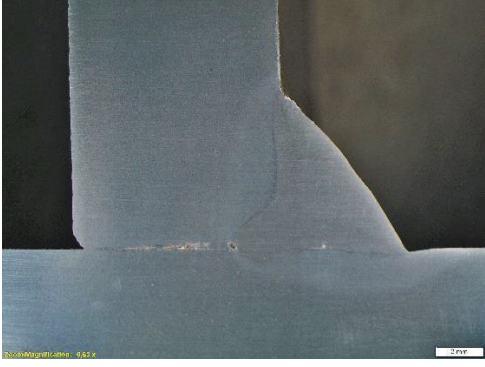
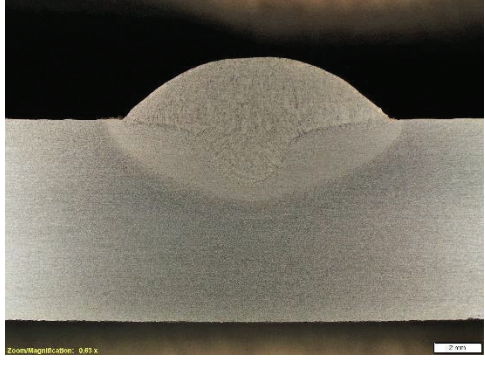
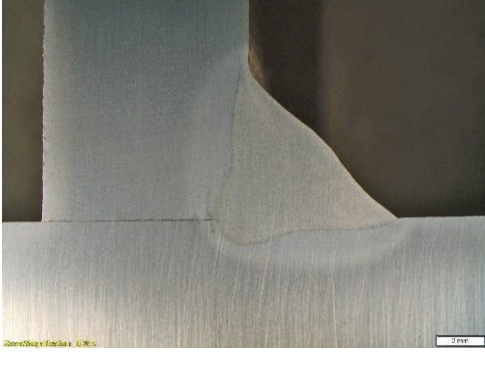
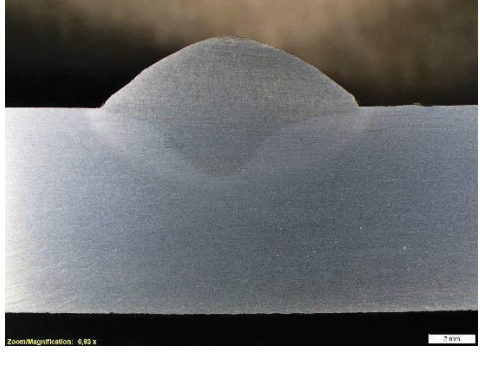
Fuente: (Propia)

Tabla 3.8 Macrografías obtenidas de la soldadura con arco pulsado.

Pulsado	Junta tipo T	Depósitos
10%CO ₂ - 90%Ar		
15%CO ₂ - 85%Ar		
25%CO ₂ 75%Ar		

Fuente: (Propia)

Tabla 3.9 Macrográficas obtenidas de la soldadura con arco pulsado PMC.

PMC	Junta tipo T	Depósitos
10%CO ₂ - 90%Ar		
15%CO ₂ - 85%Ar		
25%CO ₂ 75%Ar		

Fuente: (Propia)

3.10. ANÁLISIS MACROGRÁFICO

3.10.1. INSPECCIÓN VISUAL

En la norma AWS D1.1, sección 5.24 se muestra los perfiles de soldadura deseables y los inaceptables. A continuación en las tablas 3.10, 3.11 y 3.12 se muestra la inspección visual de las macrografías obtenidas después de variar los diferentes parámetros de soldadura como son: el modo de transferencia de metal de aporte y la composición del gas.

Tabla 3.10 Detalle de la inspección visual de las macrografías obtenidas con cortocircuito.

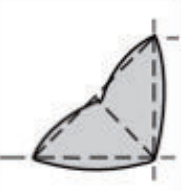
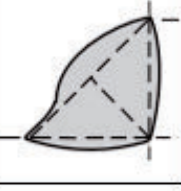
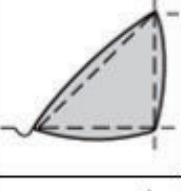
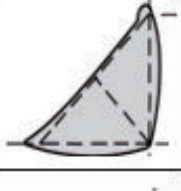

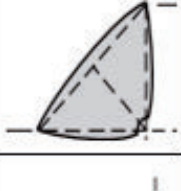



PERFILES SOLDADOS CON EL METODO CORTO CIRCUITO	DENOMINACION	PERFILES DE SOLDADURA INACCEPTABLES						RESULTADO
								
  	C10F							PERFIL DE SOLDADURA ACEPTABLE.
	C25F						X	PERFIL DE SOLDADURA INACEPTABLE.
	CDF							

Tabla 3.11 Detalle de la inspección visual de las macrografías obtenidas con arco pulsado .


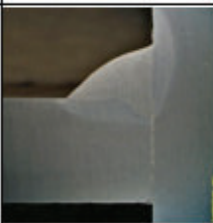
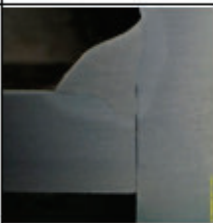

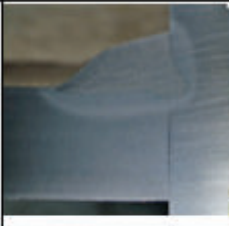

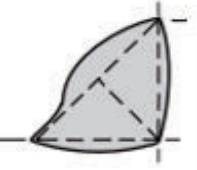
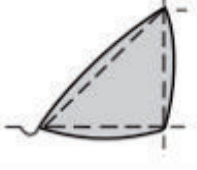
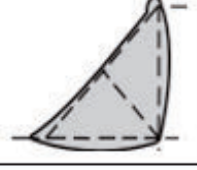

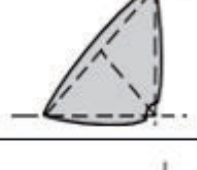

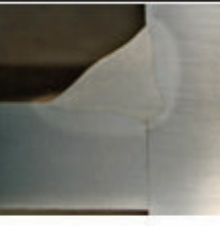
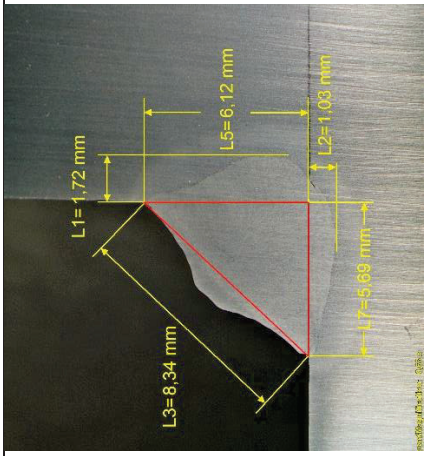
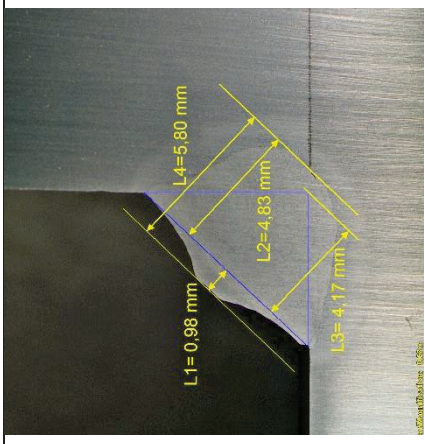
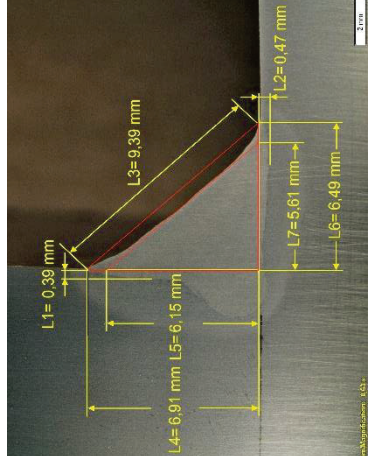
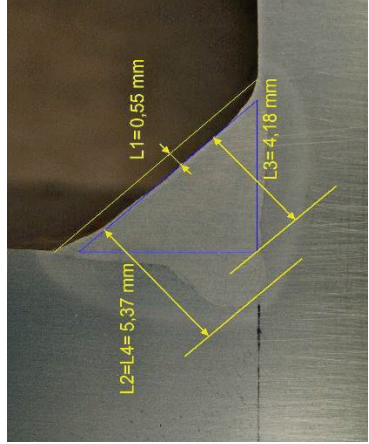
PERFILES SOLDADOS CON EL METODO PULSADO	DENOMINACION	PERFILES DE SOLDADURA INACEPTABLES						RESULTADO
			SOLDADURA NO UNIFORME	EXCESIVA CONVEXIDAD	MORDEDURA	SOLAPAMIENTO	SOLDADURA NO UNIFORME	
	SP10F							PERFIL DE SOLDADURA INACEPTABLE.
	SP15F				X		X	PERFIL DE SOLDADURA INACEPTABLE.
	SP25F							PERFIL DE SOLDADURA ACEPTABLE.

Tabla 3.12 Detalle de la inspección visual de las macrografías obtenidas con el modo pulsado PMC.

		PERFILES DE SOLDADURA INACEPTABLES						RESULTADO
PERFILES SOLDADOS CON EL METODO PULSADO PMC	DENOMINACION	SOLDADURA NO UNIFORME	EXCESIVA CONVEXIDAD	MORDEDURA	SOLAPAMIENTO	SOLDADURA NO UNIFORME	FALTA DE FUSION	
	P10F							PERFIL DE SOLDADURA INACEPTABLE.
	P15F							PERFIL DE SOLDADURA ACEPTABLE.
	P25F							PERFIL DE SOLDADURA ACEPTABLE.

3.10.2. CUMPLIMIENTO DE LOS REQUERIMIENTOS DE LA NORMA AWS D1.1 PARA JUNTAS EN T

Tabla 3.13 Detalle del cumplimiento de los requerimientos en las probetas de cortocircuito.

Macrografía - Ancho cordón	Macrografía - Gargantas	Denom.	W	C máx.	C	Aceptación
		CDD	8,34	3	0,98	Aprueba
		C10F	9,39	3	0,55	Aprueba

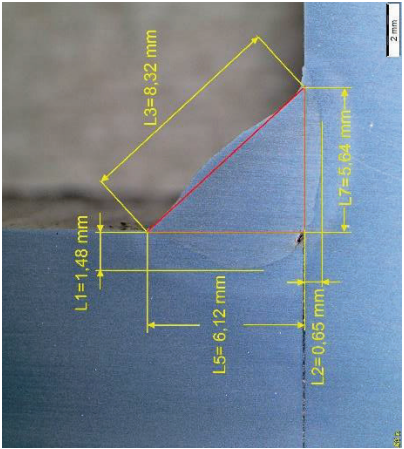
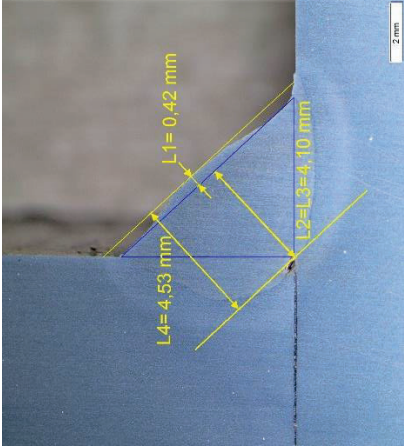
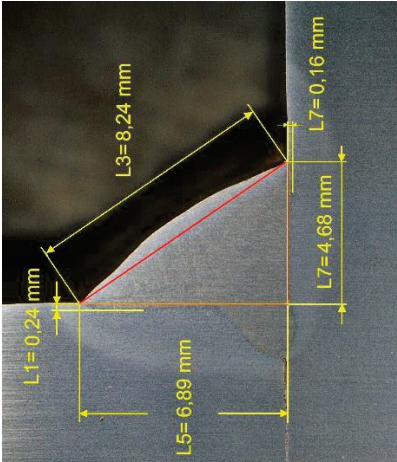
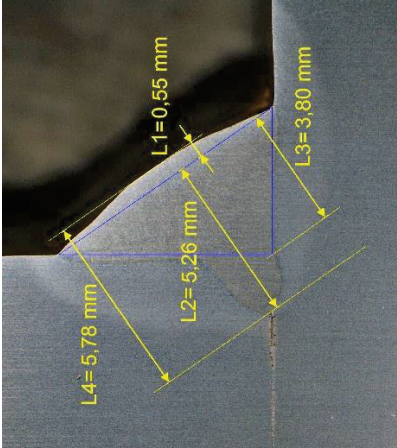
 <p>Macrografía - Ancho cordón</p> <p>Medidas: L1=1,48 mm, L2=0,65 mm, L3=8,32 mm, L4=6,12 mm, L5=6,84 mm, L6=6,84 mm, L7=6,84 mm</p>	 <p>Macrografía - Gargantas</p> <p>Medidas: L1=0,42 mm, L2=L3=4,10 mm, L4=4,53 mm</p>	<p>C25F</p>	<p>8,32</p>	<p>3</p>	<p>0,42</p>	<p>Aprueba</p>
--	---	-------------	-------------	----------	-------------	----------------

Tabla 3.14 Detalle del cumplimiento de los requerimientos en las probetas de arco pulsado.

 <p>Macrografía - Ancho cordón</p> <p>Medidas: L1=0,24 mm, L2=6,89 mm, L3=8,24 mm, L4=4,68 mm, L5=4,68 mm, L6=0,16 mm, L7=0,16 mm</p>	 <p>Macrografía - Gargantas</p> <p>Medidas: L1=0,55 mm, L2=5,26 mm, L3=3,80 mm, L4=5,78 mm</p>	<p>SP10F</p>	<p>8,24</p>	<p>3</p>	<p>0,55</p>	<p>Aprueba</p>
---	---	--------------	-------------	----------	-------------	----------------

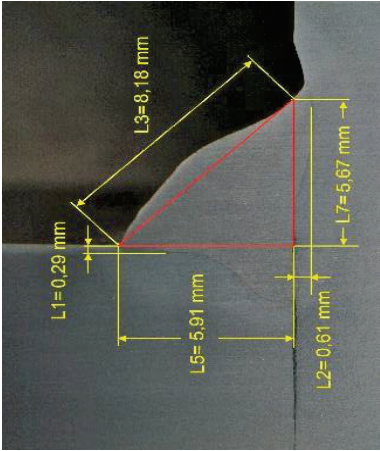
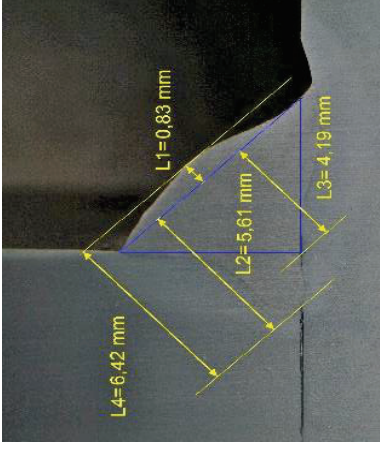
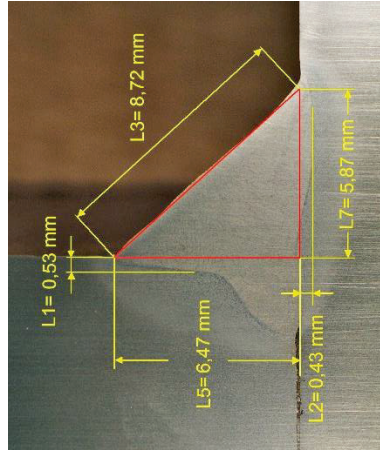
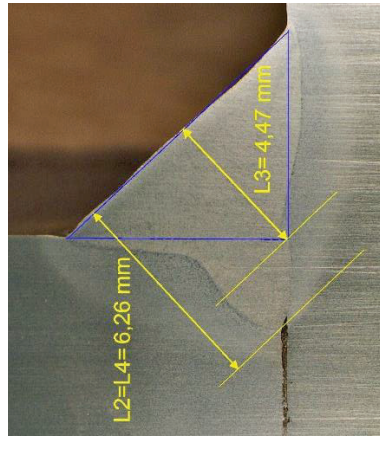
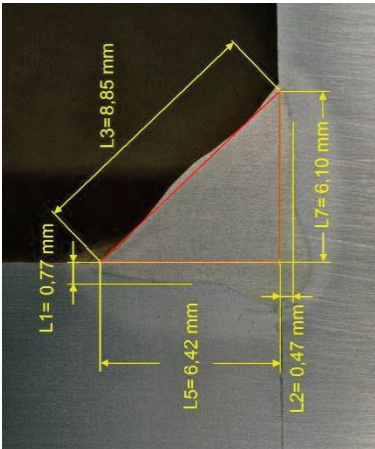
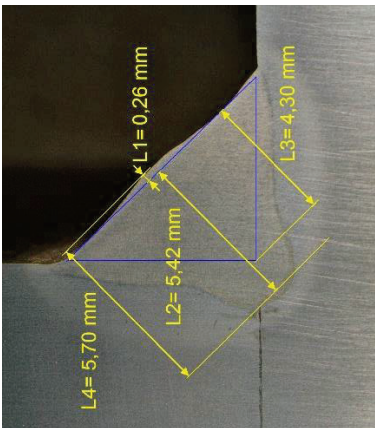
 <p>L1=0,29 mm L3=8,18 mm L5=5,91 mm L2=0,61 mm L7=5,67 mm</p>	 <p>L1=0,83 mm L2=5,61 mm L3=4,19 mm L4=6,42 mm</p>	SP15F	8,18	3	0,83	Aprueba
 <p>L1=0,53 mm L3=8,72 mm L5=6,47 mm L2=0,43 mm L7=5,87 mm</p>	 <p>L2=L4=6,26 mm L3=4,47 mm</p>	SP25F	8,72	3	0	Aprueba

Tabla 3.15 Detalle del cumplimiento de los requerimientos en las probetas de arco pulsado PMC.

Macrografía - Ancho cordón	Macrografía - Gargantas	Denom.	W	C máx.	C	Aceptación
		P10F	8,71	3	0,93	Aprueba
		P15F	8,60	3	0,40	Aprueba

 <p>Diagram showing a curved surface with dimensions: L1=0,77 mm, L3=8,85 mm, L5=6,42 mm, L2=0,47 mm, and L7=6,10 mm.</p>	 <p>Diagram showing a curved surface with dimensions: L4=5,70 mm, L2=5,42 mm, L1=0,26 mm, and L3=4,30 mm.</p>	P25F	8,85	3	0,26	Aprueba
--	---	------	------	---	------	---------

3.11. MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS

Conforme a la metodología se presenta las tablas correspondientes a las respectivas mediciones realizadas a las macrografías obtenidas.

3.11.1. FILETES CON EL MODO DE TRANSFERENCIA CORTOCIRCUITO

En la tabla 3.16 se muestra el resultado de las medidas de las gargantas, convexidad o concavidad y del ancho del cordón para soldaduras de filete con el modo de transferencia cortocircuito.

Tabla 3.16 Resultados de las soldaduras de filetes con el modo de transferencia cortocircuito.

Composición	Garganta efectiva (mm)	Garganta real (mm)	Garganta teórica (mm)	Concavidad o convexidad (mm)	Ancho del cordón (mm)
100% CO ₂	4,83	5,8	4,17	0,98	8,34
10% CO ₂ - 90%Ar	4,37	4,37	4,18	0,19	9,5
25% CO ₂ - 75%Ar	4,25	4,46	4,25	-0,42	8,49

3.11.2. DEPÓSITOS CON EL MODO DE TRANSFERENCIA CORTOCIRCUITO

En la tabla 3.17 se muestra el resultado de las medidas de la penetración, ancho y refuerzo del cordón para aportaciones de metal con el modo de transferencia cortocircuito.

Tabla 3.17 Resultados de la medición de depósitos con el modo de transferencia cortocircuito.

Composición	Penetración (mm)	Ancho de cordón (mm)	Refuerzo (mm)
100% CO ₂	2,64	9,02	3,03
10% CO ₂ - 90%Ar	1,97	10,87	2,46
25% CO ₂ - 75%Ar	2,06	10,24	2,78

3.11.3. FILETES CON EL MODO DE TRANSFERENCIA PULSADO

En la tabla 3.18 se muestra el resultado de las medidas de las gargantas, convexidad o concavidad y del ancho del cordón para soldaduras de filete con el modo de transferencia pulsado.

Tabla 3.18 Resultados de las soldaduras de filetes con el modo de transferencia pulsado.

Composición	Garganta efectiva (mm)	Garganta real (mm)	Garganta teórica (mm)	Concavidad o convexidad (mm)	Ancho del cordón (mm)
10% CO ₂ - 90%Ar	4,94	5,6	3,78	0,55	7,71
15% CO ₂ - 85%Ar	5,61	6,42	4,19	0,64	8,18
25% CO ₂ - 75%Ar	6,26	6,26	4,47	0,25	8,72

3.11.4. DEPOSITOS CON EL MODO DE TRANSFERENCIA PULSADO

En la tabla 3.19 se muestra el resultado de las medidas de la penetración, ancho y refuerzo del cordón para aportaciones de metal con el modo de transferencia pulsado.

Tabla 3.19 Resultados de la medición de depósitos con el modo de transferencia pulsado.

Composición	Penetración (mm)	Ancho de cordón (mm)	Refuerzo (mm)
10% CO ₂ - 90%Ar	2,48	10,34	2,81
15% CO ₂ - 85%Ar	2,7	10,93	2,57
25% CO ₂ - 75%Ar	2,86	11,07	2,59

3.11.5. FILETES CON EL MODO DE TRANSFERENCIA PULSADO PMC

En la tabla 3.20 se muestra el resultado de las medidas de las gargantas, convexidad o concavidad y del ancho del cordón para soldaduras de filete con el modo de transferencia pulsado PMC.

Tabla 3.20 Resultados de las soldaduras de filetes con el modo de transferencia pulsado PMC.

Composición	Garganta efectiva (mm)	Garganta real (mm)	Garganta teórica (mm)	Concavidad o convexidad (mm)	Ancho del cordón (mm)
100% CO ₂	4,61	5,15	3,99	0,54	9,11
10% CO ₂ - 90%Ar	5,6	5,99	4,27	0,4	8,6
25% CO ₂ - 75%Ar	5,42	5,7	4,31	0,26	8,85

3.11.6. DEPOSITOS CON EL MODO DE TRANSFERENCIA PULSADO PMC

En la tabla 3.21 se muestra el resultado de las medidas de la penetración, ancho y refuerzo del cordón para aportaciones de metal con el modo de transferencia pulsado PMC.

Tabla 3.21 Resultados de la medición de depósitos con el modo de transferencia pulsado PMC.

Composición	Penetración (mm)	Ancho de cordón (mm)	Refuerzo (mm)
100% CO ₂	2,78	11,23	2,7
10% CO ₂ - 90%Ar	2,66	11,52	2,75
25% CO ₂ - 75%Ar	3,02	11,38	2,83

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

El presente proyecto está enfocado al análisis de la conformación del cordón de soldadura variando los parámetros como son la composición del gas protector y modo de transferencia. Por lo tanto, es necesario utilizar un criterio de aceptación normalizado y comúnmente aceptado en el país como es la norma AWS D1.1, con la finalidad de conocer si los perfiles de los cordones de soldadura realizados están en conformidad con los criterios de la norma. Los parámetros geométricos que se analizan se detallan en la metodología (Figuras: 2.4, 2.5 y 2.6).

4.1. ANÁLISIS DE LA CONFORMACIÓN DEL CORDÓN DE SOLDADURA A DIFERENTE COMPOSICIÓN DE GAS CON EL TIPO DE TRANSFERENCIA CORTOCIRCUITO EN JUNTA-T Y SOLDADURA DE FILETE

Mediante una inspección visual de las macrográficas obtenidas de las juntas tipo T soldadas con el método de transferencia corto circuito, se observa que en la probeta C25F (25% CO₂) se encuentra una falta de fusión que permanece constante a lo largo del cordón soldado. Esto se debe a la forma semicircular del perfil de soldadura, la cual tiene baja penetración. Estos resultados se pueden observar en la tabla 3.10.

Según los criterios mencionados en la metodología para la aceptación de ensayos macrográficos, la probeta C25F presenta un perfil de soldadura inaceptable. Por el contrario, las probetas C10F y CDF presentan perfiles de soldadura aceptables.

Para el cumplimiento de los requerimientos de la norma AWS D1.1 se muestra en la tabla 3.13 el valor de concavidad máxima recomendada según el ancho del cordón. Se observa que todos los perfiles soldados con el método cortocircuito cumplen con este requerimiento. Es decir, ninguna de las probetas excede el límite recomendado de convexidad y concavidad.

Con el objetivo de mostrar la influencia de la composición del gas en la conformación del cordón en juntas en T se han realizado los siguientes gráficos:

- Garganta efectiva, real y teórica vs Porcentaje de CO₂ (presente en la mezcla).
- Profundidad de fusión horizontal y vertical vs Porcentaje de CO₂.
- Convexidad o concavidad vs Porcentaje de CO₂.

4.1.1. INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE CO₂ EN LA PENETRACIÓN

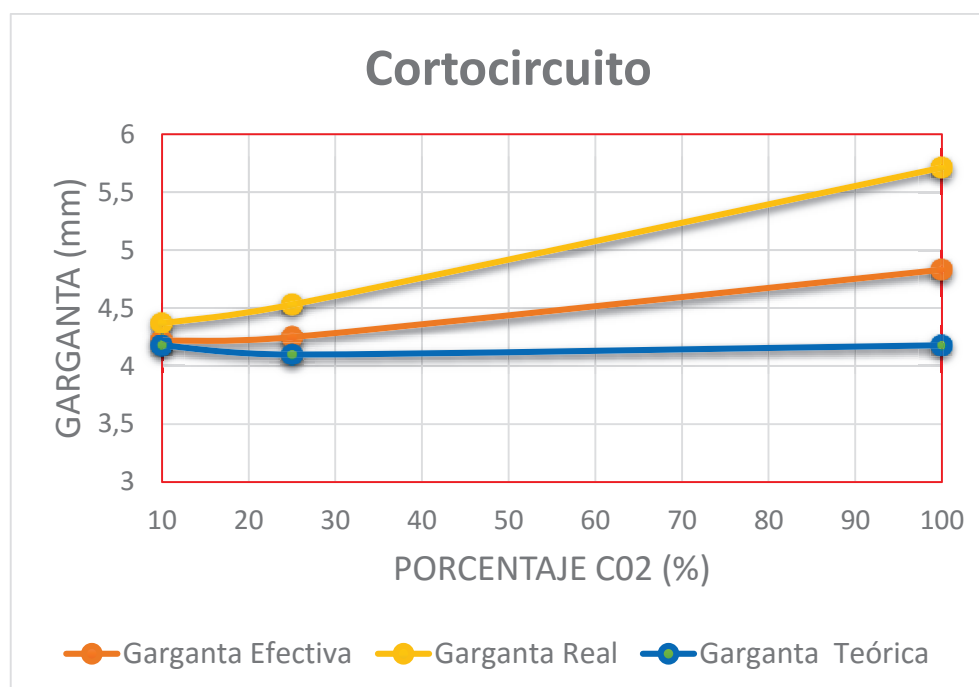


Gráfico 4.1 Gargantas vs Porcentaje de CO₂

En el gráfico 4.1 se observa que cuando se utiliza el modo de transferencia cortocircuito, un aumento del porcentaje de CO₂ produce un aumento en la dimensión de las gargantas: efectiva y real, las cuales constituyen la penetración del cordón. Sin embargo, el porcentaje de CO₂ no tuvo influencia sobre la garganta teórica.

Para constatar que la soldadura a lo largo de las probetas tienen una penetración constante, se realizó la macrografía de dos especímenes extraídos de diferentes secciones separadas una distancia de 150mm como se observa en la figura 2.3.

En la tabla 4.1 se puede observar que las probetas realizadas mantuvieron una penetración casi constante con una ligera variación de 0.15 mm.

Tabla 4.1 Análisis de penetración en toda la probeta con cortocircuito.

Garganta Efectiva (mm)			
Probetas	Espécimen 1	Espécimen 2	Diferencia
C10F	4,22	4,37	0,15
C25F	4,25	4,1	0,15
CDF	4,83	4,73	0,1

4.1.2. INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE CO₂ EN LA PROFUNDIDAD DE FUSIÓN

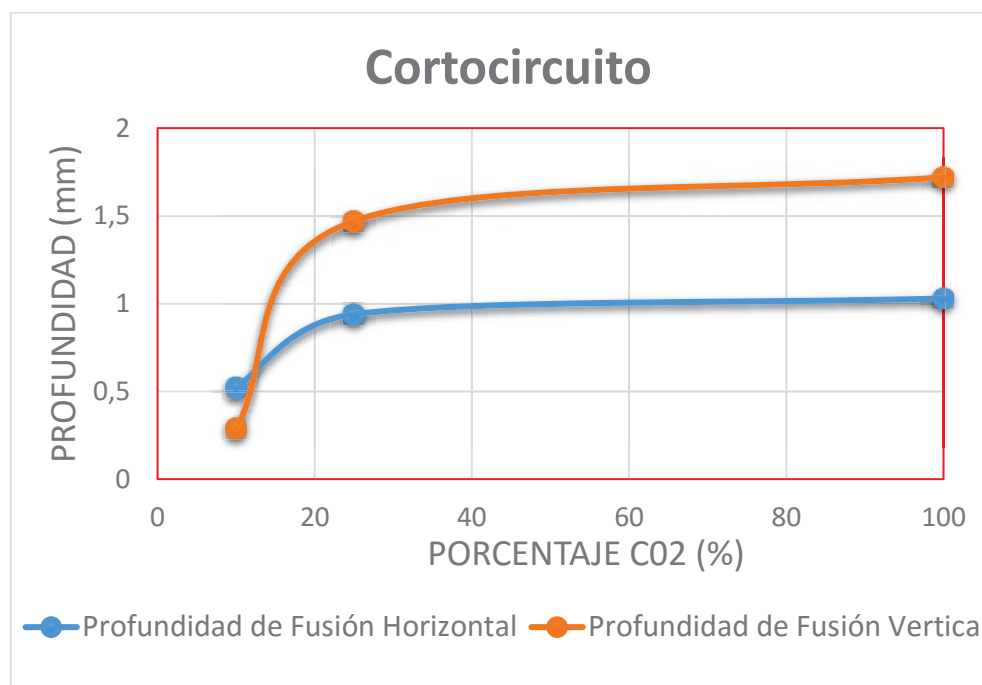


Gráfico 4.2 Profundidad de fusión vs Porcentaje de CO₂.

En el gráfico 4.2 se observa que la presencia CO₂ en la mezcla aumenta la profundidad de fusión, tanto horizontal como vertical. Por lo tanto, se comprueba que el perfil del cordón tiende a ser más redondo conforme aumenta el porcentaje de CO₂. En cambio, cuando aumenta el porcentaje de Ar el perfil del cordón tiende a ser más delgado y estrecho con elevada penetración en el centro. Se consigue un cordón en forma de “tachuela”.

4.1.3. INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE CO₂ EN LA CARA DEL FILETE

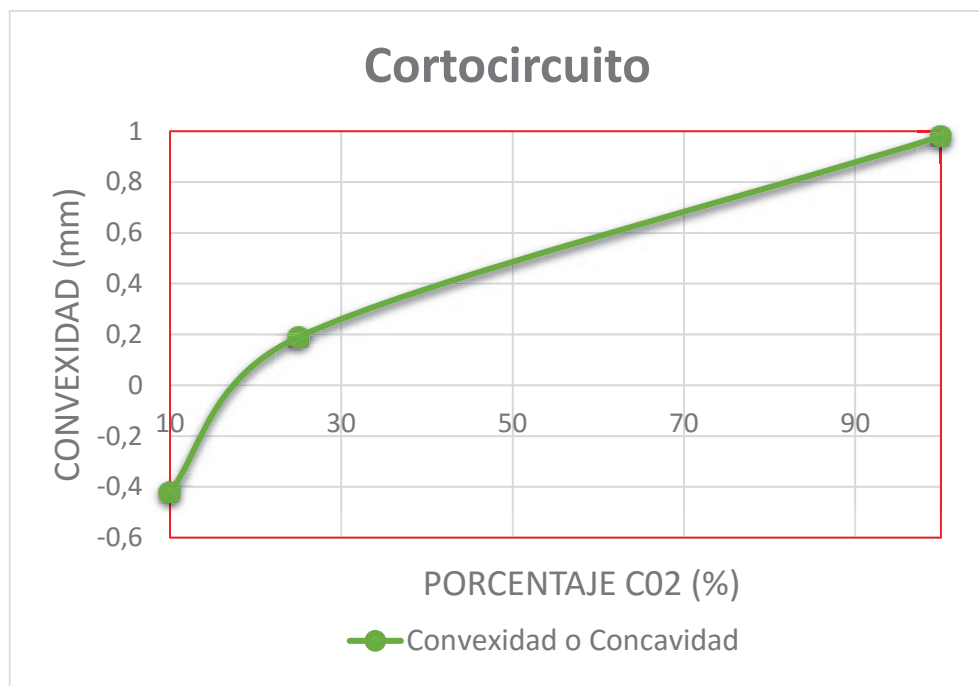


Gráfico 4.3 Convexidad o concavidad vs Porcentaje de CO₂

El gráfico 4.3 indica que el porcentaje de CO₂ influye tanto en la convexidad como en la concavidad del cordón de soldadura. De esta manera, la cara del filete es ligeramente cóncava a un 10% del gas, a un 25% CO₂ el cordón se presenta casi plano y si se utiliza 100% CO₂ se observa ligeramente convexo.

4.2. ANÁLISIS DE LA CONFORMACIÓN DEL CORDÓN DE SOLDADURA A DIFERENTE COMPOSICIÓN DE GAS CON EL TIPO DE TRANSFERENCIA CORTOCIRCUITO EN DEPÓSITOS

Con el objetivo de mostrar la influencia de la composición del gas en la conformación del cordón en depósitos de soldadura se han realizado los siguientes gráficos:

- Penetración vs Porcentaje de CO₂
- Ancho vs Porcentaje de CO₂
- Altura de refuerzo vs Porcentaje de CO₂

4.2.1. INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE CO₂ EN LA PENETRACIÓN

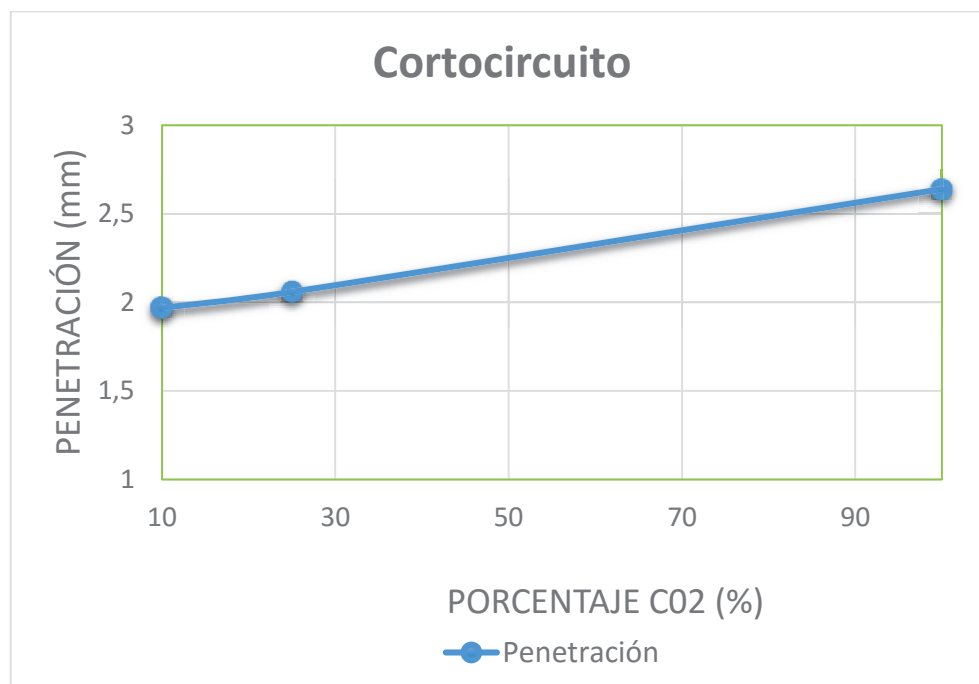


Gráfico 4.4 Penetración vs Porcentaje CO₂.

En el gráfico 4.4 se muestra el efecto del gas de protección CO₂ en la profundidad de penetración del cordón de soldadura. Se observa una línea de tendencia creciente, siendo la penetración directamente proporcional al porcentaje de CO₂ presente en la mezcla. Un aumento del porcentaje de CO₂ en la mezcla entre Ar-CO₂ produce un aumento en la penetración considerable. Utilizando el método cortocircuito se observa que con un porcentaje del 100% de CO₂ se obtiene la mayor penetración.

En la tabla 4.2 se observa que las probetas realizadas mantuvieron una penetración constante con una variación máxima de 0.37 mm

Tabla 4.2 Análisis de penetración en toda la probeta con cortocircuito.

Probetas	Penetración (mm)		
	Espécimen 1	Espécimen 2	Diferencia
C10D	1,97	2,32	0,35
C25D	2,43	2,06	0,37
CDD	2,64	2,64	0

4.2.2. INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE CO₂ EN EL ANCHO DEL CORDÓN

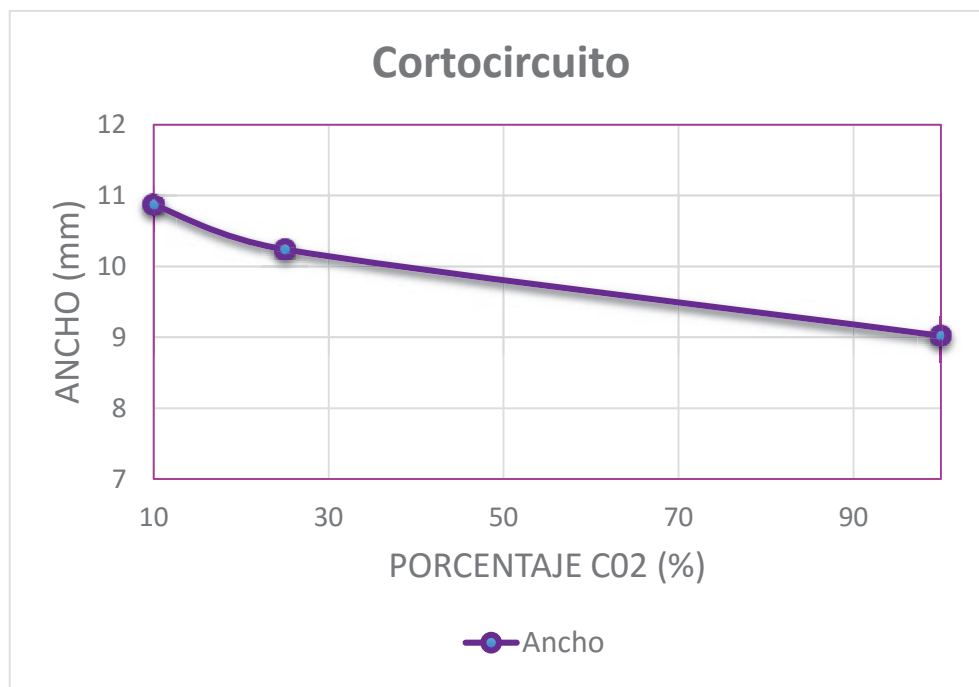


Gráfico 4.5 Ancho vs Porcentaje CO₂.

Como consecuencia del aumento en la penetración, se observa en el gráfico 4.5 una disminución en el ancho del cordón. Además, se puede apreciar la presencia del Ar en la mezcla, ya que este tiende a formar un cordón más ancho y con menor penetración comparado con un cordón soldado con 100% CO₂. Conforme aumenta el porcentaje de CO₂ en la mezcla se observa una disminución en el ancho del cordón de soldadura. La gráfica muestra una línea de tendencia decreciente.

4.2.3. INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE CO₂ EN LA ALTURA DEL CORDÓN

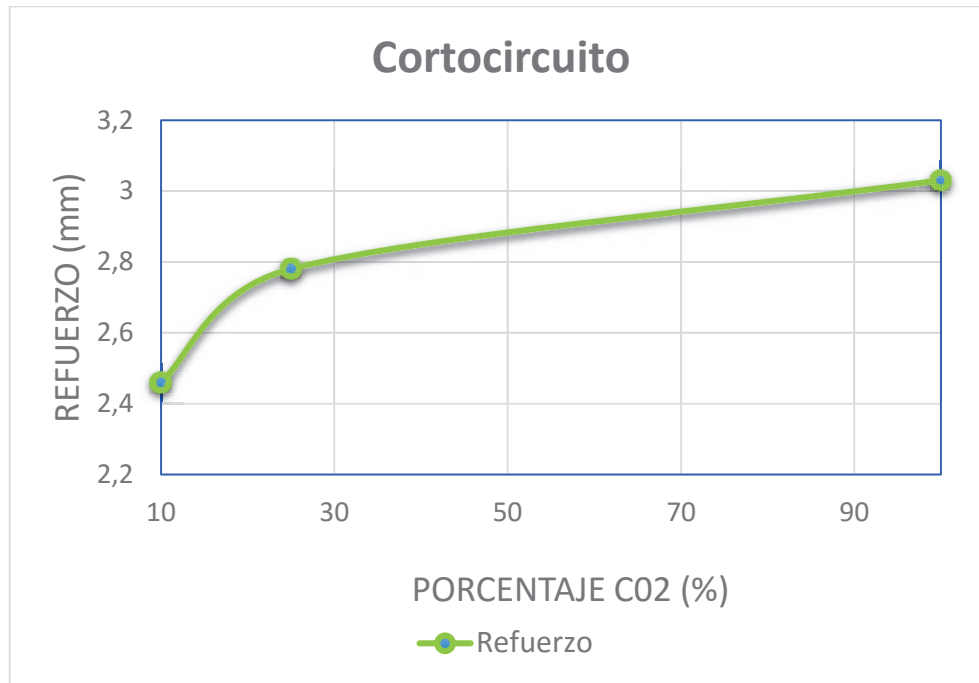


Gráfico 4.6 Altura del cordón vs Porcentaje CO₂

La presencia del CO₂ en mayor porcentaje en la mezcla además de producir un aumento en la penetración, también produce un aumento en la altura del cordón. Esto se puede observar en el gráfico 4.6. Cuando se aumenta el porcentaje de 10 a 25% CO₂ el aumento en el refuerzo es de casi 0.4mm. Conforme se aumenta el porcentaje de CO₂ hasta 100%, la altura de refuerzo llega a un valor de 3mm.

4.3. ANÁLISIS DE LA CONFORMACIÓN DEL CORDÓN DE SOLDADURA A DIFERENTE COMPOSICIÓN DE GAS CON EL TIPO DE TRANSFERENCIA SPRAY PULSADO EN JUNTA-T Y SOLDADURA DE FILETE

Mediante una inspección visual de las macrográficas obtenidas de las juntas tipo T soldadas con el método de arco pulsado, se observa que en la probeta SP15F (15% CO₂) se encontró una falta de fusión y una mordedura. La formación de mordeduras

se produce por el exceso de aportación de calor. Estos resultados se pueden observar en la tabla 3.11.

Además, se observa que la probeta SP10F (10% CO₂) presenta una longitud de pierna menor a 5mm. Esto se considera un perfil de soldadura inaceptable debido a que una de las piernas de soldadura no cumple con la longitud mínima requerida para espesores de 6 a 12mm, como se indica en la tabla 2.8. Este tipo de perfil se formó debido a la falta de precisión en la inclinación de la probeta.

4.3.1. INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE CO₂ EN LA PENETRACIÓN

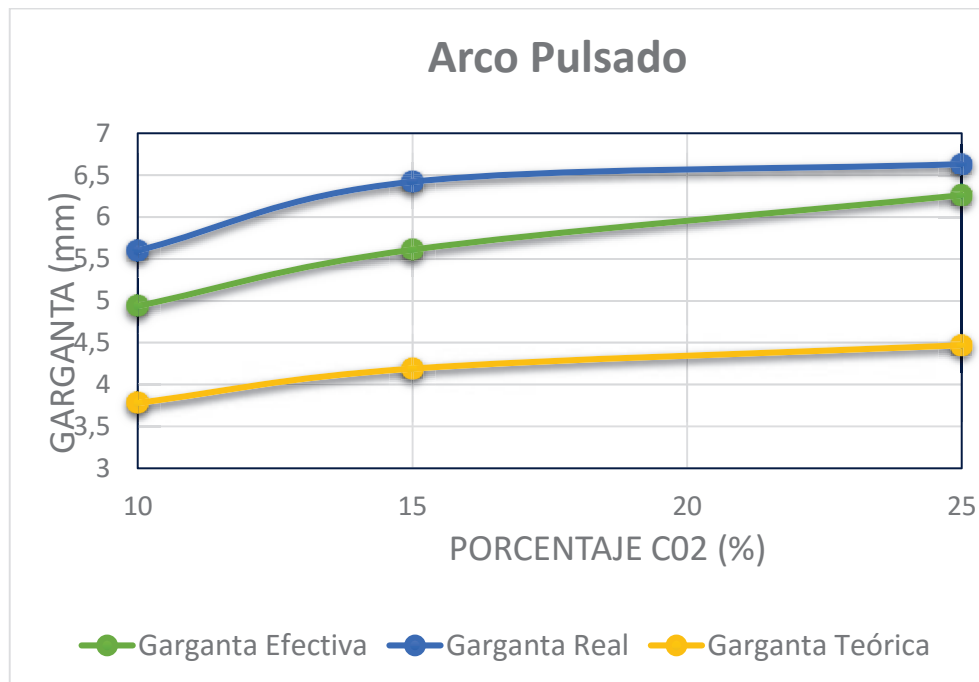


Gráfico 4.7 Gargantas vs Porcentaje de CO₂

En el gráfico 4.7 se observa que cuando se utiliza el modo de transferencia spray pulsado, un aumento del porcentaje de CO₂ produce un aumento en el tamaño de todas las gargantas. Por lo tanto, existe un aumento en la penetración del cordón.

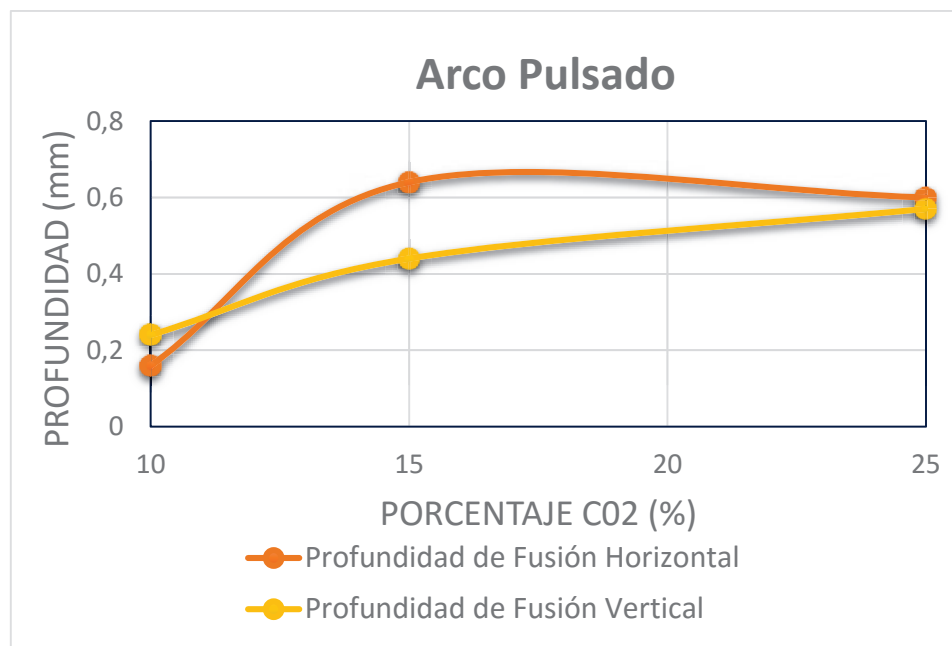
En la variación de 10 a 15% CO₂ se observa un mayor crecimiento en el tamaño de la garganta que el obtenido entre 15 y 25% CO₂. Es importante mencionar que para porcentajes mayores al 25% de CO₂ el arco se vuelve inestable y no se puede trabajar con modo de transferencia pulsado.

Tabla 4.3 Análisis de penetración en toda la probeta con pulsado.

Garganta Efectiva (mm)			
Probetas	Espécimen 1	Espécimen 2	Diferencia
SP10F	4,94	5,26	0,32
SP15F	5,61	5,98	0,37
SP25F	6,26	6,36	0,1

En la tabla 4.3 se observa que las probetas realizadas mantuvieron una penetración constante siendo la variación máxima de 0.37 mm.

4.3.2. INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE CO₂ EN LA PROFUNDIDAD DE FUSIÓN

Gráfico 4.8 Profundidad de Fusión vs Porcentaje CO₂

En el gráfico 4.8 se observa que la presencia CO₂ en la mezcla aumenta la profundidad de fusión, tanto horizontal como vertical. Por lo tanto, se comprueba que el perfil del cordón tiende a ser más redondo conforme aumenta el porcentaje de CO₂. En cambio, cuando aumenta el porcentaje de Ar el perfil del cordón tiende a ser más delgado y estrecho en forma de “tachuela”.

4.3.3. INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE CO₂ EN LA CONCAVIDAD

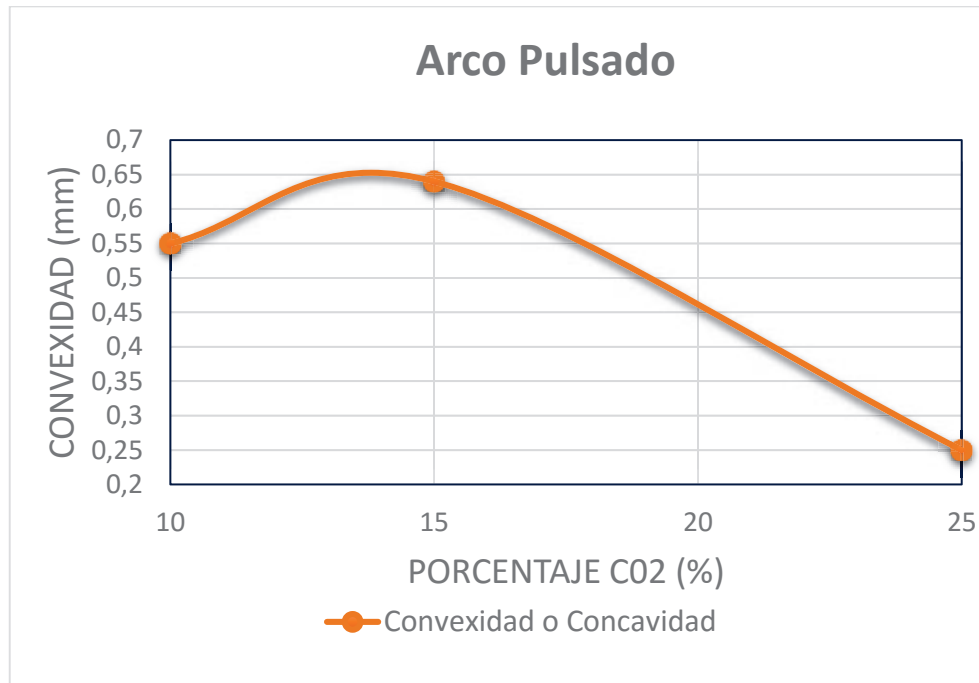


Gráfico 4.9 Convexidad vs Porcentaje CO₂

En el gráfico 4.9 se observa que a diferencia de soldar con cortocircuito, cuando se suelda con arco pulsado la concavidad tiende a disminuir conforme se aumenta el porcentaje de CO₂. Es beneficioso que se disminuya la convexidad o concavidad del cordón para prevenir concentradores de esfuerzos y por ahorro de material de aporte depositado.

La soldadura de filete puede generar tres tipos de cordones planos, convexos y cóncavos. Las soldaduras con cordones convexos se utilizan para soldaduras que van a estar sujetas a cargas estáticas, el refuerzo extra le da cierta resistencia al metal depositado.

La soldadura con cordones cóncavos se utiliza cuando la junta va a estar sujeta a cargas repetidas y vibratorias, debido a que tiene una transición más gradual de la soldadura al metal de base se consigue un mejor comportamiento a fatiga. (Carabali)

4.4. ANÁLISIS DE LA CONFORMACIÓN DEL CORDÓN DE SOLDADURA A DIFERENTE COMPOSICIÓN DE GAS CON EL TIPO DE TRANSFERENCIA SPRAY PULSADO EN DEPÓSITOS

4.4.1. INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE CO₂ EN LA PENETRACIÓN

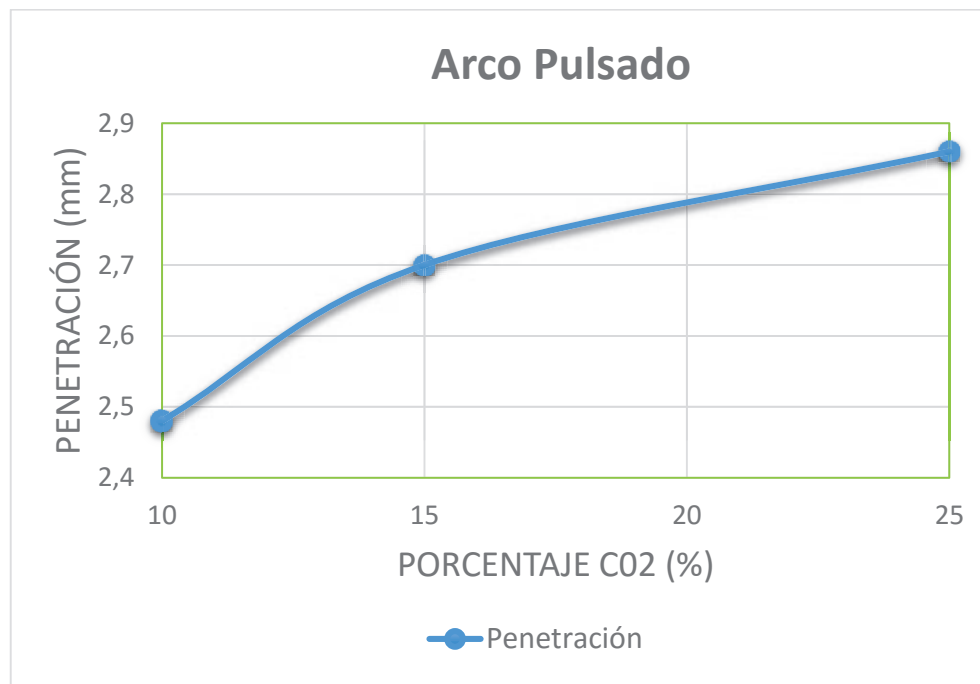


Gráfico 4.10 Penetración vs Porcentaje CO₂

En el gráfico 4.10 se muestra que al igual que con cortocircuito, con el modo de transferencia spray pulsado existe el efecto del gas de protección CO₂ en la profundidad de penetración del cordón de soldadura. Un aumento del porcentaje de CO₂ en la mezcla entre Ar-CO₂ produce un aumento en la penetración del cordón obtenido.

Tabla 4.4 Análisis de penetración en toda la probeta con pulsado.

Penetración (mm)			
Probetas	Espécimen 1	Espécimen 2	Diferencia
SP10D	2,48	2,38	0,1
SP15D	2,7	2,54	0,16
SP25D	2,86	2,53	0,33

En la tabla 4.4 se observa las ventajas de utilizar el estabilizador de penetración ya que las probetas realizadas mantuvieron una penetración constante a lo largo de la longitud de la soldadura obteniéndose una variación mínima de 0.1mm y una máxima de 0.33 mm

4.4.2. INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE CO₂ EN EL ANCHO DEL CORDÓN

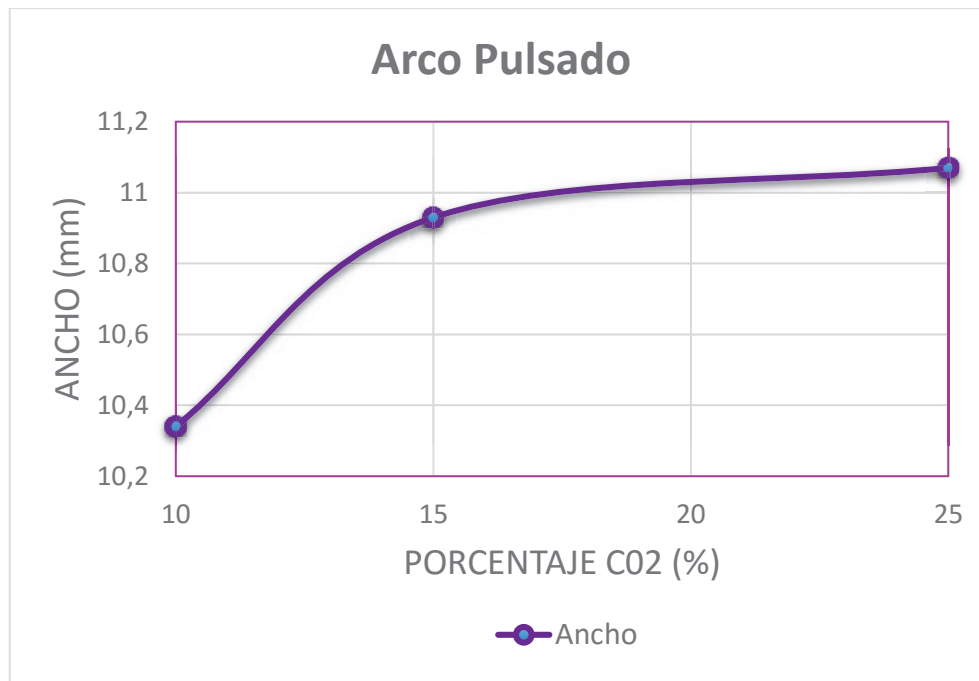


Gráfico 4.11 Ancho vs Porcentaje CO₂

A diferencia con el modo de transferencia cortocircuito, se observa en el gráfico 4.11 que con spray pulsado se tiene un aumento en el ancho del cordón con el incremento del porcentaje CO₂. Con una variación entre el 10 y 15% CO₂ en la mezcla del gas protector se observa una mayor influencia en el ancho del cordón que con una variación entre el 15 y 25% CO₂.

4.4.3. INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE CO₂ EN LA ALTURA DEL CORDÓN.



Gráfico 4.12 Altura de refuerzo vs Porcentaje CO₂

Se observa en el gráfico 4.12 una disminución pronunciada en la altura de refuerzo desde 10% a 15% de CO₂. Se puede decir que se mantiene constante la altura de refuerzo, ya que la diferencia entre porcentajes de CO₂ sólo ha producido una disminución de 0.2mm.

4.5. ANÁLISIS DE LA CONFORMACIÓN DEL CORDÓN DE SOLDADURA A DIFERENTE COMPOSICIÓN DE GAS CON EL TIPO DE TRANSFERENCIA PULSADO PMC EN JUNTA-T Y SOLDADURA DE FILETE

Mediante una inspección visual de las macrográficas obtenidas de las juntas tipo T soldadas con el método de transferencia pulsado multi-control, se observa que en la probeta P10F (10% CO₂), el perfil del cordón tiene una forma no uniforme. El lado

vertical es más largo que el lado horizontal. Esto se considera un perfil de soldadura inaceptable debido a que una de las piernas de soldadura no cumple con la longitud mínima requerida de 5mm para espesores de 8mm, como se indica en la tabla 2.8.

Por otra parte, todos los perfiles soldados cumplen con la distancia máxima de concavidad recomendada por la norma AWS D1.1, la cual es de 3mm como se muestra en la tabla 2.10.

4.5.1. INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE CO₂ EN LA PENETRACIÓN

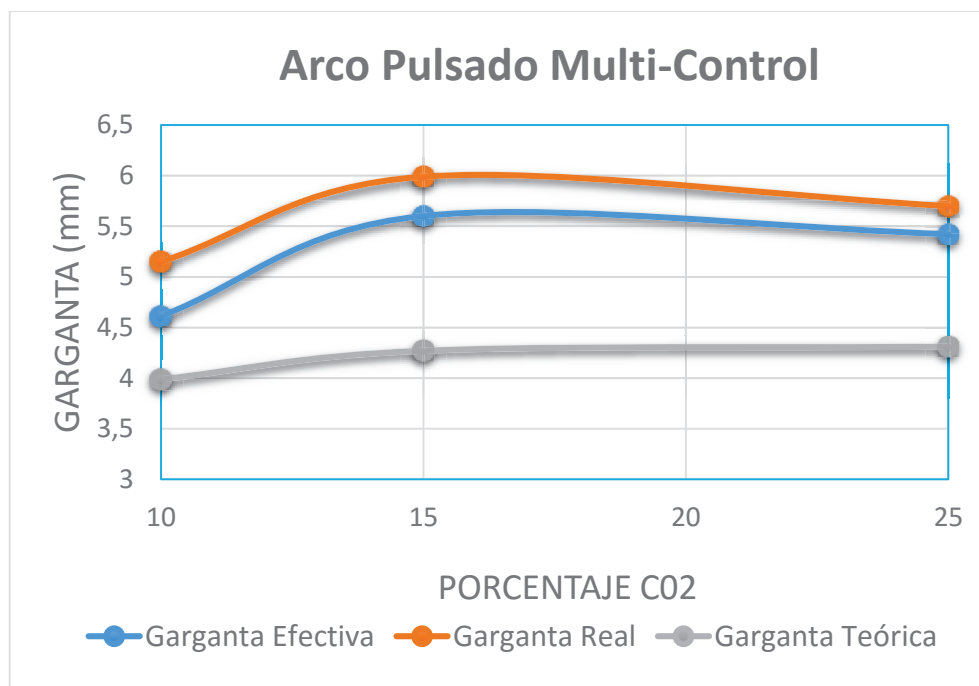


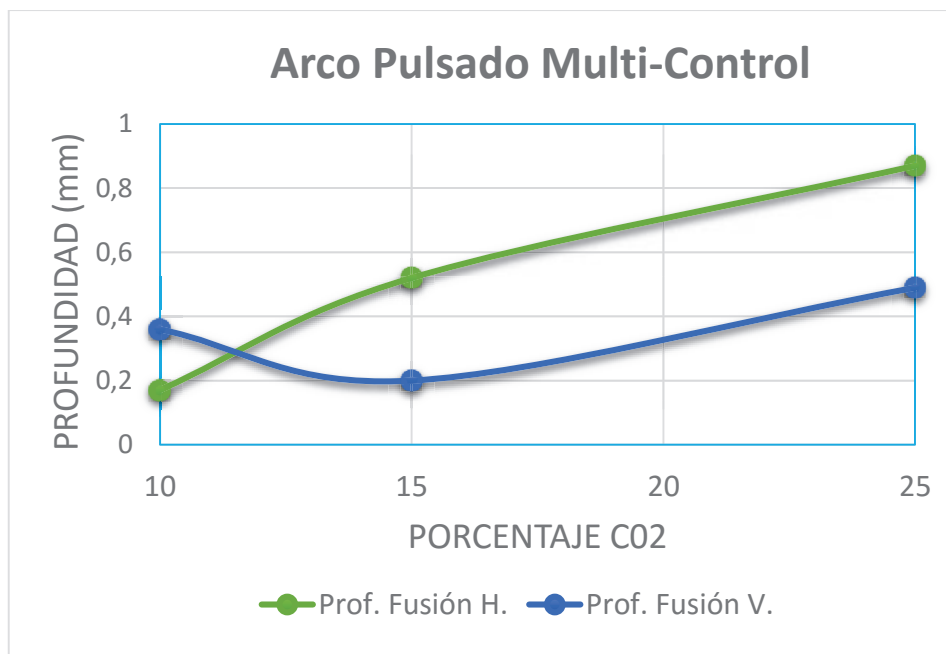
Gráfico 4.13 Gargantas vs Porcentaje de CO₂

En el gráfico 4.13 se observa que existe una influencia del CO₂ en la penetración sólo en porcentajes de 10 a 15%. Desde 15% hasta 25% de CO₂, la curva tiende a ser constante o a disminuir. Por lo que se puede decir que ya no es recomendable aumentar el porcentaje de CO₂ en la mezcla con Ar cuando se utiliza el modo de transferencia PMC. En la tabla 4.5 se observa las ventajas de utilizar el estabilizador de penetración ya que las probetas realizadas mantuvieron una penetración constante a lo largo de la longitud de la soldadura obteniéndose una variación mínima de 0.1mm y una máxima de 0.33 mm.

Tabla 4.5 Análisis de penetración en toda la probeta con pulsado PMC.

Garganta Efectiva (mm)			
Probetas	Espécimen 1	Espécimen 2	Diferencia
P10F	4,61	4,76	0,15
P15F	5,6	5,57	0,03
P25F	5,42	5,2	0,22

4.5.2. INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE CO₂ EN LA PROFUNDIDAD DE FUSIÓN

Gráfico 4.14 Profundidad de Fusión vs Porcentaje de CO₂

Al igual que utilizando los modos de transferencia cortocircuito y spray pulsado, se observa en la anterior gráfica que utilizando PMC se tiene un aumento en la profundidad de fusión conforme se aumenta el porcentaje de CO₂. Esto quiere decir que el cordón tiende a ser más semicircular cuando mayor es la presencia de CO₂.

4.5.3. INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE CO₂ EN LA CONVEXIDAD

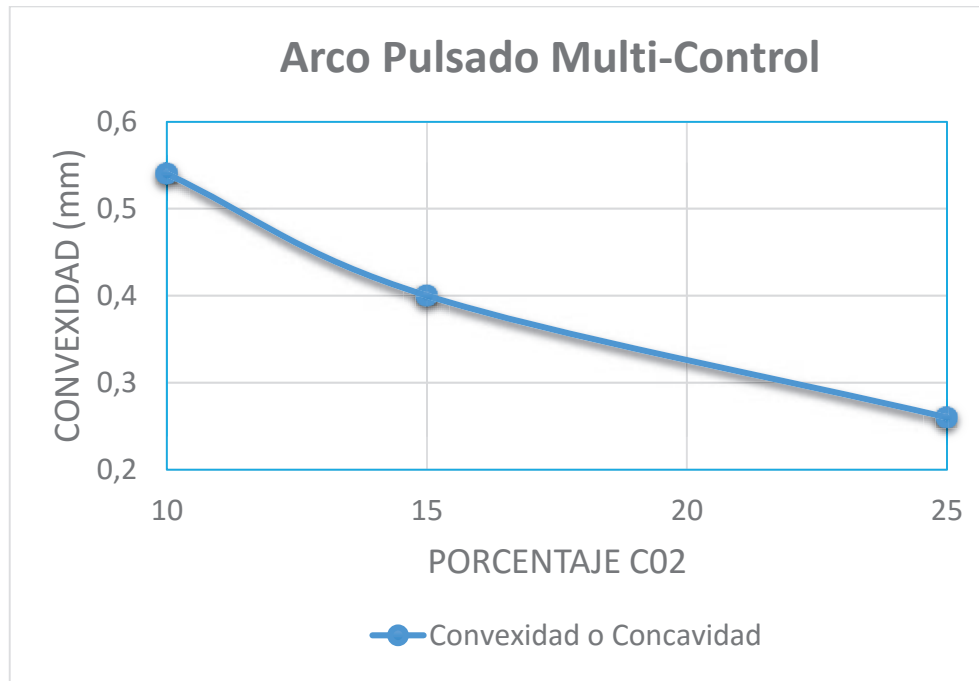


Gráfico 4.15 Convexidad vs Porcentaje de CO₂

En el gráfico 4.15 se observa que con un aumento en el porcentaje de CO₂ se produce una disminución en la convexidad del cordón. Esta tendencia es la misma para pulsado. Se observa que para un 25% de CO₂ la convexidad obtenida es mejor que la obtenida con un porcentaje de 10%.

A medida que aumenta el porcentaje de CO₂ se obtiene soldaduras más planas de baja convexidad.

4.6. ANÁLISIS DE LA CONFORMACIÓN DEL CORDÓN DE SOLDADURA A DIFERENTE COMPOSICIÓN DE GAS CON EL TIPO DE TRANSFERENCIA PMC EN DEPÓSITOS

4.6.1. INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE CO₂ EN LA PENETRACIÓN

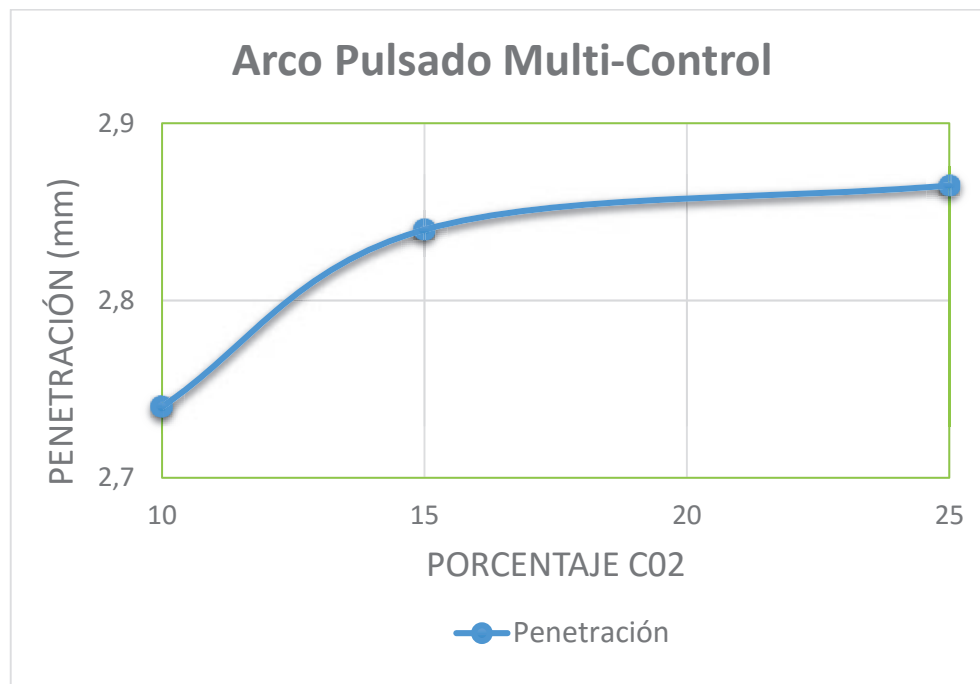


Gráfico 4.16 Penetración vs Porcentaje CO₂

En el gráfico 4.16 con el modo de transferencia pulsado PMC, se observa el efecto del gas de protección CO₂ en la profundidad de penetración del cordón de soldadura. Un aumento del porcentaje de CO₂ en la mezcla entre Ar-CO₂, produce un aumento en la penetración del cordón obtenido. Se puede observar que existe un incremento en la penetración apreciable cuando el porcentaje está entre 10 y 15% CO₂ y para porcentajes mayores el incremento es mínimo.

Tabla 4.6 Análisis de penetración en toda la probeta con pulsado PMC.

Probetas	Penetración (mm)		
	Espécimen 1	Espécimen 2	Diferencia
P10D	2,7	2,78	0,08
P15D	3,02	2,66	0,36
P25D	2,71	3,02	0,31

En la tabla 4.6 se observa que las probetas realizadas mantuvieron una penetración constante a lo largo de la longitud de la soldadura obteniéndose una variación máxima de 0.36 mm

4.6.2. INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE CO₂ EN EL ANCHO DEL CORDÓN

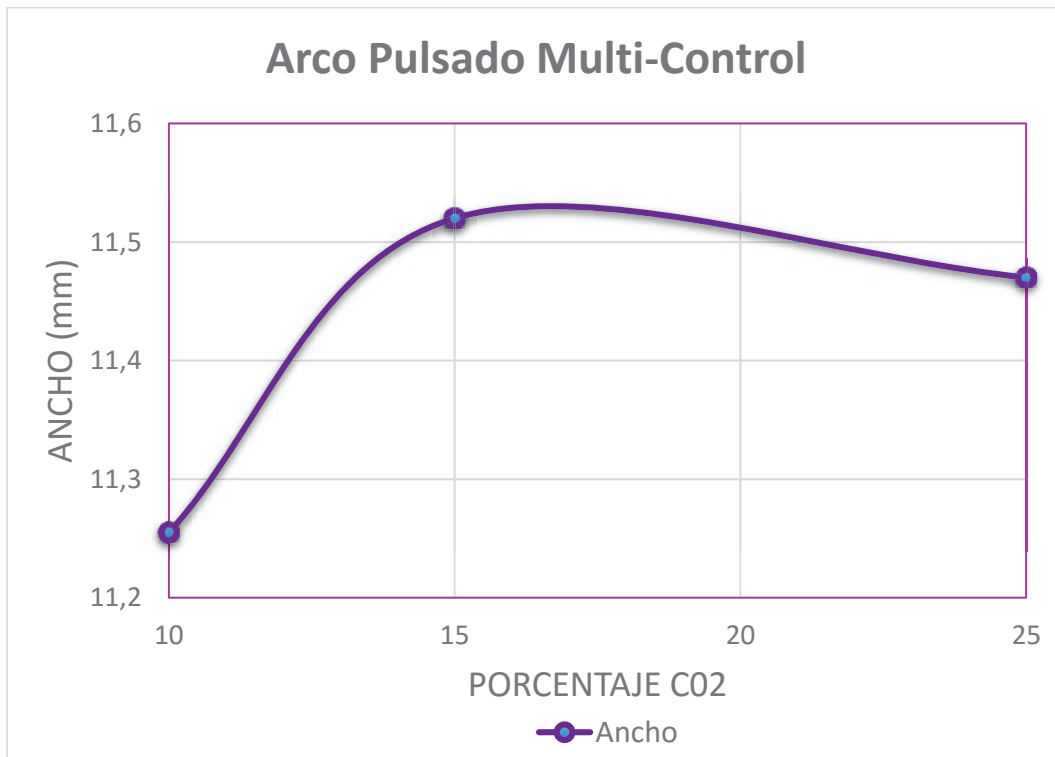


Gráfico 4.17 Ancho vs Porcentaje CO₂

En el gráfico 4.17 se observa que el ancho del cordón aumenta igual que la penetración con porcentajes del 10 al 15% CO₂, mientras que para porcentajes mayores, el ancho comienza a disminuir.

4.6.3. INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE CO₂ EN LA ALTURA DEL CORDÓN

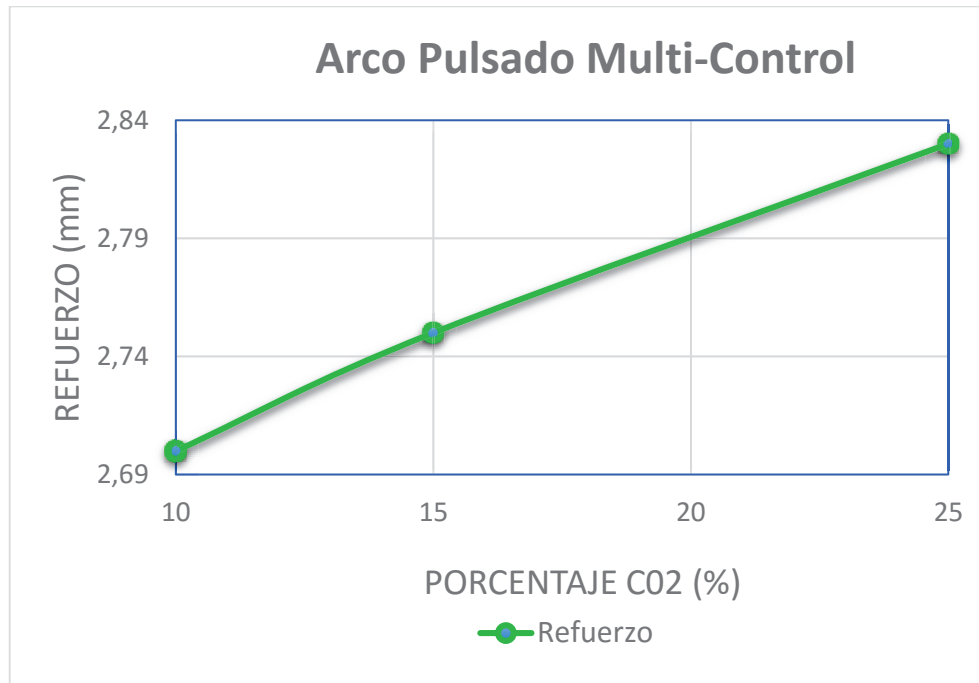


Gráfico 4.18 Altura de refuerzo vs Porcentaje CO₂

Se observa en el gráfico 4.18 una tendencia a aumentar la altura de refuerzo con un incremento del porcentaje de CO₂, es decir se obtiene una tasa de aportación mayor cuando se añade mayor porcentaje de CO₂ en la mezcla. Esto se debe a que al utilizar un gas triatómico como el CO₂ durante la ionización se produce procesos de recombinación en los que se incrementa la energía.

4.7. ANÁLISIS DE LA CONFORMACIÓN DEL CORDÓN DE SOLDADURA A DIFERENTE TIPO DE TRANSFERENCIA DE METAL, UTILIZANDO UNA MEZCLA DEL 10%CO₂- AR, EN JUNTA-T Y SOLDADURA DE FILETE

4.7.1. INFLUENCIA DEL MODO DE TRANSFERENCIA EN LA PENETRACIÓN

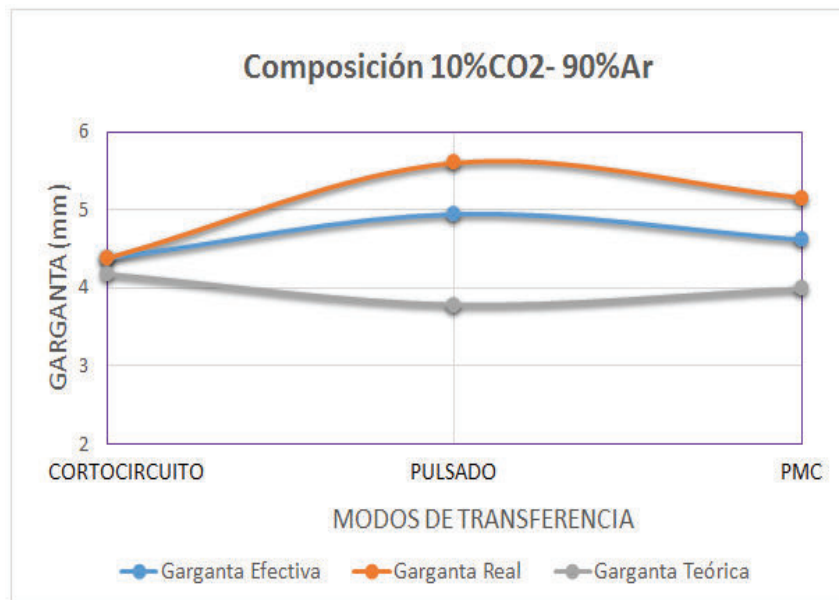


Gráfico 4.19 Gargantas vs Modos de Transferencia

Con respecto al modo de transferencia utilizado, se puede comparar la influencia de cada modo utilizado en el presente proyecto en relación con la penetración en juntas en T. La penetración tiene relación directa con las gargantas real y efectiva. En el gráfico 4.19 se observa que el modo de transferencia que mejor penetración produce con 10% de CO₂ es spray pulsado, seguido por pulsado multi-control y finalmente cortocircuito.

4.7.2. INFLUENCIA DEL MODO DE TRANSFERENCIA EN LA PROFUNDIDAD DE FUSIÓN

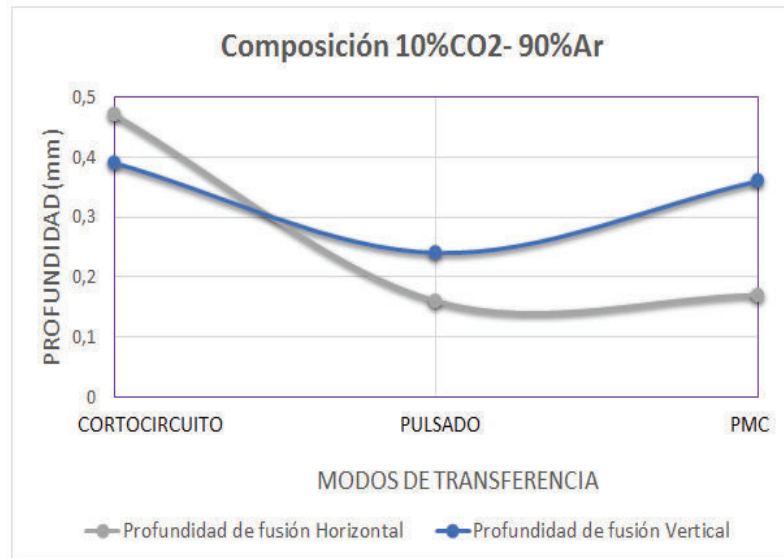


Gráfico 4.20 Profundidad de Fusión vs Modos de Transferencia

En el gráfico 4.20 se observa que cuando se utiliza el modo de transferencia cortocircuito se forma un cordón de perfil más ancho que cuando se suelda con arco pulsado o pulsado multi-control.

4.7.3. INFLUENCIA DEL MODO DE TRANSFERENCIA EN LA CONVEXIDAD

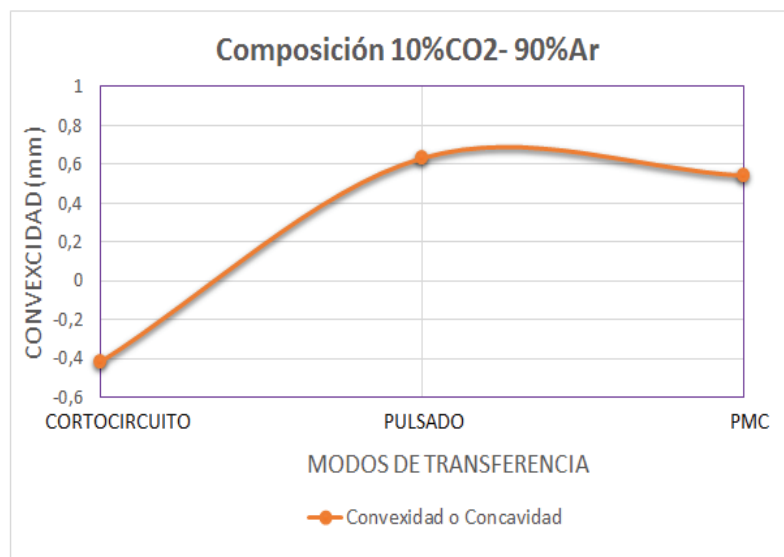


Gráfico 4.21 Convexidad vs Modos de Transferencia

Utilizando una mezcla de 10% CO₂ y 90% Ar se obtuvo el siguiente resultado: con cortocircuito se formó un cordón con una concavidad de 0,4mm, con arco pulsado se obtuvo un cordón con 0,6 de convexidad muy similar que con arco pulsado multi-control. Esto se puede observar en el gráfico 4.21.

4.8. ANÁLISIS DE LA CONFORMACIÓN DEL CORDÓN DE SOLDADURA A DIFERENTE TIPO DE TRANSFERENCIA DE METAL, UTILIZANDO UNA MEZCLA DEL 10%CO₂- AR, EN DEPÓSITOS

4.8.1. INFLUENCIA DEL MODO DE TRANSFERENCIA EN LA PENETRACIÓN.

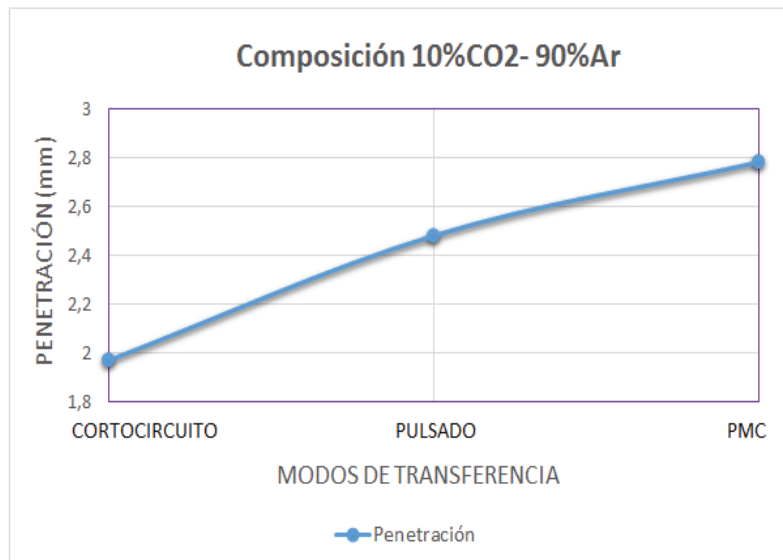


Gráfico 4.22 Penetración vs Modos de Transferencia

A diferencia de soldar juntas en T, donde la mejor penetración se obtuvo con arco pulsado, en depósitos de soldadura se puede observar que se obtiene mejor penetración con el modo PMC. Como se observa en el gráfico 4.22.

4.8.2. INFLUENCIA DEL MODO DE TRANSFERENCIA EN EL ANCHO DEL CORDÓN

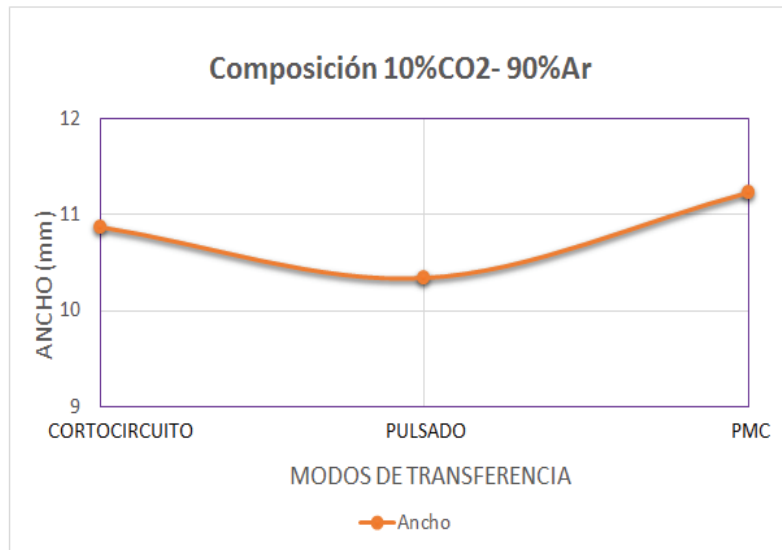


Gráfico 4.23 Ancho vs Modos de Transferencia

El gráfico 4.23 muestra la misma tendencia que en gráficas anteriores. Cuando se aumenta la penetración, disminuye el ancho del cordón. El cordón de menor ancho se formó con arco pulsado.

4.8.3. INFLUENCIA DEL MODO DE TRANSFERENCIA EN LA ALTURA DEL CORDÓN

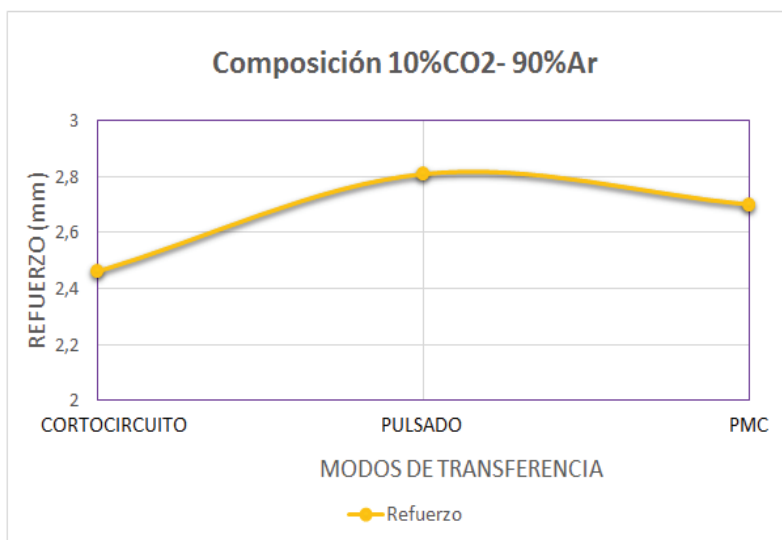


Gráfico 4.24 Altura de refuerzo vs Modos de Transferencia

En el gráfico 4.24 se observa que el refuerzo de mayor altura se obtuvo con el modo de transferencia spray pulsado. Por el contrario, la menor altura se obtuvo con cortocircuito.

4.9. ANÁLISIS DE LA CONFORMACIÓN DEL CORDÓN DE SOLDADURA A DIFERENTE TIPO DE TRANSFERENCIA DE METAL, UTILIZANDO UNA MEZCLA DEL 25%CO₂- AR, EN JUNTA-T Y SOLDADURA DE FILETE

4.9.1. INFLUENCIA DEL MODO DE TRANSFERENCIA EN LA PENETRACIÓN

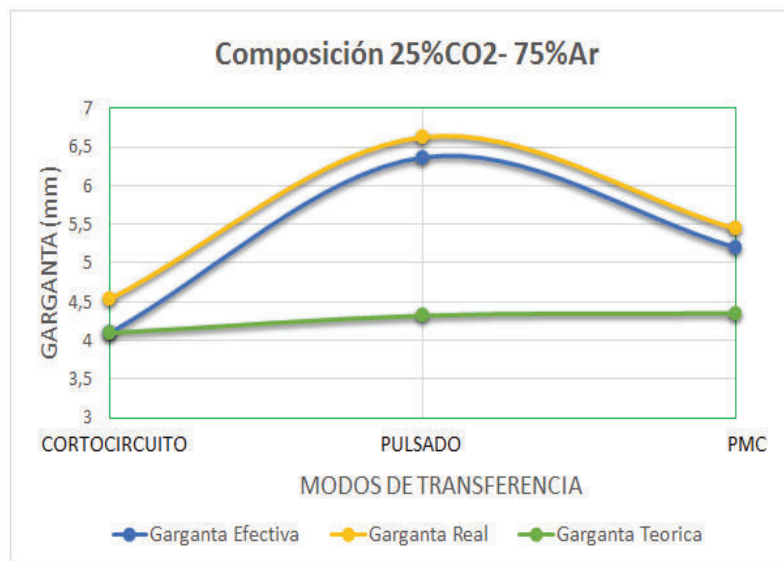


Gráfico 4.25 Gargantas vs Modos de Transferencia

Con una mezcla de composición 25%CO₂-75%Ar se obtuvo resultados similares que con la mezcla 10%CO₂-90%Ar. En el gráfico 4.25 se observa que el modo de transferencia que mejor penetración produce es spray pulsado, seguido por pulsado multi-control y finalmente cortocircuito. Las gargantas real y efectiva tienen la misma tendencia, mientras que la garganta teórica permanece casi constante para los tres modos de transferencia.

4.9.2. INFLUENCIA DEL MODO DE TRANSFERENCIA EN LA PROFUNDIDAD DE FUSIÓN

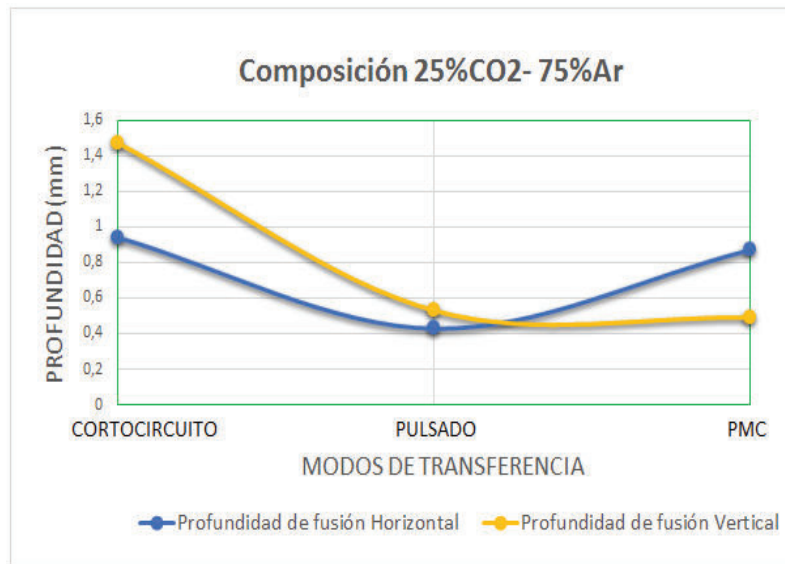


Gráfico 4.26 Profundidad de Fusión vs Modos de Transferencia

De igual forma, se observa en el gráfico 4.26 que se forman cordones más anchos con el modo de transferencia cortocircuito y menos anchos con arco pulsado y pulsado multi-control.

4.9.2. INFLUENCIA DEL MODO DE TRANSFERENCIA EN LA CONVEXIDAD

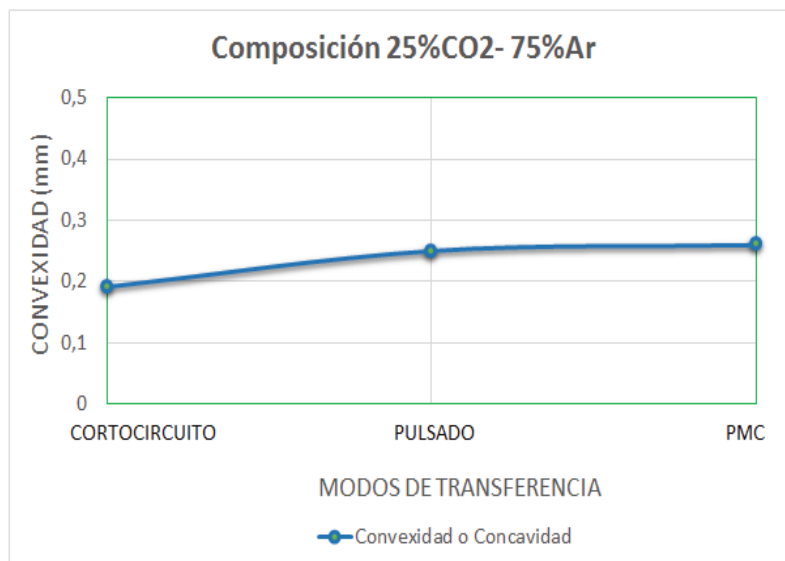


Gráfico 4.27 Convexidad vs Modos de Transferencia

Respecto a la concavidad que se puede observar en el gráfico 4.27, es mínima la diferencia que se obtuvo entre los diferentes procesos. Por lo tanto, la concavidad no es un parámetro que influye en la elección del modo de transferencia

4.10. ANÁLISIS DE LA CONFORMACIÓN DEL CORDÓN DE SOLDADURA A DIFERENTE TIPO DE TRANSFERENCIA DE METAL, UTILIZANDO UNA MEZCLA DEL 25%CO₂- AR, EN DEPÓSITOS

4.10.1. INFLUENCIA DEL MODO DE TRANSFERENCIA EN LA PENETRACIÓN

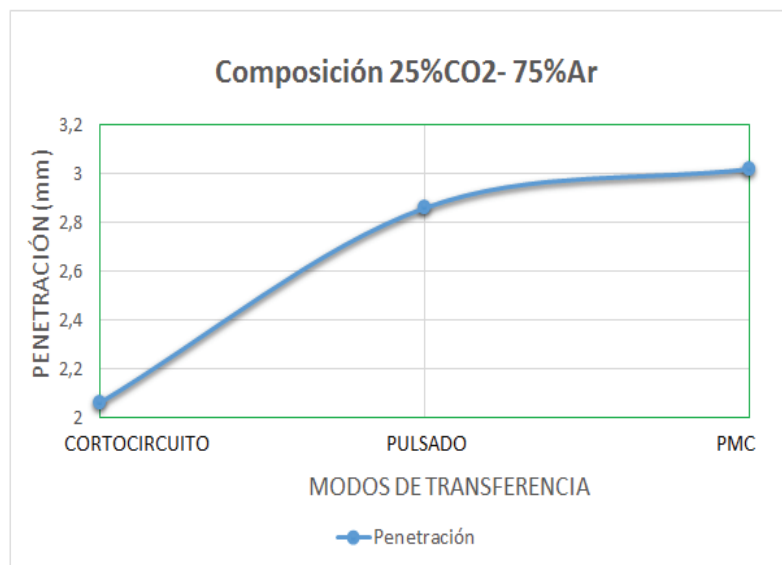


Gráfico 4.28 Penetración vs Modos de Transferencia

Para depósitos de soldadura, se observa en el gráfico 4.28, que la mejor penetración se produce con el modo de transferencia pulsado multi-control. Se tiene la misma tendencia cuando se utiliza una mezcla de 10%CO₂-90%Ar. Un aumento en el calor aportado se traduce en un incremento en la tasa de aportación del electrodo y una mayor fusión del material base, lo que implica una mayor penetración. Debido a que con el modo cortocircuito se produce menor aportación de calor que con arco pulsado, se obtuvo la menor penetración comparado con los demás modos de transferencia.

4.10.2. INFLUENCIA DEL MODO DE TRANSFERENCIA EN EL ANCHO DEL CORDÓN

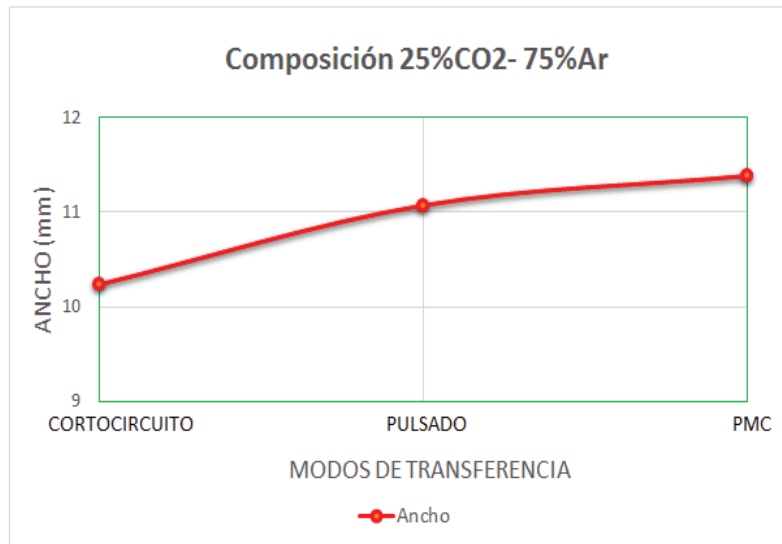


Gráfico 4.29 Ancho vs Modos de Transferencia

Respecto al ancho del cordón, se observa en la gráfica 4.29 que con arco pulsado y pulsado multi-control se obtuvieron tamaños similares. En cambio con cortocircuito se tiende a disminuir el ancho del cordón.

4.10.3. INFLUENCIA DEL MODO DE TRANSFERENCIA EN LA ALTURA DEL CORDÓN

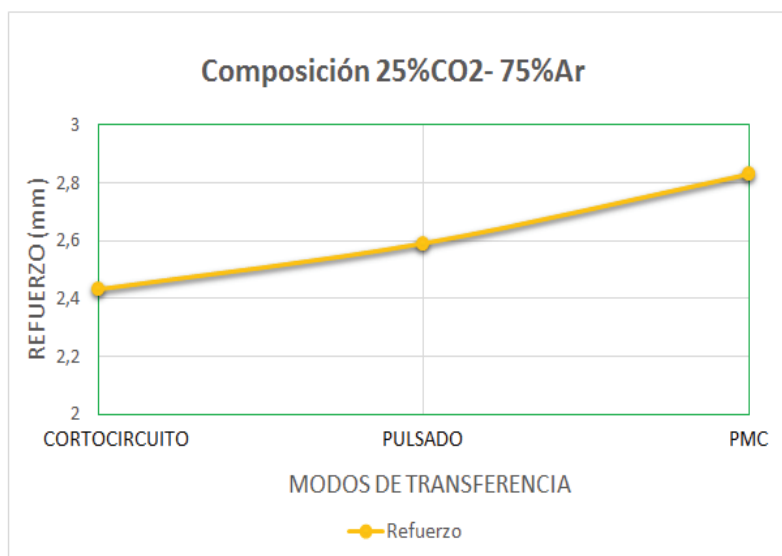


Gráfico 4.30 Altura de refuerzo vs Modos de Transferencia

En el gráfico 4.30, se observa en la curva que el cordón obtenido con el modo de transferencia cortocircuito además de tener menor penetración y menor ancho, también tiene menor altura de refuerzo debido a una menor aportación de calor. Es decir, con este modo de transferencia de metal se forman cordones más pequeños.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente capítulo está destinado a la presentación de las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron al finalizar el presente proyecto.

CONCLUSIONES

Generalmente los parámetros de soldadura son diferentes para cada composición del gas protector. Sin embargo, el propósito del presente análisis es comparar los efectos de la composición del gas en la formación del perfil de soldadura en el proceso GMAW. Por lo tanto, se utilizó los mismos parámetros para las diferentes mezclas de Ar y CO₂.

Cuando se utiliza el modo de transferencia por cortocircuito en juntas en T la penetración es directamente proporcional al porcentaje de CO₂ presente en la mezcla de gas protector. Además, la forma del perfil del cordón tiende a ser semicircular, aumentándose la profundidad de fusión y convexidad conforme aumenta el porcentaje de CO₂. Estos resultados se deben al calor de recombinación que se produce cuando se utiliza gases multi-atómicos como el CO₂.

El mejor perfil de cordón obtenido con el modo de transferencia cortocircuito es el soldado con una mezcla de 10% CO₂ -90% Ar (probeta C10F) debido a que tiene buena penetración y profundidad de fusión, concavidad leve y no presenta defectos de soldadura. El perfil soldado con 100% de CO₂ (probeta CDF) a pesar de tener la mayor penetración, presenta convexidad irregular lo cual representa un concentrador de esfuerzos. Y el perfil soldado con 25% de CO₂ tiene una falta de penetración en la raíz debido a la forma semicircular del perfil característica de la presencia del CO₂ en la mezcla, con lo que se consiguió una buena profundidad fusión pero poca garganta de soldadura.

Utilizando el modo de transferencia spray pulsado en juntas en T se obtuvo que existe influencia del CO₂ en la penetración sólo hasta porcentajes de 15%. En porcentajes mayores como 25% de CO₂, la penetración se mantuvo constante. Esto se debe a que el modo de transferencia spray tiene mayor compatibilidad con el Ar que con el CO₂.

El aumento en el porcentaje de CO₂ presente en la mezcla con Ar produce un aumento en el calor aportado al material base. El modo de transferencia spray aporta mayor cantidad de calor que cortocircuito y PMC. Por estas razones, utilizando este modo y con porcentajes mayores de 10% CO₂, existe la tendencia a producirse mordeduras.

Cuando se utiliza spray pulsado y pulsado multi-control, a medida que aumenta el porcentaje de CO₂ en la mezcla, disminuye la convexidad. Este efecto es contrario al cortocircuito, en el cual ésta aumenta.

Comparando entre los tres modos de transferencia utilizados con la misma composición del gas, se tiene que el modo spray pulsado produce mayor penetración. Esto se debe a que este es el modo que mayor aportación de calor produce al metal base. El modo PMC produce menor aportación de calor ya que controla la velocidad de alimentación cuando existen diferencias en la longitud el arco.

Los perfiles de soldadura de relleno obtenidos al soldar con el modo de transferencia cortocircuito presentaron medidas de penetración, ancho y altura de refuerzo menores que con spray pulsado y spray multi-control. Esto se debe a la menor aportación de calor del modo cortocircuito. Por esta razón, este modo es utilizado en la soldadura de materiales de bajo espesor.

Los perfiles obtenidos muestran la tendencia a la formación de cordones en forma de tachuela cuando mayor es el porcentaje de Ar en la mezcla. Esto se debe a la baja conductividad térmica del Ar. El calor producido en la columna del arco se concentra en el centro evitando que existe pérdidas de calor hacia el exterior del arco.

El perfil de soldadura que tiene forma de tachuela no es recomendable en soldaduras de filete debido a que el posicionamiento de la antorcha respecto a la probeta se vuelve un factor crítico para asegurar la fusión completa de las juntas. Esto se pudo evidenciar en la junta SP15F, en la cual se produjo una falta de fusión debido a que el ángulo de la probeta no fue el correcto y el perfil del cordón fue influenciado por una mayor presencia del Ar.

Luego de analizar las macrografías de los dos especímenes obtenidos de cada probeta, se obtuvo cordones de penetración casi constante con una variación de hasta 0.3mm. Esta mínima variación es muy difícil conseguir con un proceso manual y con una máquina que no tenga un estabilizador de penetración como el que tiene el equipo TPSi de Fronius.

RECOMENDACIONES

Durante el proceso de soldadura, el material base tiende a deformarse debido al aumento de calor. Por esta razón, antes de iniciar el proceso de soldadura es necesario sujetar adecuadamente las probetas a la mesa de trabajo para evitar que se deforme y así mantener constante el stick out a lo largo de la probeta.

Cuando se suelda en posición 1F y junta en T, se debe asegurar un ángulo de inclinación en la junta de 45°. De otra forma se obtendrá defectos y cordones de soldadura inadecuados.

Se recomienda realizar estudios posteriores de la influencia de gases como el oxígeno o nitrógeno en las características geométricas de los cordones de soldadura, estabilidad del arco o aumento de la tasa de aportación.

En la obtención de las probetas que se utilizaron para la soldadura de las juntas, se recomienda realizar los cortes con un enfriamiento líquido para no afectar la estructura del material.

Se recomienda profundizar este estudio utilizando otros materiales, ya que para cada material existe una influencia diferente.

Antes de realizar un procedimiento de soldadura es necesario cuidar el estado del material base y asegurar la limpieza de la superficie del material. Además se debe verificar que la superficie a soldar sea plana y libre de deformaciones debido a que esto influye directamente en la calidad de los cordones obtenidos.

En el laboratorio de soldadura debería implementarse equipos de alta tecnología que permitan realizar procesos de baja aportación térmica y de alta productividad, en los que se pueda tener un control del número de gotas suministradas en el proceso y conseguir procedimientos de soldadura más eficientes.

BIBLIOGRAFÍA

- Abelló Linde. (2004). Gases de protección para la soldadura. Pág. 7.
- American Welding Society, A. (1996). *Manual de soldadura*. México: Prentice Hall Hispanoamericana S.A.
- Andocilla, A., & Maldonado, D. (2007). *Ánisis de la transferencia de metal en los procesos GMAW (Tesis de pregrado)*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- ASM International. (1993). *ASM Handbook: Welding Brazing and Soldering*.
- AWS D1.1. (2010). *Código de Soldadura Estructural*. Miami.
- Carabali, J. (s.f.). *Atlantic International University*. Recuperado el 28 de 12 de 2015, de www.aiu.edu/publications/student/spanish/soldadura-en-ingenieria.htm
- Fronius International. (2014). Nuevo proceso por arco para una soldadura eficiente. *Fronius International GmbH, Marketing y Comunicación*, Diapositivas, 46 páginas.
- Fuentes, A. (11 de Noviembre de 2015). *wikispaces*. Obtenido de <https://materiales.wikispaces.com/Ataque+qu%C3%ADmico+metalogr%C3%A1fico>
- García, A. (2013). Energía de ionización simple en la soldadura con electrodo revestido. 73-74.
- HASHMI, M. (2014). *Comprehensive Materials Processing*. Finlandia: Elsevier Science & Technology Books.
- Lancaster, J. (1986). *The physics of welding*. Oxford: International Institute of Welding.
- Lincoln Electric. (12 de Octubre de 2015). *Metal Gas Arc Welding*. Obtenido de http://www.lincolnelectric.com/assets/global/Products/Consumable_MIGGMA_WWires-SuperArc-SuperArcL-56/c4200.pdf
- Ponomarev V., S. A. (13 de Diciembre de 2015). *Taillin University of Technology*. Obtenido de https://www.ttu.ee/.../MTT0050_E1815-01E.ppt

PRAXAIR. (1999). SHIELDING GASES SELECTION MANUAL. 3-12.

PROMETEC. (s.f.). Recuperado el 12 de 12 de 2015, de www.prometec.net:
<http://www.prometec.net/fuentes-de-alimentacion/>

Radio electronica.es. (25 de Octubre de 2010). Obtenido de
<http://www.radioelectronica.es/articulos-teoricos/18-fem-ley-de-ohm>

The linde Group. (13 de Noviembre de 2015). *Shielding gases*. Obtenido de
http://www.linde-gas.com/internet.global.lindegas.global/en/images/Overview_of_shielding_gases_60734_1217_82202.pdf

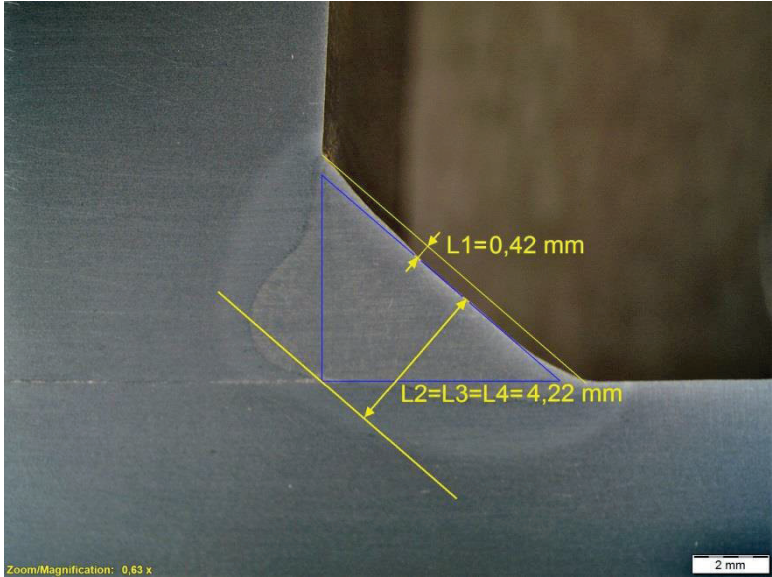
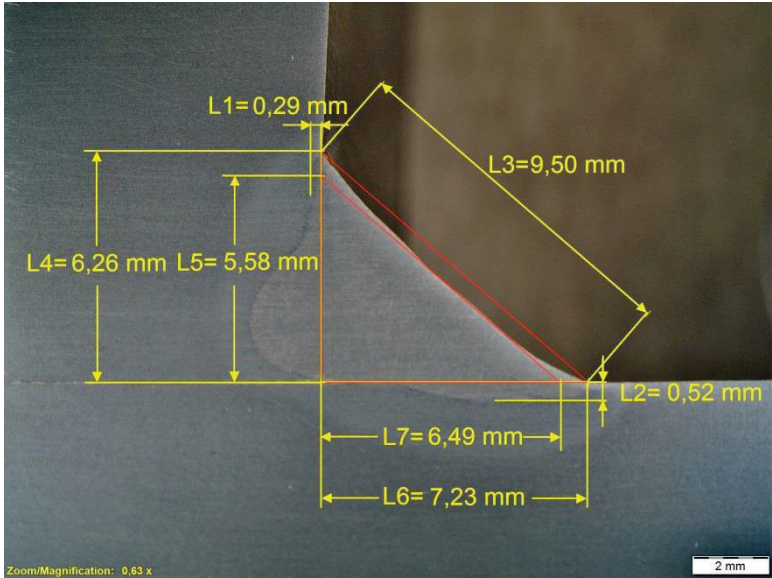



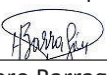
ANEXOS

ANEXO A

Informes Macrográficos

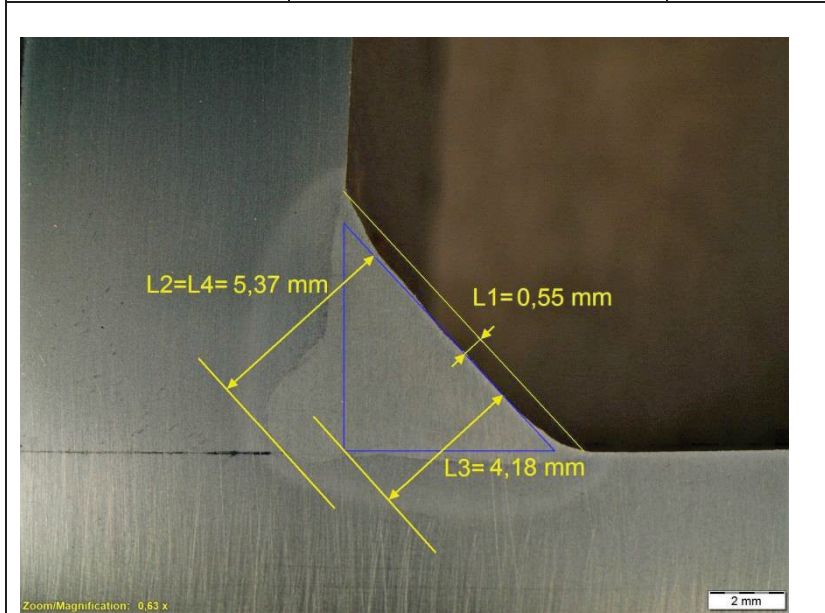
En este anexo se muestran las macrográficas realizadas durante el proyecto dentro de un informe detallado de las dimensiones de los parámetros geométricos obtenidos y los defectos encontrados.

En el informe para la identificación de las probetas se establece un código para cada una de estas. La designación del código se especifica en el capítulo 2, tabla 2.6.

INFORME DE LABORATORIO MACROGRAFÍA DE SOLDADURA			
IDENTIFICACIÓN:	C10F	MACROGRAFÍA:	Macro N°1
MOTIVO:	Análisis de conformación del cordón de soldadura	FECHA REALIZACIÓN:	12/11/2015
AMPLIACIÓN:	6.3X	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:	Microscopio Olympus SZX7
CRITERIO ACEPTACIÓN:	Según AWS D1.1 M:2010		
		<p>DIMENSIONES: L1= 0,42 mm L2=L3=L4=4,22 mm</p> <p>Nota: L1= Convexidad L2= Garganta Efectiva L3= Garganta Teórica L4= Garganta Real</p> <p>OBSERVACIONES: No se observa ningún defecto. El cordón presenta concavidad que no excede el límite máximo de 3mm establecido en la norma AWS D1.1</p>	
			
Realizado por:	Realizado por:	Supervisado por:	Aprobado por:
			
Tamara Monar	Juan Carlos Segovia	Ing. Carlos Díaz Laboratorio Metalografía	Ing. Homero Barragán CWI. 09073911

**INFORME DE LABORATORIO
MACROGRAFÍA DE SOLDADURA**

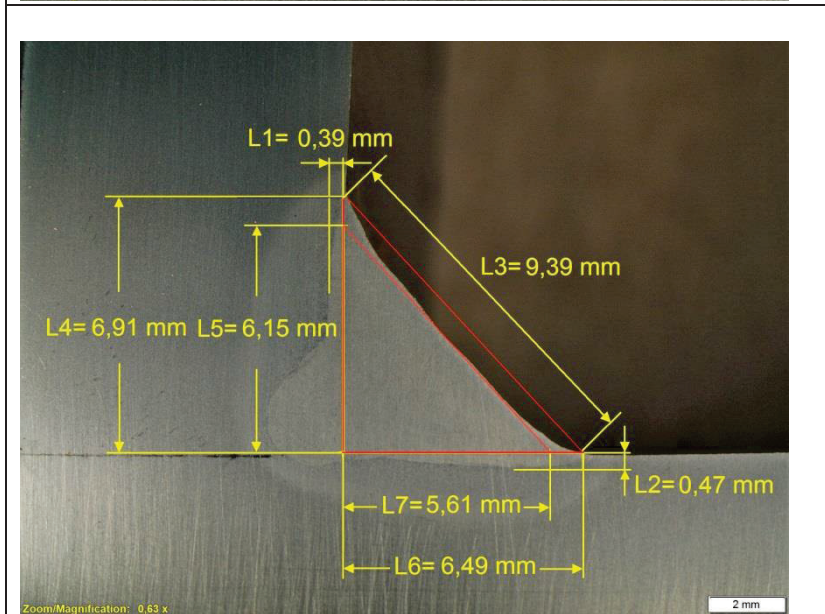
IDENTIFICACIÓN:	C10F	MACROGRAFÍA:	Macro Nº2
MOTIVO:	Análisis de conformación del cordón de soldadura	FECHA REALIZACIÓN:	12/11/2015
AMPLIACIÓN:	6.3X	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:	Microscopio Olympus SZX7
CRITERIO ACEPTACIÓN:	Según AWS D1.1 M:2010		



DIMENSIONES:
 L1=0,55 mm
 L2=L4= 5,37 mm
 L3= 4,18 mm

Nota:
 L1= Convexidad
 L2= Garganta Efectiva
 L3= Garganta Teórica
 L4= Garganta Real

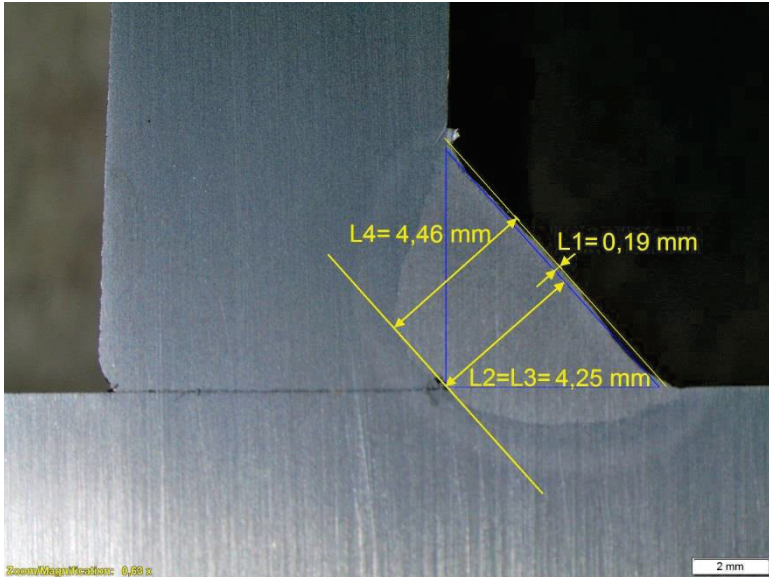
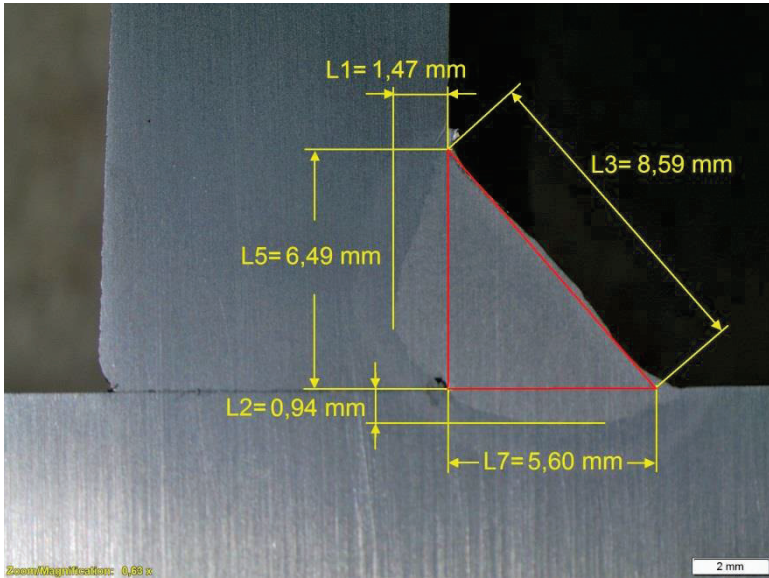
OBSERVACIONES:
 No se observa ningún defecto.
 El cordón presenta concavidad que no excede el límite máximo de 3mm establecido en la norma AWS D1.1



DIMENSIONES:
 L1= 0,39 mm
 L2= 0,47 mm
 L3= 9,39 mm
 L4= 6,91 mm
 L5= 6,15 mm
 L6= 6,49 mm
 L7= 5,61 mm

Nota:
 L1= Profundidad de fusión vertical.
 L2= Profundidad de fusión horizontal.
 L3= Ancho del cordón.
 L4= Tamaño del cordón de soldadura vertical.
 L5= Longitud de pierna vertical.
 L6= Tamaño del cordón de soldadura horizontal.
 L7= Longitud de pierna horizontal.

Realizado por: Tamara Monar	Realizado por: Juan Carlos Segovia	Supervisado por: Ing. Carlos Díaz Laboratorio Metalografía	Aprobado por: Ing. Homero Barragán CWI. 09073911
------------------------------------	---	--	--

INFORME DE LABORATORIO MACROGRAFÍA DE SOLDADURA			
IDENTIFICACIÓN:	C25F	MACROGRAFÍA:	Macro N°1
MOTIVO:	Análisis de conformación del cordón de soldadura	FECHA REALIZACIÓN:	12/11/2015
AMPLIACIÓN:	6.3X	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:	Microscopio Olympus SZX7
CRITERIO ACEPTACIÓN:	Según AWS D1.1 M:2010		
		<p>DIMENSIONES: L1= 0,19 mm L2=L3= 4,25 mm L4=4,46 mm</p> <p>Nota: L1= Convexidad L2= Garganta Efectiva L3= Garganta Teórica L4= Garganta Real</p> <p>OBSERVACIONES: Se observa falta de penetración en la raíz de la soldadura. El cordón presenta leve convexidad que no excede el límite máximo de 3mm establecido en la norma AWS D1.1</p>	
		<p>DIMENSIONES: L1= 1,47 mm L2= 0,94 mm L3= 8,59 mm L4=L5= 6,49 mm L6=L7= 5,60 mm</p> <p>Nota: L1= Profundidad de fusión vertical. L2= Profundidad de fusión horizontal. L3= Ancho del cordón. L4= Tamaño del cordón de soldadura vertical. L5= Longitud de pierna vertical. L6= Tamaño del cordón de soldadura horizontal. L7= Longitud de pierna horizontal.</p>	

Realizado por:



Tamara Monar

Realizado por:



Juan Carlos Segovia

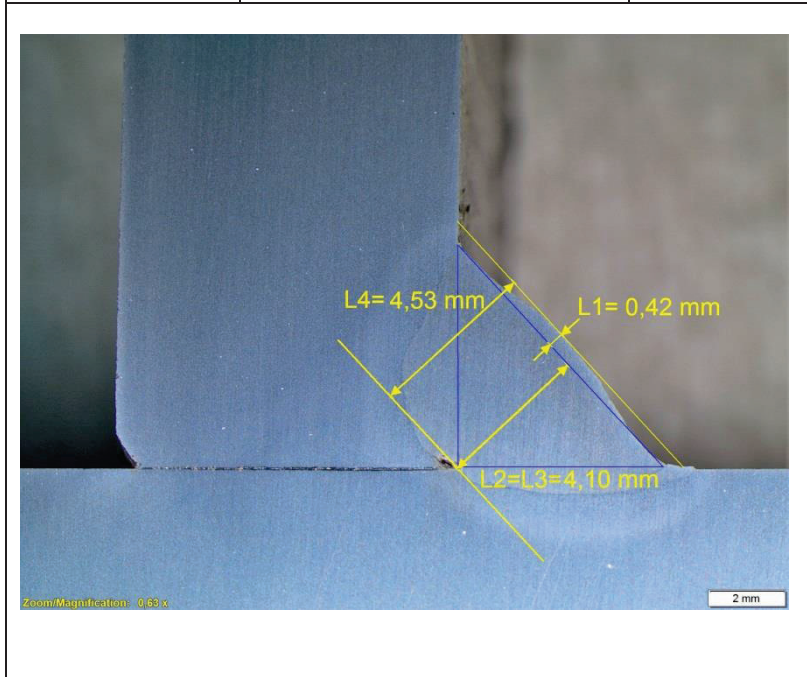
Supervisado por:


Ing. Carlos Díaz
Laboratorio Metalografía

Aprobado por:


Ing. Homero Barragán
CWI. 09073911

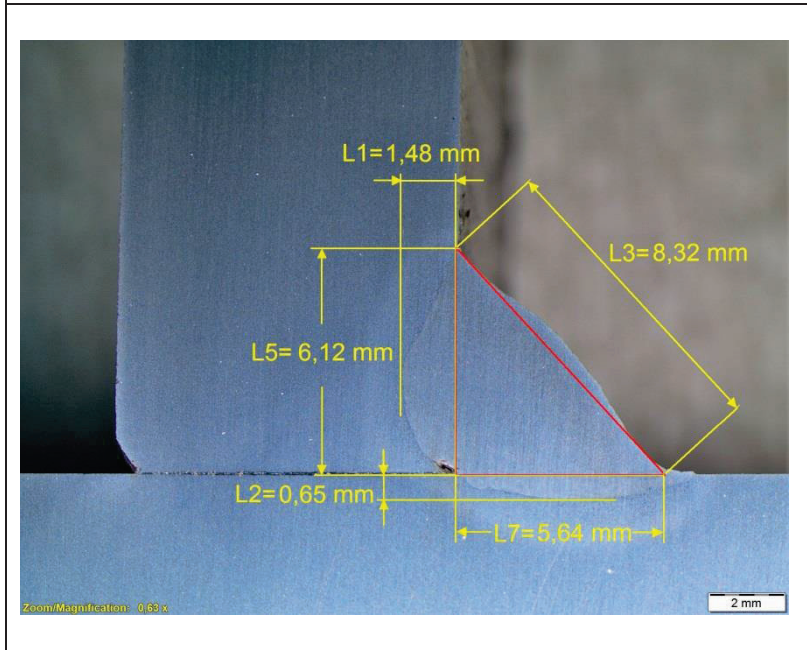
INFORME DE LABORATORIO MACROGRAFÍA DE SOLDADURA			
IDENTIFICACIÓN:	C25F	MACROGRAFÍA:	Macro N°2
MOTIVO:	Análisis de conformación del cordón de soldadura	FECHA REALIZACIÓN:	12/11/2015
AMPLIACIÓN:	6.3X	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:	Microscopio Olympus SZX7
CRITERIO ACEPTACIÓN:	Según AWS D1.1 M:2010		



DIMENSIONES:
 L1= 0,42 mm
 L2=L3= 4,10 mm
 L4=4,53 mm

Nota:
 L1= Convexidad
 L2= Garganta Efectiva
 L3= Garganta Teórica
 L4= Garganta Real

OBSERVACIONES:
 Se observa falta de penetración en la raíz de la soldadura. El cordón presenta leve convexidad que no excede el límite máximo de 3mm establecido en la norma AWS D1.1

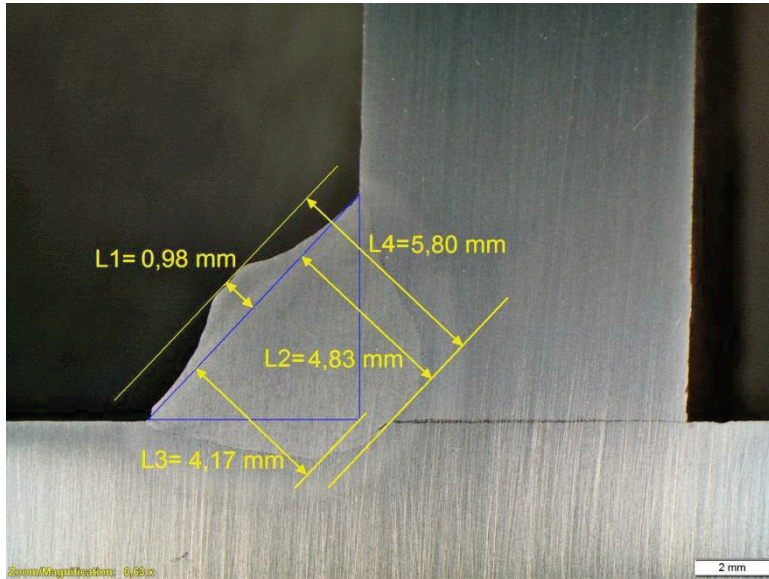


DIMENSIONES:
 L1= 1,48 mm
 L2= 0,65 mm
 L3= 8,32 mm
 L4=L5= 6,12 mm
 L6=L7= 5,64 mm

Nota:
 L1= Profundidad de fusión vertical.
 L2= Profundidad de fusión horizontal.
 L3= Ancho del cordón.
 L4= Tamaño del cordón de soldadura vertical.
 L5= Longitud de pierna vertical.
 L6= Tamaño del cordón de soldadura horizontal.
 L7= Longitud de pierna horizontal.

Realizado por: Tamara Monar	Realizado por: Juan Carlos Segovia	Supervisado por: Ing. Carlos Díaz Laboratorio Metalografía	Aprobado por: Ing. Homero Barragán CWI. 09073911
------------------------------------	---	--	--

INFORME DE LABORATORIO MACROGRAFÍA DE SOLDADURA			
IDENTIFICACIÓN:	CDF	MACROGRAFÍA:	Macro N°1
MOTIVO:	Análisis de conformación del cordón de soldadura	FECHA REALIZACIÓN:	12/11/2015
AMPLIACIÓN:	6.3X	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:	Microscopio Olympus SZX7
CRITERIO ACEPTACIÓN:	Según AWS D1.1 M:2010		



DIMENSIONES:

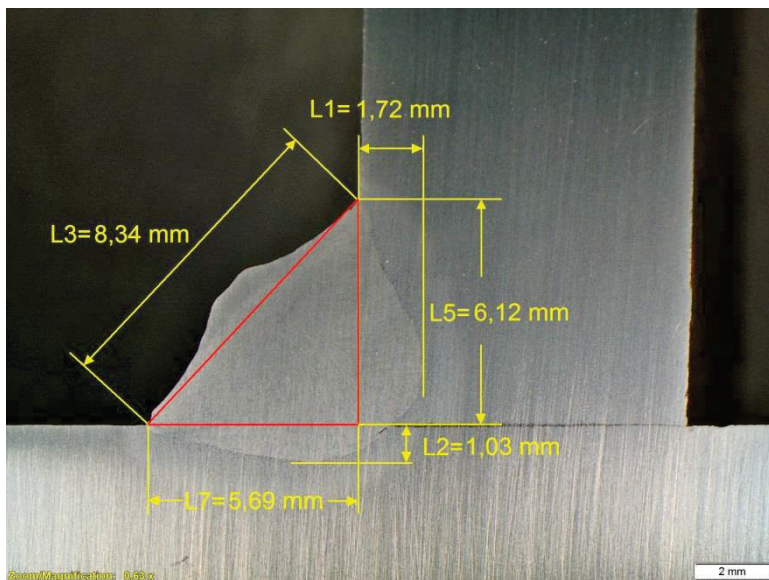
L1= 0,98 mm
L2= 4,83 mm
L3= 4,17 mm
L4= 5,80 mm

Nota:

L1= Convexidad
L2= Garganta Efectiva
L3= Garganta Teórica
L4= Garganta Real

OBSERVACIONES:

No se observa ningún defecto de soldadura.
El cordón presenta convexidad que no excede el límite máximo de 3mm establecido en la norma AWS D1.1







DIMENSIONES:

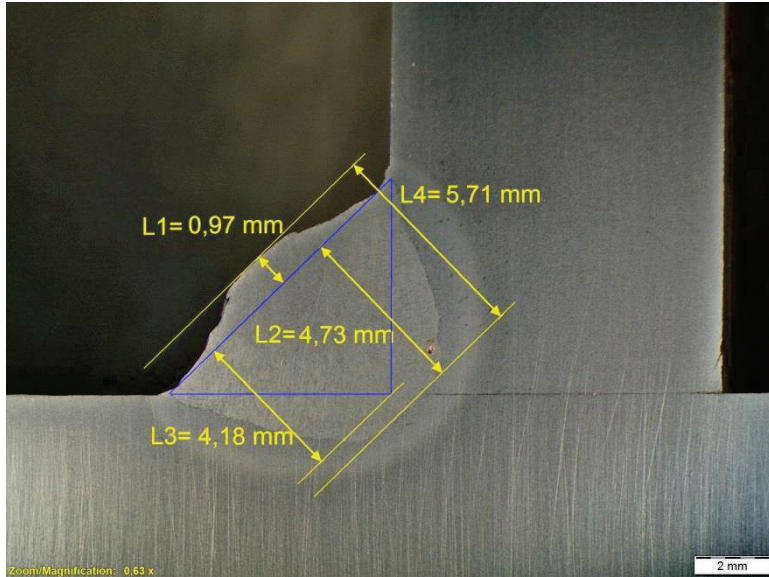
L1= 1,72 mm
L2= 1,03 mm
L3= 8,34 mm
L4=L5= 6,12 mm
L6=L7= 5,69 mm

Nota:

L1= Profundidad de fusión vertical.
L2= Profundidad de fusión horizontal.
L3= Ancho del cordón.
L4= Tamaño del cordón de soldadura vertical.
L5= Longitud de pierna vertical.
L6= Tamaño del cordón de soldadura horizontal.
L7= Longitud de pierna horizontal.

Realizado por:  Tamara Monar	Realizado por:  Juan Carlos Segovia	Supervisado por:  Ing. Carlos Díaz Laboratorio Metalografía	Aprobado por:  Ing. Homero Barragán CWI. 09073911
---	--	--	---

INFORME DE LABORATORIO MACROGRAFÍA DE SOLDADURA			
IDENTIFICACIÓN:	CDF	MACROGRAFÍA:	Macro N°2
MOTIVO:	Análisis de conformación del cordón de soldadura	FECHA REALIZACIÓN:	12/11/2015
AMPLIACIÓN:	6.3X	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:	Microscopio Olympus SZX7
CRITERIO ACEPTACIÓN:	Según AWS D1.1 M:2010		



DIMENSIONES:

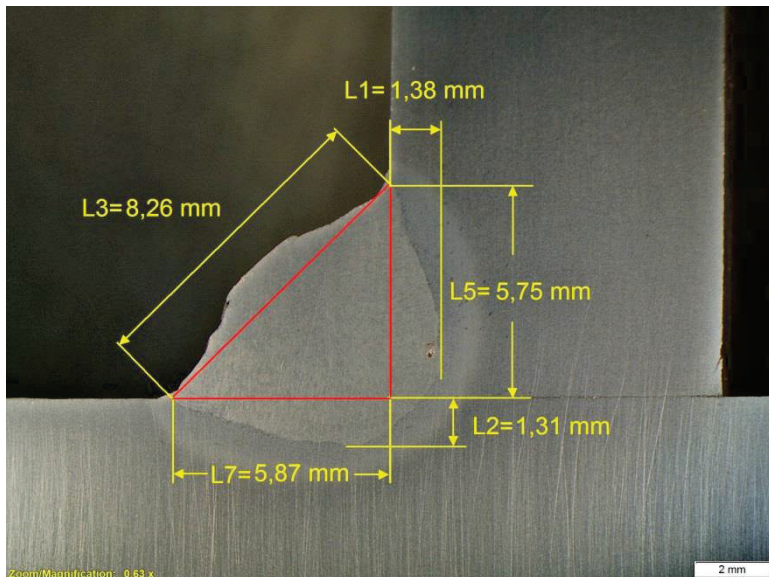
L1= 0,97 mm
L2= 4,73 mm
L3= 4,18 mm
L4= 5,71 mm

Nota:

L1= Convexidad
L2= Garganta Efectiva
L3= Garganta Teórica
L4= Garganta Real

OBSERVACIONES:

No se observa ningún defecto de soldadura.
El cordón presenta convexidad que no excede el límite máximo de 3mm establecido en la norma AWS D1.1



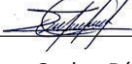
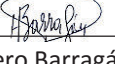


DIMENSIONES:

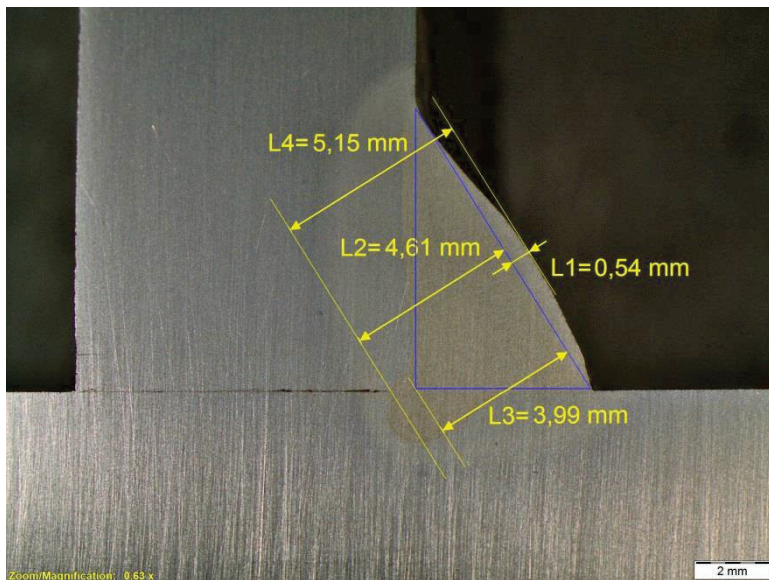
L1= 1,38 mm
L2= 1,31 mm
L3= 8,26 mm
L4=L5= 5,75 mm
L6=L7= 5,87 mm

Nota:

L1= Profundidad de fusión vertical.
L2= Profundidad de fusión horizontal.
L3= Ancho del cordón.
L4= Tamaño del cordón de soldadura vertical.
L5= Longitud de pierna vertical.
L6= Tamaño del cordón de soldadura horizontal.
L7= Longitud de pierna horizontal.

Realizado por:  Tamara Monar	Realizado por:  Juan Carlos Segovia	Supervisado por:  Ing. Carlos Díaz Laboratorio Metalografía	Aprobado por:  Ing. Homero Barragán CWI. 09073911
---	--	--	---

INFORME DE LABORATORIO MACROGRAFÍA DE SOLDADURA			
IDENTIFICACIÓN:	P10F	MACROGRAFÍA:	Macro N°1
MOTIVO:	Análisis de conformación del cordón de soldadura	FECHA REALIZACIÓN:	12/11/2015
AMPLIACIÓN:	6.3X	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:	Microscopio Olympus SZX7
CRITERIO ACEPTACIÓN:	Según AWS D1.1 M:2010		



DIMENSIONES:

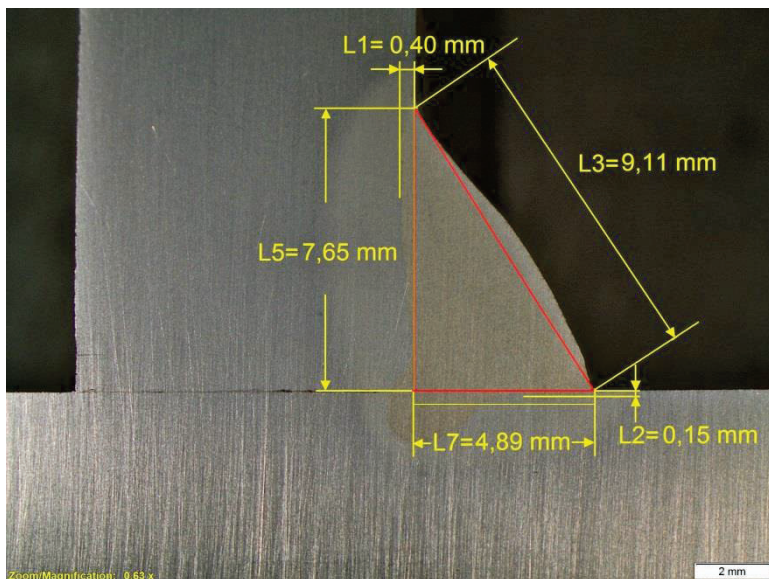
L1= 0,54 mm
L2= 4,61 mm
L3= 3,99 mm
L4= 5,15 mm

Nota:

L1= Convexidad
L2= Garganta Efectiva
L3= Garganta Teórica
L4= Garganta Real

OBSERVACIONES:

No se observa ningún defecto de soldadura.
El cordón presenta convexidad que no excede el límite máximo de 3mm establecido en la norma AWS D1.1







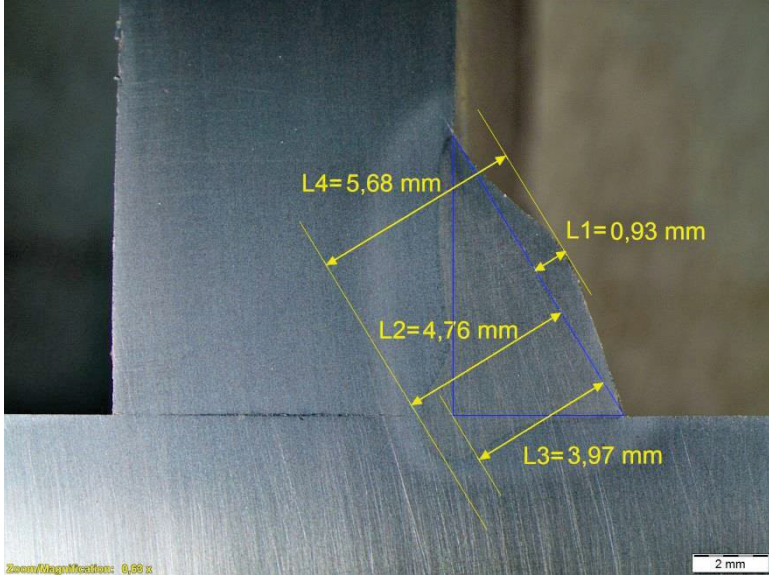
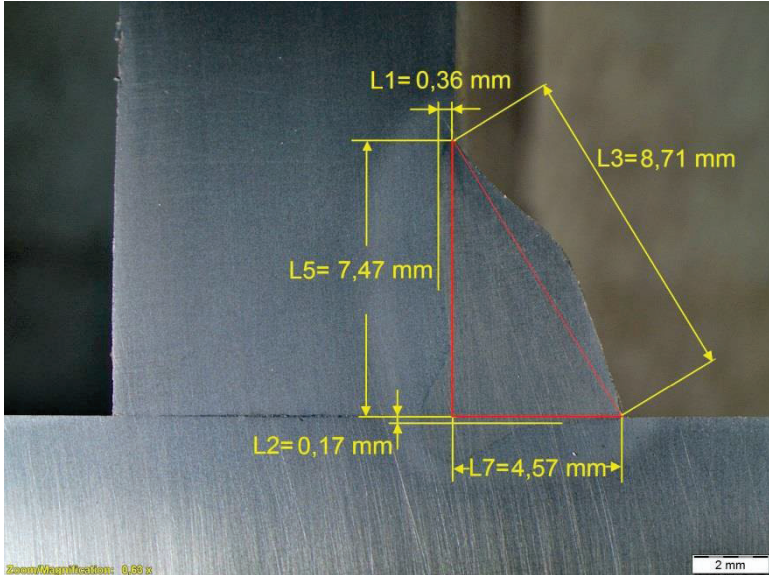




DIMENSIONES:

L1= 0,40 mm
L2= 0,15 mm
L3= 9,11 mm
L4=L5= 7,65 mm
L6=L7= 4,89 mm

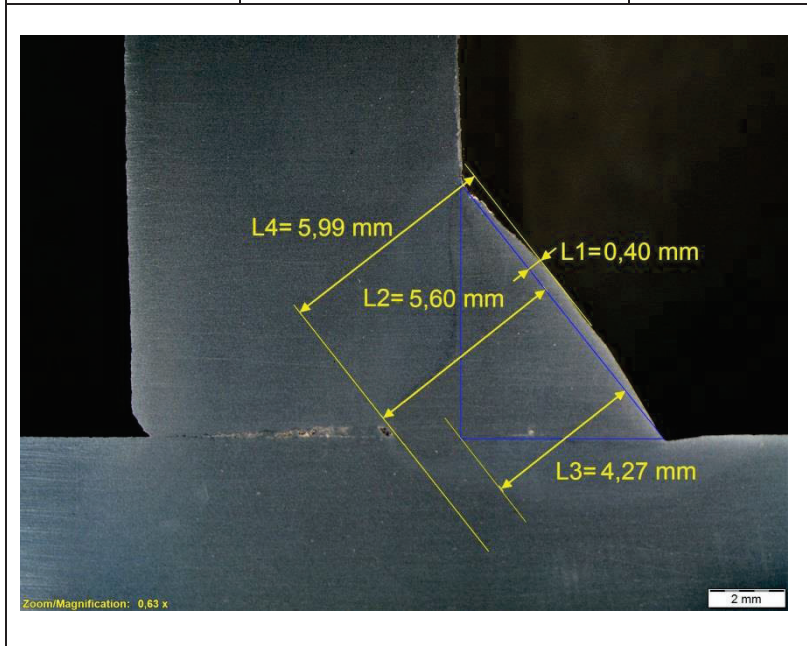
Nota:

L1= Profundidad de fusión vertical.
L2= Profundidad de fusión horizontal.
L3= Ancho del cordón.
L4= Tamaño del cordón de soldadura vertical.
L5= Longitud de pierna vertical.
L6= Tamaño del cordón de soldadura horizontal.
L7= Longitud de pierna horizontal.

Realizado por:  Tamara Monar	Realizado por:  Juan Carlos Segovia	Supervisado por:  Ing. Carlos Díaz Laboratorio Metalografía	Aprobado por:  Ing. Homero Barragán CWI. 09073911
---	--	--	---

INFORME DE LABORATORIO MACROGRAFÍA DE SOLDADURA			
IDENTIFICACIÓN:	P10F	MACROGRAFÍA:	Macro N°2
MOTIVO:	Análisis de conformación del cordón de soldadura	FECHA REALIZACIÓN:	12/11/2015
AMPLIACIÓN:	6.3X	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:	Microscopio Olympus SZX7
CRITERIO ACEPTACIÓN:	Según AWS D1.1 M:2010		
		<p>DIMENSIONES: L1= 0,93 mm L2= 4,76 mm L3= 3,97 mm L4= 5,68 mm</p> <p>Nota: L1= Convexidad L2= Garganta Efectiva L3= Garganta Teórica L4= Garganta Real</p> <p>OBSERVACIONES: No se observa ningún defecto de soldadura. El cordón presenta convexidad que no excede el límite máximo de 3mm establecido en la norma AWS D1.1</p>	
		<p>DIMENSIONES: L1= 0,36 mm L2= 0,17 mm L3= 8,71 mm L4=L5= 7,47 mm L6=L7= 4,57 mm</p> <p>Nota: L1= Profundidad de fusión vertical. L2= Profundidad de fusión horizontal. L3= Ancho del cordón. L4= Tamaño del cordón de soldadura vertical. L5= Longitud de pierna vertical. L6= Tamaño del cordón de soldadura horizontal. L7= Longitud de pierna horizontal.</p>	
Realizado por:	Realizado por:	Supervisado por:	Aprobado por:
			
Tamara Monar	Juan Carlos Segovia	Ing. Carlos Díaz Laboratorio Metalografía	Ing. Homero Barragán CWI. 09073911

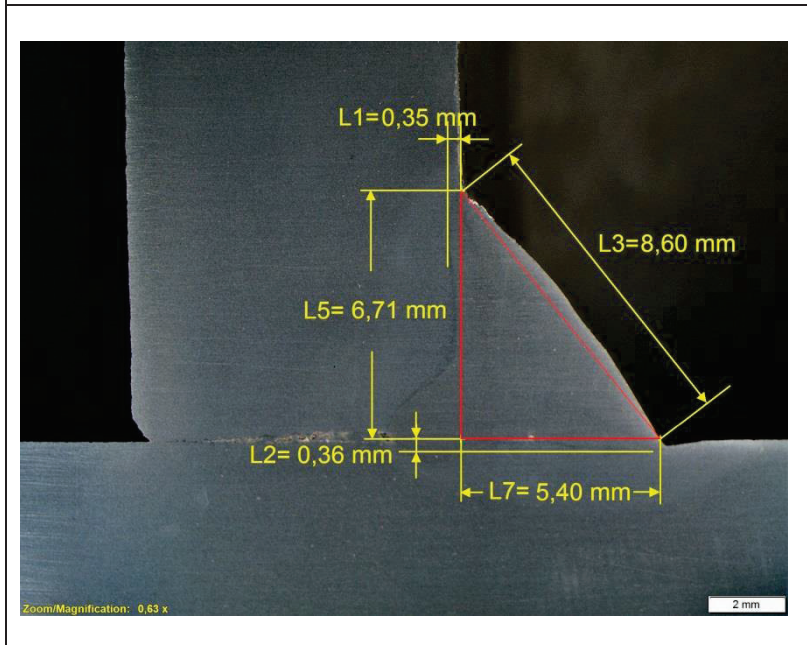
INFORME DE LABORATORIO MACROGRAFÍA DE SOLDADURA			
IDENTIFICACIÓN:	P15F	MACROGRAFÍA:	Macro N°1
MOTIVO:	Análisis de conformación del cordón de soldadura	FECHA REALIZACIÓN:	12/11/2015
AMPLIACIÓN:	6.3X	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:	Microscopio Olympus SZX7
CRITERIO ACEPTACIÓN:	Según AWS D1.1 M:2010		



DIMENSIONES:
 L1= 0,40 mm
 L2= 5,60 mm
 L3= 4,27 mm
 L4= 5,99 mm

Nota:
 L1= Convexidad
 L2= Garganta Efectiva
 L3= Garganta Teórica
 L4= Garganta Real

OBSERVACIONES:
 No se observa ningún defecto de soldadura.
 El cordón presenta leve convexidad que no excede el límite máximo de 3mm establecido en la norma AWS D1.1

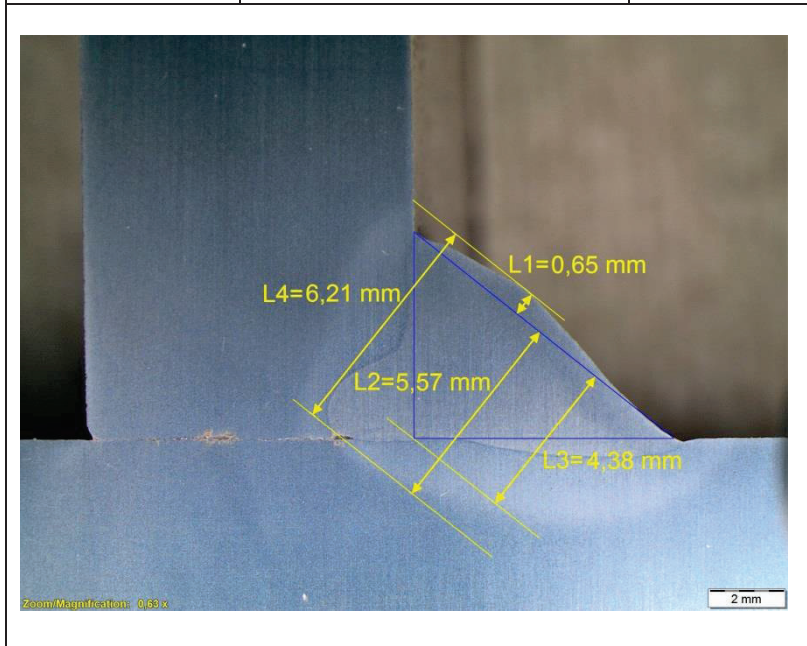


DIMENSIONES:
 L1= 0,35 mm
 L2= 0,36 mm
 L3= 8,60 mm
 L4=L5= 6,71 mm
 L6=L7= 5,40 mm

Nota:
 L1= Profundidad de fusión vertical.
 L2= Profundidad de fusión horizontal.
 L3= Ancho del cordón.
 L4= Tamaño del cordón de soldadura vertical.
 L5= Longitud de pierna vertical.
 L6= Tamaño del cordón de soldadura horizontal.
 L7= Longitud de pierna horizontal.

Realizado por: Tamara Monar	Realizado por: Juan Carlos Segovia	Supervisado por: Ing. Carlos Díaz Laboratorio Metalografía	Aprobado por: Ing. Homero B arragán CWI. 09073911
------------------------------------	---	--	---

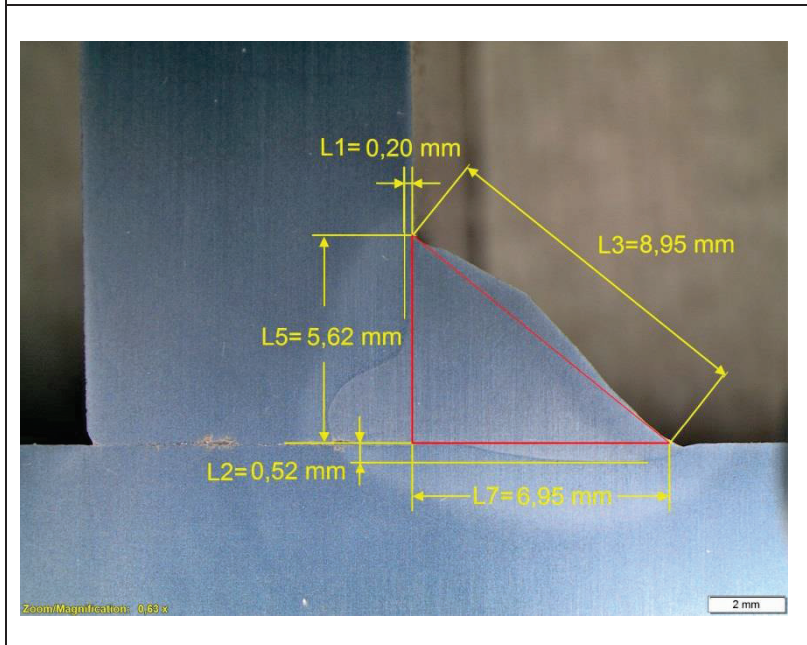
INFORME DE LABORATORIO MACROGRAFÍA DE SOLDADURA			
IDENTIFICACIÓN:	P15F	MACROGRAFÍA:	Macro N°2
MOTIVO:	Análisis de conformación del cordón de soldadura	FECHA REALIZACIÓN:	12/11/2015
AMPLIACIÓN:	6.3X	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:	Microscopio Olympus SZX7
CRITERIO ACEPTACIÓN:	Según AWS D1.1 M:2010		



DIMENSIONES:
 L1= 0,65 mm
 L2= 5,57 mm
 L3= 4,38 mm
 L4= 6,21 mm

Nota:
 L1= Convexidad
 L2= Garganta Efectiva
 L3= Garganta Teórica
 L4= Garganta Real

OBSERVACIONES:
 Se observa una falta de fusión en la raíz.
 El cordón presenta leve convexidad que no excede el límite máximo de 3mm establecido en la norma AWS D1.1

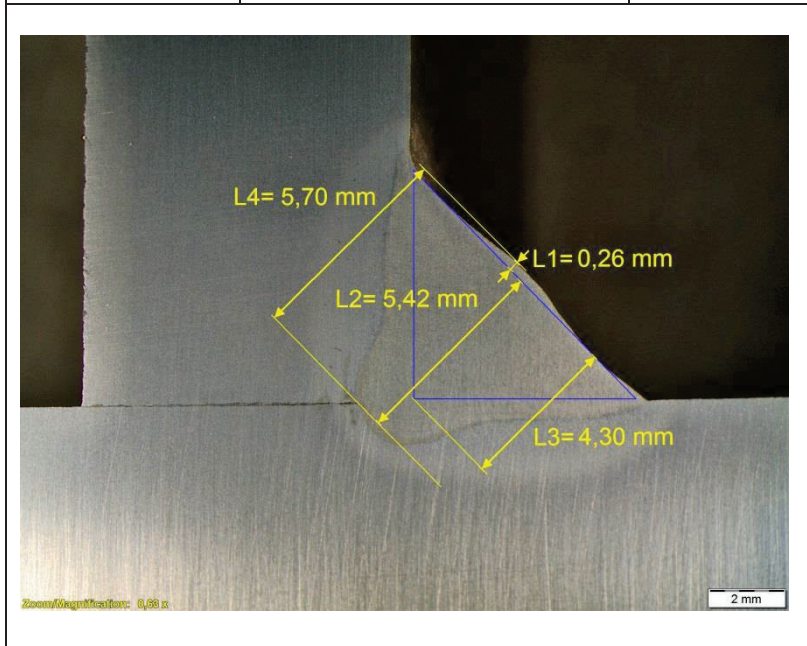


DIMENSIONES:
 L1= 0,20 mm
 L2= 0,52 mm
 L3= 8,95 mm
 L4=L5= 5,62 mm
 L6=L7= 6,95 mm

Nota:
 L1= Profundidad de fusión vertical.
 L2= Profundidad de fusión horizontal.
 L3= Ancho del cordón.
 L4= Tamaño del cordón de soldadura vertical.
 L5= Longitud de pierna vertical.
 L6= Tamaño del cordón de soldadura horizontal.
 L7= Longitud de pierna horizontal.

Realizado por: Tamara Monar	Realizado por: Juan Carlos Segovia	Supervisado por: Ing. Carlos Díaz Laboratorio Metalografía	Aprobado por: Ing. Homero Barragán CWI. 0 9073911
------------------------------------	---	--	---

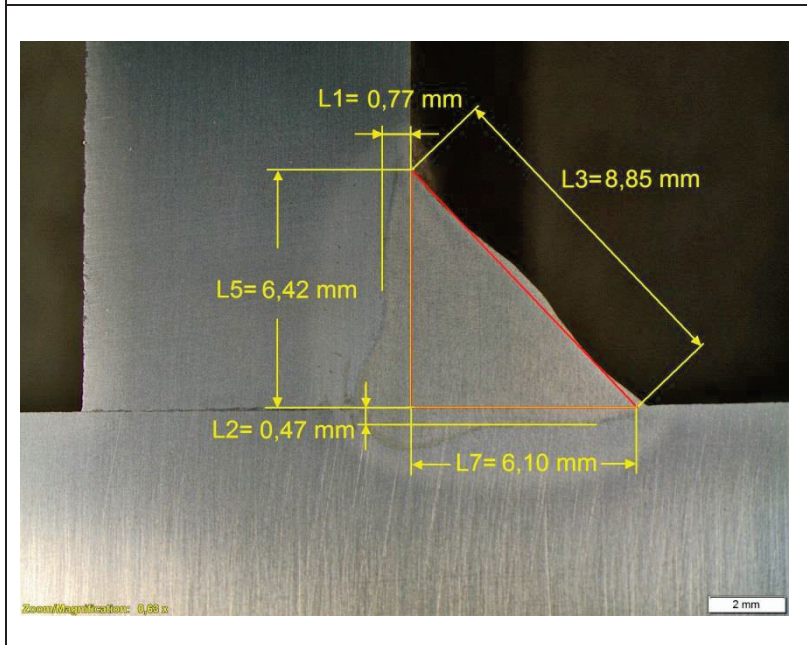
INFORME DE LABORATORIO MACROGRAFÍA DE SOLDADURA			
IDENTIFICACIÓN:	P25F	MACROGRAFÍA:	Macro N°1
MOTIVO:	Análisis de conformación del cordón de soldadura	FECHA REALIZACIÓN:	12/11/2015
AMPLIACIÓN:	6.3X	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:	Microscopio Olympus SZX7
CRITERIO ACEPTACIÓN:	Según AWS D1.1 M:2010		



DIMENSIONES:
 L1= 0,26 mm
 L2= 5,42 mm
 L3= 4,30 mm
 L4= 5,70 mm

Nota:
 L1= Convexidad
 L2= Garganta Efectiva
 L3= Garganta Teórica
 L4= Garganta Real

OBSERVACIONES:
 No se observa ningún defecto de soldadura.
 El cordón presenta leve convexidad que no excede el límite máximo de 3mm establecido en la norma AWS D1.1



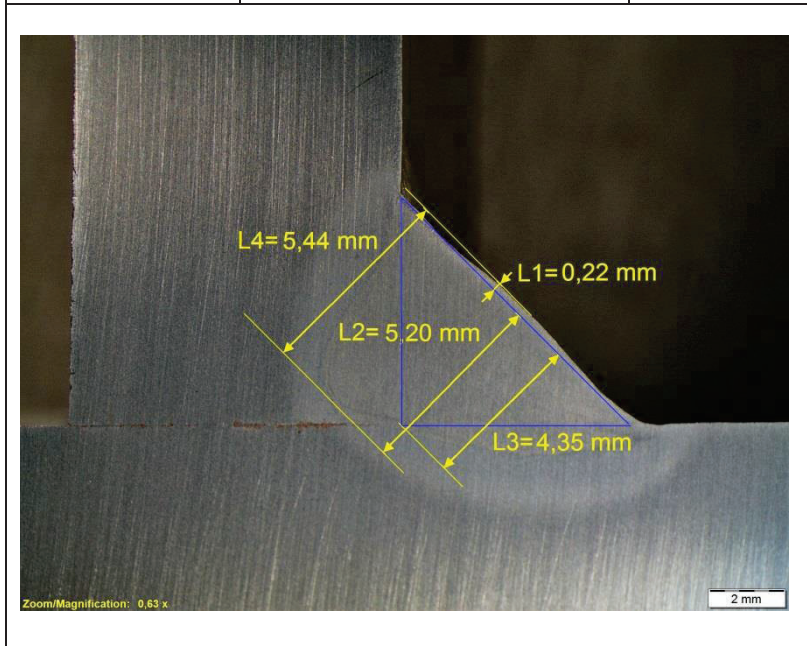
DIMENSIONES:
 L1= 0,77 mm
 L2= 0,47 mm
 L3= 8,85 mm
 L4=L5= 6,42 mm
 L6=L7= 6,10 mm

Nota:
 L1= Profundidad de fusión vertical.
 L2= Profundidad de fusión horizontal.
 L3= Ancho del cordón.
 L4= Tamaño del cordón de soldadura vertical.
 L5= Longitud de pierna vertical.
 L6= Tamaño del cordón de soldadura horizontal.
 L7= Longitud de pierna horizontal.

Realizado por: Tamara Monar	Realizado por: Juan Carlos Segovia	Supervisado por: Ing. Carlos Díaz Laboratorio Metalografía	Aprobado por: Ing. Homero Barragán CWI. 09073911
------------------------------------	---	--	--

**INFORME DE LABORATORIO
MACROGRAFÍA DE SOLDADURA**

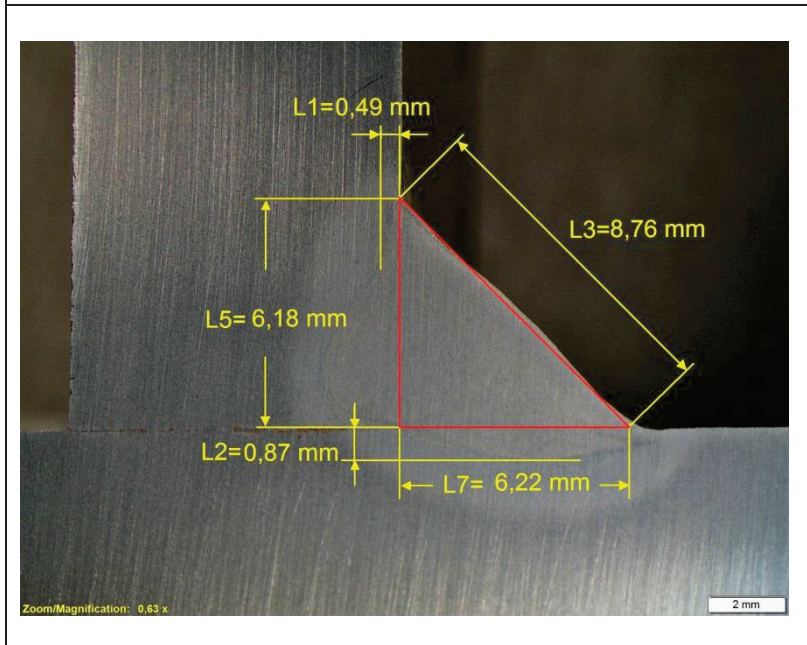
IDENTIFICACIÓN:	P25F	MACROGRAFÍA:	Macro N°2
MOTIVO:	Análisis de conformación del cordón de soldadura	FECHA REALIZACIÓN:	12/11/2015
AMPLIACIÓN:	6.3X	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:	Microscopio Olympus SZX7
CRITERIO ACEPTACIÓN:	Según AWS D1.1 M:2010		



DIMENSIONES:
 L1= 0,22 mm
 L2= 5,20 mm
 L3= 4,35 mm
 L4= 5,44 mm

Nota:
 L1= Convexidad
 L2= Garganta Efectiva
 L3= Garganta Teórica
 L4= Garganta Real

OBSERVACIONES:
 No se observa ningún defecto de soldadura.
 El cordón presenta leve convexidad que no excede el límite máximo de 3mm establecido en la norma AWS D1.1

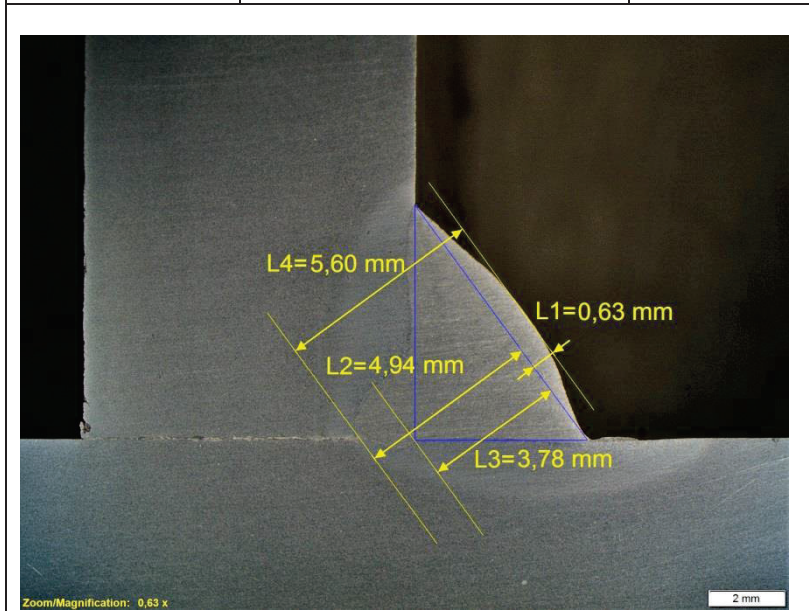


DIMENSIONES:
 L1= 0,49 mm
 L2= 0,87 mm
 L3= 8,76 mm
 L4=L5= 6,18 mm
 L6=L7= 6,22 mm

Nota:
 L1= Profundidad de fusión vertical.
 L2= Profundidad de fusión horizontal.
 L3= Ancho del cordón.
 L4= Tamaño del cordón de soldadura vertical.
 L5= Longitud de pierna vertical.
 L6= Tamaño del cordón de soldadura horizontal.
 L7= Longitud de pierna horizontal.

Realizado por: Tamara Monar	Realizado por: Juan Carlos Segovia	Supervisado por: Ing. Carlos Díaz Laboratorio Metalografía	Aprobado por: Ing. Homero Barragán CWI. 09073 911
------------------------------------	---	--	---

INFORME DE LABORATORIO MACROGRAFÍA DE SOLDADURA			
IDENTIFICACIÓN:	SP10F	MACROGRAFÍA:	Macro N°1
MOTIVO:	Análisis de conformación del cordón de soldadura	FECHA REALIZACIÓN:	12/11/2015
AMPLIACIÓN:	6.3X	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:	Microscopio Olympus SZX7
CRITERIO ACEPTACIÓN:	Según AWS D1.1 M:2010		



DIMENSIONES:

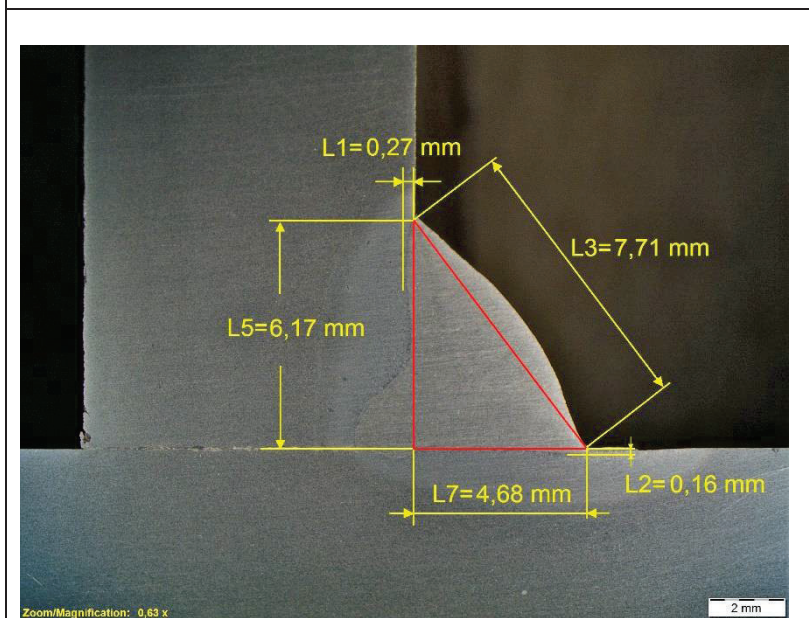
- L1= 0,63 mm
- L2= 4,94 mm
- L3= 3,78 mm
- L4= 5,60 mm

Nota:

- L1= Convexidad
- L2= Garganta Efectiva
- L3= Garganta Teórica
- L4= Garganta Real

OBSERVACIONES:

No se observa ningún defecto de soldadura.
El cordón presenta convexidad que no excede el límite máximo de 3mm establecido en la norma AWS D1.1



DIMENSIONES:

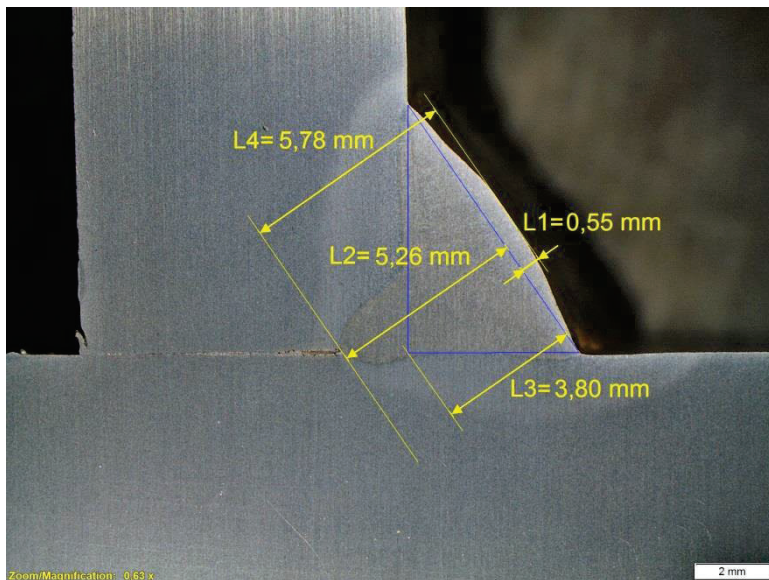
- L1= 0,27 mm
- L2= 0,16 mm
- L3= 7,71 mm
- L4=L5= 6,17 mm
- L6=L7= 4,68 mm

Nota:

- L1= Profundidad de fusión vertical.
- L2= Profundidad de fusión horizontal.
- L3= Ancho del cordón.
- L4= Tamaño del cordón de soldadura vertical.
- L5= Longitud de pierna vertical.
- L6= Tamaño del cordón de soldadura horizontal.
- L7= Longitud de pierna horizontal.

Realizado por: Tamara Monar	Realizado por: Juan Carlos Segovia	Supervisado por: Ing. Carlos Díaz Laboratorio Metalografía	Aprobado por: Ing. Homero Barragán CWI. 09073911
------------------------------------	---	--	--

INFORME DE LABORATORIO MACROGRAFÍA DE SOLDADURA			
IDENTIFICACIÓN:	SP10F	MACROGRAFÍA:	Macro N°2
MOTIVO:	Análisis de conformación del cordón de soldadura	FECHA REALIZACIÓN:	12/11/2015
AMPLIACIÓN:	6.3X	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:	Microscopio Olympus SZX7
CRITERIO ACEPTACIÓN:	Según AWS D1.1 M:2010		



DIMENSIONES:

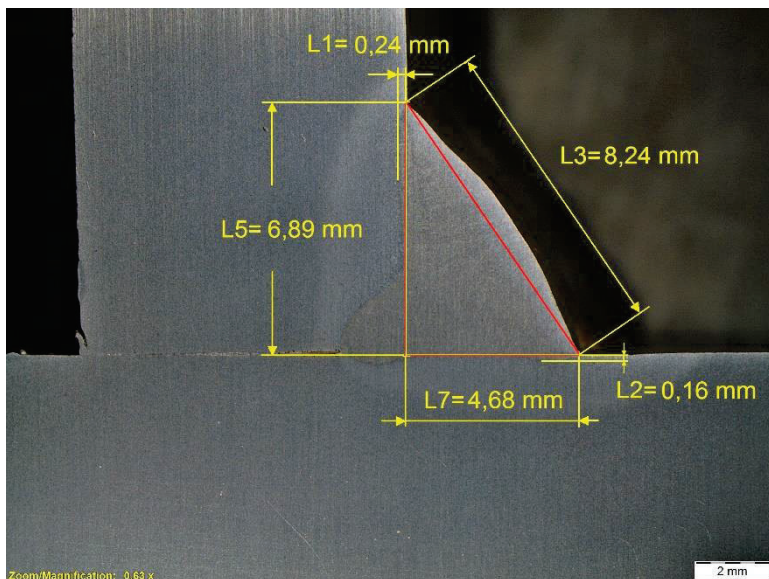
L1= 0,55 mm
L2= 5,26 mm
L3= 3,80 mm
L4= 5,78 mm

Nota:

L1= Convexidad
L2= Garganta Efectiva
L3= Garganta Teórica
L4= Garganta Real

OBSERVACIONES:

No se observa ningún defecto de soldadura.
El cordón presenta convexidad que no excede el límite máximo de 3mm establecido en la norma AWS D1.1



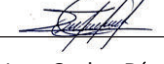



DIMENSIONES:

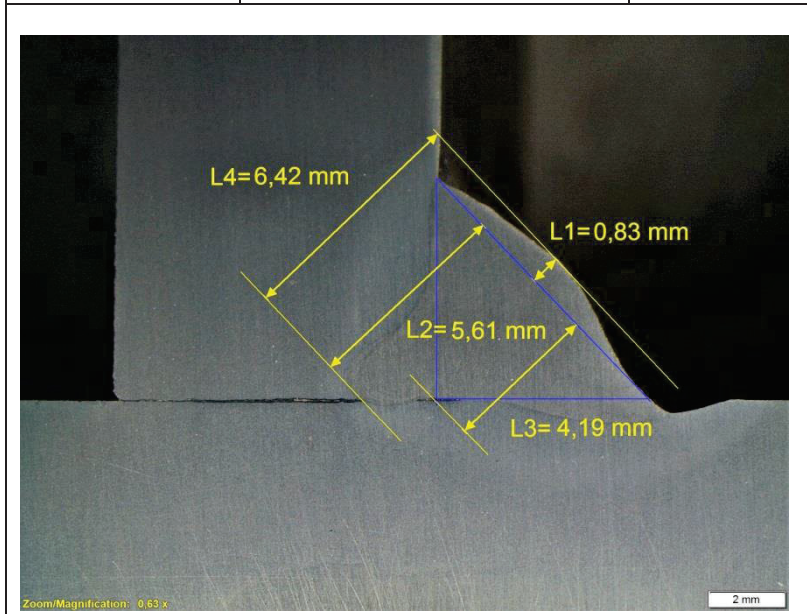
L1= 0,24 mm
L2= 0,16 mm
L3= 8,24 mm
L4=L5= 6,89 mm
L6=L7= 4,68 mm

Nota:

L1= Profundidad de fusión vertical.
L2= Profundidad de fusión horizontal.
L3= Ancho del cordón.
L4= Tamaño del cordón de soldadura vertical.
L5= Longitud de pierna vertical.
L6= Tamaño del cordón de soldadura horizontal.
L7= Longitud de pierna horizontal.

Realizado por:  Tamara Monar	Realizado por:  Juan Carlos Segovia	Supervisado por:  Ing. Carlos Díaz Laboratorio Metalografía	Aprobado por:  Ing. Homero Barragán CWI. 09073911
---	--	--	---

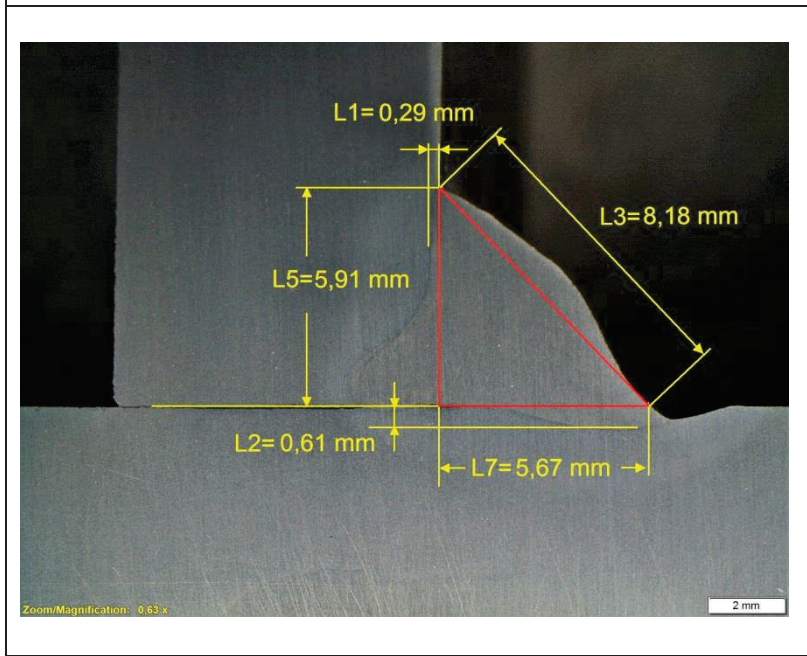
INFORME DE LABORATORIO MACROGRAFÍA DE SOLDADURA			
IDENTIFICACIÓN:	SP15F	MACROGRAFÍA:	Macro N°1
MOTIVO:	Análisis de conformación del cordón de soldadura	FECHA REALIZACIÓN:	12/11/2015
AMPLIACIÓN:	6.3X	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:	Microscopio Olympus SZX7
CRITERIO ACEPTACIÓN:	Según AWS D1.1 M:2010		



DIMENSIONES:
 L1= 0,83 mm
 L2= 5,61 mm
 L3= 4,19 mm
 L4= 6,42 mm

Nota:
 L1= Convexidad
 L2= Garganta Efectiva
 L3= Garganta Teórica
 L4= Garganta Real

OBSERVACIONES:
 Se observa la formación de una mordedura y una falta de fusión. El cordón presenta convexidad que no excede el límite máximo de 3mm establecido en la norma AWS D1.1



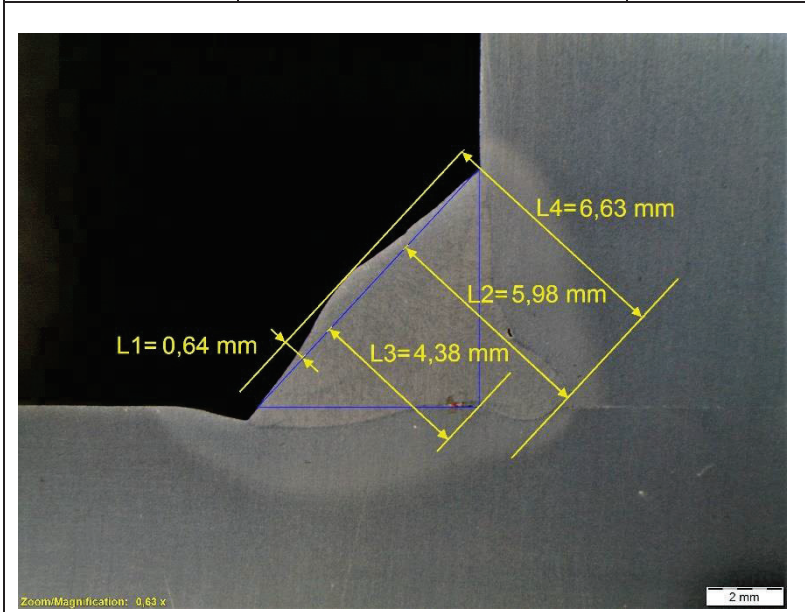
DIMENSIONES:
 L1= 0,29 mm
 L2= 0,61 mm
 L3= 8,18 mm
 L4=L5= 5,91 mm
 L6=L7= 5,67 mm

Nota:
 L1= Profundidad de fusión vertical.
 L2= Profundidad de fusión horizontal.
 L3= Ancho del cordón.
 L4= Tamaño del cordón de soldadura vertical.
 L5= Longitud de pierna vertical.
 L6= Tamaño del cordón de soldadura horizontal.
 L7= Longitud de pierna horizontal.

Realizado por: Tamara Monar	Realizado por: Juan Carlos Segovia	Supervisado por: Ing. Carlos Díaz Laboratorio Metalografía	Aprobado por: Ing. Homero Barragán CWI. 09073911
------------------------------------	---	--	--

**INFORME DE LABORATORIO
MACROGRAFÍA DE SOLDADURA**

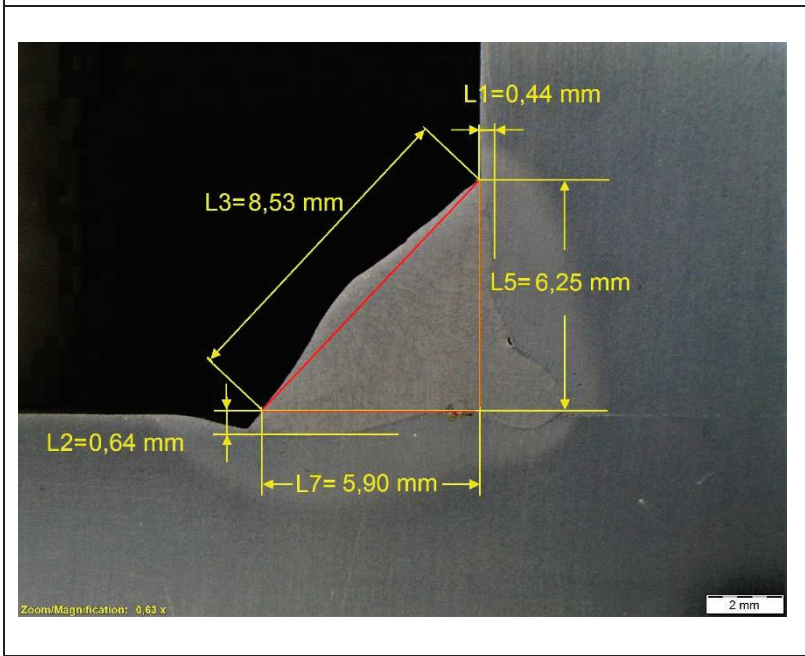
IDENTIFICACIÓN:	SP15F	MACROGRAFÍA:	Macro N°2
MOTIVO:	Análisis de conformación del cordón de soldadura	FECHA REALIZACIÓN:	12/11/2015
AMPLIACIÓN:	6.3X	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:	Microscopio Olympus SZX7
CRITERIO ACEPTACIÓN:	Según AWS D1.1 M:2010		



DIMENSIONES:
 L1= 0,64 mm
 L2= 5,98 mm
 L3= 4,38 mm
 L4= 6,63 mm





Nota:
 L1= Convexidad
 L2= Garganta Efectiva
 L3= Garganta Teórica
 L4= Garganta Real

OBSERVACIONES:
 Se observa la formación de una mordedura y una falta de fusión. El cordón presenta convexidad que no excede el límite máximo de 3mm establecido en la norma AWS D1.1

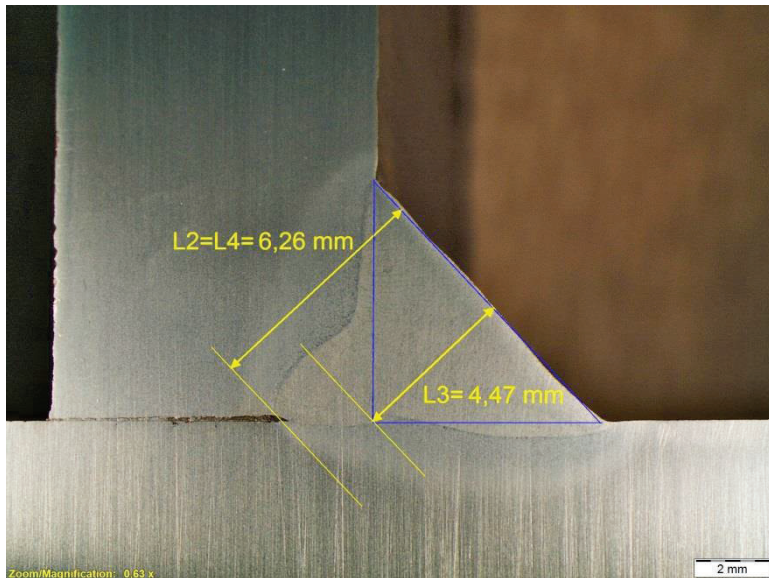


DIMENSIONES:
 L1= 0,44 mm
 L2= 0,64 mm
 L3= 8,53 mm
 L4=L5= 6,25 mm
 L6=L7= 5,90 mm

Nota:
 L1= Profundidad de fusión vertical.
 L2= Profundidad de fusión horizontal.
 L3= Ancho del cordón.
 L4= Tamaño del cordón de soldadura vertical.
 L5= Longitud de pierna vertical.
 L6= Tamaño del cordón de soldadura horizontal.
 L7= Longitud de pierna horizontal.

Realizado por:  Tamara Monar	Realizado por:  Juan Carlos Segovia	Supervisado por:  Ing. Carlos Díaz Laboratorio Metalografía	Aprobado por:  Ing. Homero Barragán CWI. 090 73911
---	--	--	--

INFORME DE LABORATORIO MACROGRAFÍA DE SOLDADURA			
IDENTIFICACIÓN:	SP25F	MACROGRAFÍA:	Macro N°1
MOTIVO:	Análisis de conformación del cordón de soldadura	FECHA REALIZACIÓN:	12/11/2015
AMPLIACIÓN:	6.3X	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:	Microscopio Olympus SZX7
CRITERIO ACEPTACIÓN:	Según AWS D1.1 M:2010		



DIMENSIONES:

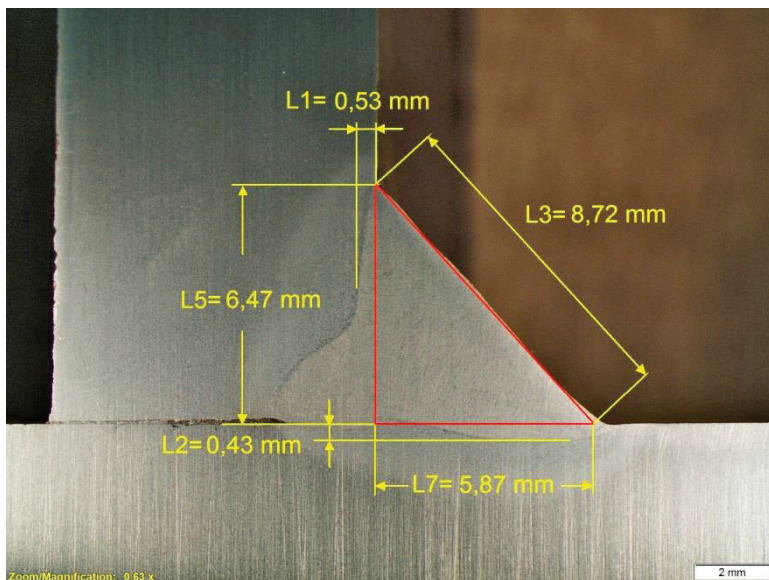
L1= 0,00 mm
L2=L4= 6,26 mm
L3= 4,47 mm

Nota:

L1= Convexidad
L2= Garganta Efectiva
L3= Garganta Teórica
L4= Garganta Real

OBSERVACIONES:

No se observa ningún defecto.
El cordón no presenta convexidad ni concavidad.



DIMENSIONES:

L1= 0,53 mm
L2= 0,43 mm
L3= 8,72 mm
L4=L5= 6,47 mm
L6=L7= 5,87 mm

Nota:

L1= Profundidad de fusión vertical.
L2= Profundidad de fusión horizontal.
L3= Ancho del cordón.
L4= Tamaño del cordón de soldadura vertical.
L5= Longitud de pierna vertical.
L6= Tamaño del cordón de soldadura horizontal.
L7= Longitud de pierna horizontal.

Realizado por:

Tamara Monar

Realizado por:

Juan Carlos Segovia

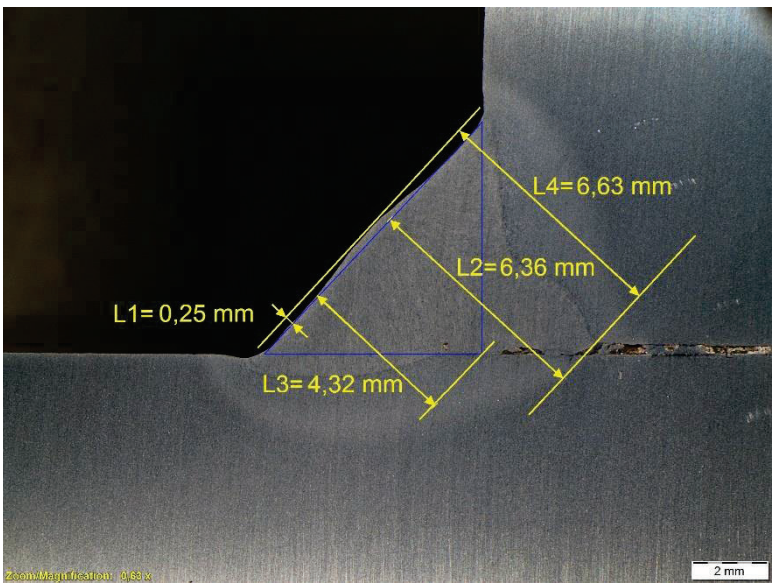
Supervisado por:

Ing. Carlos Díaz
Laboratorio Metalografía

Aprobado por:

Ing. Homero Barragán
CWI. 09073911

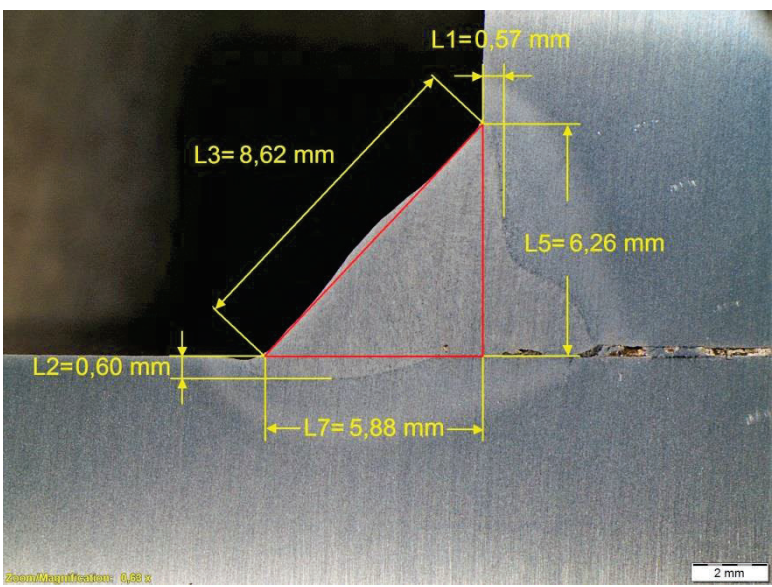
INFORME DE LABORATORIO MACROGRAFÍA DE SOLDADURA			
IDENTIFICACIÓN:	SP25F	MACROGRAFÍA:	Macro N°2
MOTIVO:	Análisis de conformación del cordón de soldadura	FECHA REALIZACIÓN:	12/11/2015
AMPLIACIÓN:	6.3X	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:	Microscopio Olympus SZX7
CRITERIO ACEPTACIÓN:	Según AWS D1.1 M:2010		



DIMENSIONES:
 L1= 0,25 mm
 L2= 6,36 mm
 L3= 4,32 mm
 L4= 6,63 mm





Nota:
 L1= Convexidad
 L2= Garganta Efectiva
 L3= Garganta Teórica
 L4= Garganta Real

OBSERVACIONES:
 Se observa una falta de fusión cerca a la raíz del cordón.
 El cordón presenta una ligera convexidad que no excede el límite máximo de 3mm establecido en la norma AWS D1.1

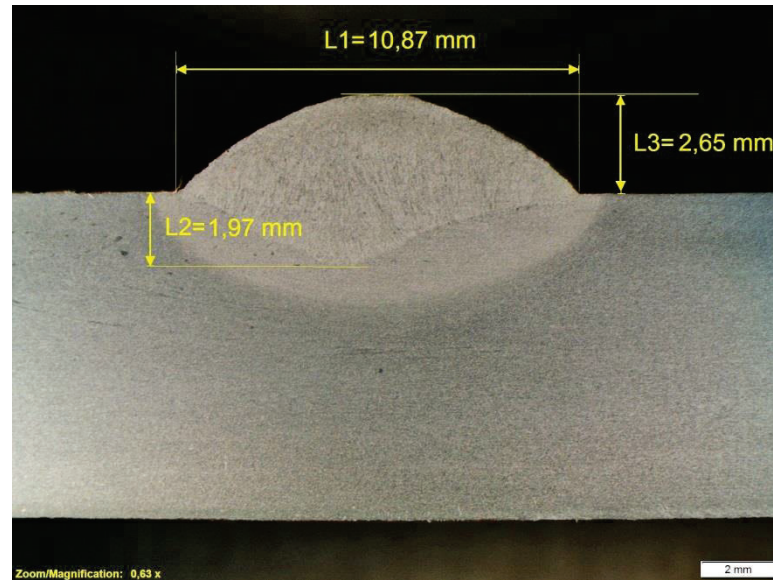


DIMENSIONES:
 L1= 0,57 mm
 L2= 0,60 mm
 L3= 8,62 mm
 L4=L5= 6,26 mm
 L6=L7= 5,88 mm

Nota:
 L1= Profundidad de fusión vertical.
 L2= Profundidad de fusión horizontal.
 L3= Ancho del cordón.
 L4= Tamaño del cordón de soldadura vertical.
 L5= Longitud de pierna vertical.
 L6= Tamaño del cordón de soldadura horizontal.
 L7= Longitud de pierna horizontal.

Realizado por:  Tamara Monar	Realizado por:  Juan Carlos Segovia	Supervisado por:  Ing. Carlos Díaz Laboratorio Metalografía	Aprobado por:  Ing. Homer o Barragán CWI. 09073911
---	--	--	--

INFORME DE LABORATORIO MACROGRAFÍA DE SOLDADURA			
IDENTIFICACIÓN:	C10D	MACROGRAFÍA:	Macro N°1
MOTIVO:	Análisis de conformación del cordón de soldadura	FECHA REALIZACIÓN:	12/11/2015
AMPLIACIÓN:	6.3X	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:	Microscopio Olympus SZX7
CRITERIO ACEPTACIÓN:	Según AWS D1.1 M:2010		



DIMENSIONES:

L1= 10,87 mm
L2= 1,97 mm
L3= 2,65 mm

Nota:

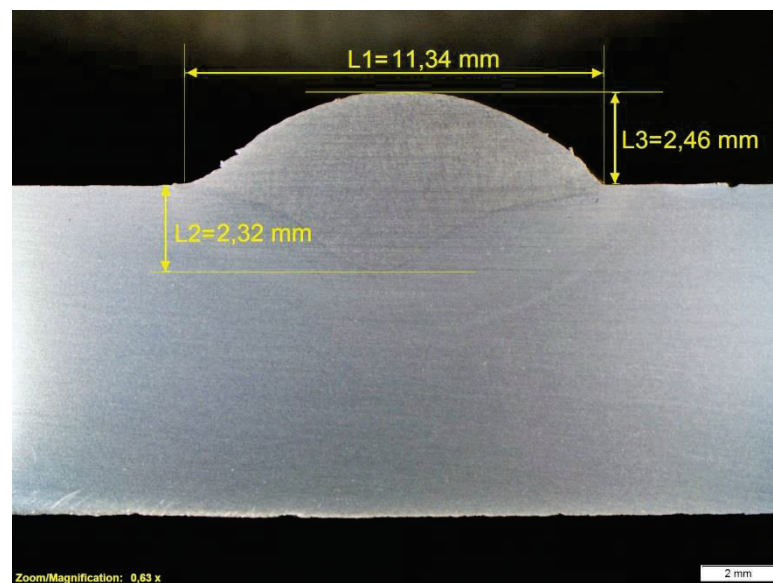
L1= Ancho del cordón
L2= Penetración
L3= Altura de refuerzo

OBSERVACIONES:

No se observa ningún defecto o discontinuidad en la conformación del cordón de soldadura.

IDENTIFICACIÓN: C10D

MACROGRAFÍA: Macro N°2



DIMENSIONES:

L1= 11,34 mm
L2= 2,32 mm
L3= 2,46 mm

Nota:

L1= Ancho del cordón
L2= Penetración
L3= Altura de refuerzo

OBSERVACIONES:

No se observa ningún defecto o discontinuidad en la conformación del cordón de soldadura.

Realizado por:



Tamara Monar

Realizado por:



Juan Carlos Segovia

Supervisado por:



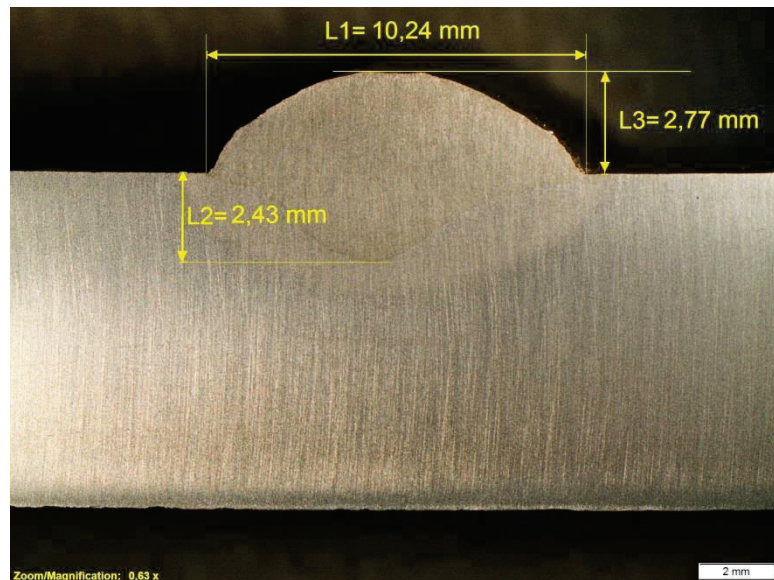
Ing. Carlos Díaz
Laboratorio Metalografía

Aprobado por:



Ing. Homero Barragán
CWI. 09073911

INFORME DE LABORATORIO MACROGRAFÍA DE SOLDADURA			
IDENTIFICACIÓN:	C25D	MACROGRAFÍA:	Macro N°1
MOTIVO:	Análisis de conformación del cordón de soldadura	FECHA REALIZACIÓN:	12/11/2015
AMPLIACIÓN:	6.3X	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:	Microscopio Olympus SZX7
CRITERIO ACEPTACIÓN:	Según AWS D1.1 M:2010		



DIMENSIONES:

L1= 10,24 mm
L2= 2,77 mm
L3= 2,43 mm

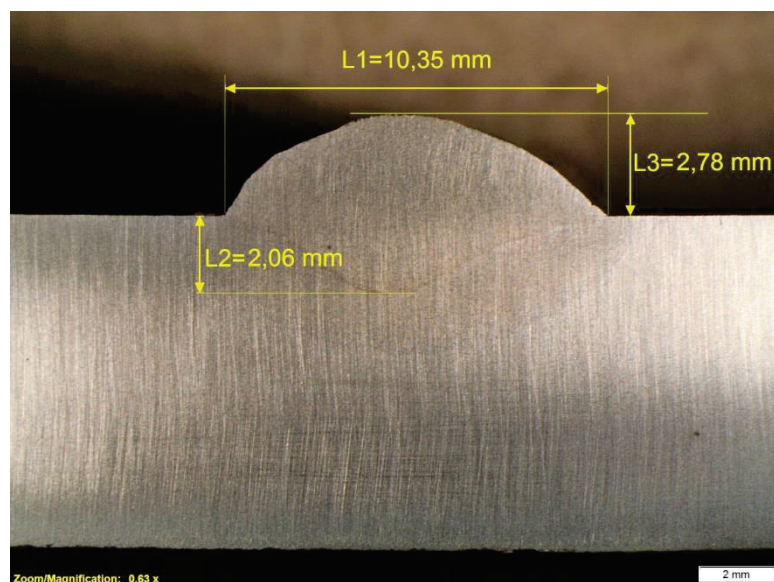
Nota:

L1= Ancho del cordón
L2= Penetración
L3= Altura de refuerzo

OBSERVACIONES:

No se observa ningún defecto o discontinuidad en la conformación del cordón de soldadura.

IDENTIFICACIÓN:	C25D	MACROGRAFÍA:	Macro N°2
-----------------	------	--------------	-----------



DIMENSIONES:





L1= 10,35 mm
L2= 2,06 mm
L3= 2,78 mm

Nota:

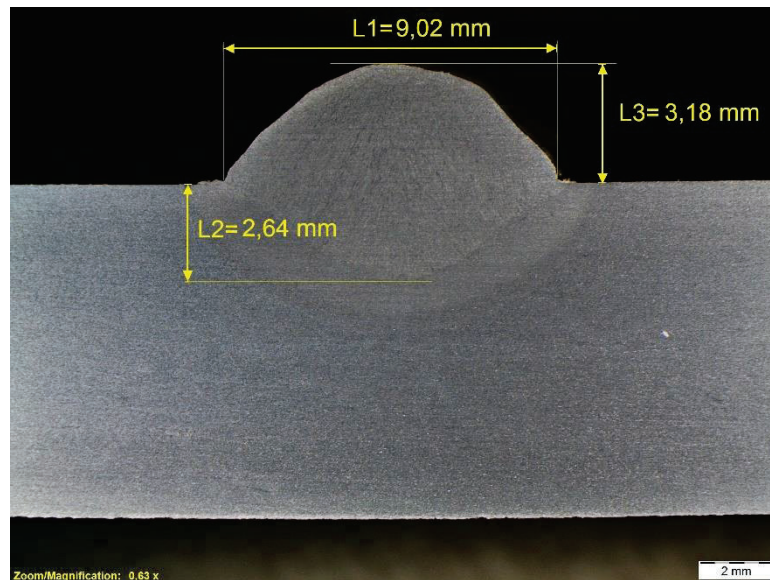
L1= Ancho del cordón
L2= Penetración
L3= Altura de refuerzo

OBSERVACIONES:

No se observa ningún defecto o discontinuidad en la conformación del cordón de soldadura.

Realizado por:  Tamara Monar	Realizado por:  Juan Carlos Segovia	Supervisado por:  Ing. Carlos Díaz Laboratorio Metalografía	Aprobado por:  Ing. Homero Barragán CWI. 09073911
---	--	--	---

INFORME DE LABORATORIO MACROGRAFÍA DE SOLDADURA			
IDENTIFICACIÓN:	CDD	MACROGRAFÍA:	Macro N°1
MOTIVO:	Análisis de conformación del cordón de soldadura	FECHA REALIZACIÓN:	12/11/2015
AMPLIACIÓN:	6.3X	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:	Microscopio Olympus SZX7
CRITERIO ACEPTACIÓN:	Según AWS D1.1 M:2010		



DIMENSIONES:

L1= 9,02 mm
L2= 2,64 mm
L3= 3,18 mm

Nota:

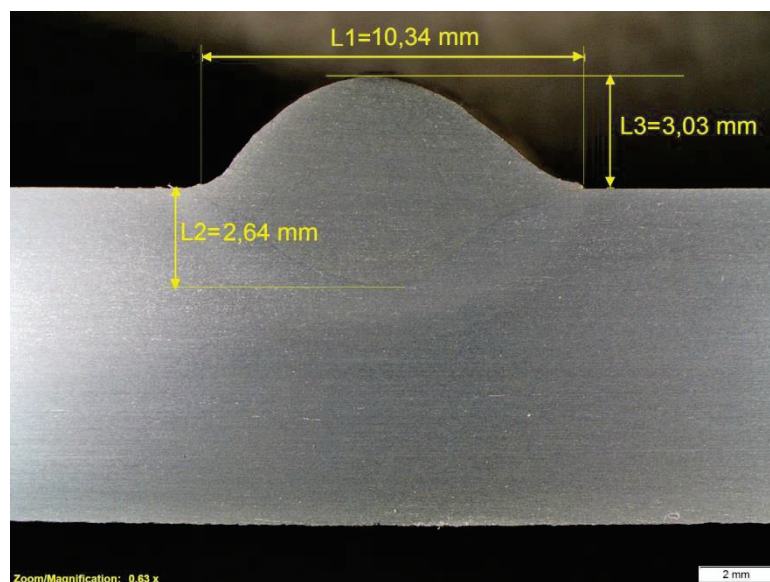
L1= Ancho del cordón
L2= Penetración
L3= Altura de refuerzo

OBSERVACIONES:

No se observa ningún defecto o discontinuidad en la conformación del cordón de soldadura.

IDENTIFICACIÓN: CDD

MACROGRAFÍA: Macro N°2



DIMENSIONES:

L1= 10,34 mm
L2= 2,64 mm
L3= 3,03 mm

Nota:

L1= Ancho del cordón
L2= Penetración
L3= Altura de refuerzo

OBSERVACIONES:

No se observa ningún defecto o discontinuidad en la conformación del cordón de soldadura.

Realizado por:

Tamara Monar

Realizado por:

Juan Carlos Segovia

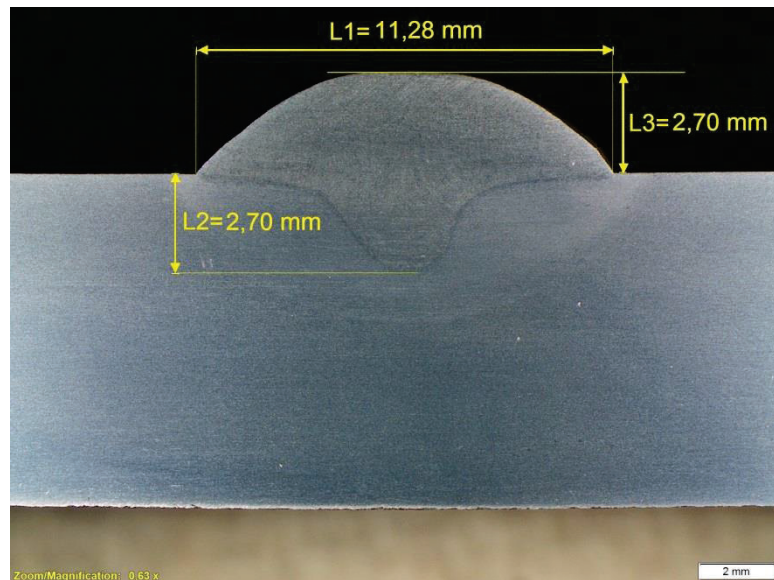
Supervisado por:

Ing. Carlos Díaz
Laboratorio Metalografía

Aprobado por:

Ing. Homero Barragán
CWI. 0 9073911

INFORME DE LABORATORIO MACROGRAFÍA DE SOLDADURA			
IDENTIFICACIÓN:	P10D	MACROGRAFÍA:	Macro N°1
MOTIVO:	Análisis de conformación del cordón de soldadura	FECHA REALIZACIÓN:	12/11/2015
AMPLIACIÓN:	6.3X	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:	Microscopio Olympus SZX7
CRITERIO ACEPTACIÓN:	Según AWS D1.1 M:2010		



DIMENSIONES:

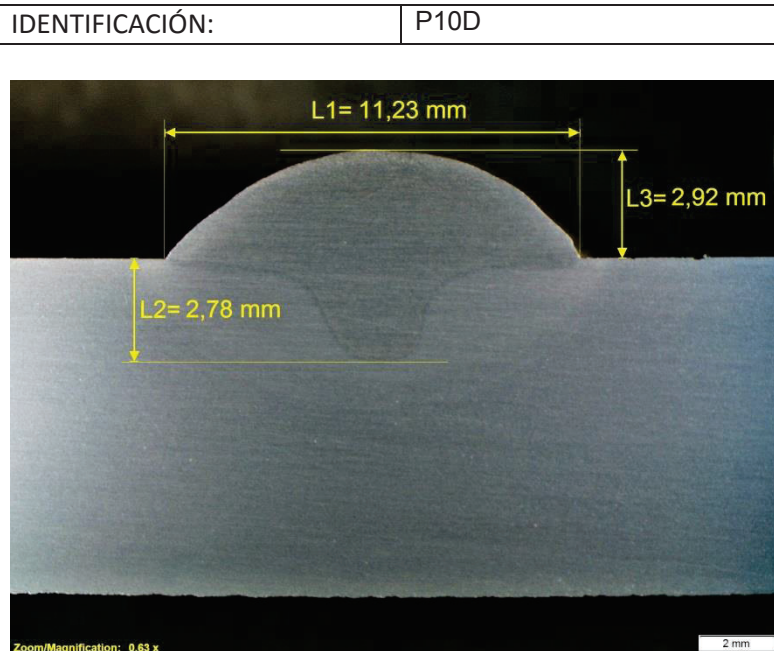
L1= 11,28 mm
L2= 2,70 mm
L3= 2,70 mm

Nota:

L1= Ancho del cordón
L2= Penetración
L3= Altura de refuerzo

OBSERVACIONES:

No se observa ningún defecto o discontinuidad en la conformación del cordón de soldadura.



DIMENSIONES:

L1= 11,23 mm
L2= 2,78 mm
L3= 2,92 mm

Nota:

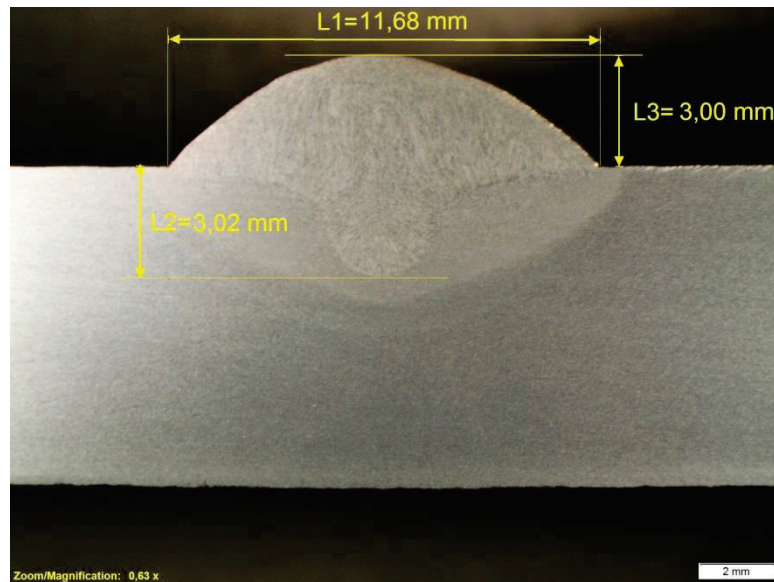
L1= Ancho del cordón
L2= Penetración
L3= Altura de refuerzo

OBSERVACIONES:

No se observa ningún defecto o discontinuidad en la conformación del cordón de soldadura.

Realizado por: Tamara Monar	Realizado por: Juan Carlos Segovia	Supervisado por: Ing. Carlos Díaz Laboratorio Metalografía	Aprobado por: Ing. Homero Barragán CWI. 09073911
------------------------------------	---	--	--

INFORME DE LABORATORIO MACROGRAFÍA DE SOLDADURA			
IDENTIFICACIÓN:	P15D	MACROGRAFÍA:	Macro N°1
MOTIVO:	Análisis de conformación del cordón de soldadura	FECHA REALIZACIÓN:	12/11/2015
AMPLIACIÓN:	6.3X	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:	Microscopio Olympus SZX7
CRITERIO ACEPTACIÓN:	Según AWS D1.1 M:2010		



DIMENSIONES:

L1= 11,68 mm
L2= 3,02 mm
L3= 3,00 mm

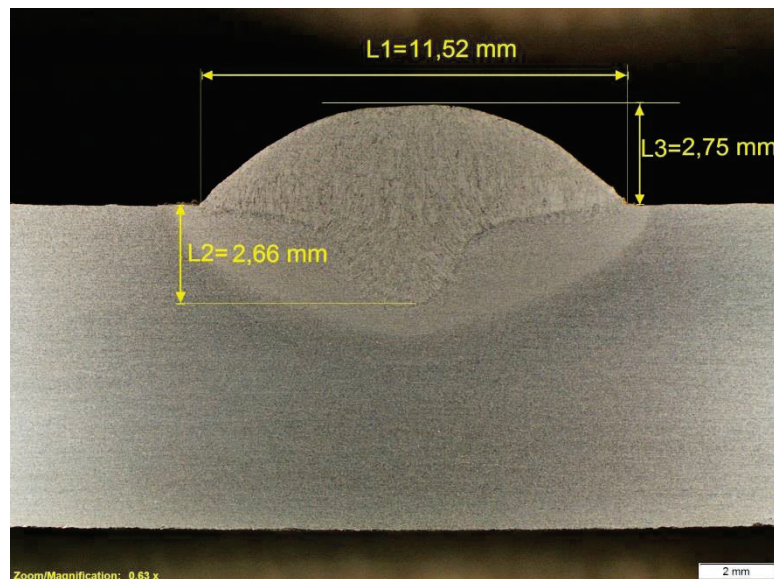
Nota:

L1= Ancho del cordón
L2= Penetración
L3= Altura de refuerzo

OBSERVACIONES:

No se observa ningún defecto o discontinuidad en la conformación del cordón de soldadura.

IDENTIFICACIÓN:	P15D	MACROGRAFÍA:	Macro N°2
-----------------	------	--------------	-----------



DIMENSIONES:




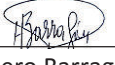
L1= 11,52 mm
L2= 2,66 mm
L3= 2,75 mm

Nota:

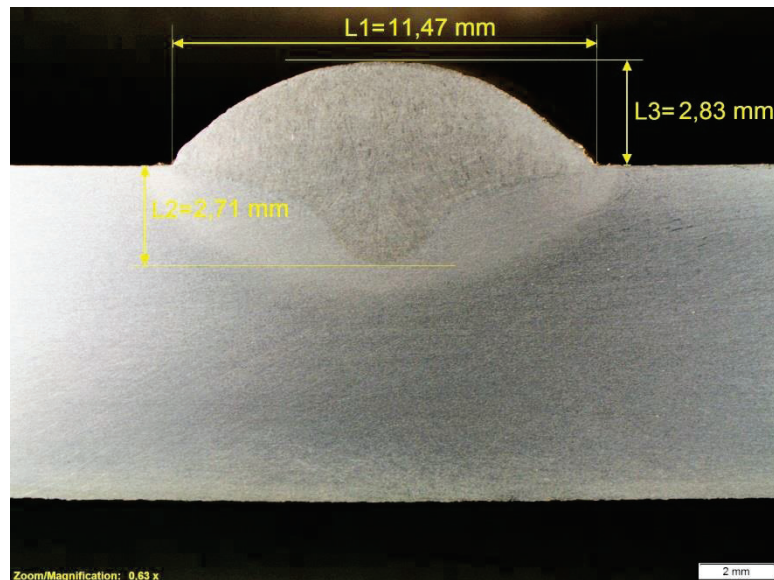
L1= Ancho del cordón
L2= Penetración
L3= Altura de refuerzo

OBSERVACIONES:

No se observa ningún defecto o discontinuidad en la conformación del cordón de soldadura.

Realizado por:  Tamara Monar	Realizado por:  Juan Carlos Segovia	Supervisado por:  Ing. Carlos Díaz Laboratorio Metalografía	Aprobado por:  Ing. Homero Barragán CWI. 09073911
---	--	--	---

INFORME DE LABORATORIO MACROGRAFÍA DE SOLDADURA			
IDENTIFICACIÓN:	P25D	MACROGRAFÍA:	Macro N°1
MOTIVO:	Análisis de conformación del cordón de soldadura	FECHA REALIZACIÓN:	12/11/2015
AMPLIACIÓN:	6.3X	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:	Microscopio Olympus SZX7
CRITERIO ACEPTACIÓN:	Según AWS D1.1 M:2010		



DIMENSIONES:

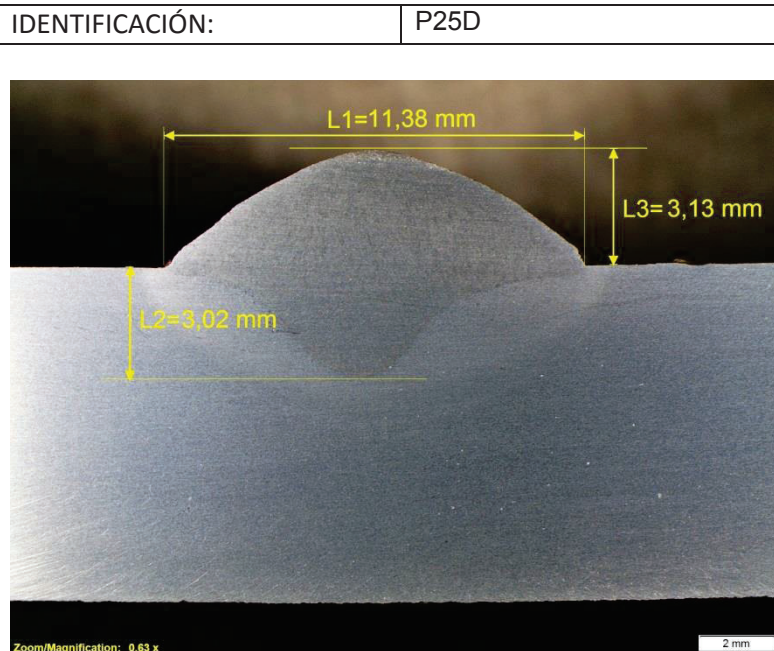
L1= 11,47 mm
L2= 2,71 mm
L3= 2,83 mm

Nota:

L1= Ancho del cordón
L2= Penetración
L3= Altura de refuerzo

OBSERVACIONES:

No se observa ningún defecto o discontinuidad en la conformación del cordón de soldadura.



DIMENSIONES:





L1= 11,38 mm
L2= 3,02 mm
L3= 3,13 mm

Nota:

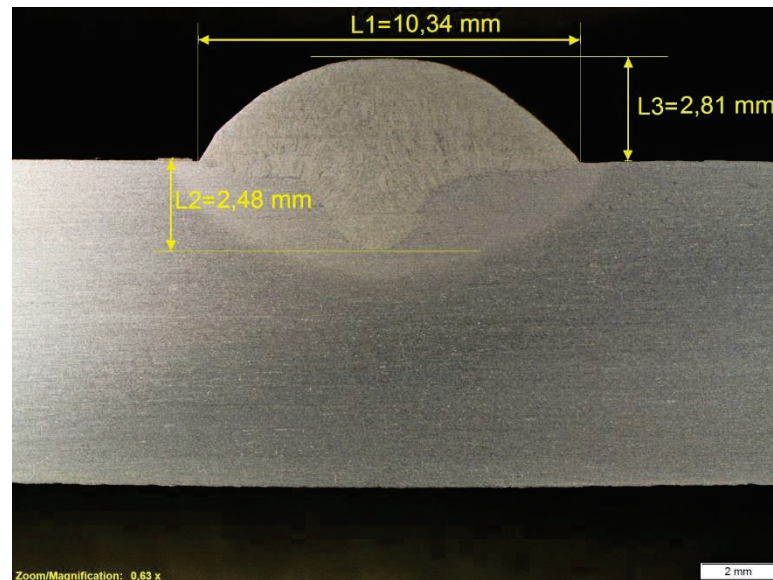
L1= Ancho del cordón
L2= Penetración
L3= Altura de refuerzo

OBSERVACIONES:

No se observa ningún defecto o discontinuidad en la conformación del cordón de soldadura.

Realizado por:  Tamara Monar	Realizado por:  Juan Carlos Segovia	Supervisado por:  Ing. Carlos Díaz Laboratorio Metalografía	Aprobado por:  Ing. H. omero Barragán CWI. 09073911
---	--	--	---

INFORME DE LABORATORIO MACROGRAFÍA DE SOLDADURA			
IDENTIFICACIÓN:	SP10D	MACROGRAFÍA:	Macro N°1
MOTIVO:	Análisis de conformación del cordón de soldadura	FECHA REALIZACIÓN:	12/11/2015
AMPLIACIÓN:	6.3X	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:	Microscopio Olympus SZX7
CRITERIO ACEPTACIÓN:	Según AWS D1.1 M:2010		



DIMENSIONES:

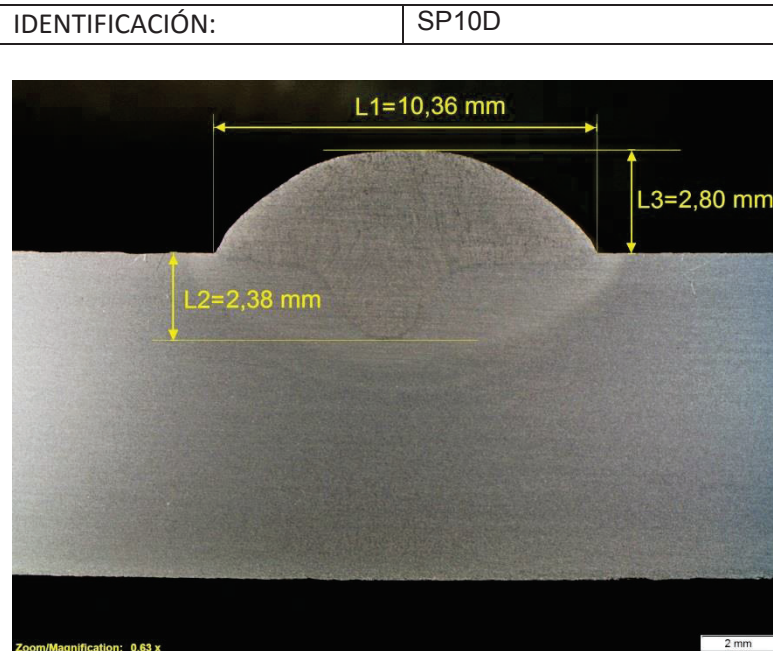
L1= 10,34 mm
L2= 2,48 mm
L3= 2,81 mm

Nota:

L1= Ancho del cordón
L2= Penetración
L3= Altura de refuerzo

OBSERVACIONES:

No se observa ningún defecto o discontinuidad en la conformación del cordón de soldadura.



DIMENSIONES:





L1= 10,36 mm
L2= 2,38 mm
L3= 2,80 mm

Nota:

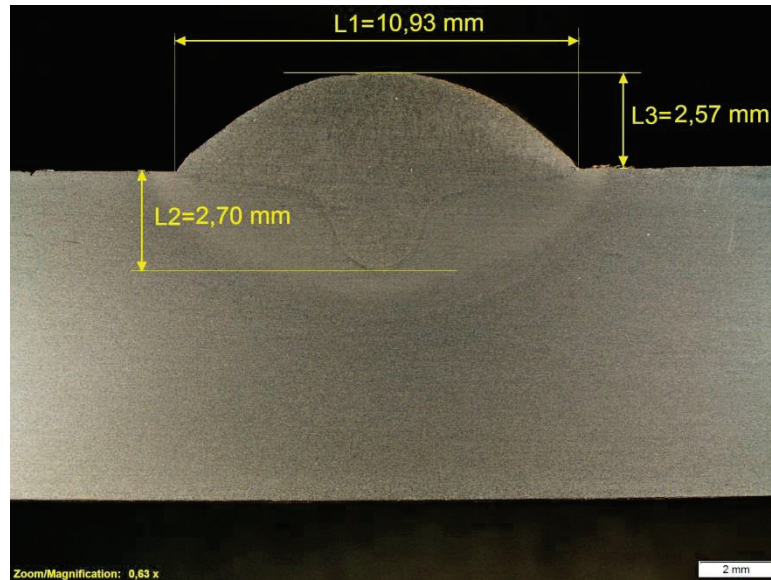
L1= Ancho del cordón
L2= Penetración
L3= Altura de refuerzo

OBSERVACIONES:

No se observa ningún defecto o discontinuidad en la conformación del cordón de soldadura.

Realizado por:  Tamara Monar	Realizado por:  Juan Carlos Segovia	Supervisado por:  Ing. Carlos Díaz Laboratorio Metalografía	Aprobado por:  Ing. Homero Barragán CWI. 09073911
---	--	--	---

INFORME DE LABORATORIO MACROGRAFÍA DE SOLDADURA			
IDENTIFICACIÓN:	SP15D	MACROGRAFÍA:	Macro N°1
MOTIVO:	Análisis de conformación del cordón de soldadura	FECHA REALIZACIÓN:	12/11/2015
AMPLIACIÓN:	6.3X	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:	Microscopio Olympus SZX7
CRITERIO ACEPTACIÓN:	Según AWS D1.1 M:2010		



DIMENSIONES:

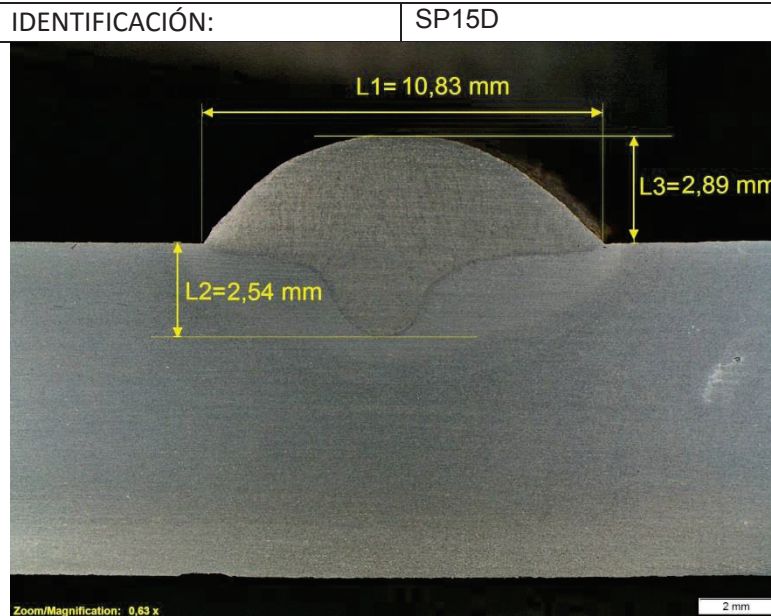
L1= 10,93 mm
L2= 2,70 mm
L3= 2,57 mm

Nota:

L1= Ancho del cordón
L2= Penetración
L3= Altura de refuerzo

OBSERVACIONES:

No se observa ningún defecto o discontinuidad en la conformación del cordón de soldadura.



DIMENSIONES:




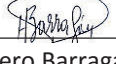
L1= 10,83 mm
L2= 2,54 mm
L3= 2,89 mm

Nota:

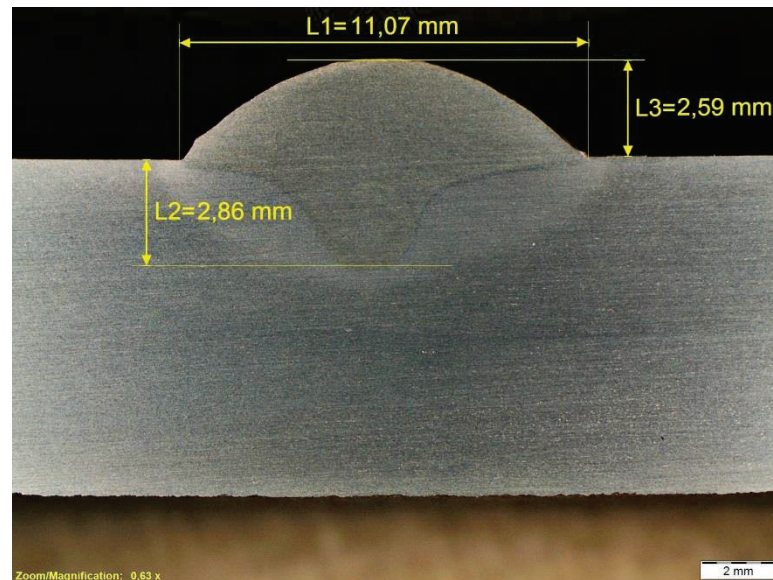
L1= Ancho del cordón
L2= Penetración
L3= Altura de refuerzo

OBSERVACIONES:

No se observa ningún defecto o discontinuidad en la conformación del cordón de soldadura.

Realizado por:  Tamara Monar	Realizado por:  Juan Carlos Segovia	Supervisado por:  Ing. Carlos Díaz Laboratorio Metalografía	Aprobado por:  Ing. Homero Barragán CWI. 09073911
---	--	--	---

INFORME DE LABORATORIO MACROGRAFÍA DE SOLDADURA			
IDENTIFICACIÓN:	SP25D	MACROGRAFÍA:	Macro N°1
MOTIVO:	Análisis de conformación del cordón de soldadura	FECHA REALIZACIÓN:	12/11/2015
AMPLIACIÓN:	6.3X	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:	Microscopio Olympus SZX7
CRITERIO ACEPTACIÓN:	Según AWS D1.1 M:2010		



DIMENSIONES:

L1= 11,07 mm
L2= 2,86 mm
L3= 2,59 mm

Nota:

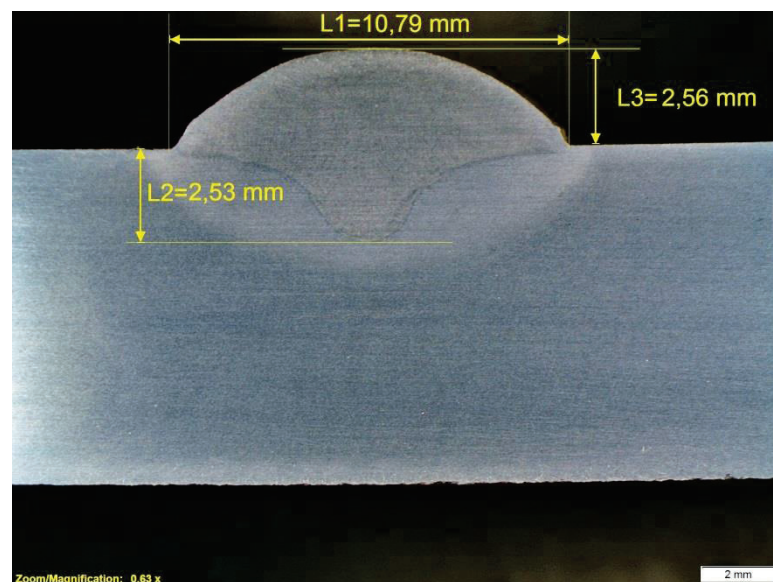
L1= Ancho del cordón
L2= Penetración
L3= Altura de refuerzo

OBSERVACIONES:

No se observa ningún defecto o discontinuidad en la conformación del cordón de soldadura.

IDENTIFICACIÓN: SP25D

MACROGRAFÍA: Macro N°2



DIMENSIONES:





L1= 10,79 mm
L2= 2,53 mm
L3= 2,56 mm

Nota:

L1= Ancho del cordón
L2= Penetración
L3= Altura de refuerzo

OBSERVACIONES:

No se observa ningún defecto o discontinuidad en la conformación del cordón de soldadura.

Realizado por:  Tamara Monar	Realizado por:  Juan Carlos Segovia	Supervisado por:  Ing. Carlos Díaz Laboratorio Metalografía	Aprobado por:  Ing. Homero Barragán CWI. 09073911
---	--	--	---

ANEXO B

Información Suplementaria

Este anexo contiene información adicional que sirve para profundizar los temas estudiados en el presente proyecto.

A continuación se muestra la tabla completa de los potenciales de ionización según el estado de ionización.

Tabla B1. Representación del potencial de ionización en voltios

Element	Stage of ionization*					
	I	II	III	IV	V	VI
Aluminium	5.984	18.823	28.44	119.96	153.77	190.42
Argon	15.755	27.62	40.90	59.79	75.0	91.3
Calcium	6.111	11.87	51.21	67	84.39	
Carbon	11.264	24.376	47.864	64.476	391.986	489.84
Cesium	3.893	25.1				
Helium	24.580	54.400				
Hydrogen	13.595					
Iron	7.90	16.18	30.64			
Krypton	13.99	24.56	36.9			
Magnesium	7.644	15.03	80.12	109.29	141.23	186.86
Mercury	10.44	18.8				
Niobium	6.77	14				
Nitrogen	14.54	29.605	47.426	77.450	97.863	551.92
Oxygen	13.614	35.146	54.934	77.394	113.873	138.08
Platinum	(8.9)	18.5				
Potassium	4.339	31.81	46	60.90		99.7
Silicon	8.149	16.34	33.46	45.13	166.73	205.11
Silver	7.574	21.48				
Sodium	5.138	47.29	71.65	98.88	138.60	172.36
Strontium	5.692	11.027		57		
Titanium	6.83	13.63	28.14	43.24	99.8	120
Tungsten	7.94					
Xenon	12.13	21.2				

*The Roman numeral indicates the number of electrons that are lost at the indicated stage of ionization.

Fuente: (Lancaster, 1986)

Comportamiento de las fuerzas de separación y de retención con respecto a la corriente.

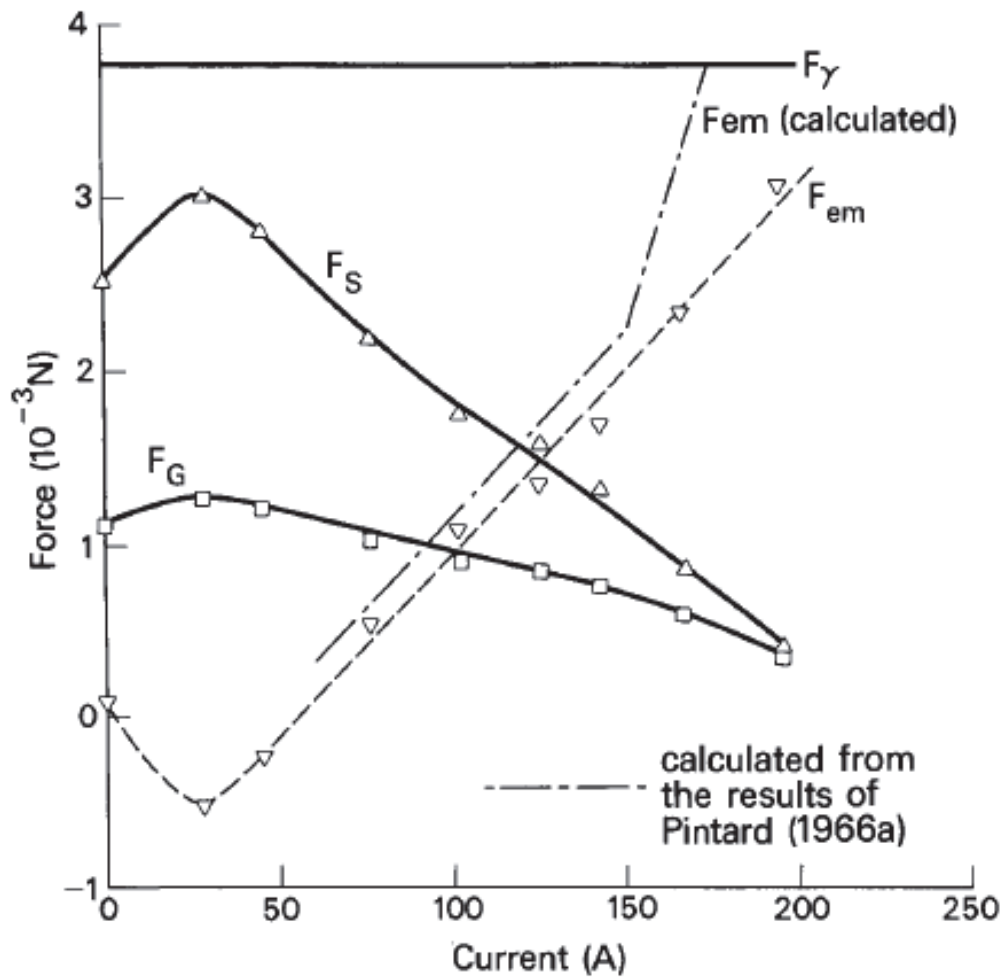


Figura B1 Fuerzas que actúan sobre la gota en la punta del electrodo.

Fuente: (Lancaster, 1986)

Modos de transferencia del metal de aporte

Tabla B2 Clasificación de la transferencia del metal.

<u>Designation of Transfer Type</u>	<u>Welding Processes (examples)</u>
1. Free flight transfer	
1.1 Globular	
1.1.1 Drop	Low-current GMA
1.1.2 Repelled	CO ₂ shielded GMA
1.2 Spray	
1.2.1 Projected	Intermediate-current GMA
1.2.2 Streaming	Medium-current GMA
1.2.3 Rotating	High-current GMA
1.3 Explosive	SMA (coated electrodes)
2. Bridging transfer	
2.1 Short-circuiting	Short-arc GMA
2.2 Bridging without interruption	Welding with filler wire addition
3. Slag-protected transfer	
3.1 Flux-wall guided	SAW
3.2 Other modes	SMA, cored wire, electroslag

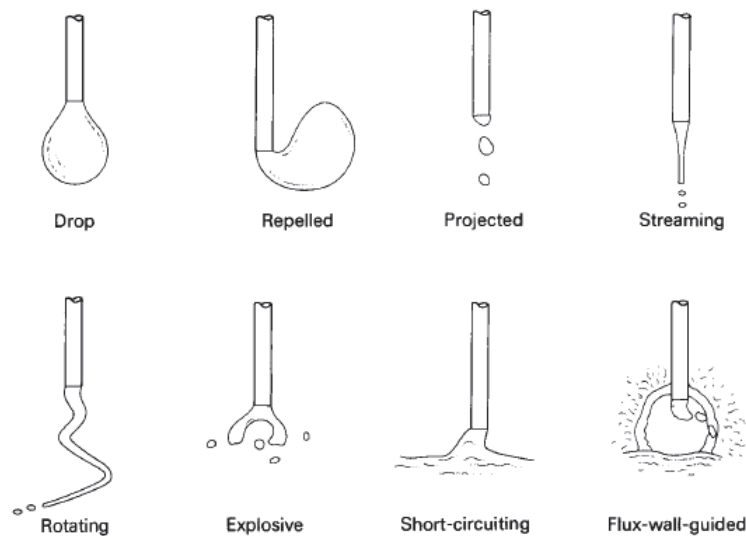


Figura B2 Modos de transferencia del metal de acuerdo a la clasificación mostrada en la tabla B2.

Fuente: (Lancaster, 1986)

Relación entre el ángulo de mojado y la altura de refuerzo.

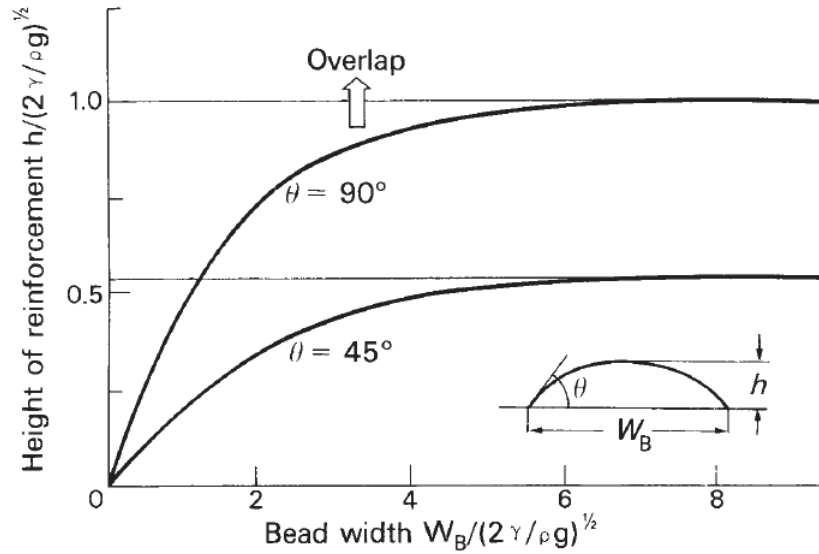


Fig. 7.48. Molten shape reinforcement bead according to the two-dimensional model. (Nishiguchi *et al* 1977)

Figura B3 Modelo bidimensional de la forma del refuerzo del cordón.

Fuente: (Lancaster, 1986)

ANEXO C

EQUIPOS UTILIZADOS

MEZCLADOR DE GASES

Modelo	BM – 2M
Gases	CO ₂ / Ar, CO ₂ /N ₂ , He/Ar, He/N ₂ , N ₂ /Ar No apropiado para oxígeno y gases combustibles
Porcentajes	0-25% o 0-75%
Presión de entrada	Min. 3 bares Max. 200-300 bares.
Presión de salida	Max. 8 bares
Presión de válvulas de alivio	Max. 12 bares
Caudal	Min. 1/5 caudal máximo
Exactitud de ajuste	±1% (0-25%)
Graduación	0 – 25% 1% división
Precisión de la mezcla	± 1 %
Conexión de gas	
Entradas	Conexión botella según DIN 477
Salidas	G ¼ EN 560
Peso	Aprox. 3.5 Kg
Dimensiones	230 x 156 x 130 mm. Sin conexiones.
Normas y reglamentos de construcción	Certificada según ISO 9001

Fuente: (Fronius International, 2014)

FLEXTRACK 45 CARRO DE SOLDADURA

Posición de soldadura	Plana, horizontal, vertical ascendente y vertical descendente
Mínimo espesor del material	4 mm
Velocidad de desplazamiento horizontal	5 a 150 cm/min
Velocidad de desplazamiento vertical	5 a 135 cm/min
Tiempo de rellenado de cráter	0 a 5 seg.
Máxima capacidad de carga horizontal/vertical	30 / 45 Kg
Peso	12.5 kg
Armario eléctrico	
Tensión a 50-60 Hz	115 / 230 V
Fuente de alimentación	24 Vdc
Peso	5.3 Kg
Control remoto	
Longitud del cable	10 metros.
Peso	1.5 Kg.
Oscilación	
Velocidad de oscilación	5 a 400 cm/min.
Amplitud	2 a 30 mm.
Descentrado	0 a 50 mm.
Tiempo de espera	0 a 3 seg.
Peso	2 Kg.
Dimensiones con oscilación y sin oscilación	
A (con oscilación) (sin oscilación)	543-623mm 480-560 mm
B (con oscilación) (sin oscilación)	97-201 mm 119-223 mm

C (con oscilación) (sin oscilación)	352 mm 334 mm
D	304 mm.
E	230mm.
F (altura total con configuración de raíl recto rígido)	318 mm
G (altura total con puente magnético)	317-415 mm
H (altura total con puente de pies de tornillo)	317-415 mm

Fuente: (Fronius International, 2014)

TPSi INTELLIGENT REVOLUTION

Aplicaciones	SFI Doble arco pulsado Refrigeración modo eco. Administración de usuarios
Procesos	Estándar LSC LSC advanced Pulsado PMC CMT CMT Advanced
Hardware	Refrigeración Devanadora Antorcha Unidad de control remoto Carro

Rangos	de	270
potencia		320
		400
		500
		600

Fuente: (Fronius International, 2014)

MICROSCOPIO ESTEREOSCÓPICO SZX7 Zoom



Especificaciones del SZX7				
Ítem	Especificaciones			
Cuerpo del Microscopio con Zoom SZX-ZB7	Unidad de zoom: sistema de perilla horizontal Botón de detención para cada aumento de zoom: cambio de ENC-APAG posible Relación de zoom: 7:1 (0.8x a 5.6x) Indicación de aumento de zoom: 0.8; 1; 1.25; 1.6; 2; 2.5; 3.2; 4; 5; 5.6 Montaje de objetivo: Atornillar en la rosca Sin plomo			
Control de Diafragma de Iris de Apertura: La unidad AS (SZX-AS) es desmontable				
Tubo de Observación SZX-BI45 SZX-TBI SZX-TR30 SZX-TR30PT	SZX-BI45 Tubo binocular Ángulo de inclinación de 45°	SZX-TBI Tubo binocular inclinable Ángulo de inclinación de 5° a 45°	SZX-TR30 Tubo trinocular Ángulo de inclinación de 30° Selección de camino óptico: 2 pasos (Binocular 100%, video y foto 80%/Binocular 20%)	SZX-TR30PT Tubo trinocular Ángulo de inclinación de 30° Selección de camino óptico: 2 pasos (Binocular 100%, Foto 100%)
Todos los tubos de observación: Sin plomo				
Rango ajustable de distancia interpupilar: 50 a 76mm Se provee perilla para ajustar el ocular				
Plataforma SZ2-ST SZ2-ILST	SZ2-ST Plataforma Estándar	SZ2-ILST Plataforma de iluminación reflejada / transmitida LED		
Instalación de Estativo	Diámetro de montaje de 76mm			
Regulación de Foco	Ajuste de tensión de rotación de perilla Distancia de enfoque de 120mm			

	Placa de Platina	SZ2-SPBW (Blanco y negro) SP-C (Vidrio claro transparente)		La placa de vidrio de 100mm de diám. incluida				
	Fuente de Luz	Sistema de iluminación de fibra óptica SZ2-LGB desmontable (opción) Accesorio de iluminación por luz transmitida (SZ2-ILA) desmontable (opcional)		Iluminación transmitida: LED Iluminación reflejada: LED Promedio de vida útil de LED: 6000 horas Entrada: 100-120V/200-240V~0.15/0.1A, 50/60Hz				
Oculares		Serie WHSZ "Visión cómoda" Todos los oculares: Sin plomo						
Peso	Configuración1	4.360g	5.400g	5.200g				
	Configuración2	5.160g	6.200g	6.000g				
Rendimiento Óptico del SZX7								
Ocular	WHSZ10X-H WHSZ10X		WHSZ15X-H	WHSZ20X-H WHSZ20X	WHSZ30X-H			
N° de Campo (F.N.)	22		16	12.5	7			
Objetivo	Aumentos Totales	Campo de Visión (mm)	Aumentos Totales	Campo de Visión (mm)	Aumentos Totales	Campo de Visión (mm)	Aumentos Totales	Campo de Visión (mm)
0.5x	4x-28x	55-7.8	6x-42x	40.0-5.7	8x-56x	31.3-4.5	12x-84x	17.5-2.5
0.75x	6x-42x	36.7-5.2	9x-63x	26.7-3.8	12x-84x	20.8-3.0	18x-126x	11.7-1.7
1x	8x-56x	27.5-3.9	12x-84x	20.0-2.9	16x-112x	15.6-2.2	24x-168x	8.8-1.3
1.25x	10x-70x	22-3.1	15x-105x	16.0-2.3	20x-140x	12.5-1.8	30x-210x	7.0-1.0
1.5x	12x-84x	18.3-2.6	18x-126x	13.3-1.9	24x-168x	10.4-1.5	36x-252x	5.8-0.83
2x	16x-112x	13.8-1.9	24x-168x	10.0-1.4	32x-224x	7.8-1.1	48x-336x	4.4-0.63

Ocular WHSZ "Visión Cómoda"				
	N° de Campo (F.N.)	Ajuste de Dioptría	Retícula	Aumentos Focales
WHSZ10X	22	--	N.A.	--
WHSZ20X	12.5	--	N.A.	--
WHSZ10XH	22	-8-+5	Sí*2	--
WHSZ15XH	16	-8-+5	Sí*2	--
WHSZ20XH	12.5	-8-+5	Sí*2	x1.3
WHSZ30XH	7	-8-+5	Sí*2	x2

*2Tamaño de retícula aplicable: 24mm de diámetro, t1.5

Objetivos para SZX7		
Modelo	N.A.	Distancia de Trabajo
DFPL0.5X-4*1	0.05	171mm
DFPL0.75X-4	0.075	116mm
DFPLA01X-4	0.10	81mm
SZX-ACH1X	0.10	90mm
SZX-ACH1.25X	0.125	68mm
DFPL1.5X-4	0.15	45.5mm
DFPL2X-4	0.20	33.5mm