



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

“ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL STICK OUT EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO A36, SOLDADO MEDIANTE LOS PROCESOS DE UNIÓN FCAW-SS Y FCAW-GS”

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

RONNIE ISMAEL CERVANTES GÓMEZ

ronnie.cervantes@epn.edu.ec

MARTHA ELIZABETH IZA PROAÑO

martha.iza01@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. CARLOS WIME DIAZ CAMPOVERDE, MSc

carlos.diaz@epn.edu.ec

COLABORADOR: ING. GABRIEL EDMUNDO VELASTEGUI BALDA

gabriel.velastegui@epn.edu.ec

Quito, Agosto 2022

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **RONNIE ISMAEL CERVANTES GÓMEZ** y **MARTHA ELIZABETH IZA PROAÑO**, bajo mi supervisión.

Ing. Carlos Diaz Campoverde

DIRECTOR DE PROYECTO

Ing. Gabriel Velastegui

COLABORADOR

DECLARACIÓN

Nosotros, **Ronnie Ismael Cervantes Gómez y Martha Elizabeth Iza Proaño**, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Ronnie Ismael Cervantes Gómez

Martha Elizabeth Iza Proaño

DEDICATORIA

**Este logro va dedicado a mis Padres, José y Alba.
También a mis abuelitos que son y fueron apoyo incondicional.
A mis hermanas que siempre estuvieron ahí con palabras de
ánimo.**

Ronnie

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, a mi abuelita y a mis padres, quienes son pilares fundamentales en cada etapa de mi vida.

A mi familia, quienes son un gran apoyo directa e indirectamente.

A nuestro director de tesis, Ing. Carlos Díaz por habernos guiado en este proceso de titulación y también al Ing. Gabriel Velastegui que, sin su apoyo, no sería posible la realización de este trabajo, finalmente a Jorge Guzmán, el soldador indispensable en este trabajo.

Ronnie

DEDICATORIA

Este logro lo dedico a mis ángeles en el cielo Papito Manuel y Mamita Panchita mis abuelitos paternos, que me enseñaron que el amor por la tierra que nos vio nacer, en la que crecemos y nos desenvolvemos nunca debe terminar, que para vivir o morir siempre la verdad debe primar. A mi mamita Loya que más que mi abuelita materna fue mi segunda madre, a mi guerrera inquebrantable que me enseñó que lo único que no tiene solución es la muerte y que el amor de familia es aquello que nos mantiene fuertes y felices aquí en la tierra.

A mis padres Raúl y Marta por su amor infinito, su oración constante y porque me han dejado el legado más importante mi educación, la misma que ha llegado de la mano de grandes esfuerzos y sacrificios de su parte. Agradezco su ejemplo de vida, la entrega por los más necesitados que me ha permitido crecer como una mujer a la que el dolor de los demás no le es indiferente.

A mis hermanos Danny, Melany, Monse, Santy y Andrés los motores de mi existencia, gracias a su cariño, preocupación y amor, no me he rendido a pesar de las dificultades, me han impulsado a lograr mi objetivo y llegar hasta a este punto de mi vida con satisfacción.

Familia Iza Proaño lo logramos, juntos lo conseguimos.

Ely

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por su infinito amor y sus bendiciones recibida a lo largo de mis años.

A la Virgen María en la advocación del Quinche, fiel protectora a quien mi madre me consagro desde el primer día en que soñé con ingresar a la Poli.

A mi universidad Escuela Politécnica Nacional que me permitió formarme académicamente con una conciencia ética, solidaria y con criterio para poder contribuir al bienestar de la comunidad.

A mi tutor el Ing. Carlos Díaz por su guía y acompañamiento para poder culminar con satisfacción esta etapa.

Al Ing. Gabriel Velastegui y a Jorge Guzmán por su apoyo incondicional en el tema practico de este proyecto.

Al Sr. Pedro Cuñas y la familia Importadora Cuñas por permitirme realizar el tema practico en sus instalaciones, así como por la facilidad de poder trabajar y culminar mi etapa universitaria.

A toda mi familia paterna y materna por su incondicional apoyo, preocupación por ser el soporte en los momentos buenos y difíciles de mi vida y de mi familia.

A Dianita por ser mi compañera, por su impulso diario para lograr todos mis objetivos. A Dany Lu mi mejor amiga, la mujer de la resistencia que con su fortaleza me han enseñado que el amor no tiene límites y me ha levantado en los momentos más difíciles de mi vida.

A Xavi por ser mi compañero en toda mi etapa universitaria por ser guía, protección y por apoyarme para la realización de este trabajo.

A David por su amor único, por llegar a mi vida a darle un toque de locura y felicidad.

A todos quienes desde niña han sembrado en mi un espíritu libre y humano, infinitas gracias

Ely

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo general.....	1
Objetivos específicos	2
1. MARCO TEÓRICO	3
1.1 Aceros bajos en carbono.....	3
1.1.1 Acero A36.....	3
1.2 Soldadura FCAW.....	4
1.2.1 FCAW-GS (Gas-shielded FCAW).....	4
1.2.2 FCAW-SS (Flux Cored Arc Welding Self Shielded)	6
1.3 Usos y Ventajas	8
1.4 Fundamentos de operación de soldadura FCAW	8
1.5 Variables del proceso de soldadura FCAW	9
1.5.1 Tamaño y composición química del electrodo.....	9
1.5.2 Stick out o longitud libre del electrodo	11
1.5.3 Corriente y voltajes de soldadura.....	11
1.5.4 Velocidad de alimentación	12
1.5.5 Polaridad.....	12
1.6 Microestructura acero A36	12
1.6.1 Microestructura material base	12
1.6.2 Microestructura junta soldada	13
2 METODOLOGÍA	15
2.1 Ensayos sobre el material base	15
2.1.1 Ensayo de tracción.....	15
2.1.1.1 Probetas de ensayo de tracción	15
2.1.1.2 Equipo de ensayo de tracción	16
2.1.1.3 Procedimiento de ensayo de tracción	17
2.1.2 Composición química	17
2.1.2.1 Probeta de ensayo de composición química.....	17
2.1.2.2 Equipo de ensayo de composición química	18
2.1.3 Metalografía del material base	18
2.1.2.1 Probeta para metalografía	18
2.1.2.2 Equipo de metalografía.....	19
2.1.4 Ensayo de dureza	20
2.1.4.1 Probeta para ensayo de dureza	21
2.1.4.2 Equipo para ensayo de dureza.....	21
2.1.4.3 Procedimiento de ensayo de dureza.....	21

2.2	Proceso de soldadura FCAW	22
2.2.1	Depósitos de cordones sobre placas planas	22
2.2.2	Probeta para el proceso de soldadura	22
2.2.3	Soldadura sobre juntas	25
2.3	Ensayos sobre depósitos de soldadura	27
2.3.1	Metalografía	27
2.4	Ensayos sobre juntas soldadas	29
2.4.1	Ensayo de doblez guiado	29
2.4.2	Análisis metalográfico	31
2.4.3	Ensayo de dureza	32
2.4.4	Ensayo de tracción	33
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
3.1	Resultados	35
3.1.1	Resultados material base	35
3.1.2	Resultados de soldadura	38
3.1.3	Resultados ensayos depósitos sobre placas	41
3.1.4	Resultado de cordones de soldadura sobre juntas	47
3.1.5	Resultado ensayos sobre juntas soldadas	49
3.2	Discusión	63
3.2.1	Discusión material base	63
3.2.2	Discusión para depósitos sobre placas	64
3.2.3	Discusión ensayos sobre juntas soldadas	66
4.	CONCLUSIONES	71
5.	RECOMENDACIONES	73
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
	Anexos	76
	ANEXO I	76
	ESPECIFICACIONES ALAMBRE TUBULAR E71T-1C	76
	ANEXO II	77
	ESPECIFICACIONES ALAMBRE TUBULAR E71T-11	77
	ANEXO III	79
	ESPECIFICACIONE MECANICAS Y QUIMICAS DEL ACERO A36	79
	ANEXO IV	80
	RESULTADOS ENSAYOS DE TRACCION SOBRE EL MATERIAL BASE Y JUNTAS SOLDADAS	80
	ANEXO V	82
	RESULTADO ANALISIS COMPOSICION QUIMICA DEL MATERIAL BASE ACERO A36	82

ANEXO VI.....	85
RESULTADOS ENSAYO DE DUREZA MATERIAL BASE Y JUNTAS SOLDADAS	85
ANEXO VII.....	86
RESULTADOS DE ENSAYOS METALOGRAFICOS SOBRE EL MATERIAL BASE Y JUNTAS SOLDADAS	86
ANEXO VIII.	88
WPS SOLDADURA EN V	88
ANEXO IX.....	96
CORDONES DE SOLDADURA SOBRE PLACAS PROCESO FCAW-GS.....	96
ANEXO X.....	98
CORDONES DE SOLDADURA SOBRE PLACAS PROCESO FCAW-SS	98
ANEXO XI.....	100
RESULTADOS MACROGRAFIAS DE CORDONES DE SOLDADURA FCAW-GS SOBRE PLACAS.....	100
ANEXO XII.....	103
RESULTADOS MACROGRAFIAS DE CORDONES DE SOLDADURA FCAW-SS SOBRE PLACAS.....	103

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Soldadura por arco eléctrico con núcleo fundente con gas de protección (FCAW-GS)	4
Figura 1.2 Conductividad en función del gas de protección (Fuente: Marcos-2020)	5
Figura 1.3 Soldadura por arco con alambre autoprotegido (FCAW-SS)	7
Figura 1.4 Partes del equipo de Soldadura FCAW	9
Figura 1.5 Stick out.....	11
Figura 1.6 Corriente vs velocidad de alimentación.....	12
Figura 1.7 Metalografía del acero A36.....	13
Figura 1.8 Micrografía a 100X de la ZAC del cordón de soldadura ASTM A36. a) Junta sin precalentamiento. b) Junta con precalentamiento de 115°C. c) Junta con precalentamiento de 300°C. d) Junta con precalentamiento de 500 °C	13
Figura 1.9 Micrografía a 100X de la ZAC del acero ASTM A36 con diferentes precalentamientos, a) Sin precalentamiento. b) Con precalentamiento 115°C. c) Con precalentamiento de 300°C. d) Con precalentamiento de 500 °C	14
Figura 2.1 Dimensiones requeridas para ensayo de tracción de material base	16
Figura 2.2 Probeta para ensayo metalográfico a) Moldeado de la probeta y b) Probeta montada.....	18
Figura 2.3 Ajuste para acople de antorcha de soldadura en máquina de corte CNC ..	23
Figura 2.4 Dimensionamiento placa de acuerdo norma D1.1 (Fuente: Propia-2022) .	25
Figura 2.5 Dimensiones de placas a soldar para juntas (Fuente: AWS.D1.1-2020)	26
Figura 2.6 a) Placa con depósito de soldadura y b) Corte transversal para análisis metalográfico	27
Figura 2.7 Probeta para ensayo metalográfico montada en resina catalizador y acelerador.....	28
Figura 2.8 Dimensiones de probetas de dobles guiado.	30
Figura 2.9 a) Probeta de soldadura sobre una junta y b) Corte transversal para análisis metalográfico	32
Figura 2.10 Zonas de medición de dureza en probeta (Fuente: Propia-2022).....	33
Figura 3.1 Probetas de material base ensayadas bajo tracción (Fuente: Propia-2022) 35	
Figura 3.2 Análisis superficial de la probeta sin ataque químico (200X).	36
Figura 3.3 Microestructura del material base (200 X) ensayado	37
Figura 3.4 Probeta 22-004-P-01 ensayada para determinar dureza	37
Figura 3.5 Deposito sobre placa A1 a velocidad de alimentación de 169,33 [mm/s]... 38	
Figura 3.6 Deposito sobre placa A1s a velocidad de alimentación de 190,5 [mm/s]. ... 39	

Figura 3.7 Macrografía probeta A1 a velocidad de alimentación de alambre 169,33 [mm/s]	41
Figura 3.8 Variación del ancho del cordón de soldadura en el proceso FCAW-GS.....	42
Figura 3.9 Variación del área de la zona afectada por el calor en el proceso FCAW-GS	42
Figura 3.10 Variación de la penetración en el proceso FCAW-GS.....	43
Figura 3.11 Variación de la sobremonta en el proceso FCAW-GS.....	43
Figura 3.12 Macrografía probeta A1s a velocidad de alimentación de alambre 190,5 [mm/s]	44
Figura 3.13 Variación del ancho del cordón de soldadura en el proceso FCAW-SS ...	45
Figura 3.14 Variación de la penetración en el proceso FCAW-SS	46
Figura 3.15 Variación del área de la zona afectada por el calor en el proceso FCAW-SS	46
Figura 3.16 Variación de la sobremonta en el proceso FCAW-SS.....	47
Figura 3.17 Microestructura cordón de soldadura velocidad de alimentación 148,17 mm/s a) tres zonas de la junta, b) material base, c) zona afectada por el calor y d)material de aporte; proceso FCAW-GS	55
Figura 3.18 Microestructura cordón de soldadura velocidad de alimentación 169,33 mm/s a) tres zonas de la junta, b) material base, c) zona afectada por el calor y d) material de aporte; proceso FCAW-GS	56
Figura 3.19 Microestructura cordón de soldadura velocidad de alimentación 127 mm/s a) tres zonas de la junta, b) material base, c) zona afectada por el calor y d) material de aporte; proceso FCAW-SS.....	57
Figura 3.20 Microestructura cordón de soldadura velocidad de alimentación 190,5 mm/s a) tres zonas de la junta, b) material base, c) zona afectada por el calor y d) material de aporte; proceso FCAW-SS.....	58
Figura 3.21 Determinación de la dureza sobre cordones de soldadura puntos de indentación.	58
Figura 3.22 Dureza proceso FCAW-GS a una velocidad de alimentación 148,17 mm/s	59
Figura 3.23 Dureza proceso FCAW-GS a una velocidad de alimentación 169,33 mm/s.	59
Figura 3.24 Dureza proceso FCAW-SS a una velocidad de alimentación 127 mm/s. .	60
Figura 3.25 Dureza proceso FCAW-SS a una velocidad de alimentación 190,5 mm/s.	60

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Propiedades mecánicas del acero de bajo carbono	3
Tabla 1.2 Propiedades mecánica y físicas del acero A36.....	3
Tabla 1.3 Composición química y propiedades mecánicas del alambre tubular E71T-1C.....	6
Tabla 1.4 Composición química y propiedades mecánicas del alambre tubular E71T11	7
Tabla 1.5 Designadores de tipo de usabilidad para electrodos con núcleo fundente ..	10
Tabla 2.1 Especificaciones máquina de ensayo para tracción	16
Tabla 2.2 Especificaciones de equipo de espectrometría por chispa	18
Tabla 2.3 Especificaciones de equipos empleados en análisis microestructura	19
Tabla 2.4 Especificaciones del durómetro	21
Tabla 2.5 Equipos empelados en el proceso de soldadura FCAW.....	23
Tabla 2.6 Especificación del reactivo.....	27
Tabla 2.7 Especificaciones del microscopio metalográfico	28
Tabla 2.8 Especificaciones máquina de doblado	31
Tabla 2.9 Características del reactivo.....	31
Tabla 3.1 Comparación resultados propiedades mecánicas Acero A36	36
Tabla 3.2 Comparación composición química del material base	36
Tabla 3.3 Resultado del ensayo de dureza	37
Tabla 3.4 Resultados de parámetro de depósitos sobre placas proceso FCAW-GS...	38
Tabla 3.5 Resultados de parámetro de depósitos sobre placas proceso FCAW-GS...	40
Tabla 3.6 Dimensionamiento de cordones de soldadura para proceso de soldadura FCAW-GS.....	41
Tabla 3.7 Dimensionamiento de cordones de soldadura para proceso de soldadura FCAW-SS	44
Tabla 3.8 Resultados de parámetro de juntas soldadas proceso FCAW-GS.....	47
Tabla 3.9 Comparación de parámetros soldadura FCAW-GS.....	48
Tabla 3.10 Resultados de parámetro de juntas soldadas proceso FCAW-SS	48
Tabla 3.11 Comparación de parámetro soldadura FCAW-SS	48
Tabla 3.12 Resultados del ensayo de doblado en probetas FCAW-GS con velocidad de alimentación 169,33 [mm/s]	49
Tabla 3.13 Resultados del ensayo de doblado en probetas FCAW-GS con velocidad de alimentación 148,17 [mm/s]	50
Tabla 3.14 Resultados del ensayo de doblado en probetas FCAW-SS con velocidad de alimentación 190,5 [mm/s]	51

Tabla 3.15 Resultados del ensayo de doblado en probetas FCAW-SS con velocidad de alimentación 127 [mm/s]	52
Tabla 3.16 Macrografías posterior al proceso de soldadura FCAW	53
Tabla 3.17 Valorización de la calidad de los procesos de soldadura	54
Tabla 3.18 Durezas de las zonas de soldaduras proceso FCAW.....	58
Tabla 3.19 Resultados ensayo tracción juntas soldadas	61
Tabla 3.20 Resultados grafico del ensayo de tracción proceso Outershield.....	61
Tabla 3.21 Resultados grafico del ensayo de tracción proceso Innershield.....	62

RESUMEN

Este trabajo de investigación tiene como propósito, estudiar la influencia del stick out en el proceso de soldadura por arco con núcleo fundente FCAW al realizar cordones de soldadura en placas de acero A36 con diferentes valores de amperajes y voltajes, para identificar la incidencia de estos parámetros en juntas soldadas. Con la ayuda de catálogos y códigos como AWS D1.1, es posible identificar y establecer recomendaciones para una correcta aplicación del proceso de soldadura Innershield y Outershield en aceros A36 empleados mayormente en estructuras metálicas.

El análisis tiene relevancia debido a que la bibliografía investigada no aporta información suficiente que evalúe la influencia de la distancia entre la punta de contacto y la punta del electrodo (stick-out) sobre las propiedades mecánicas del cordón de soldadura cuando se utilizan los procesos de unión.

El fin es ayudar a futuras investigaciones de la incidencia de las variables en los cordones de soldadura y servirá como guía para aplicaciones prácticas en el trabajo diario que realizan soldadores en la industria de la construcción.

Palabra clave: acero A36, propiedades mecánicas, stick out, soldadura FCAW

ABSTRACT

The purpose of this research work is to study the influence of stick out in the FCAW flux cored arc welding process when welding beads on A36 steel plates with different amperage and voltage values, in order to identify the incidence of these parameters in welded joints. With the help of catalogs and codes such as AWS D1.1, it is possible to identify and establish recommendations for a correct application of the Innershield and Outershield welding process on A36 steels mostly used in metallic structures.

The analysis has relevance due to the fact that the investigated bibliography does not provide sufficient information that evaluates the influence of the distance between the contact tip and the electrode tip (stick-out) on the mechanical properties of the weld bead when the joining processes are used.

The purpose is to aid future investigations of the incidence of variables on weld beads and will serve as a guide for practical applications in the daily work performed by welders in the construction industry.

Keyword: A36 steel, mechanical properties, stick out, FCAW welding.

“ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL STICK OUT EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO A36, SOLDADO MEDIANTE LOS PROCESOS DE UNIÓN FCAW-SS Y FCAW-GS”

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene aplicación en el ámbito técnico profesional e industrial debido a que tiene por objeto de estudio determinar la incidencia del stick out sobre las propiedades mecánicas del acero A36.

Mediante el empleo de valores recomendados de voltajes y amperajes obtenidos de los catálogos y recomendaciones de fabricantes para el proceso FCAW, se desea determinar un estado estable de soldadura, al cual se variará el stick out para realizar un estudio posterior de las propiedades mecánicas en juntas soldadas.

El análisis realizado a los cordones de soldadura en placas de acero A36 permite establecer mediante el empleo de macrografías en la sección transversal el dimensionamiento del cordón de soldadura; a través de ensayos destructivos de tracción, doblado de cara y raíz se conocerán las propiedades mecánicas del elemento soldado.

Al finalizar el análisis se aplicará el valor obtenido que permite obtener un estado estable y se procederá a elaborar un WPS bajo el cual se evaluará una junta en V regida bajo el código AWS D1.1

Objetivo general

Estudiar la influencia del stick out en las propiedades mecánicas del acero A36, soldado mediante los procesos de unión FCAW-SS y FCAW-GS.

Objetivos específicos

- Recopilar información bibliográfica para procesos de soldadura FCAW InnerShield y OuterShield.
- Determinar el procedimiento para realizar cordones de soldadura en diferentes probetas con variación de parámetros principales y secundarios mediante procesos de unión FCAW-SS y FCAW-GS.
- Analizar los resultados de cordones y juntas soldadas para placas de acero A36.
- Verificar las propiedades mecánicas mediante ensayos establecidos en el código AWS D1.1 para cordones de soldadura en juntas en V de acero A36 para determinar la influencia de la variación del stick out en cada uno de los procesos FCAW estudiados InnerShield y OuterShield.

1. MARCO TEÓRICO

El presente capítulo muestra los fundamentos sobre los cuales se desarrolla la investigación a través de concepto sobresaliente acerca del acero A36, así como el proceso de unión FCAW, sus variables principales y secundarias con énfasis en el stick out, para poder determinar su incidencia en las propiedades mecánicas del acero posterior al proceso de unión.

1.1 Aceros bajos en carbono

Se considera aceros con bajo contenido de carbono pues contiene una cantidad menor al 0.25% C. La microestructura de este tipo de acero es comúnmente ferrita y perlita, debido a esta estructura los aceros se consideran blandos y poco resistentes, sin embargo, presentan gran ductilidad y tenacidad (Tabla 1.1). Por otra parte, son excelente materiales para mecanizar, con soldabilidad óptima y son relativamente económicos en el mercado ecuatoriano.

Tabla 1.1 Propiedades mecánicas del acero de bajo carbono

Propiedades	Valor
Limite elástico [MPa]	275
Resistencia a la tracción [MPa]	415-550
Ductilidad (%A)	25%

(Fuente: Brockenbrough-2020)

1.1.1 Acero A36

El acero ASTM A36 es un acero estructura con bajo contenido de carbono, es un material de buena soldabilidad, laminado en caliente con un punto de fluencia de 248.211Mpa es un material muy dúctil. Otras propiedades importantes de describen en la Tabla 1.2

Tabla 1.2 Propiedades mecánica y físicas del acero A36

Propiedades	Valor
Densidad [kg/m ³]	7850
Punto de fusión [K]	274.58-274.69
Relación de Poissons	0.26
Resistencia a la tracción [MPa]	400-500
Limite elástico [MPa]	250
Dureza Brinell, HBW	119-162
Módulo de elasticidad [GPa]	200

(Fuente: Grados Material Mundial-2020)

1.2 Soldadura FCAW

La soldadura FCAW por sus siglas en inglés Flux-Cored Arc Welding, es un proceso que produce coalescencia de los metales al calentarlos con un arco eléctrico entre el metal de aportación consumible otorgada por el alambre tubular y el metal de trabajo. Dentro de la clasificación por el tipo de alambre tubular se distinguen:

- Metal cored

Este alambre tubular contiene en su interior polvo metálico con una pequeña cantidad de elementos que brindan aleación en el proceso de soldadura, funcionan como desoxidantes y ayudan a estabilizar el arco eléctrico.

Están regidos según la norma AWS 5.36.

- Flux cored

Este tipo de alambre tubular contiene en su interior flux (fundente), sustancia que posee una alta capacidad para desoxidar y mejorar la soldadura debido a la reacción que genera con las impurezas y otros elementos expulsándolos del cordón de soldadura como una fina capa de escoria que aparece de manera superficial.

Para mejorar la protección de la soldadura flux cored necesita la protección de gas CO_2 o una mezcla entre argón y CO_2 .

- Alambres autoprotegidos

Estos alambres tubulares presentan la singularidad que los gases originados por el proceso de combustión y la escoria se depositan superficialmente sobre el cordón, creando la protección del cordón de soldadura.

1.2.1 FCAW-GS (Gas-shielded FCAW)

En el proceso FCAW-GS se emplea un alambre tubular de tipo flux cored y un gas activo. La letra G especifica que este proceso necesita el empleo de un gas de protección dentro del proceso para completarla combustión del flux. En la Figura 1.1 se puede observar el esquema del método de soldadura con gas protegido.

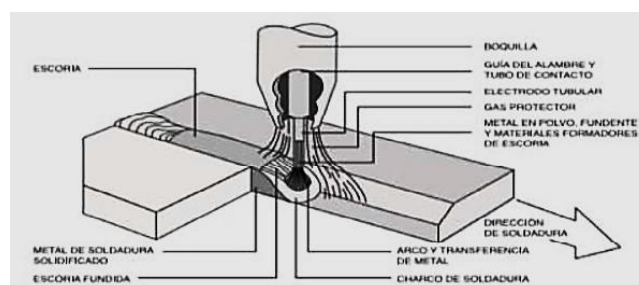


Figura 1.1 Soldadura por arco eléctrico con núcleo fundente con gas de protección (FCAW-GS)

(Fuente: Indura-2007)

1.2.1.1 Gas de Protección

En el proceso de soldadura FCAW-GS, el electrodo usado necesita la adición de un gas de protección durante la soldadura ya que influye sobre la penetración, forma y calidad del cordón de soldadura. El caudal necesario para una buena soldadura debe ser el adecuado ya que un caudal bajo puede producir una mala protección generando porosidades y oxidación, si al contrario existe un caudal abundante puede generar discontinuidades al mezclarse con el aire del ambiente.

La importancia del gas es que el mismo protege a la soldadura del oxígeno y del nitrógeno presente en el aire formando una envoltura alrededor del arco eléctrico y sobre el charco de soldadura. Por lo general, los elementos principales de los electrodos tubulares son formadores de escoria, desoxidantes, estabilizadores de arco y elementos de aleación.

Dióxido de carbono CO_2

El dióxido de carbono es el único gas activo utilizado como gas de protección externo cuando se emplea en el proceso de unión alambre tubular que no posea auto protección. Su aplicación se debe a su alta velocidad de soldeo, además de su gran penetración y precio relativamente bajo. El gas protector es gas que se licua con la presión, similar al GLP, la presión del tanque es de 5.515 Mpa.

Cuando un alambre tubular tiene presencia en grandes cantidades de silicio y manganeso se emplea una mezcla 100% CO_2 debido a que estos elementos compensan las pérdidas por oxidación ocasionada por la formación de monóxido de carbono (CO) y oxígeno libre (O) dentro del proceso de soldadura. (Jeffus, 2009)

El dióxido de carbono presenta mayor conductividad y genera un cordón homogéneo con mayor penetración, esto se evidencia en la Figura 1.2

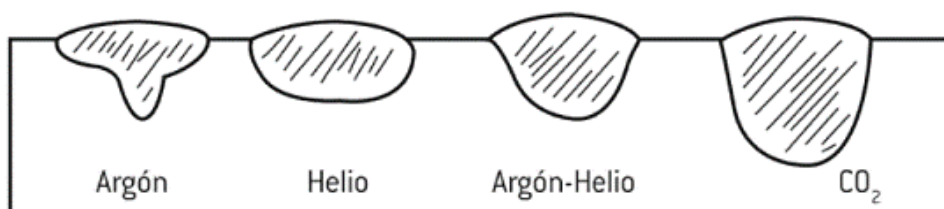


Figura 1.2 Conductividad en función del gas de protección
(Fuente: Marcos-2020)

1.2.1.2 Alambre tubular

El alambre tubular permite obtener soldadura de alta calidad, además mejora el aspecto del cordón de soldadura, son versátiles puesto que permiten soldar un amplio rango de espesores de acero. A pesar de presentar varias ventajas la producción considerable de escoria exige una limpieza entre cada pasada de soldadura por tal motivo disminuye la producción además el humo generado es alto.

Alambre tubular E71T1C: Este alambre flux cored de acuerdo con la norma AWS A5.36 necesita CO₂ presenta una transferencia en espray, producción moderada de escoria que presenta cobertura total del cordón. El alambre va conectado al polo positivo, puede emplearse para una o varias pasadas de soldadura, presenta bajas pérdidas por salpicaduras y un moderado volumen de escoria que cubre la franja de soldadura por completo. En la Tabla 1.3 se presenta información acerca del alambre tubular E71T-1C (ANEXO I).

Tabla 1.3 Composición química y propiedades mecánicas del alambre tubular E71T-1C

Análisis típico de metal depositado (%en peso)					
Gas	C	Mn	Si	P	S
CO ₂	0.05	1.37	0.37	0.018	0.005
Propiedades mecánicas típicas del metal depositado					
Gas	Esf. Fluencia en 0.2%, MPa	Esf. Máx. De Tracción, MPa	Elongación (L=4d), %	E. Absorbida Ch-v	
CO ₂	493	574	26	80 J a 20 °C	
Parámetros de soldadura y datos					
Diámetro, mm		1.2		1.6	
Int. De Corr., A		140-320		200-300	
Voltaje, Volts		22-35		25-36	
Stickout, mm		15-25		15-25	

(Fuente: Indura-2022)

1.2.2 FCAW-SS (Flux Cored Arc Welding Self Shielded)

En la soldadura FCAW-SS, o autoprotegido mostrado en la Figura 1.3 los ingredientes centrales presentes en el alambre tubular hueco de pared delgada protegen el metal de soldadura de la atmósfera sin necesidad de adición de un gas externo, ya que estos electrodos proporcionan su propio gas protector al descomponer los ingredientes del núcleo, muchos electrodos contienen cantidades considerables de ingredientes desoxidantes y desnitrificantes para obtener una mejor soldadura. En otros electrodos tubulares las gotas de metal que se transfieren a través del arco y el baño de soldadura están protegidos de la atmósfera gracias a la formación de escoria.

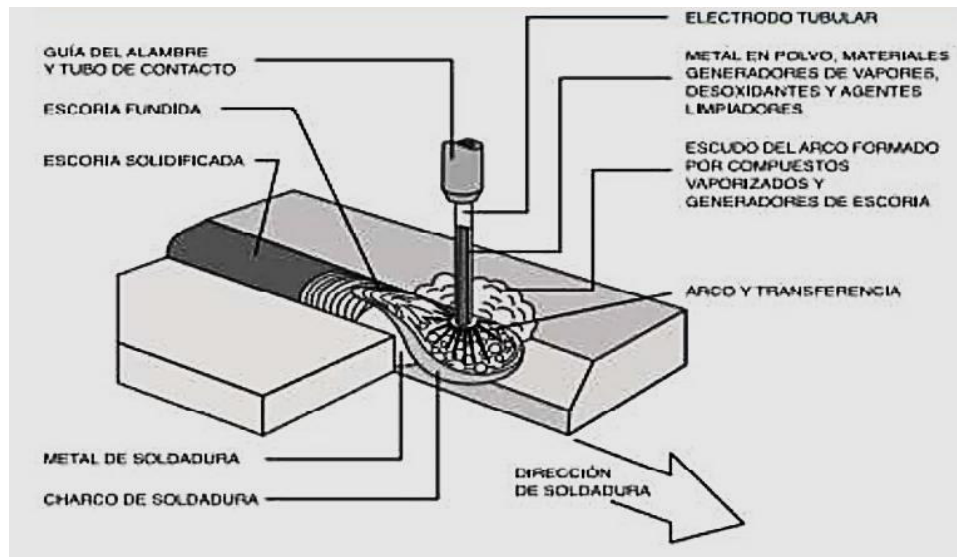


Figura 1.3 Soldadura por arco con alambre autoprotegido (FCAW-SS)

(Fuente: Indura-2007)

1.2.2.1 Alambre autoprotegido

En los alambres auto protegidos el fundente puede asegurar la protección del cordón, el alambre funciona como un electrodo revestido en donde la combustión del revestimiento se encarga de vaporizar los gases que protegen el baño de fusión además de crear escoria que funciona como una barrera protectora que evita el contacto del cordón con el aire que lo rodea mientras sufre el proceso de enfriamiento, la diferencia radica en que los alambres tubulares presentan la protección en el interior del alambre.

Alambre tubular E71T11: Este alambre presenta una transferencia suave por spray, por otra parte, la cobertura de escoria es limitada, generación baja de salpicadura, velocidades de recorrido alta y no es recomendable en soldadura de materiales de un espesor mayor a 20mm.

La polaridad del alambre va conectado al polo negativo y permite soldar en posición plana, vertical descendente y bajo techo en chapa a tope o ángulo. Las propiedades del alambre tubular E71T11 se evidencian en la Tabla 1.4 (ANEXO II).

Tabla 1.4 Composición química y propiedades mecánicas del alambre tubular E71T11

Composición química típica del metal depositado		
Análisis de metales de soldadura (%)	Fabshield 21B	Especificaciones AWS
Carbono (C)	0.28	0.30
Manganeso (Mn)	0.34	1.75
Silicio (Si)	0.15	0.60
Fosforo(P)	0.008	0.03
Azufre (S)	0.003	0.03
Aluminio (Al)	1.72	1.80

Nota: Los valores únicos de especificación de AWS son máximos.

Propiedades mecánicas típicas [Envejecido 48 Hrs. @200°F (93°C)]		
Prueba mecánica	Fabshield 21B	Especificaciones AWS
Resistencia a la tracción	91,00 psi (627 MPa)	70,00- 95,000 psi (490-670 MPa)
Limite elástico	62,00 psi (427 MPa)	58,00 psi (390 MPa) mínimo
Elongación % en 2” (50mm)	22%	22% mínimo

(Fuente: Hobart Filler Metals-2022)

1.3 Usos y Ventajas

La soldadura FCAW está regido por sus ventajas y también beneficios frente a otros tipos de soldadura, las más importantes son:

- En muchas aplicaciones el FCAW produce uniones de una alta calidad y a un costo menor que el proceso SMAW.
- El proceso FCAW es más amigable que el proceso GMAW y no requiere tanta limpieza.
- La tasa de aportación es hasta 4 veces mayor que en el proceso SMAW.
- El proceso puede usarse para soldar aceros en un rango amplio de espesores.
- El proceso puede realizarse en exteriores sin que afecte o deteriore la calidad de la soldadura.

1.4 Fundamentos de operación de soldadura FCAW

El proceso de soldadura FCAW tiene como principio la alimentación continua de electrodo que puede o no tener suministro de gas externo, dicho proceso se emplea con protección de fundente que está contenido en un electrodo tubular y sin aplicación de presión. El electrodo tubular consiste en una funda metálica que tiene un núcleo con fundente compuesto de varios materiales pulverizados.

El proceso puede ser semiautomático o completamente automático, pero generalmente el más usado es el proceso semi automático en donde la pistola es manipulada por el soldador. Para utilización del proceso, se debe realizar unos ajustes principales en el equipo como son el voltaje, velocidad de alimentación del electrodo y dirección de desplazamiento.

Los componentes básicos en el equipo son la fuente de poder (voltaje constate CV), fuente de gas protector, la unidad de tracción y control de alambre, cableado y otros componentes que se muestran en la Figura 1.4

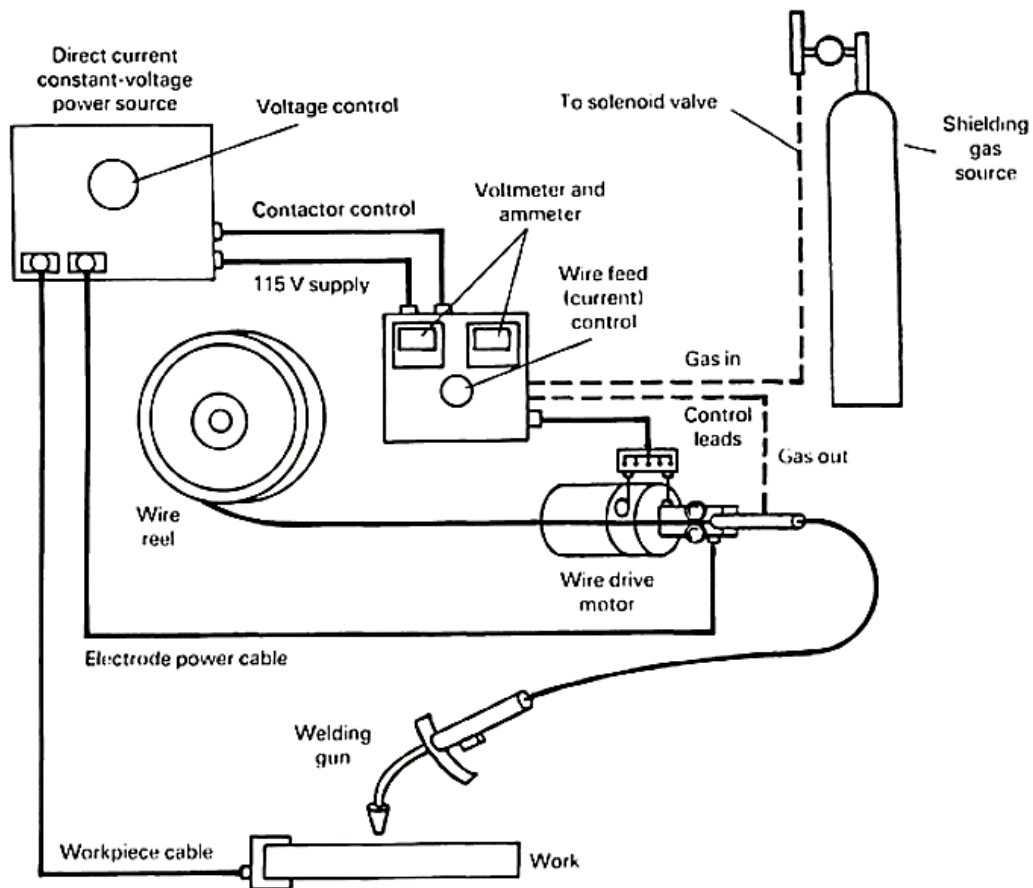


Figura 1.4 Partes del equipo de Soldadura FCAW
(Fuente: Nippes-1993)

1.5 Variables del proceso de soldadura FCAW

Las variables del proceso de soldadura son aquellas que afectan de manera global a la soldadura, en el caso de la soldadura FCAW se consideran:

1.5.1 Tamaño y composición química del electrodo

Dentro de la soldadura FCAW existen alambres tubulares que pueden tener diámetros desde 0.8mm a 3.2mm. Dichos electrodos están clasificados por la AWS A5.36 su empleo "Especificación para electrodos de acero al carbono para soldadura por arco con núcleo de fundente", esto se puede apreciar en la Tabla 1.5

Tabla 1.5 Designadores de tipo de usabilidad para electrodos con núcleo fundente

Tipo	Protección	Número pases	Transferencia	Resistencia al impacto requerido	Polaridad	Características especiales
T-1	Gas	Múltiple	Pulverización	27 J a -18 °C (20 ft · lbf a 0 °F)	DCEP	Baja salpicadura, cobertura completa de escoria
T-2	Gas	Único	Pulverización	No requerido	DCEP	Baja salpicadura, cobertura completa de escoria, alto contenido de desoxidantes
T-3	Ninguno	Único	Pulverización	No requerido	DCEP	Alta velocidad
T-4	Ninguno	Múltiple	Globular	No requerido	DCEP	Baja penetración, alto depósito, resistente a agrietamiento.
T-5	Gas	Múltiple	Globular	27 J a -30 °C (20 ft · lbf a -20 °F)	DCEP	Resistencia mejorada, resistente a grietas, escoria fina.
T-6	Ninguno	Múltiple	Pulverización	27 J a -30 °C (20 ft · lbf a -20 °F)	DCEP	Resistencia mejorada, penetración profunda
T-7	Ninguno	Múltiple	Globular	No requerido	DCEN	Resistente a grietas, buena remoción de escoria
T-8	Ninguno	Múltiple	Globular	27 J a -30 °C (20 ft · lbf a -20 °F)	DCEN	Resistencia mejorada, resistente a grietas.
T-10	Ninguno	Único	Globular	No requerido	DCEN	Alta velocidad
T-11	Ninguno	Múltiple	Pulverización	No requerido	DCEN	Propósito general
T-G	*	Múltiple	No especificado	No requerido	No requerido	No requerido
T-GS	*	Único	No especificado	No especificado	No especificado	No especificado

(Fuente: Nippes-1993)

Los electrodos con mayores diámetros requieren corrientes y velocidades de alimentación de alambres mayores, produciendo depósitos más grandes con aumento de penetración.

Es pertinente tomar en cuenta la composición química del electrodo ya que sus componentes influyen de gran manera en las propiedades del material soldado.

1.5.2 Stick out o longitud libre del electrodo

El stick out corresponde a la distancia entre la punta de contacto y la punta del electrodo o alambre tubular. Dicha distancia es de suma importancia ya que un aumento o decremento influye directamente en variaciones de voltaje y amperaje.

Al tener un stick out de mayor distancia producirá aumento en la resistencia eléctrica que aumenta la fusión del alambre y también causa una caída de tensión que se detecta en la fuente y la compensará con una disminución de corriente para finalmente producir un cordón más angosto y alto como se evidencia en la Figura 1.5

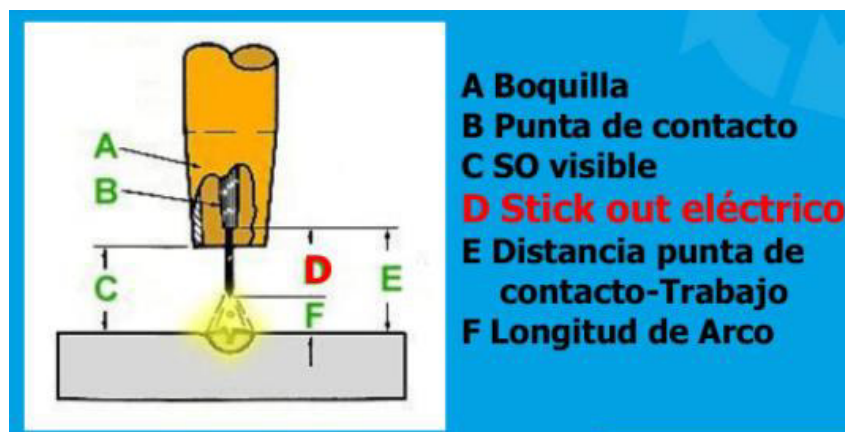


Figura 1.5 Stick out
(Fuente: Quishpe, 2014)

1.5.3 Corriente y voltajes de soldadura

Para el proceso de soldadura FCAW, por lo general se utiliza voltaje constante para fundir el electrodo con una rapidez que mantenga el voltaje de salida para que no varíe la longitud del arco.

La corriente de soldadura es proporcional a la velocidad de alimentación del alambre con un diámetro, composición y stick out específicos, esto significa que para cada electrodo hay una velocidad de alimentación óptima según el amperaje con el que se trabaje.

En la Figura 1.6 se puede observar como la corriente de soldadura cambia en función de la velocidad de alimentación de alambre para FCAW-GS con protección de gas.

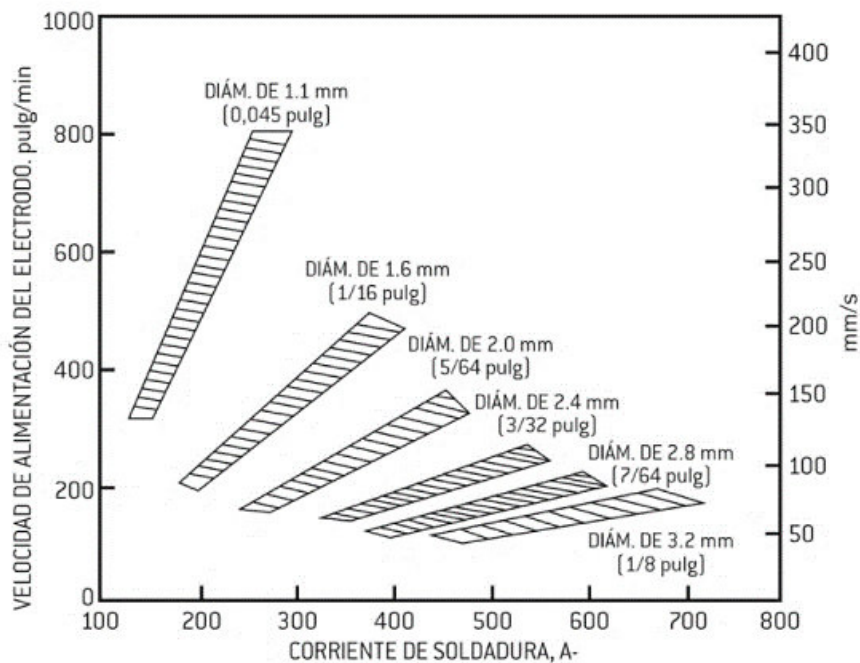


Figura 1.6 Corriente vs velocidad de alimentación
(Fuente: Marcos- 2020)

1.5.4 Velocidad de alimentación

Es la velocidad con la que el alambre es depositado en el cordón de soldadura, el cual es establecido previamente y se mantiene constante durante la soldadura para de esta manera garantizar la calidad de soldadura y uniformidad en los cordones.

1.5.5 Polaridad

Al utilizar corriente continua es necesario conocer la dirección del flujo de la corriente, a esto le llamamos polaridad, si el cable del porta-electrodo es conectado al polo negativo de la fuente de poder y el cable de tierra (masa) al polo positivo se denomina polaridad directa o normal, en el caso contrario se denomina polaridad inversa o indirecta.

1.6 Microestructura acero A36

1.6.1 Microestructura material base

La microestructura típica del acero A36 (Figura 1.7) con una matriz ferrítica- perlítica se evidencia en el estudio de Naranjo, C., Sánchez, X., & Tobar, E. (2015).



Figura 1.7 Metalografía del acero A36
Fuente: Naranjo, C., Sánchez, X., & Tobar, E. -2015.

1.6.2 Microestructura junta soldada

Determinar la micrografía posterior al proceso de soldadura es necesario para poder identificar como las estructuras sufren cambios en el cordón de soldadura y la zona afectada del calor.

Para Almendariz, Vaca & Medina (2021) en la zona del cordón de soldadura para un acero A36 se presenta una microestructura ferrita que se evidencia como zonas claras, así como la presencia de zonas oscuras que son estructura perlita. Además de evidencia en la Figura 1.8 el análisis de la junta soldada sin calentamiento y con un precalentamiento a una temperatura de 115°C.

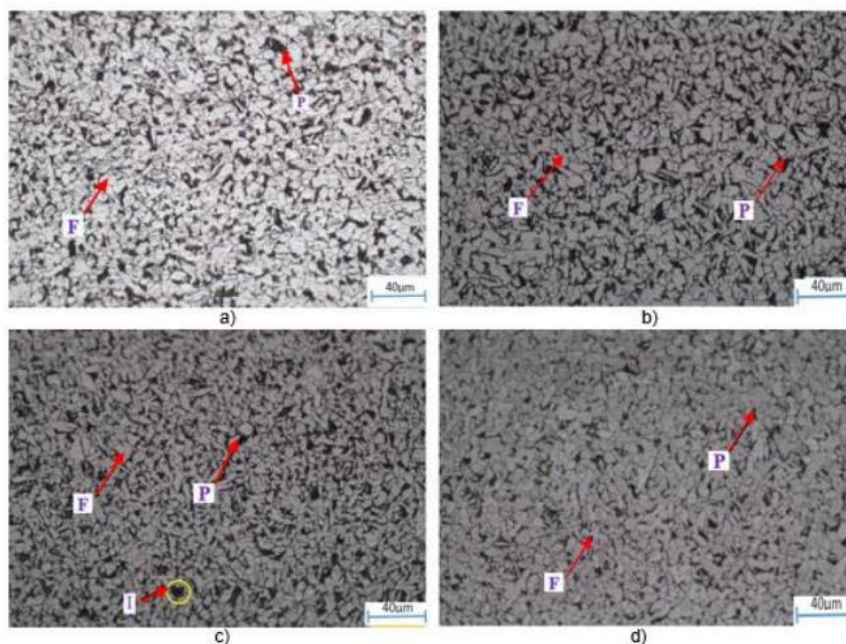


Figura 1.8 Micrografía a 100X de la ZAC del cordón de soldadura ASTM A36. a) Junta sin precalentamiento. b) Junta con precalentamiento de 115°C. c) Junta con precalentamiento de 300°C. d) Junta con precalentamiento de 500 °C
Fuente: Almendariz, Vaca & Medina -2021

En este mismo análisis se identifica la zona afectada por el calor para el acero A36 de una junta sin precalentamiento existe la presencia de ferrita Widmanstatten y además de la presencia de ferrita acicular, así como presencia de ferrita en los límites de grano esta estructura se evidencia en la Figura 1.9 a, por otra parte, se evidencia en los literales b, c y d. el análisis en esta zona mediante un proceso de calentamiento a una temperatura mayor a los 100 °C.

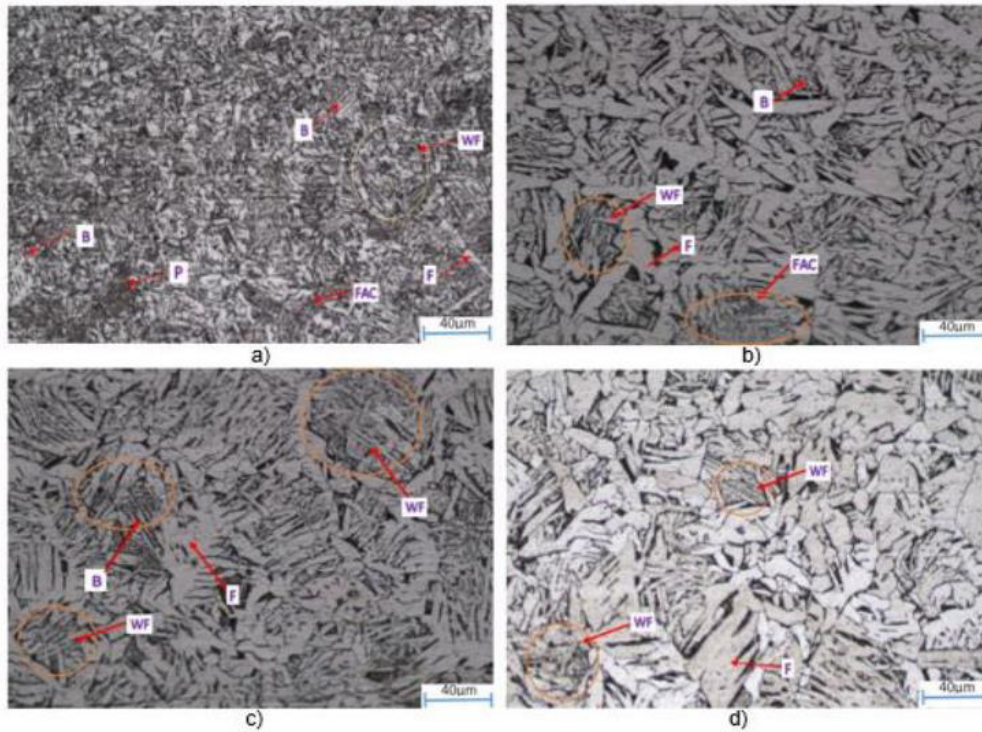


Figura 1.9 Micrografía a 100X de la ZAC del acero ASTM A36 con diferentes precalentamientos, a) Sin precalentamiento. b) Con precalentamiento 115°C. c) Con precalentamiento de 300°C. d) Con precalentamiento de 500 °C

Fuente: Almendariz, Vaca & Medina -2021

2 METODOLOGÍA

Con el objetivo de verificar la influencia del stick out en las propiedades mecánicas del acero A36, soldado mediante los procesos de unión FCAW-SS Y FCAW-GS se realizan la variación de parámetros principales como stick out, amperaje, voltaje y velocidad de alimentación del alambre tubular considerando recomendaciones de fabricantes. Cada proceso es calificado en base a los requerimientos detallados en la norma AWS D1.1.

Para analizar el comportamiento mecánico se efectuarán ensayos de tracción, doblado de cara y de raíz y dureza, los mismos que permiten cuantificar las propiedades del acero A36 posterior a la aplicación de dos procesos de soldadura FCAW. Para determinar los componentes presentes en el material base se realiza una prueba de espectrometría por chispa y para finalizar se extraerán muestras para un análisis metalográfico (macro y micrografías) y el posterior análisis de resultados.

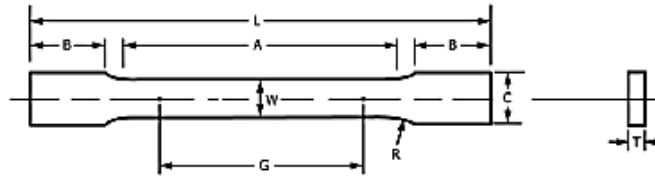
2.1 Ensayos sobre el material base

2.1.1 Ensayo de tracción

Este ensayo es empleado para determinar el comportamiento del material cuando es sometido a una carga uniaxial que aumenta gradualmente hasta que el mismo sufra rotura, para obtener varias propiedades mecánicas como: carga máxima registrada, resistencia a la tracción, resistencia a la fluencia y porcentaje de elongación importantes dentro del análisis ingenieril.

2.1.1.1 Probetas de ensayo de tracción

Para realizar el ensayo de tracción del material base es necesario utilizar la norma ASTM E8/ASTM E8M en donde se indican las medidas requeridas de las probetas que se van a ensayar, ver Figura2.1



	Dimensions		
	Standard Specimens	Sheet-Type, 12.5 mm [0.500 in.] Wide	Subsize Specimen
	Plate-Type, 40 mm [1.500 in.] Wide	Sheet-Type, 12.5 mm [0.500 in.] Wide	6 mm [0.250 in.] Wide
	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]
G—Gauge length (Note 1 and Note 2)	200.0 ± 0.2 [8.00 ± 0.01]	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	25.0 ± 0.1 [1.000 ± 0.003]
W—Width (Note 3 and Note 4)	40.0 ± 2.0 [1.500 ± 0.125, -0.250]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]
T—Thickness (Note 5)		thickness of material	
R—Radius of fillet, min (Note 6)	25 [1]	12.5 [0.500]	6 [0.250]
L—Overall length, min (Note 2, Note 7, and Note 8)	450 [18]	200 [8]	100 [4]
A—Length of reduced parallel section, min	225 [9]	57 [2.25]	32 [1.25]
B—Length of grip section, min (Note 9)	75 [3]	50 [2]	30 [1.25]
C—Width of grip section, approximate (Note 4 and Note 9)	50 [2]	20 [0.750]	10 [0.375]

Figura 2.1 Dimensiones requeridas para ensayo de tracción de material base

(Fuente: ASTM E8-2021)

2.1.1.2 Equipo de ensayo de tracción

El ensayo se realizará en el laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones (LAEV) de la Escuela Politécnica Nacional. Para la ejecución del ensayo se emplea un calibrador pie de rey para dimensionar las probetas, un marcador metálico para identificar las mismas y la máquina universal de ensayos con características según la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Especificaciones máquina de ensayo para tracción

Imagen	Descripción	Especificación
	Marca	TINIUS OLSEN (UNIVERSAL TESTING)
	Modelo	SUPER L
	Capacidad de carga [kN]	3000
	Aplicación de carga	Sistema hidráulico

(Fuente: Propia-2022)

2.1.1.3 Procedimiento de ensayo de tracción

- Preparar las probetas en base a la norma ASTM E8, además se debe realizar unas marcas que servirán como referencia para poder verificar el valor de elongación concluido el ensayo.
- Posicionar la probeta de manera vertical en la máquina universal de ensayos asegurándose que los extremos estén correctamente asegurados en las mordazas.
- Establecer los parámetros para poder controlar el proceso, aplicar la fuerza exterior a una velocidad constante en uno de los extremos de la probeta.
- Cuando la probeta sufra fractura es necesario registrar los datos obtenidos por el software proporcionado por el equipo de ensayo.
- Retirar de la máquina la probeta ensayada para determinar medidas finales del largo y ancho, por otra parte, se debe analizar la zona de fractura.

2.1.2 Composición química

Para la determinación de la composición química del elemento base se empleó espectrometría de emisión atómica que permite determinar cuantitativamente elementos presentes en el elemento metálico empleado como muestra.

El atomizador empleado para la excitación es por chispa eléctrica donde la muestra es excitada por una chispa de alto voltaje que genera una temperatura de atomización alrededor de los 4000 °C.

Esta técnica espectroscópica examina las longitudes de onda de fotones emitidos por los átomos o moléculas durante su transición desde un estado de inferior energía, debido a que cada elemento emite un conjunto característico de longitudes de onda discretas en función de su estructura electrónica mediante la observación de estas longitudes de onda es posible determinar la composición elemental de la muestra.

2.1.2.1 Probeta de ensayo de composición química

Se provee una muestra metálica del material base de dimensiones 20x20x10mm a la cual se le realizan tres tomas de mediciones en el área del espécimen, el ensayo será bajo el método Fe 110 Low alloy, la limpieza superficial se realiza de acuerdo a la norma ASTM E415.

2.1.2.2 Equipo de ensayo de composición química

El ensayo se realizará en el laboratorio de Fundición de la Escuela Politécnica Nacional. El espectrómetro empleado para la espectrometría por chispa se identifica de acuerdo a la Tabla 2.2

Tabla 2.2 Especificaciones de equipo de espectrometría por chispa

	Descripción	Especificación
	Marca	BRUKER
	Modelo	Q2 ION

(Fuente: Propia-2022)

2.1.3 Metalografía del material base

La microestructura permite determinar el tipo, la estructura, la forma, el número y el arreglo topológico de las fases y los defectos de la red de la estructura, la microestructura permite determinar las propiedades del metal.

El análisis metalográfico y el análisis químico permiten caracterizar el metal, así como el método de la manufactura y tratamientos térmicos presentes.

2.1.2.1 Probeta para metalografía

Se provee una muestra metálica del material base la misma que es montada sobre un molde con resina catalizador y acelerador como muestra la Figura 2.2 facilitando su manipulación en los siguientes procesos.

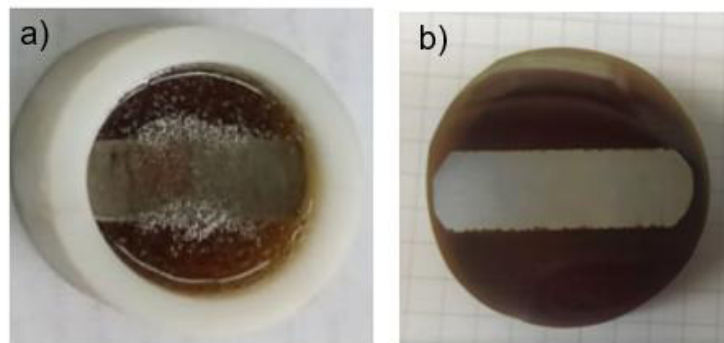




Figura 2.2 Probeta para ensayo metalográfico a) Moldeado de la probeta y b) Probeta montada


(Fuente: Propia-2022)

2.1.2.2 Equipo de metalografía

El ensayo se realizará en el laboratorio de Metalografía Desgaste y Falla (LMDF) de la Escuela Politécnica Nacional. El proceso inicial con la preparación de las probetas con un desbaste grueso empleando la máquina desbastadora, continuación de un pulido fino y posteriormente del registro fotográfico microscópico. Todos los equipos empleados a detalle se presentan en la Tabla 2.3

Tabla 2.3 Especificaciones de equipos empleados en análisis microestructura

Imagen	Descripción	Especificación
Máquina de desbaste grueso		
	Marca	BUEHLER
	Modelo	121-0M-84
	Voltaje [v]	110
	Potencia [Hp]	1
	Amperaje [A]	6.2
	Medio de enfriamiento	Agua
	Numero Abrasivo [g/pulg ²]	100
Máquina desbastadora y pulidora		
	Marca	FORCIMAT
	Modelo	FORCIPOL 2V
	Voltaje [V]	220
	Potencia [Hp]	0.75
	Frecuencia [Hz]	50/60
	Medio de enfriamiento	Agua

Microscopio metalográfico		
	Marca	OLYMPUS
	Modelo	SC30
	Serie	U-TV0.5XC-3
	Sensor de imágenes	CMOS color
	Tipo de control	PC
	Lentes	E50X, E100X, E200X, E500X, E1000X

(Fuente: Propia-2022)

Durante el proceso se realizar el empleo de otras herramientas y materiales como sierra manual para facilitar el corte de la probeta de acuerdo con el dimensionamiento necesario, resina catalizador y acelerador para montar las probetas, así como de regla metálica y calibrador pie de rey para comprobar medidas.

2.1.2.3 Procedimiento de análisis de metalografía

- Realizar un corte transversal sobre el material base de dimensiones 20x35x10mm para montaje sobre el molde de resina catalizador y acelerador.
- Ejecutar el proceso de desbaste grueso en la superficie a analizar con un alija N.- 100 para eliminar las imperfecciones generadas por el proceso de corte.
- Proceder con el desbaste fino para corregir las imperfecciones ocasionadas por el proceso anterior de desbaste grueso, realizar el proceso con lijas N.- 240, 320,600 y 1500.
- Realizar un proceso de pulido fino mediante el uso de paño de 1-6 micras con la presencia de alúmina y lubricante de diamante.
- Efectuar el registro de la estructura microscópica de las superficies pulidas.

2.1.4 Ensayo de dureza

Este ensayo permite cuantificar la resistencia que presenta un material a la deformación plástica localizada.

El ensayo de dureza Rockwell emplea un penetrador de bola esférica de acero endurecido, inicialmente se realiza una primera penetración con una carga pequeña y después se empleará una carga mayor. Este método esta descrito bajo la norma ASTM E18-19 y se identifican mediante un número y una letra según sea el penetrador.

2.1.4.1 Probeta para ensayo de dureza

La probeta empleada para ese ensayo presenta la siguiente geometría, 20x35x10 mm la misma que procede de otro proceso de desbaste en el cual se garantiza que existen caras paralelas para poder realizar la determinación de dureza de acuerdo a la norma ASTM E18-19.

2.1.4.2 Equipo para ensayo de dureza

El ensayo se realizará en el laboratorio de Metalografía Desgaste y Falla (LMDF) de la Escuela Politécnica Nacional. El penetrador Rockwell empleado se detalla de acuerdo a la siguiente tabla. 2.4

Tabla 2.4 Especificaciones del durómetro

Imagen	Descripción	Especificación
	Marca	DUROMETRO
	Modelo	HR-150 ^a
	Peso [kg]	60
	Dimensiones [xm]	70x70x22
	Escala	HRC-HRB
	Indentadores	Punta de acero de 1/16 pulg. Cono de diamante

(Fuente: Propia-2022)

2.1.4.3 Procedimiento de ensayo de dureza

- Preparar la superficie de la probeta, hasta obtener una superficie especular.
- Preparar el equipo con un penetrador de bola de 1/16 pulgada de diámetro y calibrar con una carga de 100 [kgf] designado para la dureza Rockwell B.
- Colocar la probeta sobre el durómetro en una posición estable para evitar movimientos durante la ejecución del ensayo.

- Elevar el soporte del durómetro hasta que la punta del indicador analógico de tres vueltas y vuelva a la posición inicial (cero).
- Cargar la máquina y esperar un tiempo prudente hasta que la perilla se encuentre estable.
- Descargar la máquina y cuantificar las medidas de dureza alcanzadas.

2.2 Proceso de soldadura FCAW

Para la presente investigación se realiza el proceso de soldadura mediante dos etapas

- Depósito de cordones sobre placas planas
- Depósito de soldadura sobre juntas

Soldados por los procesos FCAW-GS Y FCAW-SS empleando alambres tubulares de diámetro 1.2 mm en ambos procesos.

2.2.1 Depósitos de cordones sobre placas planas

El acero empleado para este proceso son placas de acero A36 espesor 10 mm se realizarán 20 cordones de soldadura con el proceso FCAW-GS y 24 depósitos de soldadura con el proceso FCAW-SS, en cada cordón se obtendrá variación de los siguientes parámetros:

- Stick out (obtenido por recomendación de fabricantes)
- Velocidad de alimentación del alambre tubular
- Amperaje
- Voltaje

Concluidos todos los depósitos se realiza el registro de los resultados obtenidos para proceder a determinar mediante inspección visual y macrografías, cordones estables para posteriormente con dichos parámetros determinados obtener juntas soldadas y proceder a realizar ensayos destructivos para verificar la influencia de manera particular del stick out sobre las propiedades mecánicas.

2.2.2 Probeta para el proceso de soldadura

El material a emplear para este primer momento del estudio son placas de Acero A36 de dimensiones 250x100x10 mm, sobre las cuales se realizarán 5 cordones de soldadura a diferentes parámetros y se realiza este proceso tanto para FCAW-GS y FCAW-SS.

2.2.2.1 Equipos para el proceso de soldadura

El proceso de soldadura se lleva a cabo en la empresa Importadora Cuñas, puesto que para poder garantizar que el stick out (parámetro fundamental dentro de nuestra investigación) permanezca invariante se empleará una máquina de corte CNC a la cual se le realizó un ajuste para reemplazar la antorcha de plasma por la antorcha de la soldadora como se evidencia en la Figura 2.3 y mediante el empleo de Software Versión Estándar FastCAM poder establecer este valor fundamental de altura como un parámetro invariable dentro de cada proceso. Los equipos empleados para realizar depósitos de soldadura mediante los dos procesos FCAW se evidencian detalladamente en la Tabla 2.5



Figura 2.3 Ajuste para acople de antorcha de soldadura en máquina de corte CNC

(Fuente: Propia-2022)

Tabla 2.5 Equipos empleados en el proceso de soldadura FCAW

Imagen	Descripción	Especificación
Soldadora proceso FCAW-GS		
	Marca	MILLER ELECTRIC MFG. CO.
	Modelo	PIPE WORX 400
	Proceso	FCAW-GS
	Alimentación	Trifásica
	Amperaje [A]	34-400
	Voltaje [V]	10-44
	Diámetro del alambre [mm]	0.9-1.6
	Velocidad de alimentación [pulg/min]	50-780
Propietario	Importadora Cuñas	

Soldadora proceso FCAW-SS		
	Marca	LINCOLN ELECTRIC
	Modelo	INVERTEC V350-PRO
	Proceso	FCAW SS
	Voltaje [V]	10-32
	Amperaje [A]	5-315 [A]
	Potencia [Ph]	1 (60 Hz)
Propietario	Escuela Politécnica Nacional	
Máquina de corte CNC		
 	Marca	GANTRY
	Modelo	DRAGON III
	Proceso	FCAW GS- FCAW SS
	Frecuencia [Hz]	50/60
	Tensión de alimentación [Vac]	200-600
	Velocidad máxima de movimiento [mm/min]	8000
	Potencia de entrada [W]	210
	Software	Versión Estándar FastCAM
Propietario	Importadora Cuñas	

(Fuente: Propia-2022)

2.2.2.2 Procedimiento de soldadura

- Realizar una limpieza de toda la superficie para eliminar oxido, partículas o imperfecciones del proceso previo de corte.
- Posicionar la probeta sobre la superficie de la máquina de corte CNC que servirá de base para el proceso.

- Determinar el stick out a emplear como parámetro determinante, calibrar la máquina CNC para que ese valor permanezca fijo en todo el proceso, comprobar con el calibrador pie de rey el valor de altura.
- Fijar el dato de velocidad de alimentación de alambre tubular E71T1C (FCAW-GS) o E71T11 (FCAW-SS) en la maquina soldadora.
- Encender manualmente la alimentación del alambre tubular.
- Realizar el cordón de soldadura, durante este proceso verificar en la pantalla los valores rango de amperaje - voltaje y registrarlos.
- Retirar la placa, limpiar la superficie, etiquetar la probeta para la identificación posterior.
- Realizar el proceso nuevamente para todas las variantes establecidas.

2.2.3 Soldadura sobre juntas

La segunda etapa comprende soldadura sobre placas con los parámetros considerados óptimos del proceso anterior, para cada tipo de proceso de soldadura se realizan 2 probetas las mismas que posteriormente será evaluadas mediante ensayos destructivos para determinar la incidencia de los parámetros sobre las mismas.

2.2.3.1 Probeta para el proceso de soldadura

Se realizan cordones de soldadura sobre dos placas de acero A36 de medidas 180x400x10 mm con una placa de respaldo como se evidencia en la Figura 2.4. El dimensionamiento fue determinado bajo la norma AWS D1.1 (Figura 2.4) para obtener posterior al proceso probetas para ensayos destructivos.

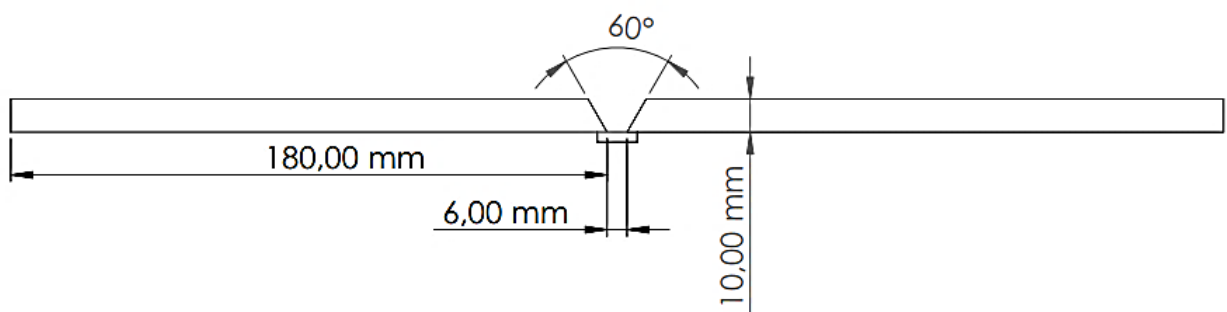


Figura 2.4 Dimensionamiento placa de acuerdo norma D1.1
(Fuente: Propia-2022)

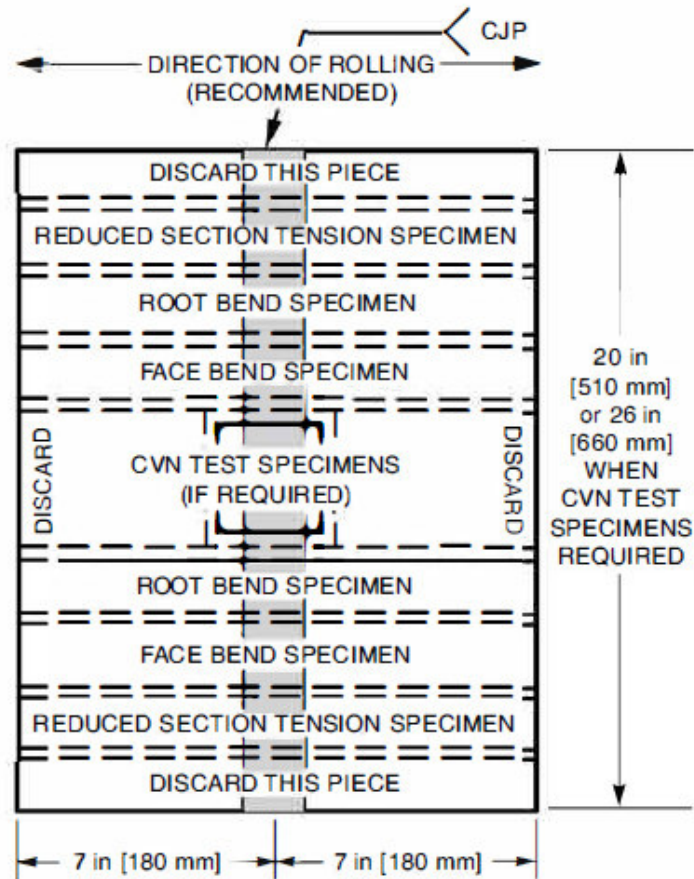


Figura 2.5 Dimensiones de placas a soldar para juntas
(Fuente: AWS.D1.1-2020)

2.2.3.2 Equipos para el proceso de soldadura

El proceso de soldadura se lleva a cabo en la empresa Importadora Cuñas para los procesos FCAW-GS Y FCAW-SS los equipos empleados ya fueron descritos en la Tabla 2.5

2.2.3.3 Procedimiento de soldadura

- Realizar la preparación del bisel de acuerdo al WPS.
- Efectuar cuatro cordones de soldadura para colocar la placa de respaldo entre las placas para realizar la soldadura en posición 1G.
- Determinar el valor de stick out a emplear como parámetro determinante, calibrar la máquina CNC para que ese valor permanezca fijo en todo el proceso, comprobar con el calibrador pie de rey el valor de altura.
- Fijar el dato de velocidad de alimentación de alambre tubular y encender manualmente la alimentación del mismo.
- Efectuar el proceso, considerando un tiempo prudente entre cada pase de soldadura.

- Limpiar el cordón de soldadura y realizar la identificación de la placa.
- Realizar la soldadura para ambos procesos FCAW de acuerdo al mismo procedimiento antes descrito.

2.3 Ensayos sobre depósitos de soldadura

2.3.1 Metalografía

Este método permite un análisis de las zonas de soldadura presentes identificando de manera específica el material base, zona afectada por el calor y el cordón de soldadura. A través de este ensayo es posible dimensionar cada una de estas zonas, además de la identificación de defectos presentes en las mismas.

Las probetas pulidas serán atacadas químicamente con el reactivo NITAL con la siguiente especificación de acuerdo con la Tabla 2.6:

Tabla 2.6 Especificación del reactivo

Reactivo	Nital al 10%
Composición	Acido nítrico 10 ml- etanol 90ml
Aplicación	Ataque de aceros

(Fuente: Propia-2022)

El ataque es realizado por inmersión por alrededor de 8 segundos para poder mejorar el contraste en las superficies con la finalidad de visualizar las diferentes fronteras de las zonas y poder ser observadas a través del microscopio.

2.3.1.1 Probetas para análisis metalográfico

Las probetas para analizar son 20 depósitos obtenidos del proceso FCAW-GS y 24 obtenidas de la soldadura FCAW-SS, las mismas que serán cortadas de manera transversal para examinar las diferentes zonas posteriores al proceso de soldadura, como se indica en la Figura 2.6

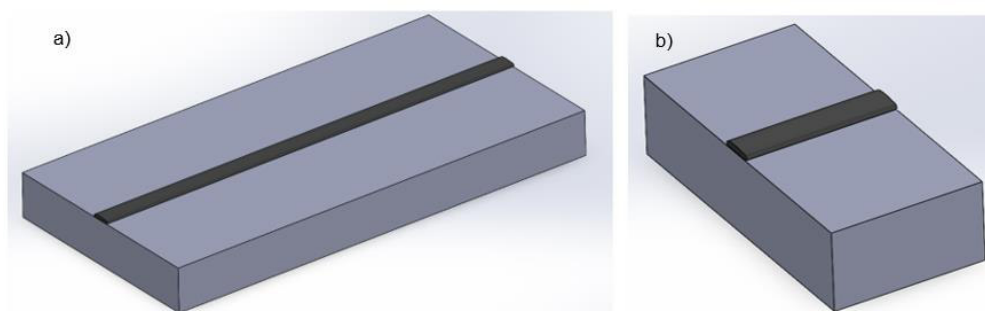


Figura 2.6 a) Placa con depósito de soldadura y b) Corte transversal para análisis metalográfico
(Fuente: Propia,2022)

Para la macrografía las probetas deben ser cortadas para poder montarlas sobre un molde con resina catalizador y acelerador como se muestra en la Figura 2.7 para facilitar la manipulación en los siguientes procesos.

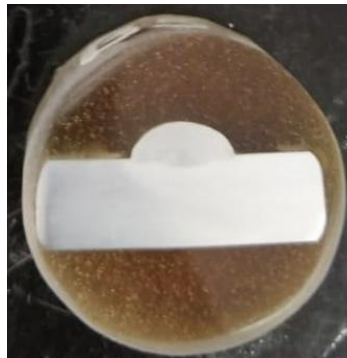


Figura 2.7 Probeta para ensayo metalográfico montada en resina catalizador y acelerador
(Fuente: Propia-2022)

2.3.1.2 Equipo para metalografía

El ensayo se realizará en el laboratorio de Metalografía Desgaste y Falla (LMDF) de la Escuela Politécnica Nacional. La preparación de desbaste grueso y fino se realiza con la máquina de desbaste grueso y la máquina desbastadora y pulidora especificados en la Tabla 2.3, el microscopio metalográfico trinocular es detallado en la Tabla 2.7

Tabla 2.7 Especificaciones del microscopio metalográfico

Imagen	Descripción	Especificación
	Marca	OLYMPUS
	Modelo	SZX7
	Voltaje [V]	100-120 230-240
	Frecuencia [Hz]	50/60

(Fuente: Propia-2022)

2.3.1.3 Procedimiento de proceso de metalografía

- Cortar la probeta de manera transversal y mediante las siguientes dimensiones 18x35x10 mm.
- Montar las probetas en un molde de resina catalizador y acelerador.
- Ejecutar el desbaste grueso sobre la superficie a analizar con el empleo de lija N. 100 para eliminar las impresiones resultado del corte.

- Realizar un desbaste fino para eliminar las imperfecciones ocasionadas por el proceso de desbaste grueso mediante el empleo de fila N. 240, 320,600 y 1500.
- Efectuar un proceso de pulido fino utilizando un paño de 1-6 micras con la ayuda de alúmina y lubricante de diamante.
- Ejecutar el ataque químico con el reactivo Nital.
- Limpiar la superficie posterior al reactivo con el empleo de alcohol y algodón.
- Realizar el registro de macrografías de las superficies atacadas, haciendo uso de diferentes magnificaciones para reconocer las diferentes zonas.

2.4 Ensayos sobre juntas soldadas

2.4.1 Ensayo de doblez guiado

Este ensayo permite evaluar la capacidad que presenta el material para resistir el agrietamiento u otras irregularidades que pudiera presentar en la superficie durante un doblado continuo resultado de aplicar una fuerza constante.

El ensayo tiene tres variantes de dobleces de cara, raíz y lateral en función del análisis requerido, de acuerdo con el código ASME la muestra es inspeccionada de manera visual para verificar la evidencia de irregularidades y grieta presentes la misma que serán calificadas.

- **Dobleces transversales de raíz**

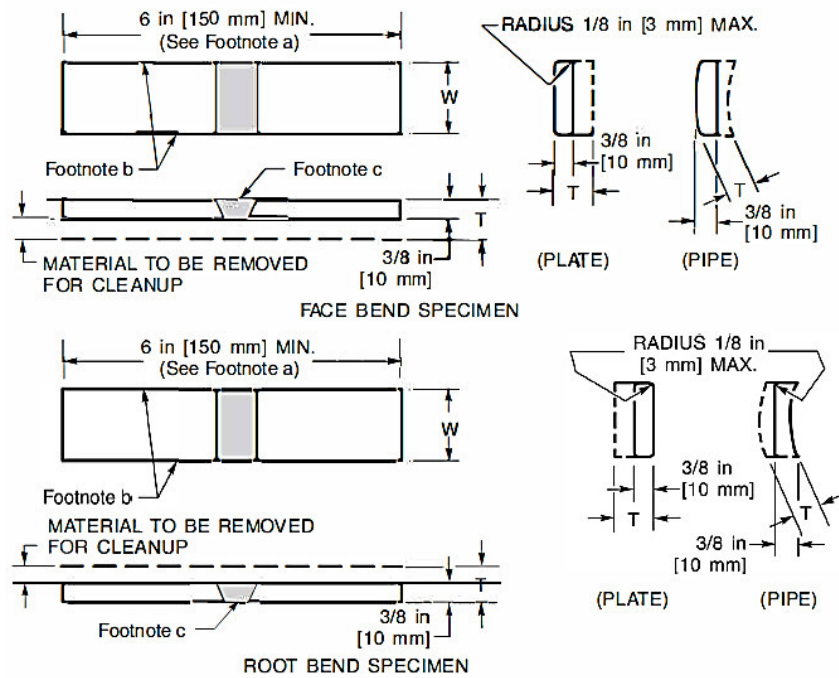
El doblado de raíz es realizado sobre el área donde la soldadura tiene sentido transversal al eje longitudinal, al final la superficie de cara se convierte en la superficie convexa.

- **Dobleces transversales de cara**

El doblado es realizado sobre el área donde la soldadura tiene sentido transversal al eje longitudinal, al final la superficie de cara se convierte en la superficie convexa.

2.4.1.1 Probeta de ensayo de doblez guiado

Son obtenidas 4 probetas a partir de las juntas soldadas bajo la norma AWS D1.1 y sus medidas son evidenciadas en la Figura 2.8



Dimensions	
Test Weldment	Test Specimen Width, W in [mm]
Plate	1-1/2 [40]
Test pipe or tube ≤ 4 in [100 mm] in diameter	1 [25]
Test pipe or tube > 4 in [100 mm] in diameter	1-1/2 (40)


Figura 2.8 Dimensiones de probetas de dobles guiado.

(Fuente: AWS D1.1-2020)

2.4.1.2 Equipo de ensayo de doblado guiado

El ensayo se realizará en el laboratorio de Soldadura de la Escuela Politécnica Nacional. El equipo empleado se detalla de acuerdo con la Tabla 2.8.

Tabla 2.8 Especificaciones máquina de doblado

Imagen	Descripción	Especificación
	Marca	S/M
	Presión máxima	3000 [psi]
	Potencia del motor	2[HP]
	Modelo	S/M0
	Velocidad de giro del motor	1720 [rpm]
	Frecuencia	60 [Hz]
	Eficiencia de motor	82.3 %
	Aplicación de carga	Sistema hidráulico

(Fuente: Propia-2022)

2.4.2 Análisis metalográfico

Este ensayo permite examinar la microestructura subyacente a las fases entre las zonas de interés para el estudio, se emplean diferentes niveles de aumento que se consideran desde la inspección visual inicial hasta 1000x. El estudio tiene un enfoque sobre la raíz de la soldadura donde interviene también el análisis del material base (MB), zona de fusión, material de aporte (MA), zona afectada por el calor (ZAC) y la frontera existente entre los mismos, para poder determinar si dentro del proceso de soldadura no existen inclusiones no metálicas, micro cavidades, precipitados o un proceso de corrosión que puedan modificar al material.

Las probetas ensayadas previamente pulidas son atacadas químicamente mediante el reactivo VILELLA, realizado mediante inmersión por 5 segundos con el fin de mejorar el contraste en las superficies y sus zonas; en la tabla 2.9 se evidencian las características de este.

Tabla 2.9 Características del reactivo

Reactivo	Vilella
Composición	HCL 5ml-Acido Pítrico 1 gr- etanol 95 ml
Aplicación	Ataque de metales

(Fuente: Propia-2022)

2.4.2.1 Probetas para análisis metalográfico

Las probetas son extraídas de las juntas soldadas en total se realizan 8 probetas cortadas en dirección transversal con medida 18x35x10 mm, como se evidencia en la Figura 2.9

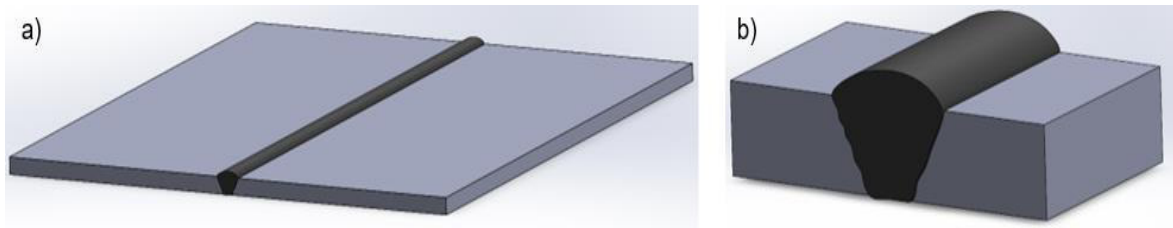


Figura 2.9 a) Probeta de soldadura sobre una junta y b) Corte transversal para análisis metalográfico
(Fuente: Propia- 2022)

2.4.2.2 Equipos de metalografía

El ensayo se realizará en el laboratorio de Metalografía Desgaste y Falla (LMDF) de la Escuela Politécnica Nacional. La preparación de desbaste grueso y fino se realiza con la máquina de desbaste grueso y la máquina desbastadora y pulidora especificados en la Tabla 2.2, el microscopio metalográfico trinocular es detallado en la Tabla 2.6

2.4.2.3 Procedimiento de ensayo de metalografía

El procedimiento para el análisis metalográfico es similar al ya citado en el inciso 2.3.1.3 con la diferencia que el reactivo empleado es la Vilella.

2.4.3 Ensayo de dureza

Este ensayo no destructivo permite determinar la resistencia que presenta un material a la deformación permanente por rayado o penetración. El valor de la dureza es el inversamente proporcional a la huella superficial que queda una fuerza de manera puntual. El ensayo puede ser realizado bajo dos métodos:

- Dureza Rockwell: se realiza sobre materiales metálicos consiste en la penetración de un indentador sobre la superficie del material a analizar y después se determina la profundidad de la huella generada y existen escalas A, B, C, D y F.
- Dureza Brinell: está regida bajo la norma ASTM E10 generalmente es empleado en aluminio y hierros fundidos.

2.4.3.1 Probetas para ensayo de dureza

Se examinan las probetas utilizadas para el ensayo metalográfico, las mismas que poseen caras paralelas gracias al proceso de desbaste, este ensayo permite

determinar la dureza en diferentes zonas de la superficie del material (MA, ZAC y MB) de acuerdo a la Figura 2.9

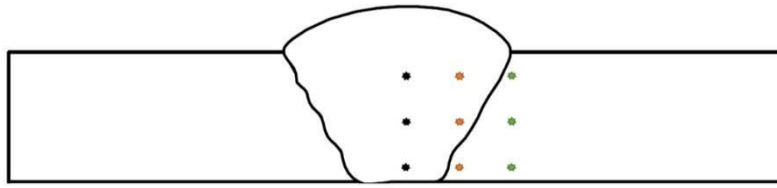


Figura 2.10 Zonas de medición de dureza en probeta
(Fuente: Propia-2022)

2.4.3.2 Equipo para ensayo de dureza

El ensayo se realizará en la Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, Departamento de Materiales, Laboratorio de Metalografía Desgaste y Falla (LMDF). El penetrador Rockwell empleado fue detallado en el inciso 2.1.4.2.

2.4.3.3 Procedimiento de ensayo de dureza

- Dimensionar las probetas de acuerdo con la muestra con el uso de una máquina cortadora a chorro de agua.
- Realizar el proceso de limpieza de superficie sobre el cordón de soldadura con la ayuda de Usando amoladora y un disco Flap con la finalidad de facilitar de observar las indicaciones después de realizar el ensayo de doblado de cara y raíz.
- Situar la probeta en la máquina sobre los rodillos fijos constatando que el área a analizarse coloque en la parte inferior y proceder a la aplicación de la carga hasta que la misma convexa.
- Retirar la probeta de la máquina para proceder con el análisis visual de la superficie, y realizar el registro de indicaciones y constatar sus dimensiones con la ayuda de un calibrador pie de rey de ser el caso.
- Comparar los resultados obtenido al finalizar el proceso con la norma.

2.4.4 Ensayo de tracción

El ensayo permite determinar el comportamiento de un material ante la exposición a una carga externa permitiendo determinar propiedades mecánicas.

Los parámetros que intervienen dentro del ensayo son las dimensiones de la probeta, la fuerza de tracción, puntos de referencia y el equipo empleado. Por otro lado, este ensayo está bajo la norma ASTM E8.

2.4.4.1 Probetas de ensayo de tracción

El ensayo de tracción se realizará sobre probetas de junta soldada de acuerdo a la norma AWS D1.1.

2.4.4.2 Equipo de ensayo de tracción

El equipo empleado fue descrito en el inciso 2.1.1.2

2.4.4.3 Procedimiento de ensayo de tracción

El procedimiento es similar al detallado para el ensayo sobre una probeta de material base descrito en el inciso 2.1.1.3.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados

Concluido el proceso de experimentación se inicia la recopilación de los resultados obtenidos de ensayos mecánicos. Todos los resultados expuestos son validación de acuerdo con normas y sustentación bibliográfica con la finalidad de analizar su incidencia de los mismo sobre las propiedades mecánicas del material.

3.1.1 Resultados material base

3.1.1.1 Ensayo de tracción

Acorde al informe técnico se obtienen la carga máxima registrada, límite de fluencia, resistencia a la tracción y elongación (ver ANEXO IV.), la inspección visual de la superficie de falla de dos muestras identificadas como M22.015.09 (MB1) y M21.015.10 (MB2), resultados que se muestran en la Figura 3.1.

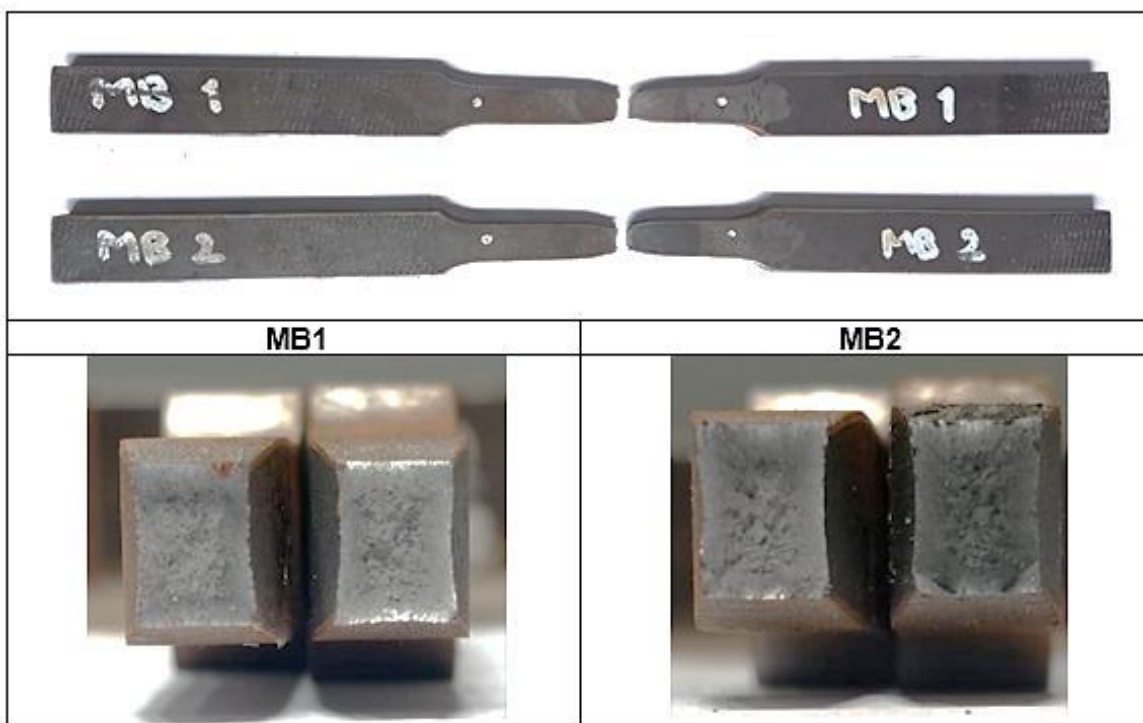


Figura 3.1 Probetas de material base ensayadas bajo tracción

(Fuente: Propia-2022)

En la tabla 3.1 se muestra la comparación de los valores promedio obtenidos (ANEXO IV) con los valores del fabricante (ANEXO III) así como las especificaciones de la norma ASTM A36/A36M-14 (2014).

Tabla 3.1 Comparación resultados propiedades mecánicas Acero A36

	Resultado de ensayo promedio	Fabricante	ASTM A36/A36M-14
Límite de fluencia [MPa]	297,85	330	250
Resistencia a la tracción [MPa]	456,90	477	400-550
% elongación en 50 mm	41,45	25,5	23

(Fuente: Propia- 2022)

En base a los resultados obtenidos, las probetas del material base evidencian una deformación localizada entre las marcas colocadas como referencia (50 mm).

3.1.1.2 Composición química

Los valores promedio obtenidos de los componentes presentes en el material base acero A36 (ver ANEXO V.) se comparan con los datos del fabricante y la norma ASTM A36/A36M-14 en la Tabla 3.2

Tabla 3.2 Comparación composición química del material base

	Muestra ensayada	Fabricantes	ASTM A36/A36M-14
Carbono [C]	0,134	0,2	<0,25
Silicio [Si]	0,135	0,19	0,15-0,40
Manganeso [Mn]	0,247	0,34	0,8-1,20
Fósforo [P]	0,026	0,017	<0,04
Cromo [Cr]	0,219	0,315	-
Níquel [Ni]	0,061	-	-
Hierro [Fe]	99,15	-	-
Azufre [S]	-	0,0088	<0,05

(Fuente: Propia-2022)

3.1.1.3 Metalografía

El resultado de la superficie del material base acero A36 previo al ataque químico se muestra en la Figura 3.2, en el mismo existe la presencia de discontinuidades e inclusiones.



Figura 3.2 Análisis superficial de la probeta sin ataque químico (200X).
(Fuente: Propia-2022)

Además, mediante el ataque químico se observa en la metalografía una microestructura equiaxial de ferrita (zona clara) y bandas de perlita (zona oscura) como se observa en la Figura 3.3.

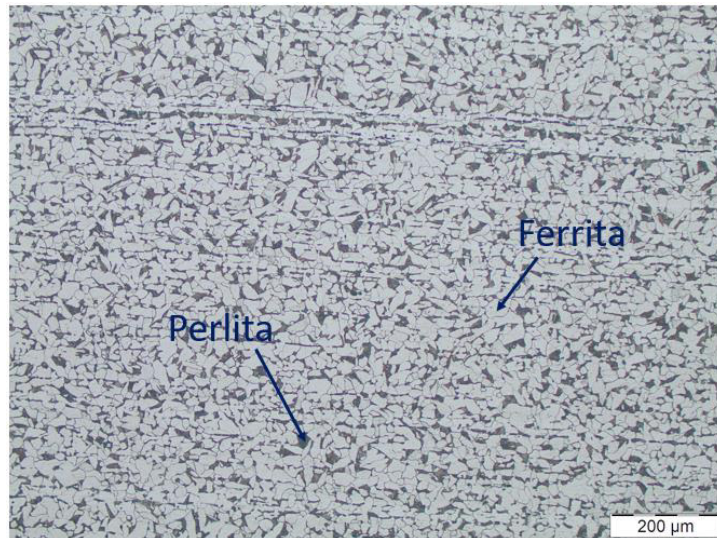


Figura 3.3 Microestructura del material base (200 X) ensayado
Fuente: Propia-2022

3.1.1.4 Ensayo de dureza

La zona analizada del material base se muestra en la Figura 3.4, los resultados obtenidos se evidencian en la Tabla 3.3 (ANEXO VI.)



Figura 3.4 Probeta 22-004-P-01 ensayada para determinar dureza
(Fuente: Propia- 2022)

Tabla 3.3 Resultado del ensayo de dureza

Codificación LMDF	Dureza [HRB]				
22-004-P-01	70	71	71	71	71

(Fuente: Propia-2022)

Finalizado el ensayo de determina que la dureza promedio del material base utilizado en la presente investigación es de 70.8 [HRB].

3.1.2 Resultados de soldadura

3.1.2.1 Depósitos de soldadura sobre placas

Mediante el **proceso FCAW-GS** sobre cuatro placas de acero A36 de espesor 10 mm se obtiene 20 depósitos, los parámetros fijados de velocidad de alimentación del alambre tubular y stick out y los parámetros resultantes obtenidos se distribuyen en la Tabla 3.4 y sus respectivos registros fotográficos se muestran en las Figura 3.5, los anexos ANEXO VII y IX.



Figura 3.5 Deposito sobre placa A1 a velocidad de alimentación de 169,33 [mm/s].
(Fuente: Propia, 2022)

Tabla 3.4 Resultados de parámetro de depósitos sobre placas proceso FCAW-GS

Proceso	FACW – GS	Electrodo		E71T1-1C
Denominación Cordón	Amperaje [A]	Voltaje [v]	Stick out [mm]	Tiempo [s]
Velocidad alimentación		169,33 [mm/s]		
A1	215-252	32,6-33,3	12	21,65
A2	220-230	30-30,7	17	21,92
A3	214-217	32,7-33	22	23,5
A4	199-207	30-30,5	27	22,7
A5	190-197	29,9-30,2	32	22,6
Velocidad alimentación		148,17 [mm/s]		
B1	227-235	30	12	19,07
B2	215-230	32,7	17	20,97
B3	196-203	29,8-30	22	21,5
B4	192-194	30-30,1	27	20,37
B5	192-190	29,9-30	32	20,7
Velocidad alimentación		127 [mm/s]		
C1	193-190	30	12	20,07
C2	190-180	32,7	17	19,89
C3	179-173	30-30,1	22	19,94
C4	175-168	32,6-32,7	27	19,02
C5	168-160	29,9-30,2	32	19,47

Velocidad alimentación		105,83 [mm/s]		
D1	177-186	30-30,8	12	20,97
D2	165-175	32,6-32,7	17	20,4
D3	158-155	30-30,1	22	20,3
D4	160-150	29,9-30	27	18,7
D5	150-146	30-30,2	32	19,68

(Fuente: Propia- 2022)

A una velocidad de 190,5 mm/s las probetas A1, A2 y A4 presentan porosidades en las deposiciones, la probeta A4 presenta fisuras de interrupción debido al arranque de soldadura, el cordón A5 y A6 presenta variación en el ancho del cordón en varias secciones, y la placa A3 presenta uniformidad y buena sobremonta a 169,33 mm/s las probetas B1, B2, B3 y B4 presentan porosidades y un ancho del cordón no uniforme, las probetas B5 y B6 presentan buena apariencia del cordón final.

Para una velocidad de 148,17 mm/s los cordones C1, C2, C5 y C6 presentan discontinuidades en el ancho del cordón, la probeta C2 presenta porosidad y la probeta C3 presenta un ancho de cordón uniforme. A 127 mm/s las probetas D1, D4, D5 y D6 presentan un ancho de cordón no uniforme, la probeta D2 presenta salpicaduras y poros a lo largo del cordón y las mejores características se observan en la probeta D3.

Mediante el **proceso FCAW-SS** sobre cuatro placas de acero A36 de espesor 10 mm de soldadura se obtienen 24 depósitos, los parámetros fijados de velocidad de alimentación del alambre tubular y stick out y los parámetros resultantes obtenidos se evidencian en la Tabla 3.5 y sus respectivos registros fotográficos se muestran en las Figura 3.6, el ANEXO VII y X.



Figura 3.6 Deposito sobre placa A1s a velocidad de alimentación de 190,5 [mm/s].
(Fuente: Propia-2022)

Tabla 3.5 Resultados de parámetro de depósitos sobre placas proceso FCAW-GS

Proceso	FCAW – SS	Electrodo		E71T-11
Denominación Cordón	Amperaje [A]	Voltaje [v]	Stick out [mm]	Tiempo [s]
Velocidad alimentación		190,5 [mm/s]		
A1s	325-306	26,9-27	12	28,4
A2s	303-316	26,9	17	21,65
A3s	265-270	26,9-27	22	21,92
A4s	216-223	26,9-27	27	23,5
A5s	193-196	26,9-27,2	32	22,7
A6s	189-210	26,9	37	22,6
Velocidad alimentación		169,33 [mm/s]		
B1s	289-320	26,9-27	12	29,6
B2s	274-282	26,9	17	22,24
B2s	248-255	26,9-27	22	22,7
B4s	207-210	27	27	23,1
B5s	195-201	27-27,3	32	23,4
B6s	172-175	26,8-26,9	37	23,7
Velocidad alimentación		148,17 [mm/s]		
C1s	258-302	27	12	29,8
C2s	262-279	26,9-27	17	22,4
C3s	228-233	26,9-27	22	22,8
C4s	191-199	26,9-27	27	22,11
C5s	173-176	26,9-27	32	22,62
C6s	174-197	27-27,1	37	23,32
Velocidad alimentación		127 [mm/s]		
D1s	232-275	26,9-27	12	28,9
D2s	227-240	27	17	23,47
D3s	210-223	26,9-27	22	23,35
D4s	163-169	26-26,8	27	23,18
D5s	159-161	26,9-27	32	23,7
D6s	160-186	26,8-27	37	23,47

(Fuente: Propia-2022)

Mediante una inspección visual se observa que a una velocidad de 169,33 mm/s la probeta A1 y A2 presentan poros posiblemente causados por una intensidad excesiva, las probetas A3, A4 y A5 presenta un mejor cordón sin presencia de imperfecciones en la unión soldada. A 148,17 mm/s se evidencia que las probetas B1 y B2 presentan salpicaduras alrededor del cordón, ancho excesivo del cordón que pueden ser ocasionadas por la existencia de humedad en el alambre tubular, la probeta B5 presenta en la superficie del cordón poros agrupados y de forma alineada en toda su extensión que pudo ser ocasionado por un elevado stick out (arco demasiado largo), y las probetas B3 y B4 no presentan ningún tipo de defecto en las deposiciones.

A 127 mm/s los cordones C1, C2 y C4 presentan salpicaduras alrededor del cordón, la probeta C5 evidencia porosidad esférica agrupada a lo largo de toda la superficie debido a un arco demasiado largo, y la probeta C3 es aceptable bajo inspección visual. A 105,83 mm/s las probetas D1 presenta salpicaduras, la probeta D5 presenta porosidades y agujeros de gusano en su superficie, D4 presenta una posible desviación del alambre tubular, y las probetas D2 y D3 presenta buen ancho de cordón y una sobremonta adecuada.

3.1.3 Resultados ensayos depósitos sobre placas

3.1.3.1 Macrografías

Bajo el proceso **FCAW-GS con electrodo E71T1-C** se obtienen 20 macrografías, en las cuales se observa el ancho del cordón, la penetración y el área de la zona afectada por el calor como se indica en la Figura 3.7, y sus dimensiones se presentan en las Tablas 3.6.y ANEXO XI.

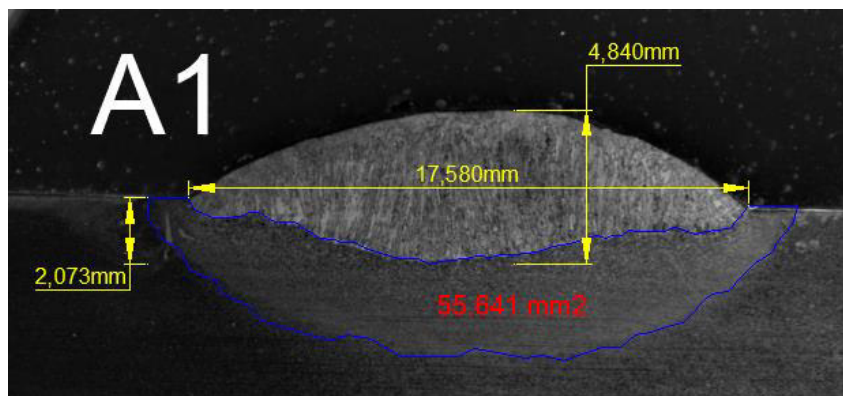


Figura 3.7 Macrografía probeta A1 a velocidad de alimentación de alambre 169.33 [mm/s]
(Fuente: Propia, 2022)

Tabla 3.6 Dimensionamiento de cordones de soldadura para proceso de soldadura FCAW-GS

Proceso		FCAW-GS		Alambre	E71T1-C
N°	Stick out [mm]	Penetración [mm]	Sobremonta [mm]	Ancho de cordón [mm]	Área zona afectada por el calor [mm²]
Velocidad alimentación de alambre				169.33 [mm/s]	
A1	12	2,07	2,77	17,58	55,64
A2	17	2,13	3,07	16,91	26,60
A3	22	1,45	3,43	18,34	68,71
A4	27	1,39	3,39	17,32	62,48
A5	32	1,45	3,53	13,33	42,80
Velocidad alimentación de alambre				148.17 [mm/s]	
B1	12	1,66	3,15	14,85	45,75
B2	17	2,12	3,16	18,51	59,30
B3	22	1,91	3,17	16,23	51,57
B4	27	1,86	3,49	15,77	50,14
B5	32	1,36	3,06	15,16	55,55

Velocidad alimentación de alambre				127 [mm/s]	
C1	12	1,84	2,53	14,42	41,89
C2	17	1,33	2,78	15,67	49,55
C3	22	1,13	3,01	14,50	46,81
C4	27	1,35	2,82	14,98	66,43
C5	32	0,87	3,2	13,40	41,97
Velocidad alimentación de alambre				105.83 [mm/s]	
D1	12	1,57	2,33	13,08	35,50
D2	17	1,78	2,35	13,84	52,38
D3	22	1,11	2,84	13,59	33,52
D4	27	1,08	2,78	13,09	40,68
D5	32	1,14	2,86	12,55	35,45

(Fuente: Propia-2022)

En las figuras 3.8 a 3.11 se presenta la variación de los parámetros ancho del cordón, zona afectada por el calor, penetración y sobremonta para el proceso FACW-GS.

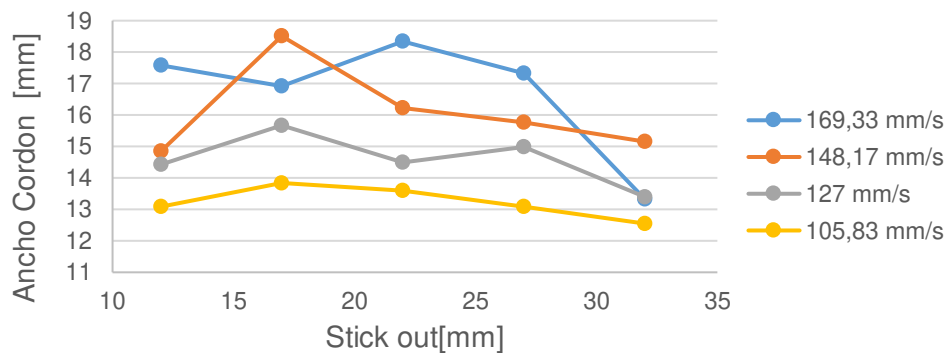


Figura 3.8 Variación del ancho del cordón de soldadura en el proceso FCAW-GS
(Fuente: Propia-2022)

Los mayores resultados del ancho del cordón se presentan en valores intermedios de stick out y a mayor velocidad de alimentación del electrodo, teniendo que el mayor valor del ancho de cordón es 18,51 mm a una velocidad de 148,17 mm/s y stick out de 17 mm, y un valor muy aproximado se presente a una velocidad de 169,33 mm/s y stick out de 22 mm. El menor resultado del ancho de cordón es 12,55 mm a una velocidad de 105,83 mm/s y stick out de 32 mm.

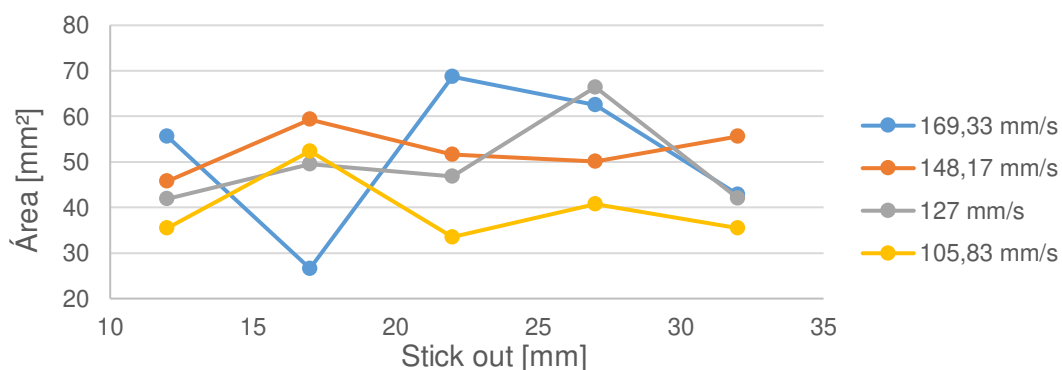


Figura 3.9 Variación del área de la zona afectada por el calor en el proceso FCAW-GS
(Fuente: Propia-2022)

Los resultados de la ZAC no presentan una tendencia fija al variar el stick out, el valor más elevado se obtiene a la velocidad de 169.33 mm/s siendo de 68,71 mm² y stick out de 22 mm, y el mínimo resultado se presenta a la misma velocidad siendo de 26,6 mm² a un stick out de 17 mm.

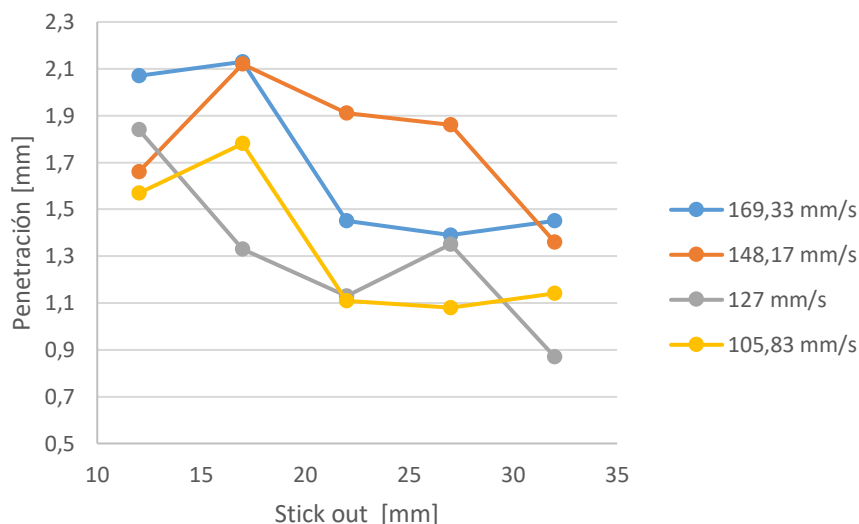


Figura 3.10 Variación de la penetración en el proceso FCAW-GS
(Fuente: Propia-2022)

La penetración del cordón tiene una tendencia a disminuir su resultado cuando se utiliza mayores valores de stick out, el mayor valor de penetración es 2,13 mm a una velocidad de 169,33 mm/s y stick out de 17 mm, un resultado muy aproximado se tiene al mismo stick out y velocidad de 148,17 mm/s. El menor valor para de penetración es 0,87 mm a una velocidad de 127 mm/s y stick out de 32 mm.

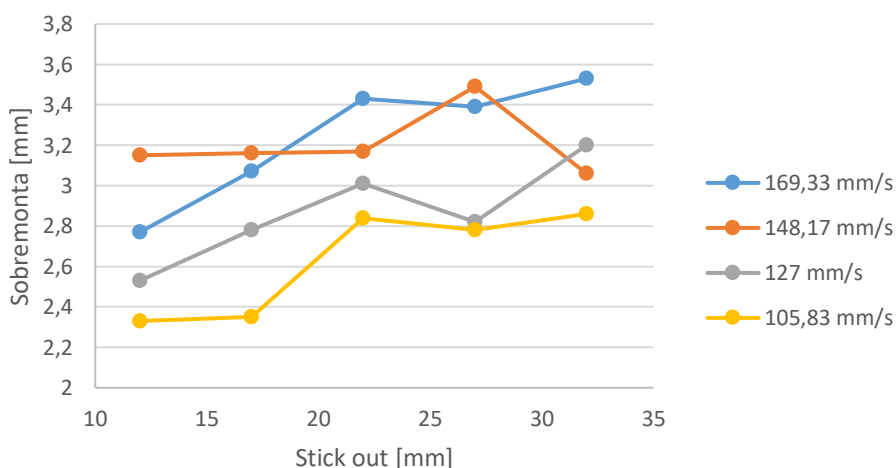


Figura 3.11 Variación de la sobremonta en el proceso FCAW-GS
(Fuente: Propia-2022)

Los valores de sobremonta presentan una tendencia a aumentar cuando mayor sea el valor de stick out utilizado, el mayor valor obtenido en sobremonta es 3,53 mm a una velocidad de 169,33 mm/s y stock out de 32 mm, y el menor valor resultante es 2,33 mm a una velocidad de 105,83 mm/s y stick out de 12 mm.

Bajo el proceso **FCAW-SS con electrodo E71T11** se obtienen 24 macrografías, en las cuales se observa el ancho del cordón, la penetración y el área de la zona afectada por el calor como se indica en la Figura 3.12, y sus dimensiones se presentan en las Tablas 3.7 y ANEXO XII.

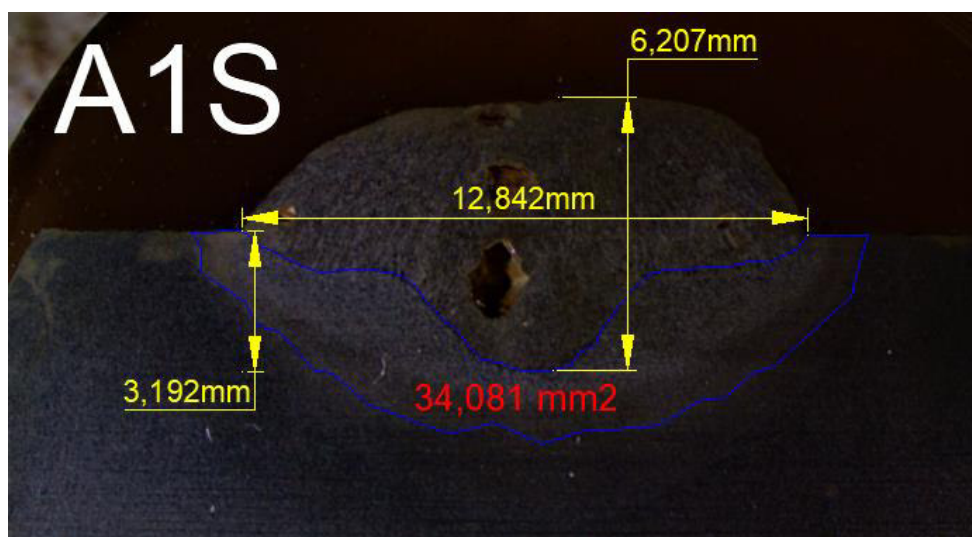


Figura 3.12 Macrografía probeta A1s a velocidad de alimentación de alambre 190,5 [mm/s] (Fuente: Propia, 2022)

Tabla 3.7 Dimensionamiento de cordones de soldadura para proceso de soldadura FCAW-SS

Proceso		FCAW-SS		Alambre	E71T-11
Nº	Stick out [mm]	Penetración [mm]	Sobremonta [mm]	Ancho de cordón [mm]	Área Zona afectada por el calor [mm²]
Velocidad alimentación de alambre				190.5 [mm/s]	
A1s	12	3,19	3,02	12,84	34,08
A2s	17	3,97	2,46	16,79	75,01
A3s	22	2,81	3,38	14,82	56,20
A4s	27	1,62	3,88	12,89	30,72
A5s	32	1,33	4,20	11,89	31,70
A6s	37	1,85	4,20	10,94	39,57
Velocidad alimentación de alambre				169.33 [mm/s]	
B1s	12	2,63	1,93	13,20	64,82
B2s	17	3,81	2,85	16,64	71,23
B3s	22	3,04	3,56	15,67	50,75
B4s	27	2,05	3,67	12,42	26,69
B5s	32	1,18	4,08	11,98	36,02
B6s	37	0,98	4,25	12,05	35,09

Velocidad alimentación de alambre				148.17 [mm/s]	
C1s	12	3,45	3,38	15,90	95,33
C2s	17	4,14	3,79	17,81	68,94
C3s	22	3,16	3,46	16,19	68,67
C4s	27	1,75	4,28	12,99	41,42
C5s	32	1,12	4,14	11,32	31,41
C6s	37	2,06	4,88	10,82	31,84
Velocidad alimentación de alambre				127 [mm/s]	
D1s	12	2,835	1,61	12,876	60,67
D2s	17	3,135	2,46	14,787	62,83
D3s	22	2,698	2,62	13,933	55,60
D4s	27	1,497	3,14	11,478	27,80
D5s	32	1,094	3,39	10,698	27,11
D6s	37	1,060	3,13	9,476	25,90

(Fuente: Propia-2022)

La variación de los parámetros como ancho de cordón, área de zona afectada por el calor, sobremonta y penetración se muestran en las Figuras 3.13 a 3.16

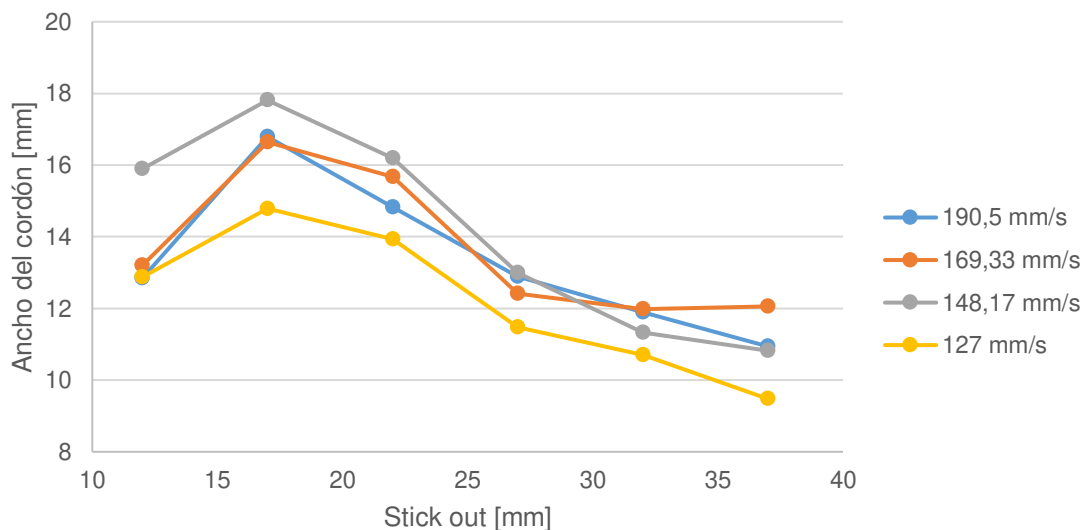


Figura 3.13 Variación del ancho del cordón de soldadura en el proceso FCAW-SS

(Fuente: Propia-2022)

Para FCAW-SS contrario a FCAW-GS tenemos una variación de los resultados en función de la velocidad de alimentación del alambre tubular. El ancho de cordón presenta una tendencia a disminuir cuando más altos son los valores de stick out. El mayor valor es 17,81 mm a una velocidad de 148,17 mm/s y un stick out de 17 mm, y el menor valor del ancho de cordón es 9,75 mm a una velocidad de 127 mm/s y stick out de 37mm.

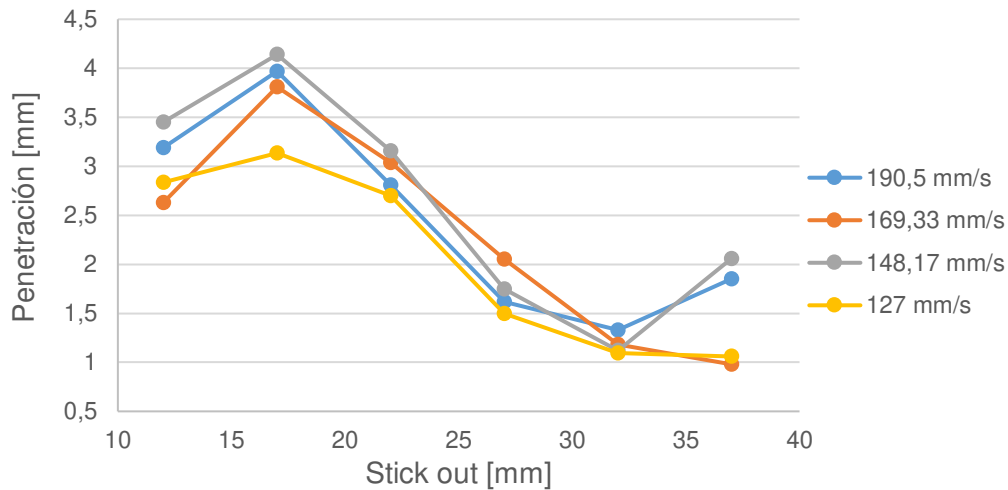


Figura 3.14 Variación de la penetración en el proceso FCAW-SS
(Fuente: Propia-2022)

La penetración del cordón presenta una forma de campana teniendo altos valores cuando el stick out es bajo y la velocidad de alimentación está por debajo del promedio. El mayor valor es 4,14 mm a una velocidad de alimentación de 148,17 mm/s y stick out de 17 mm, y el menor resultado es 0,98 mm a una velocidad de 169,33 mm/s y stick out de 37 mm.

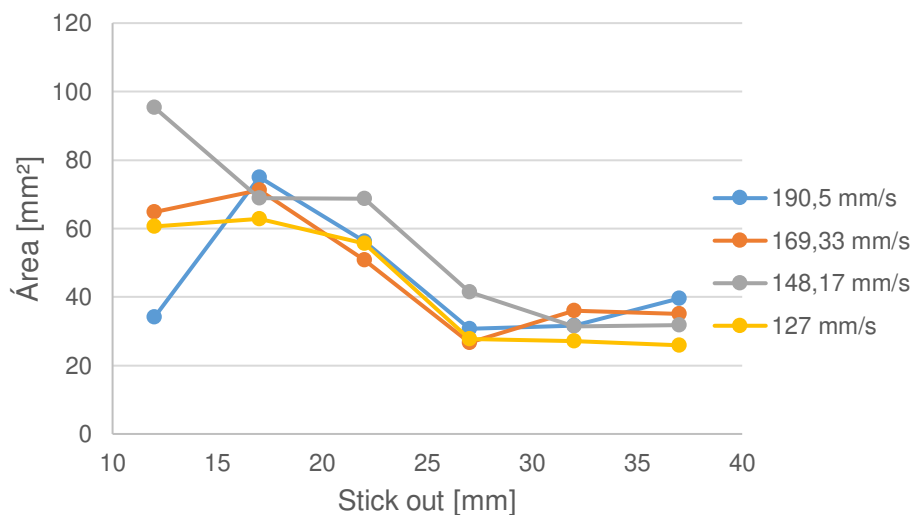


Figura 3.15 Variación del área de la zona afectada por el calor en el proceso FCAW-SS
(Fuente: Propia-2022)

La ZAC también presenta una tendencia a disminuir cuando mayor es el valor del stick out, y los mayores resultados se presentan cuando las velocidades de alimentación del electrodo están por debajo del promedio. El mayor valor es 95,33 mm² obtenido a una velocidad de 148,17 mm/s y un stick out de 12 mm, y el menor valor es 25,9 mm² a una velocidad de 127 mm/s y stick out de 37 mm.

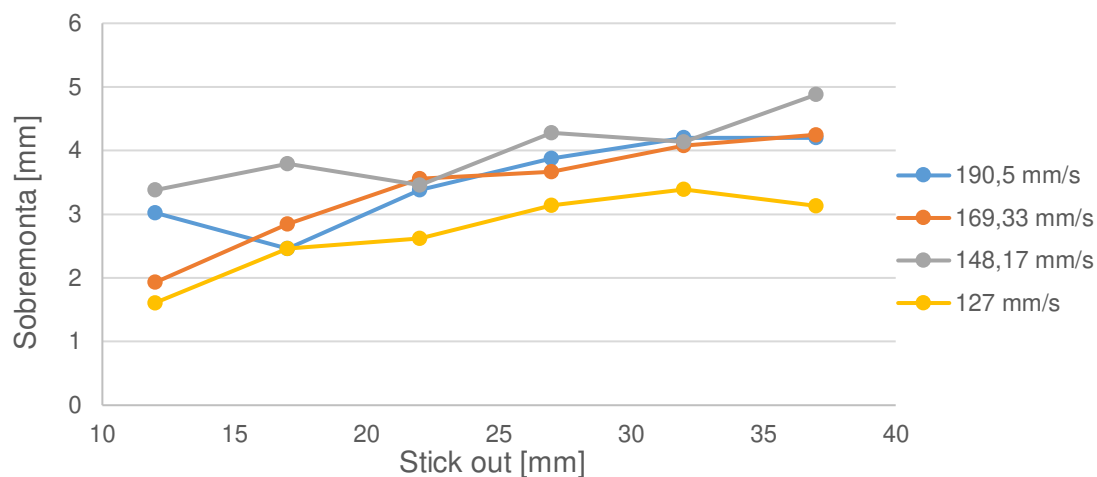


Figura 3.16 Variación de la sobremonta en el proceso FCAW-SS
(Fuente: Propia-2022)

La sobremonta tiene una tendencia a aumentar a mayores valores de stick out y de velocidad de alimentación del electrodo. El mayor valor obtenido es 4,88 mm a una velocidad de 148,17 mm/s y un stick out de 37 mm, y el menor valor obtenido es 1,61 mm a una velocidad de 127 mm/s y un stick out de 12 mm.

3.1.4 Resultado de cordones de soldadura sobre juntas

Posterior al ensayo metalográfico se seleccionan dos valores de stick out y velocidad de alimentación del alambre E71T1-C para realizar un proceso de juntas en v (FCAW-GS) en base a la Tabla 3.8. y el ANEXO VIII.

Tabla 3.8 Resultados de parámetro de juntas soldadas proceso FCAW-GS

Proceso	FCAW – GS	Alambre Tubular		E71T1-1C
N° pase	Amperaje [A]	Voltaje [v]	Tiempo [s]	Posición de pase
Velocidad alimentación alambre [mm/s]		148,17	Stick Out [mm]	22
1	225-237	30-30,2	100,98	Raíz
2	214-232	30-30,2	104,61	Centro
3	216-231	30-30,1	103,83	Derecho
4	214-225	30-30,1	102,05	Izquierdo
5	214-234	30-30,1	103,41	Derecho
Velocidad alimentación alambre [mm/s]		169,33	Stick Out [mm]	22
1	242-238	29,9-30	108,8	Raíz
2	258-232	29,9-30	101,6	Centro
3	275-263	29,9-30	102,44	Izquierdo
4	255-245	29,7-30,1	106,07	Derecho
5	276-267	29,9-30	102,92	Izquierdo
6	274-262	29,8-30,0	103,04	Derecho
7	273-265	29,9-30,2	101,28	Izquierdo

(Fuente: Propia-2022)

En la Tabla 3.9 se muestran los valores de los parámetros establecidos para las juntas soldadas los mismos que son comparados con las recomendaciones proporcionadas por el fabricante (Indura, 2022).

Tabla 3.9 Comparación de parámetros soldadura FCAW-GS

	Probeta 1	Probeta 2	Fabricante
Velocidad de alimentación [mm/s]	148,17	169,33	-
Stick out [mm]	22	22	15-25
Amperaje [A]	214-237	232-276	140-320
Voltaje [V]	30-30.2	29.7-30.2	22-35

(Fuente: Propia-2022)

Posterior al ensayo metalográfico se seleccionan dos valores de stick out y velocidad de alimentación del alambre para realizar un proceso de soldadura de juntas en v en función de la Tabla 3.10.

Tabla 3.10 Resultados de parámetro de juntas soldadas proceso FCAW-SS

Proceso	FCAW – SS	Alambre Tubular		E71T-11
N° pase	Amperaje [A]	Voltaje [v]	Tiempo [s]	Posición de pase
Velocidad alimentación de alambre [mm/s]		127	Stick Out [mm]	22
1	238-245	26,9-27	109,06	Raíz
2	201-257	26,9-27	121,84	Centro
3	220-247	26,9-27	125,1	Izquierdo
4	222-249	26,9-27	121,61	Derecho
Velocidad alimentación de alambre [mm/s]		190,5	Stick Out [mm]	22
1	278-260	26,9-27	114,45	Raíz
2	225-270	26,9-27	116,73	Centro
3	280-292	26,9-27	107,94	Izquierdo
4	245-285	26,9-27	105,26	Derecho

(Fuente: Propia-2022)

Las variantes más adecuadas para realizar cordones de soldadura sobre juntas en v para el proceso FCAW-SS con alambre tubular E71T11 (diámetro 1.2 mm) son a velocidades de alimentación de 127 y 190,5 [mm/s], las mismas que posterior a una comparación con las recomendaciones del fabricante (Hobart, 2022) de acuerdo con la Tabla 3.11 se seleccionan valores fuera de los rangos esperados.

Tabla 3.11 Comparación de parámetro soldadura FCAW-SS

	Probeta 1	Probeta 2	Fabricante
Velocidad de alimentación [in/min]	127	190,5	-
Stick out [mm]	22	22	13
Amperaje [A]	201-257	225-292	115-200
Voltaje [V]	26,9-27	26,9-27	15-18

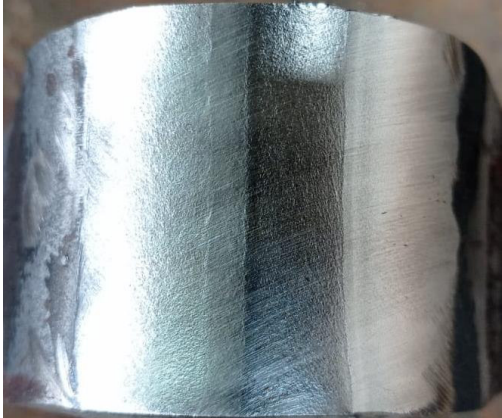

(Fuente: Propia- 2022)

3.1.5 Resultado ensayos sobre juntas soldadas

3.1.5.1 Ensayo de doblez guiado

Los resultados del ensayo se evidencian de la Tabla 3.12 se evidencia los ensayos de doblado de cara. (A3-1 Y A3-2) y de raíz (A3-3 y A3-4) en probetas FCAW-GS para una velocidad de alimentación 169,33 in/min





Tabla 3.12 Resultados del ensayo de doblado en probetas FCAW-GS con velocidad de alimentación 169,33 [mm/s]

Proceso	FCAW-GS
Velocidad de alimentación [mm/s]	169,33
	
Probeta: A3-1 CARA Indicaciones: sin indicaciones Calificación: aprobado	Probeta: A3-2 CARA Indicaciones: sin indicaciones Calificación: aprobado
Calificación global: aprobado	
	
Probeta: A3-3 RAIZ Indicaciones: indicación 1 [mm] Calificación: aprobado	Probeta: A3-4 RAIZ Indicaciones: sin indicaciones Calificación: aprobado
Calificación global: aprobado	

(Fuente: Propia- 2022)

En la Tabla 3.13 se evidencia los resultados del ensayo de doblado de cara (B3-1 y B3-2) y raíz (B3-3 y B3-3) sobre probetas FCAW-GS para una velocidad de alimentación 148,17 mm/s.

Tabla 3.13 Resultados del ensayo de doblado en probetas FCAW-GS con velocidad de alimentación 148,17 [mm/s]



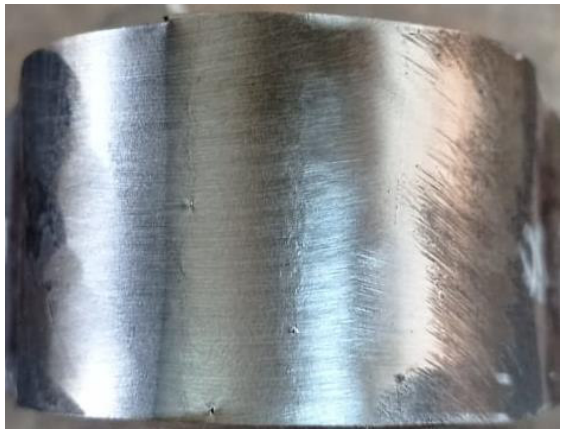
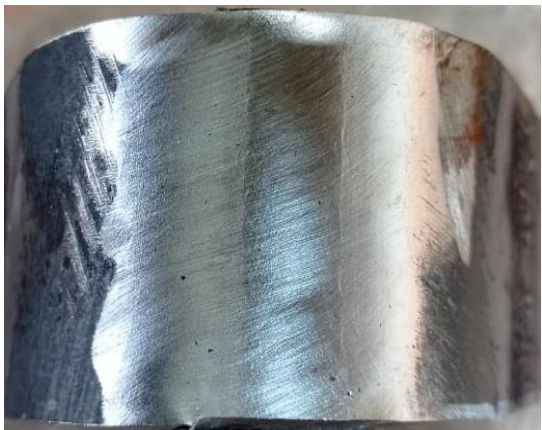
Proceso	FCAW-GS
Velocidad de alimentación [mm/s]	148,17
	
Probeta: B3-1 CARA Indicaciones: sin indicaciones Calificación: aprobado	Probeta: B3-2 CARA Indicaciones: sin indicaciones Calificación: aprobado
Calificación global: aprobado	
	
Probeta: B3-3 RAIZ Indicaciones: indicación 1,1[mm] Calificación: aprobado	Probeta: B3-4 RAIZ Indicaciones: sin indicaciones Calificación: aprobado
Calificación global: aprobado	

(Fuente: Propia-2022)

En las Tablas 3.14 y 3.15 se observa los resultados de los ensayos de doblado de cara (C3s-1, C3s-2, D3s-1 y D3s-2) y raíz (C3s-3, C3s-4, D3s-3 y D3s-4), realizados

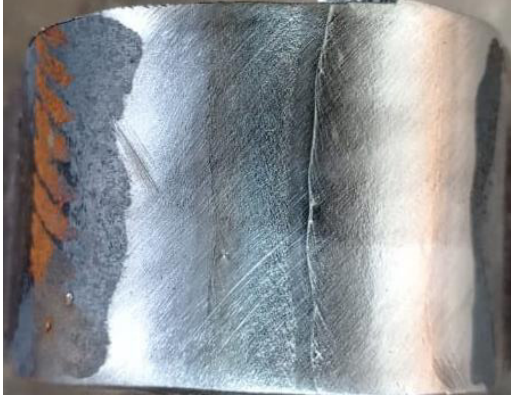



en las probetas de juntas soldadas mediante el proceso FCAW-SS o autoprotegido para velocidades de alimentación 190,5 y 127 mm/s respectivamente.

Tabla 3.14 Resultados del ensayo de doblado en probetas FCAW-SS con velocidad de alimentación 190,5 [mm/s]

Proceso	FCAW-SS
Velocidad de alimentación [mm/s]	190,50
	
<p>Probeta: C3s-1 CARA Indicaciones: sin indicaciones Calificación: aprobado</p>	<p>Probeta: C3s-2 CARA Indicaciones: sin indicaciones Calificación: aprobado</p>
Calificación global: aprobado	
	
<p>Probeta: C3s-3 RAIZ Indicaciones: sin indicaciones Calificación: aprobado</p>	<p>Probeta: C3s-4 RAIZ Indicaciones: sin indicaciones Calificación: aprobado</p>
Calificación global: aprobado	

(Fuente: Propia-2022)

Tabla 3.15 Resultados del ensayo de doblado en probetas FCAW-SS con velocidad de alimentación 127 [mm/s]

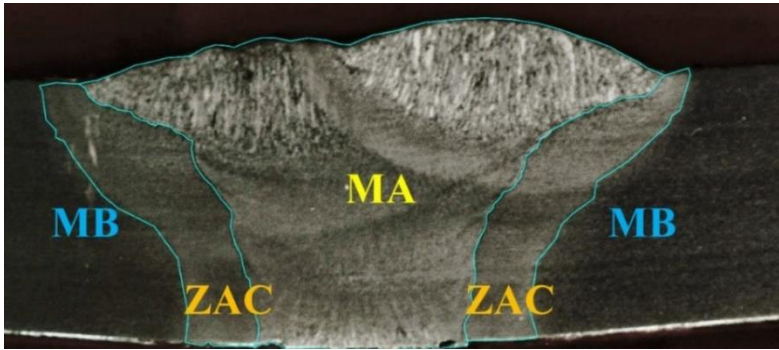
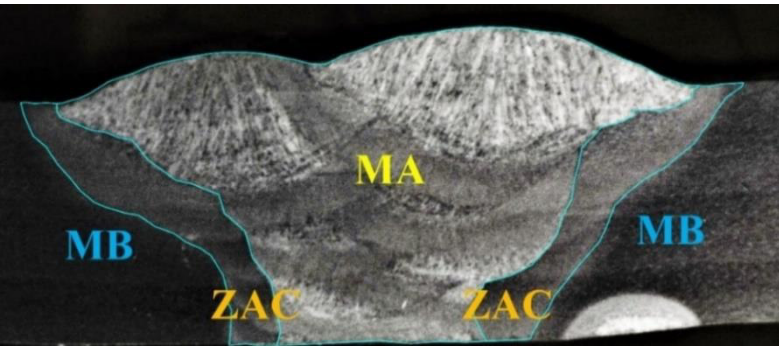
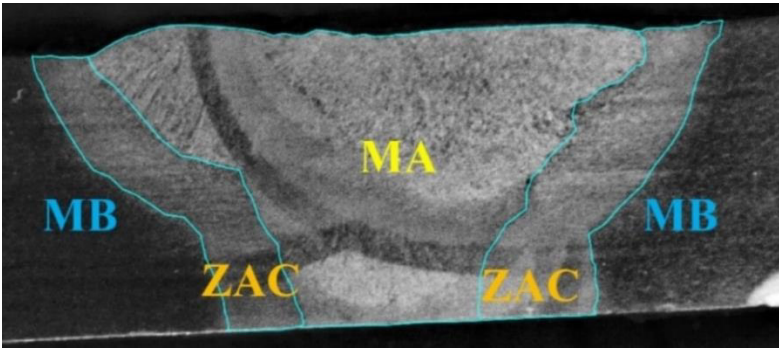
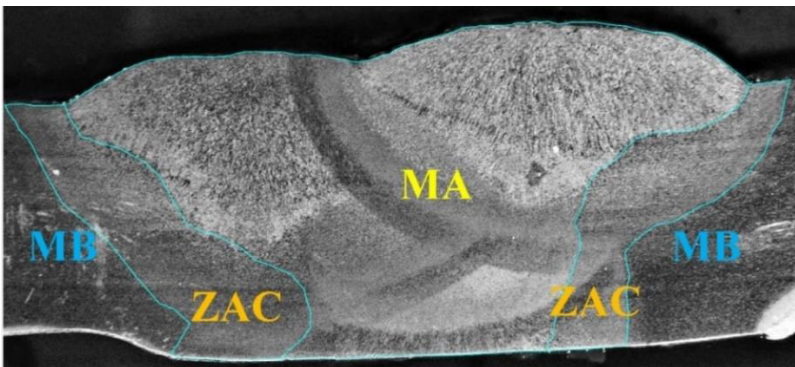
Proceso	FCAW-SS
Velocidad de alimentación [mm/s]	127
	
<p>Probeta: D3s-1 CARA Indicaciones: sin indicaciones Calificación: aprobado</p>	<p>Probeta: D3s-2 CARA Indicaciones: sin indicaciones Calificación: aprobado</p>
<p>Calificación global: aprobado</p>	
	
<p>Probeta: D3s-3 RAIZ Indicaciones: sin indicaciones Calificación: aprobado</p>	<p>Probeta: D3s-4 RAIZ Indicaciones: sin indicaciones Calificación: aprobado</p>
<p>Calificación global: aprobado</p>	

(Fuente: Propia-2022)

3.1.5.2 Metalografía de juntas soldadas

De las macrografías obtenidas en los parámetros seleccionados se puede visualizar los pases de soldadura y las principales zonas distintivas de la mismas, estas se muestran en la Tabla 3.16

Tabla 3.16 Macrografías posterior al proceso de soldadura FCAW

	<p>Proceso: FCAW-GS</p>
	<p>Aumento: 4X</p>
	<p>Velocidad de alimentación: 148,17 [mm/s]</p>
	<p>Proceso: FCAW-GS</p>
	<p>Aumento: 4X</p>
	<p>Velocidad de alimentación: 169,33 [mm/s]</p>
	<p>Proceso: FCAW-SS</p>
	<p>Aumento: 4X</p>
	<p>Velocidad de alimentación: 127 [mm/s]</p>
	<p>Proceso: FCAW-SS</p>
	<p>Aumento: 4X</p>
	<p>Velocidad de alimentación: 190,50 [mm/s]</p>

(Fuente: Propia, 2022)

En la tabla 3.17 se evidencia la cualificación de las características principales posterior al proceso de soldadura.

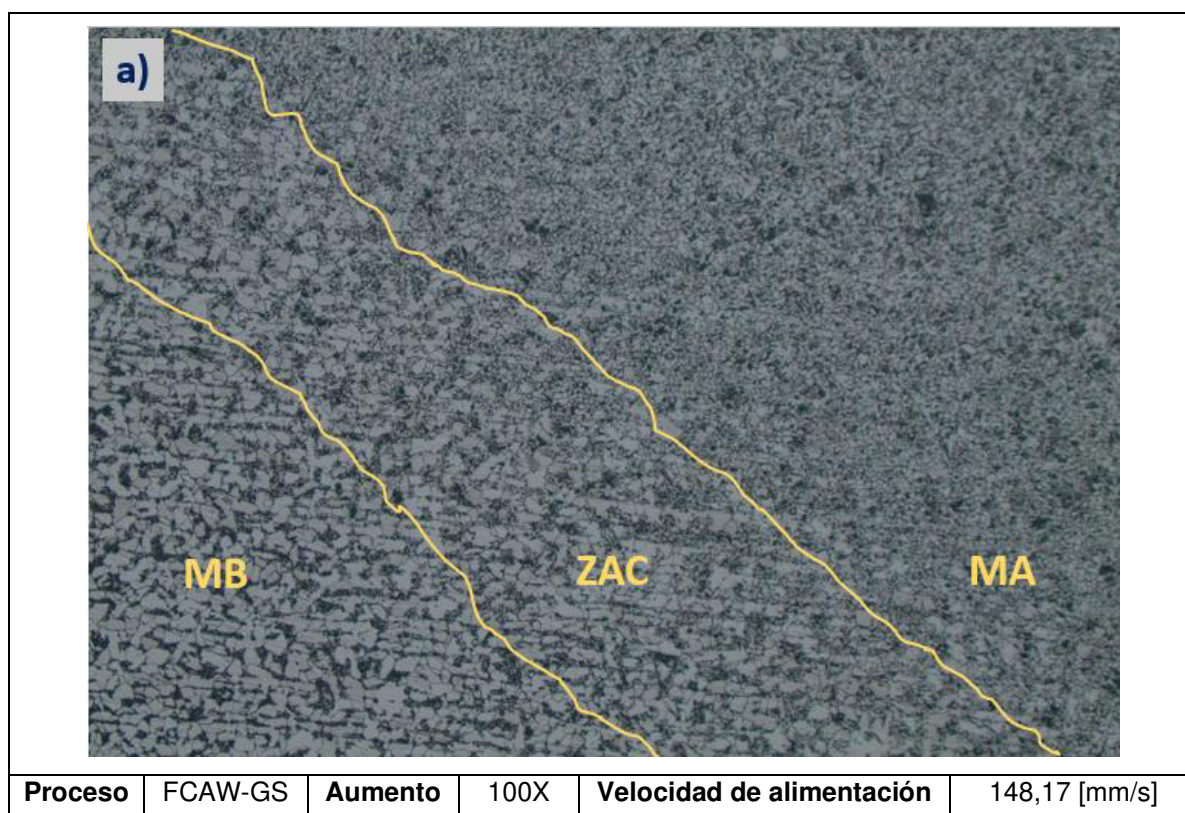
Tabla 3.17 Valorización de la calidad de los procesos de soldadura

Proceso	Velocidad de alimentación[mm/s]	Fusión MA y MB	Penetración de la raíz	Sobremonta	Defectos de soldadura
FCAW-GS	148,17	Buena	Buena	Buena	-
FCAW-GS	169,33	Buena	Buena	Buena	-
FCAW-SS	127	Buena	Buena	Baja	-
FCAW-SS	190,5	Buena	Buena	Buena	Inclusiones metálicas

(Fuente: Propia-2022)

Los cambios generados en la microestructura producto del precalentamiento por el proceso de soldadura FCAW se muestran en las Figuras 3.17 al 3.20, mostrando principal interés en el cordón de soldadura y la ZAC.

La microestructura del proceso FCAW-GS a una velocidad de alimentación de 148,17 mm/s evidencia en la Figura 3.17 (a) tres zonas presentes en la junta soldada, la zona afectada por el calor Figura 3.17 (c) muestra la formación de ferrita alotriomórfica (presencia de formas amorfas en los bordes exteriores), la ferrita se transforma en los bordes de grano de la austenítica y existen zonas donde se evidencian ferrita Widmanstatten en forma laminar (forma de aguja), en la Figura 3.17 (d) el material de aporte muestra una estructura ferrita en forma alargado, la presencia de zona oscuras (perlita) se evidencia en los límites de la red ferrítica, además se evidencian inclusiones.



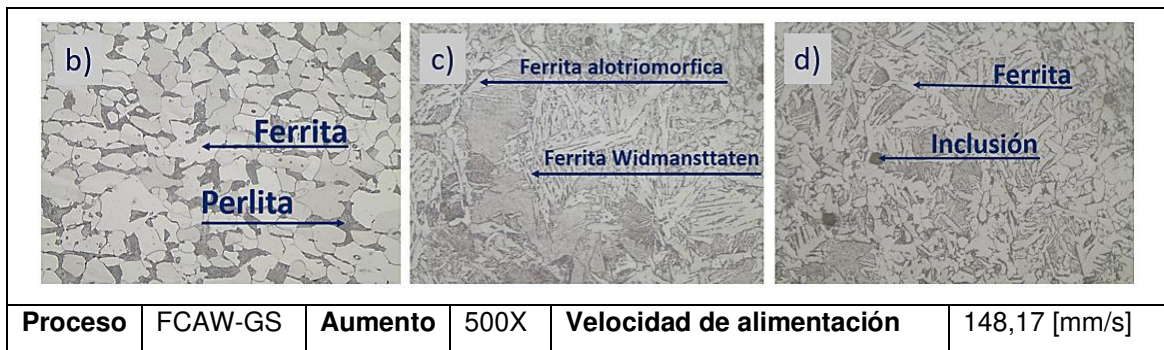
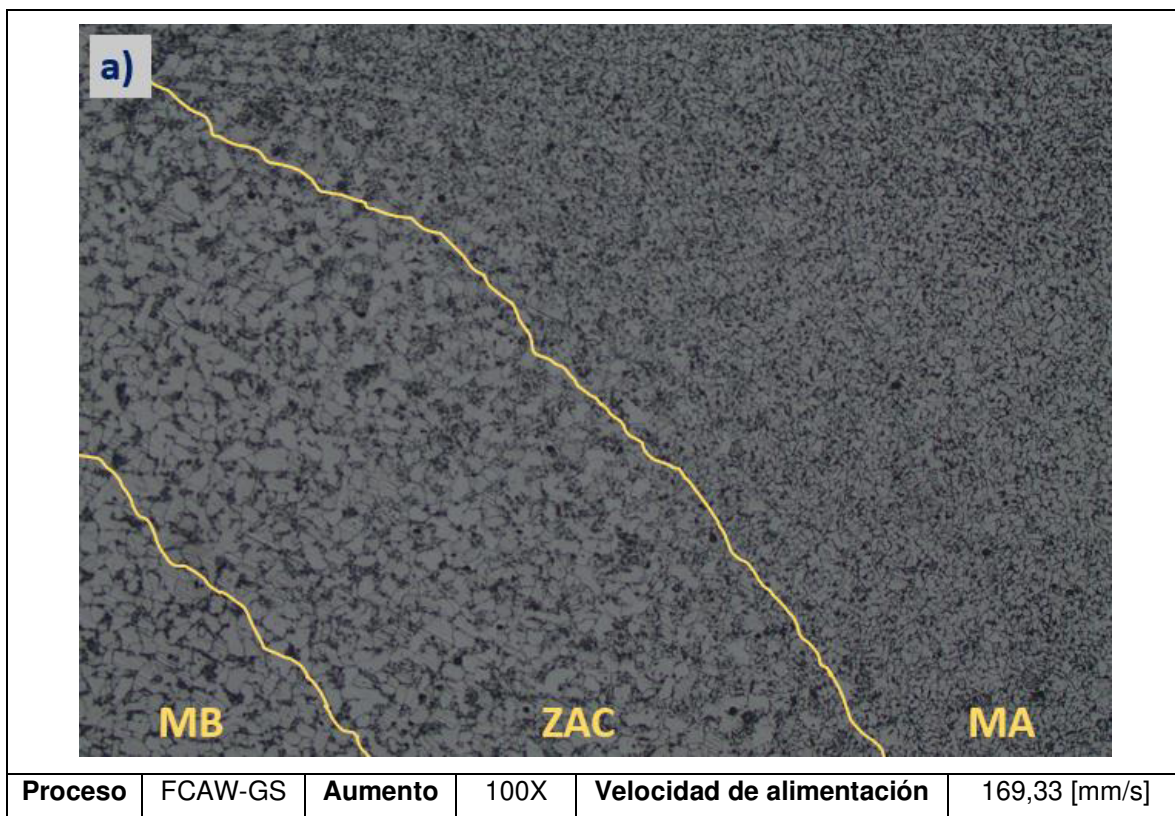


Figura 3.17 Microestructura cordón de soldadura velocidad de alimentación 148,17 mm/s a) tres zonas de la junta, b) material base, c) zona afectada por el calor y d) material de aporte; proceso FCAW-GS (Fuente: Propia-2022)

En la Figura 3.18 (a) se muestra la microestructura el proceso FCAW-GS a una velocidad de alimentación del alambre tubular E71T1-C de 169.33 mm/s, en la cual se diferencia la microestructura de las tres zonas principales, tales como: material de aporte, ZAC y cordón de soldadura. En la zona afectada por el calor ZAC mostrada en la Figura 3.18 (b) junto a la línea de fusión, se pueden observar que posee una microestructura de tipo ferrita alotriomorfa, ferrita Windmasttaten y la presencia de ferrita en los límites de grano. La zona del cordón de soldadura (Figura 3.18 d.) presenta zonas ferríticas (zonas claras), mayor presencia de zonas de perlita (zonas oscuras) e inclusiones.



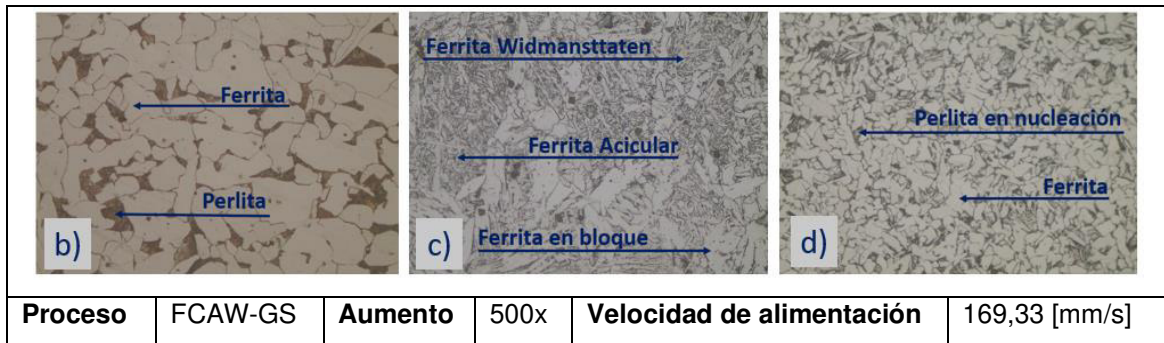
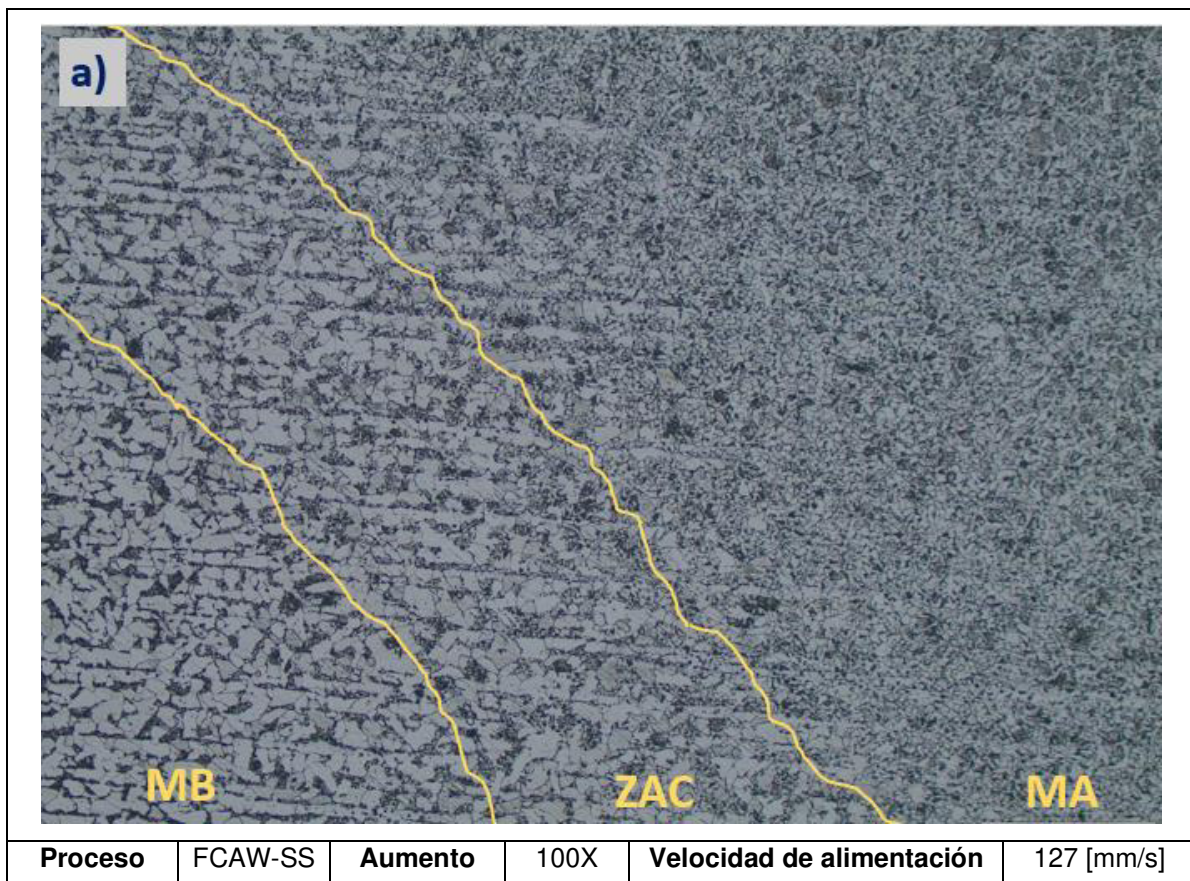


Figura 3.18 Microestructura cordón de soldadura velocidad de alimentación 169,33 mm/s a) tres zonas de la junta, b) material base, c) zona afectada por el calor y d) material de aporte; proceso FCAW-GS (Fuente: Propia-2022)

En la Figura 3.19 (a) se muestra la microestructura del proceso FCAW-SS a una velocidad de 127 mm/s, diferenciando tres zonas principales resultantes del proceso de soldadura. La zona afectada por el calor (ZAC) muestra mayor área ferrítica con crecimiento de granos en forma de bloques poligonales y zonas de perlita en menor porcentaje en comparación al material base como se indica en la Figura 3.19 (c). En el material de aporte también se muestra una zona perlítica (zonas oscuras) más extendida por bloques, además de ferrita alotriomorfa en los límites de grano e inclusiones producto del procedimiento de soldadura como se muestra en la Figura 3.19 (d).



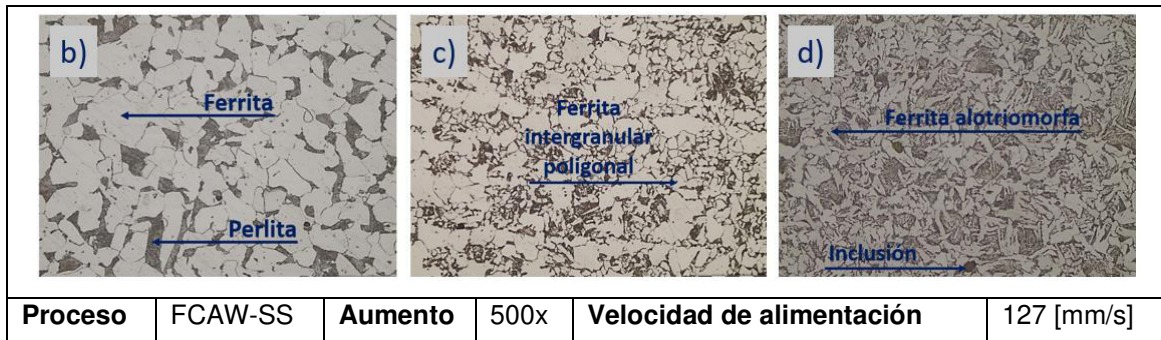
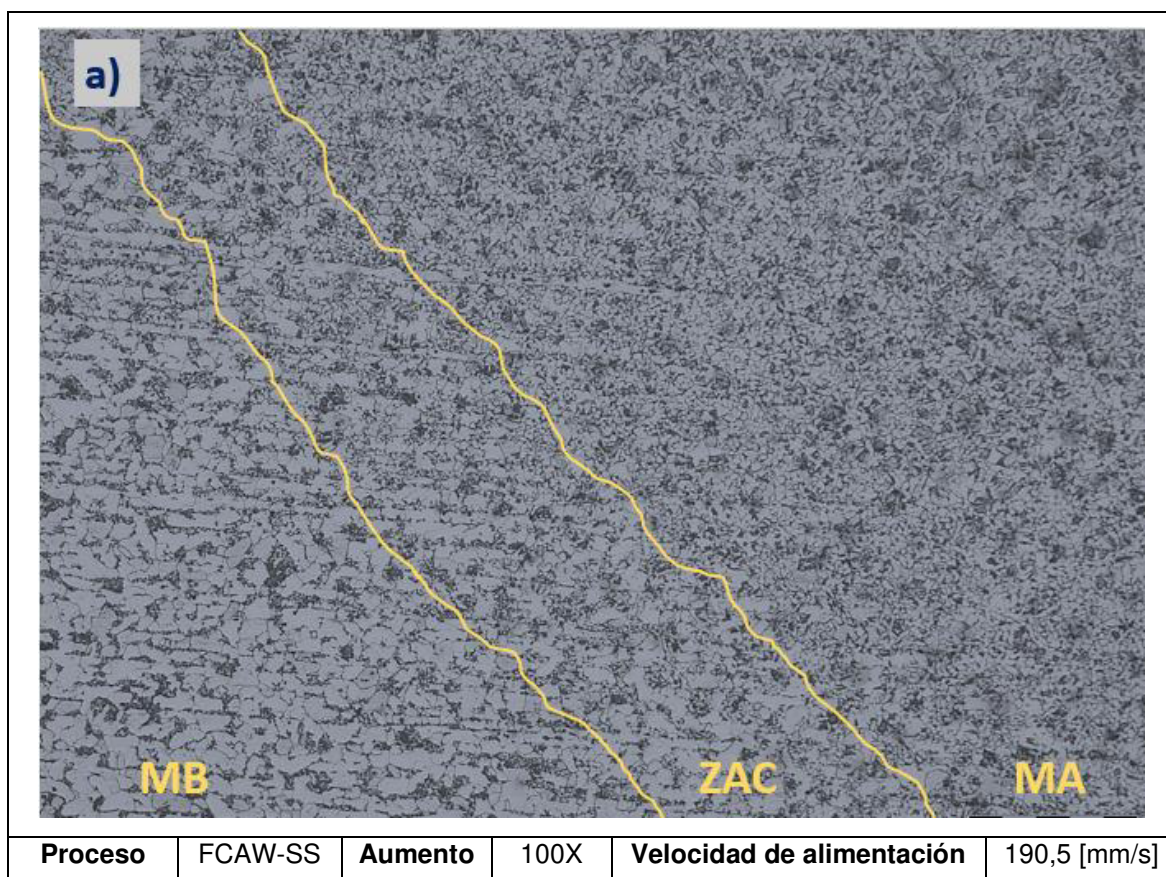


Figura 3.19 Microestructura cordón de soldadura velocidad de alimentación 127 mm/s a) tres zonas de la junta, b) material base, c) zona afectada por el calor y d) material de aporte; proceso FCAW-SS (Fuente: Propia-2022)

A una velocidad de alimentación de 190,5 mm/s la microestructura del proceso FCAW-SS se muestra en la Figura 3.20 (a) a un aumento de 100X existen tres zonas presentes en la junta soldada con alambre tubular E71T11, la zona afectada por el calor Figura 3.20 (c) muestra una disminución del tamaño de grano de ferrita en comparación con el tamaño del material base, además existe presencia de perlita en forma acicular en toda la red cristalina, por otra parte el material de aporte Figura 3.20 (d) presenta una estructura con mayor presencia de ferrita en el límite de grano.



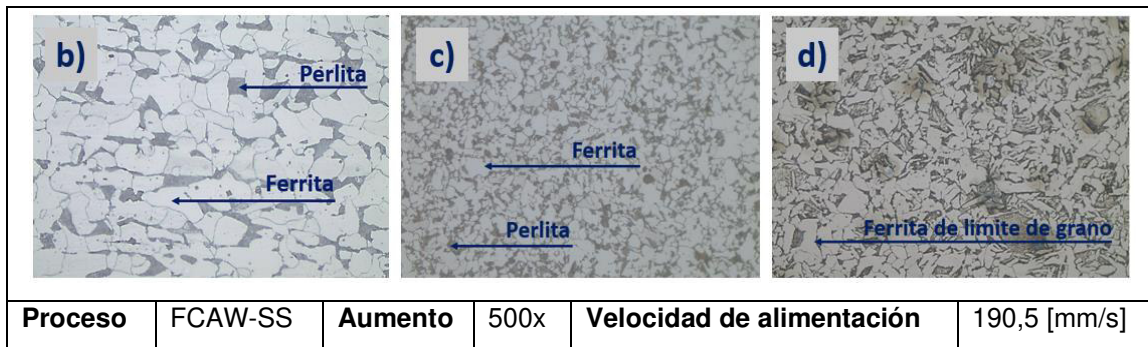


Figura 3.20 Microestructura cordón de soldadura velocidad de alimentación 190,5 mm/s a) tres zonas de la junta, b) material base, c) zona afectada por el calor y d) material de aporte; proceso FCAW-SS (Fuente: Propia-2022)

3.1.5.3 Ensayo de dureza

Mediante nueve medidas se cuantifica las durezas en cuatro probetas (ANEXO VI.), observando la variación de la misma en las tres zonas principales de soldadura (MA, ZAC y MB) como se observa en la Figura 3.22.

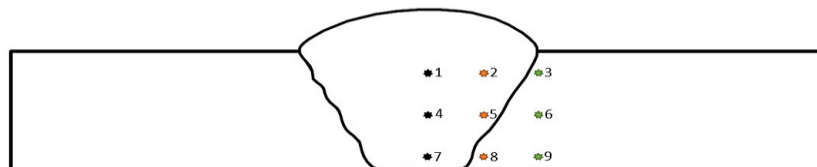


Figura 3.21 Determinación de la dureza sobre cordones de soldadura puntos de indentación. (Fuente: Propia-2022)

En la Tabla 3.18 se evidencia los valores máximos y mínimos de dureza obtenidos en varios puntos de las zonas de soldadura de los procesos FCAW-GS y FACW-SS

Tabla 3.18 Durezas de las zonas de soldaduras proceso FCAW

Proceso de soldadura			FCAW-GS			
Velocidad de alimentación del alambre [mm/s]	Material de aporte		Zona afectada por el calor		Material Base	
	Dureza mínima HRB	Dureza máxima HRB	Dureza mínima HRB	Dureza máxima HRB	Dureza mínima HRB	Dureza máxima HRB
148,17	88	79	75	68	78	70
169,33	90	85	82	81	76	
Proceso de soldadura			FCAW-SS			
127	92	87	80	77	82	77
190,5	90	85	85	81	90	76

Fuente: Propia-2022

En la Figura 3.23 se muestra los resultados de dureza obtenidos del proceso FCAW-GS donde en las zonas de soldadura

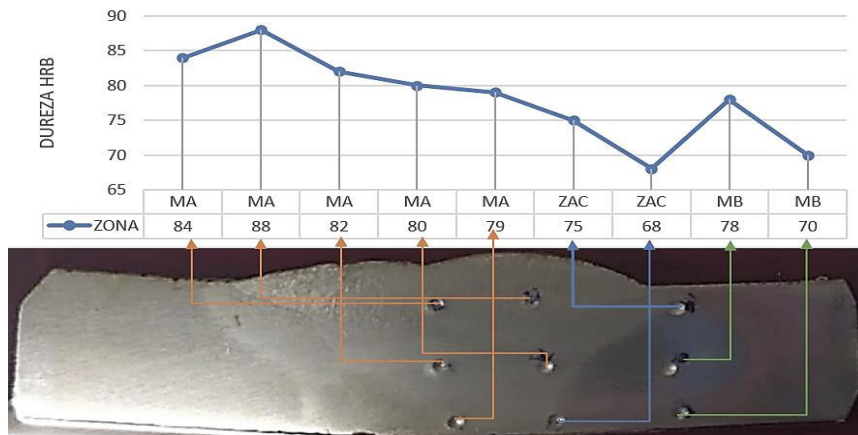


Figura 3.22 Dureza proceso FCAW-GS a una velocidad de alimentación 148,17 mm/s (Fuente: Propia-2022)

Los resultados del proceso FCAW-GS a una $V=169.33$ mm/s se muestran en la Figura 3.24.

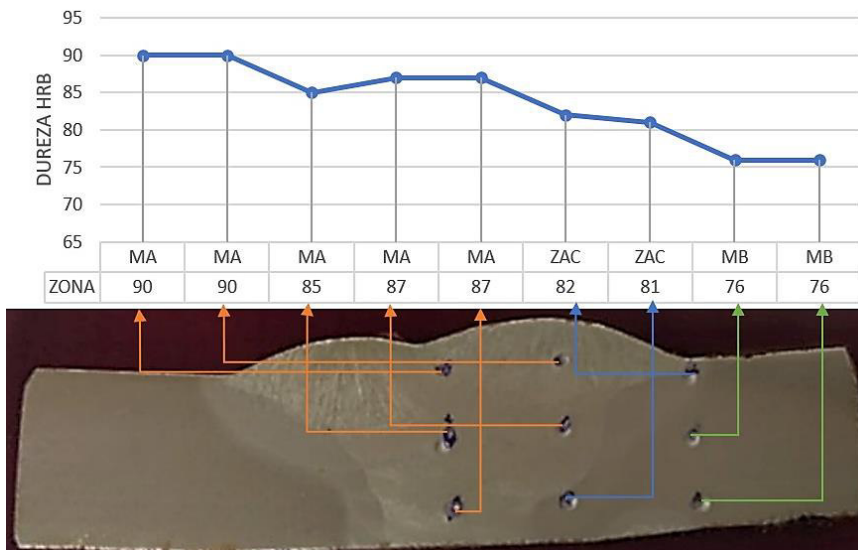


Figura 3.23 Dureza proceso FCAW-GS a una velocidad de alimentación 169,33 mm/s. (Fuente: Propia-2022)

Del proceso FCAW-SS a una velocidad de 127 mm/s en la Figura 3.25. se evidencian los valores máximos y mínimos de acuerdo a las zonas.

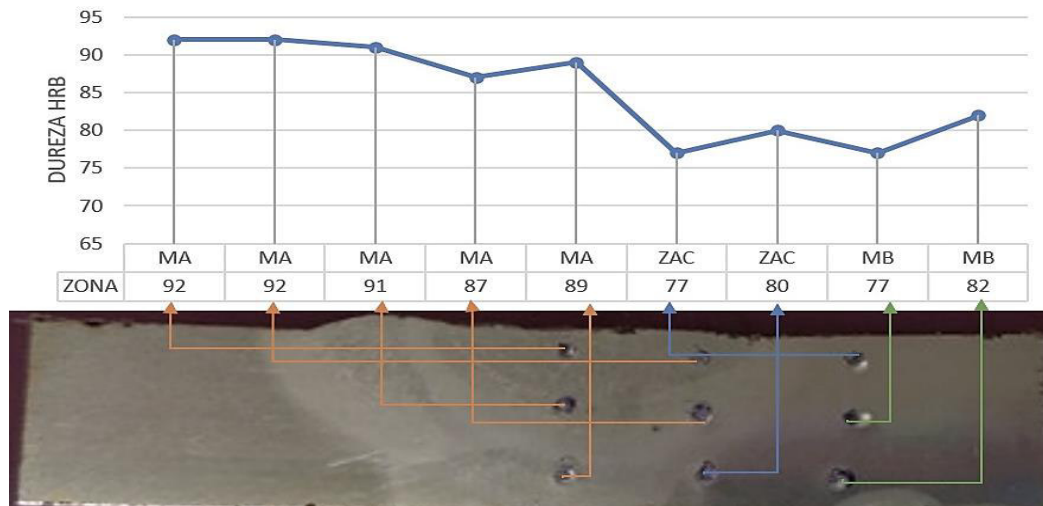


Figura 3.24 Dureza proceso FCAW-SS a una velocidad de alimentación 127 mm/s.
(Fuente: Propia-2022)

Del proceso FCAW-SS a una $V=190,5$ mm/s en la Figura 3.26. se evidencia la distribución de la dureza en las zonas de soldadura.

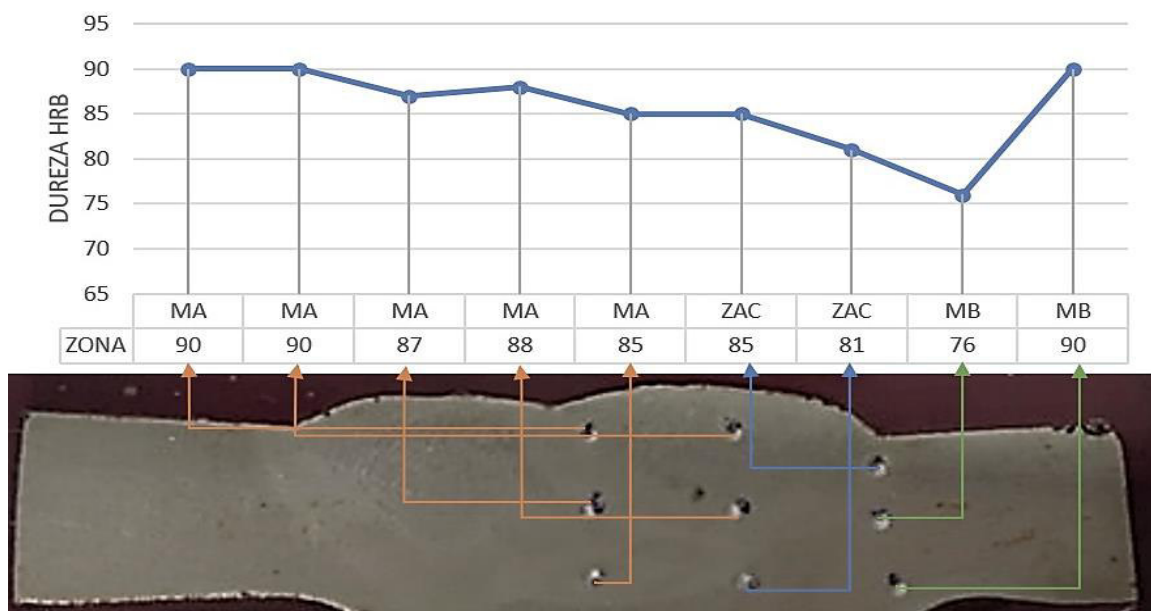


Figura 3.25 Dureza proceso FCAW-SS a una velocidad de alimentación 190,5 mm/s.
(Fuente: Propia-2022)

3.1.5.4 Ensayo de tracción

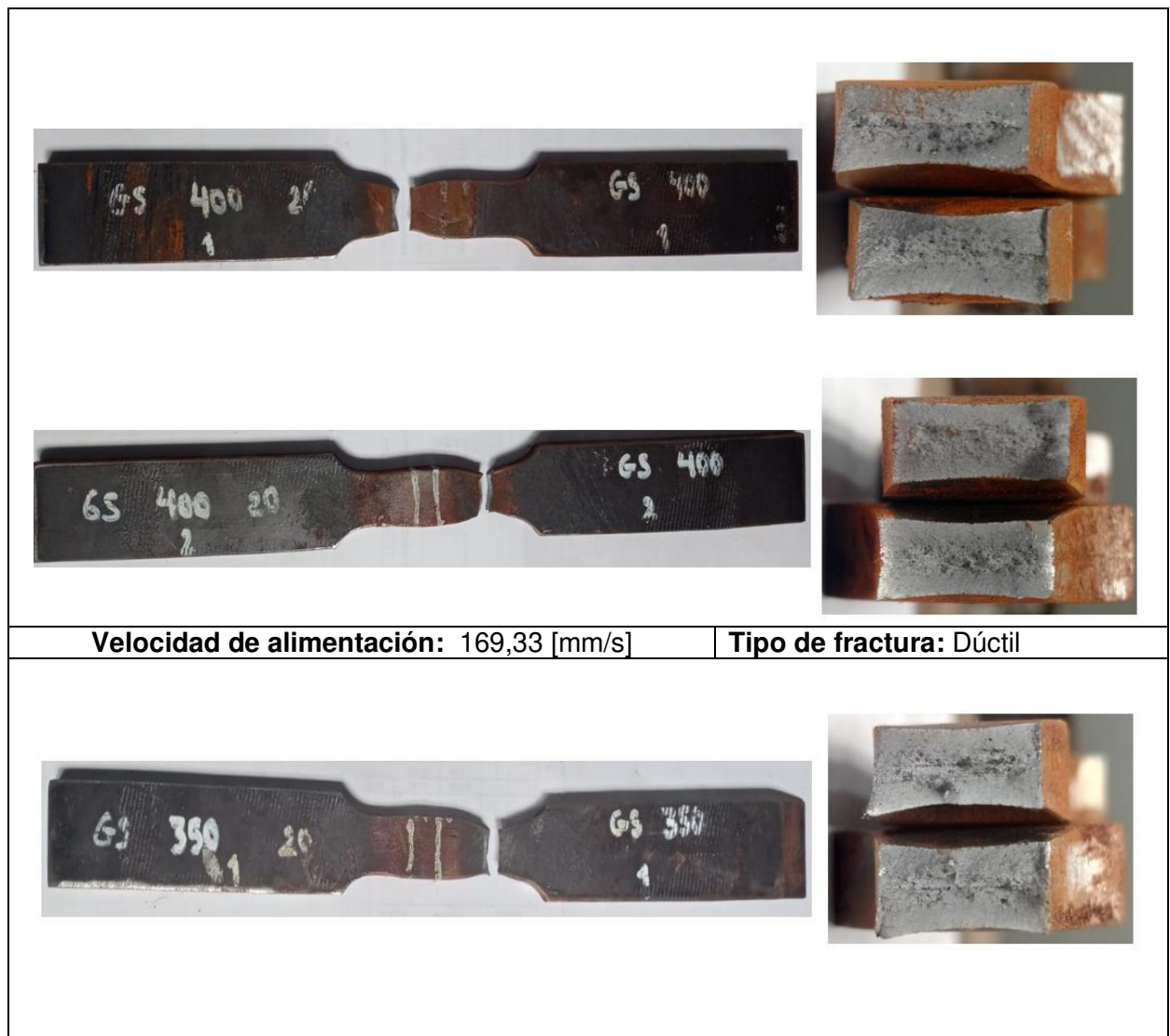
Se someten al ensayo de tracción ocho probetas evidenciado los resultados en la Tabla 3.19 (ANEXO IV.) para su posterior análisis, de manera general existe rotura en todas las placas en el material base.


Tabla 3.19 Resultados ensayo tracción juntas soldadas

Proceso de soldadura FCAW	Velocidad de alimentación [mm/s]	Carga máxima registrada [N]	Resistencia a la tracción [MPa]	Punto de falla
Outershield	148,17	93561	473	MB
		93058	475,2	MB
	169,33	90363	484,2	MB
		92412	499,9	MB
Innershield	127	92526	470,4	MB
		92437	474,2	MB
	190,5	94619	491,4	MB
		93548	460,4	MB

(Fuente: Propia-2022)





Tabla 3.20 Resultados grafico del ensayo de tracción proceso Outershield



	
Velocidad de alimentación: 148.17 [mm/s]	Tipo de fractura: Dúctil

(Fuente: Propia-2022)

Tabla 3.21 Resultados grafico del ensayo de tracción proceso Innershield

	
	
Velocidad de alimentación: 190,50 [mm/s]	Tipo de fractura: Dúctil
	
	
Velocidad de alimentación: 127 [mm/s]	Tipo de fractura: Dúctil

(Fuente: Propia-2022)

De las probetas ensayadas a tracción en los dos procesos de soldadura se puede evidenciar que los valores obtenidos en la figura 3.26, para el proceso FCAW-GS están entre 473–480 [Mpa] y para el proceso FCAW-SS entre 461-491,4 [Mpa], estos valores son mayores a la resistencia mínima obtenida para las probetas ensayadas a tracción del material base cómo se observa en la Tabla 3.1, el cuál es de 456,9 [Mpa] y éste, a su vez, está por encima del mínimo nominal de 400 [Mpa] que establece la norma AWS D1.1 en el numeral 6.10.3.5 para ser aceptado, sin embargo, las probetas del proceso de soldadura FCAW-GS presentan la mayor resistencia a la tracción, adicionalmente todas las probetas ensayadas tuvieron la fractura en el material base.

3.2 Discusión

3.2.1 Discusión material base

Para validar el material utilizado es necesario comparar cada uno de los resultados obtenidos en los diferentes análisis y ensayos para ello se utilizará la norma ASTM A36 y otras investigaciones.

Del ensayo de tracción se puede verificar que los valores resultantes de límite de fluencia son superiores en un 19,14% del valor fijado en la norma ASTM A36, mostrando que el material estudiado posee mayor capacidad de deformación elástica. El resultado de la resistencia a la tracción obtenido se encuentra por debajo del valor establecido por el fabricante en 4,21%, sin embargo, se encuentra en el rango establecido en la norma ASTM A36.

Además, el material presenta un mayor porcentaje de elongación en comparación con el valor especificado por el fabricante y por la normal ASTM A36, un causante de este resultado es el bajo contenido de carbono obtenido en el análisis químico (Tabla 3.2), de este ensayo se puede afirmar que el material base presenta mejores propiedades de ductilidad. Los resultados obtenidos no son exactos a los referenciales, presentan un margen de error aceptable que puede ser ocasionado por las condiciones ambientales y/o errores sistemáticos.

Del análisis químico el principal elemento de interés es el porcentaje de carbono el cual no sobrepasa el límite superior establecido por la norma ASTM A36 permitiendo que el acero obtenga mejores propiedades de ductilidad; el contenido de Mn es inferior a los límites establecidos por lo que puede disminuir la resistencia al desgaste y la abrasión, así como lo menciona Bramfitt & Benschoter (2002), de igual manera el % de Si resultante está por debajo de lo que exige la norma ASTM A36, propio de aceros

laminados, el cual favorece a la resistencia a la fatiga y la rotura sin afectar a la ductilidad del acero. De manera general la composición química del elemento bajo análisis cumple con los parámetros para ser considerado como un acero de bajo carbono.

La microestructura resultante del material base (Figura 3.3) es igual a la que presenta Naranjo, Sánchez, & Tobar (2015) en su investigación, obteniendo una matriz común Perlítica – Ferrítica con diferentes formas de perlita (gruesa y fina) como se indica en la Figura 1.7

La dureza promedio obtenido de la muestra alcanza un valor de 70,80 HRB (Tabla 3.3), el mismo que es un valor comparable al resultado obtenido en la investigación realizada por Feujofack, Barka, Jahazi, & Osmani (2019) en el cual determinaron que el valor de dureza para un acero A36 se encuentra en un valor aproximados a 70 HRB (120 HV).

Por todo lo analizado se determina que la muestra pertenece a un acero de bajo contenido de carbono, el cual cumple con todas las propiedades físicas y mecánicas para emplearlo como acero A36 en el presente estudio.

3.2.2 Discusión para depósitos sobre placas

Discusión depósito de soldadura sobre placas inspección visual

La geometría de la soldadura es influenciada por los parámetros del proceso, tales como, la corriente de soldadura, voltaje del arco, distancia de la boquilla a la placa y velocidad de alimentación del electrodo, por lo cual se optimiza estos parámetros para maximizar la penetración de la soldadura.

Para FCAW-GS y FCAW-SS se observa que el stick out afecta de forma directa al amperaje, a valores elevados de stick out el amperaje requerido para la soldadura disminuye y viceversa, estos resultados se pueden observar en las Tablas 3.4 y 3.5, este efecto se origina por el aumento de la extensión del electrodo ocasionando el incremento de la resistencia eléctrica del circuito y generando mayor disipación de calor y temperatura debido al efecto Joule dando como resultado una disminución de la corriente de soldadura así como lo menciona la investigación de Wahab (2014).

Ambos procesos FCAW requieren mayor amperaje a mayor velocidad de alimentación del electrodo, para FCAW-GS la mayor velocidad de alimentación es 169,33 mm/s y demanda un amperaje de hasta 252 [A] mientras que la menor velocidad es de 105,83 mm/s que requiere un amperaje de hasta 186 [A]. FCAW-SS tiene como mayor

velocidad de alimentación 190,5 mm/s y requiere amperajes de hasta 325 [A] y en su velocidad más baja que es de 127 mm/s requiere un amperaje de 275 [A].

Del registro fotográfico y mediante la inspección visual se determina que los mejores parámetros de soldadura están en los siguientes rangos:

Para FCAW-GS

$$196 \leq \text{corriente de soldadura} \leq 217$$

$$29,8 \leq \text{voltaje} \leq 33$$

$$17 \leq \text{stick out} \leq 22$$

Para FCAW-SS

$$210 \leq \text{corriente de soldadura} \leq 270$$

$$26,9 \leq \text{voltaje} \leq 27$$

$$17 \leq \text{stick out} \leq 22$$

Estos resultados son comparables con la investigación de Mostafa & Khajavi (2006) quienes determinaron que los parámetros óptimos deben estar en los siguientes rangos:

$$250 \leq \text{corriente de soldadura} \leq 350$$

$$27 \leq \text{voltaje} \leq 35$$

$$15 \leq \text{stick out} \leq 25$$

Dichos rangos ofrecen garantía en la calidad de la soldadura, pues dicha combinación de parámetros del proceso de soldadura FCAW garantizará una adecuada penetración, dilución y calidad superficial.

Discusión macrografías proceso de soldadura FCAW

El ancho del cordón de soldadura presenta valores elevados a mayores velocidades de alimentación del electrodo y un mismo stick out como se observa en la Figura 3.8, mientras que el ancho del cordón tiende a disminuir con el aumento el stick out, este efecto es más apreciable en valores elevados de velocidad de alimentación.

El ancho de cordón cambia como consecuencia de variar la distancia entre la punta del tubo de contacto y el extremo del electrodo, ocasionando el aumento de la resistencia eléctrica del circuito, lo que a su vez aumenta el calentamiento y, por lo tanto, la temperatura, llevando a una mayor velocidad de fusión (Ozcelik, S., & Moore,

K., 2003). El calentamiento que se produce afecta directamente a la zona afectada por el calor, el cual se eleva en función de la velocidad de alimentación (Figura 3.9), las velocidades más altas dan como resultado mayores áreas de ZAC.

El valor de la penetración de la soldadura presenta una tendencia a disminuir mientras aumenta el valor del stick out y se mantiene constante la velocidad de alimentación del electrodo, mientras que a mayor velocidad de alimentación se obtienen mayores valores de penetración, esto genera que, al aumentar la longitud de extensión, aumenta el precalentamiento del cable y se reduce la corriente, lo cual disminuye la cantidad de penetración en la pieza de trabajo (Ozcelik, S., & Moore, K., 2003).

Elevados valores de sobremonta se presenta a mayor velocidad de alimentación del electrodo y este tiende a aumentar cuando el stick out aumenta, pues existe una mayor disipación de calor y temperatura debido al efecto Joule ocasionando que se genere mayores sobremontas, misma conclusión se obtiene en el estudio realizado por Wahab (2014); esto también se puede corroborar en los resultados obtenidos en las Tablas 3.6 y Figura 3.11.

Aloraier, A., Almazrouee, A., Shehata, T., & Pric0e, J. W. (2012) en su investigación mencionan que el aumento de voltaje en el proceso de soldadura conduce a un aumento significativo en el ancho del cordón, para nuestros resultados la variación del stick out no afecto al voltaje de manera significativa, lo cual se refleja directamente en el ancho del cordón que no sufre variaciones considerables.

3.2.3 Discusión ensayos sobre juntas soldadas

Discusión del ensayo de doblado guiado

Los parámetros utilizados en las probetas seleccionas están dentro del rango permitido acorde a las recomendaciones del electrodo utilizado como lo menciona en (Tabla 3.9 y 3.11), por lo que se puede considerar que el cordón de soldadura debe ser óptimo y de buena calidad.

En el proceso de doblado guiado las indicaciones están dentro del rango de conformidad con las especificaciones del código ASME SECCIÓN IX (1998), la cual especifica que las indicaciones no deben sobrepasar un valor de 3mm (1/8 pulg) para aprobar el proceso de soldadura, por lo tanto, los procesos FCAW-GS y FCAW-SS son aprobados.

Por el ensayo realizado podemos validar la calidad de las uniones soldadas para sus diferentes procesos ya que presentan un elevado grado de solidez y ductilidad, lo cual

reduce la probabilidad de formación de fases secundarias indeseables que afecten la microestructura del material base, la ZAC y material de aporte.

Discusión del ensayo de metalografías juntas soldadas

Las macrografías que se presentan en la Tabla 3.16 presentan la dilución del metal de aporte resultante de cada pase, se evidencia que la microestructura crece de tamaño en el primer pase y sufre otros cambios microestructurales en función de los subsecuentes pases, en consecuencia, a la observación se concluye que las microestructuras no dependen solo de la composición química del metal base y material de aporte, sino también de los parámetros de soldadura empleados. Los pases subsecuentes producen nucleación de grano en los pases anteriores y el material base.

Las juntas soldadas de este estudio exhiben varios tipos de microestructuras en el material de aporte (pases de raíz), ZAC y material base. Para los procesos FCAW-GS y FCAW-SS se observa que el material base próximo a la ZAC sigue conservando una microestructura formada por ferrita y perlita, conservando así propiedades de dureza, ductilidad y resistencia a la rotura.

En la ZAC se exhiben las microestructuras resultantes del enfriamiento del metal, al soldar desde la temperatura de fusión hasta la temperatura ambiente; FCAW-GS presenta microestructuras Widmanstätten o ferrita con placas laterales, ferrita acicular, y microfases de austenita retenida, martensita y/o perlita, mientras que FCAW-SS conserva más fases de ferrita y perlita.

En los dos procesos se nota que la ferrita (α) sufre nucleación en la frontera del grano y tiende a crecer internamente, a bajas temperaturas el crecimiento de la ferrita disminuye dando paso a la ferrita Widmanstätten, según Kuo (2002) esta nucleación lateral es resultado de una eficaz redistribución del carbono en los costados de la interface, e inmediatamente en los bordes de grano austeníticos la ferrita acicular puede comenzar a nuclear.

Estos resultados son comparables con las microestructuras obtenidas en la investigación de Almendariz, Vaca & Medina (2021) quienes en la ZAC del material base (acero A36) soldada y sin precalentamiento obtienen ferrita Widmanstätten, ferrita acicular y bainita, con un precalentamiento de 115 °C adicional aparecen pequeñas zonas de perlita sin la presencia de martensita, a 300° C de precalentamiento conservan ferrita, bainita y perlita, y con un precalentamiento de 500°C su microestructura está compuesta de ferrita perlítica desapareciendo la bainita

y dejando zonas reducidas de ferrita Widmanstatten, como se muestra en la Figuras 1.8 y 1.9.

La zona afectada por el calor tiende a sufrir efectos negativos en las propiedades mecánicas debido que ha estado expuesta a temperaturas menores a su punto de fusión, pero lo suficientemente elevadas para que sufran cambios en la microestructura que posiblemente originen fases frágiles sensibles a la aparición de fisuras, y con frecuencia son zonas donde la junta soldada produce fallas (Groover Mikell, 2007).

Los pases de raíz que generan el cordón de soldadura presentan una microestructura de grano fino con buenas propiedades mecánicas esto se comprueba por la dureza resultante la cual es superior al material base, en cada pase subsecuente se observa regiones con transformaciones parciales.

En el material de aporte se observan mayores fases de ferrita (zona clara) y zonas reducidas de perlita, en los pases intermedios se observa mayor cantidad de zonas oscuras (perlita) estos resultados van variando entre cada pase de soldadura ya que sufren de un precalentamiento para los siguientes pases, así como los resultados obtenidos por Almendariz, Vaca & Medina (2021) que en la zona del cordón de soldadura sin precalentamiento se tiene ferrita y perlita, con un precalentamiento de 115 °C observan mayor presencia de perlita y con precalentamiento de 300°C y 500°C la perlita se reduce considerablemente, además que observaron la presencia de inclusiones propias del material debido a su proceso de manufactura.

Velasteguí (2014) en su trabajo también demostró que el cordón de soldadura presenta mayores cantidades de ferrita, clasificándolas por porcentajes y tipo, tales como, 79,1% de ferrita alotriomórfica, 18,4% ferrita acicular y 2,5% de ferrita Widmanstatten.

Discusión del ensayo de dureza de juntas soldadas

El proceso de soldadura resalta tres zonas distintivas en el cordón, tales como el material de aporte, ZAC y el material base. Del ensayo de dureza realizado se cuantifico esta propiedad física, reflejando el mayor valor de dureza en el material de aporte siendo de 87,8 HRB a una velocidad de alimentación de 169,33 mm/s para FCAW-GS y 90,2 HRB a una velocidad de alimentación de 127 mm/s en FCAW-SS, el cual es un valor comparable para el resultado obtenido en la investigación de Medina & Vaca (2020), quienes obtuvieron un valor de 89 HRB (174 HV) en un acero A36 soldada con proceso FCAW.

La zona afectada por el calor presenta un valor máximo de 81,5 HRB a una velocidad de 169,33 mm/s en FCAW-GS y 83 HRB a 190,5 mm/s en FCAW-SS, estos valores sobrepasan considerablemente al resultado obtenido por Medina & Vaca (2020), quienes obtuvieron un valor de 79 HRB (139 HV) en la ZAC.

La última zona que es el material base se ve afectada por los pases de soldadura que afectan directamente a la microestructura, dando como resultado un valor máximo de 76 HRB a 169,33 mm/s en FCAW-GS y 83 HRB a 190,5 mm/s en FCAW-SS, observando que su dureza se eleva en un 6,84% y 14,7% respectivamente en comparación al resultado obtenido en el ensayo del material base.

Como menciona Asta (2006) en su libro, que el proceso de pasadas múltiples en la soldadura produce un efecto de refinamiento en la microestructura, como resultado del calentamiento en cada pasada, dicho efecto de tratamiento térmico resulta en una recristalización con refinamiento del grano, mejorando la dureza superficial del material base.

Discusión del ensayo de tracción de juntas soldadas

En la Tabla 3.18 se muestran las cargas máximas realizadas y su resistencia a la tracción correspondiente alcanzado por cada probeta soldada bajo el proceso de Outershield e Innershield, y se observa que los valores de resistencia a la tracción superaron el esfuerzo mínimo de 400 MPa exigido por la norma AWS D1.1 (2020).

Se observa que todas las probetas fallan en el material base y no en el cordón de soldadura, lo cual verifica la calidad de la soldadura y se aceptan las probetas para ser consideradas como parte del análisis. El valor más alto obtenido en el proceso de Outershield es de 499,9 MPa a una velocidad de 169,33 mm/s el cual representa al 120% del valor nominal, e Innershield es de 491 MPa a una velocidad de 190,5 mm/s el cual representa el 118% del valor nominal, además existe una tendencia a disminuir la resistencia a la tracción al soldar con velocidades menores de alimentación, lo cual podría tener relación con los resultados de doblez guiado, que presenta inclusiones para estas velocidades.

De la Cruz (2015), también obtiene en sus resultados de soldadura bajo el proceso FCAW-S que la resistencia a la tracción resultante representa el 120% del valor nominal y concluye que la resistencia a la tracción tiende a disminuir al soldar con velocidades bajas de alimentación del electrodo ($V_a=76,2$ mm/s). Además, menciona que la diferencia del porcentaje de carbono entre el material base y el metal de

soldadura puede originar fisuraciones en frío, diferencias que son apreciables para el material base y electrodos utilizados para el presente estudio.

El cordón de soldadura no presenta cambios de forma o tamaño, tal como se observa en las Tablas 3.19 y 3.20, contrario a las zonas del metal base y ZAC donde se aprecia cierta deformación plástica que se presenta como reducción de la sección transversal y elongación del material.

Discusión general juntas soldadas

En función de los resultados obtenidos de los ensayos de dureza y tracción realizados se determina que el proceso de soldadura OuterShield con alambre tubular E71T1-C presenta propiedades mecánicas elevadas a stick out de 22 mm y velocidad de alimentación 169,33 mm/s determinando estos parámetros como óptimos.

De igual forma el proceso InnerShield alcanza valores elevados de dureza y resistencia a la tracción a un stick out de 22 mm y una velocidad de alimentación del alambre tubular E71T11 a 190,5 mm/s como óptimos de acuerdo con los resultados obtenidos.

4. CONCLUSIONES

Se recopiló información bibliográfica que permitió establecer un enfoque teórico claro del proceso de soldadura FCAW en sus variantes InnerShield y OuterShield.

El bajo contenido de carbono obtenido del análisis químico brinda al material base mejores características de elongación y ductilidad, esto se aprecia en el resultado del límite de fluencia el cual es 19.14% superior al establecido en la norma ASTM A36.

La microestructura obtenida del material base es una matriz común de perlita y ferrita típica de aceros de bajo contenido de carbono, y la aparición de perlita fina le provee mayor dureza lo que le permite al material sobrepasar con el 1,14% a la dureza típica del Acero A36.

En los procesos FCAW-GS y FCAW-SS se observa que el stick out afecta directamente al amperaje, a valores elevados de stick out el amperaje requerido para la soldadura disminuye y viceversa, puesto que la extensión del electrodo afecta a la resistencia eléctrica y por ende a la corriente de soldadura.

A mayor velocidad de alimentación se requiere mayor amperaje de soldadura, como se observa en los resultados de FCAW-GS que al incrementar el 62,5% de la velocidad mínima de alimentación se genera un aumento del 73,81% del amperaje más bajo empleado, y para FCAW-SS al aumentar la velocidad al 66,67% el amperaje aumenta en un 84,62%.

La soldadura cumple con los requisitos de aprobación en ensayo de doblado guiado bajo la norma AWS D1.1, y expone un aumento potencial en la resistencia última a la tracción de 15,1% hasta 22,85 % en FCAW-SS y del 18,25% hasta 21,05% en FCAW-GS.

Las microestructuras presentes en las probetas soldadas bajo en proceso FCAW-GS son ferrita Widmanstätten, ferrita acicular y microfases de austenita retenida, martensita y/o perlita en la zona afectada por el calor como resultado del enfriamiento rápido que permite obtener mayores propiedades de resistencia a la tracción.

En el proceso FCAW-SS las microestructuras que se determinaron en la zona afectada por el calor son fases de ferrita y perlita que son características del material base, las mismas le permiten presentar características mecánicas muy similares tanto al material base como al material de aporte.

El proceso FCAW-GS con stick out constante, presenta mejores características mecánicas al elevar en 12,50% la velocidad de alimentación y en 11,22% del

amperaje, debido a que la dureza sobrepasó en un 3,07% al valor nominal en la ZAC y en un 6,84% en el material base.

Para el proceso FCAW-SS a stick out constante, se obtienen mejores propiedades mecánicas al elevar en un 33,33% la velocidad de alimentación y en 11,41% el amperaje del valor promedio, esto se sustenta en el incremento de la dureza del 4,81% en la ZAC y en 14,7% en el material base.

5. RECOMENDACIONES

Se recomienda tener una fuente de poder estable al realizar los procedimientos de soldadura, ya que las posibles variaciones de corriente afectan directamente a la calidad de los cordones.

Se recomienda para futuras investigaciones considerar el porcentaje de superposición de cordón y la secuencia de deposición mediante un análisis del voltaje de soldadura, tipo de gas protector y velocidad transversal, ya que son parámetros críticos que afectan la entrada de calor y por ende la tasa de fusión.

Las dimensiones inapropiadas del cordón de soldadura y la falta de penetración pueden desencadenar la falla de la estructura soldada, por lo que sería recomendable analizar los parámetros bajo un modelo matemático y/o programación que relacione la profundidad de penetración con la variación de uno o más factores de soldadura.

Al realizar cada pase en la soldadura, es primordial realizar la limpieza de escoria para evitar impurezas e inclusiones en las soldaduras.

No es recomendable comparar los resultados obtenidos en el proceso InnerShield contra OuterShield para determinar un solo valor de stick out para obtener mejores resultados del proceso de soldadura FCAW puesto que son procesos con principios totalmente diferentes.

Se recomienda para futuros estudios realizar tratamientos térmicos (precalentamiento) para verificar el comportamiento de las propiedades mecánicas mediante un proceso FCAW-GS Y FCAW-SS.

Para realizar la soldadura de las juntas con las variables principales y secundarias seleccionadas se debe tener en cuenta también que estén dentro de los rangos recomendados por los fabricantes de los alambres tubulares.

Para la preparación de las probetas para ensayos destructivos se recomienda sobredimensionar las medidas para evitar incidentes y aumentar los costos de la investigación.

Para realizar las soldaduras se recomienda utilizar juntas en V con ángulo de 60° como indica la norma AWS D1.1 para obtener buenos resultados de fusión entre el material base y el metal de aporte.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Aloraier, A., Almazrouee, A., Shehata, T., & Pric0e, J. W. (2012). Role of welding parameters using the flux cored arc welding process of low alloy steels on bead geometry and mechanical properties. *Journal of materials engineering and performance*.
- [2] Aloraier, A., Ibrahim, R., & Thomson, P. (2006). FCAW process to avoid the use of post weld heat treatment. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*.
- [3] Almendariz-Puente, M. H., Vaca-Guadalupe, R. P., & Medina-Guaman, E. P. (2021). Estudio de los Efectos de la Temperatura de Pre calentamiento sobre la Microestructura y Propiedades Mecánicas de Aceros ASTM A36 y A572 GR. 50. *Polo del Conocimiento*.
- [4] Asta E., (2006); *Fundamentos de la soldadura por arco eléctrico*, 1ra ed. Argentina: ESAB-CONARCO.
- [5] ASTM A36/A36M. (2019). *Standard Specification for Carbon Structural Steel*.
- [6] ASTM E8/E8M. (2021). *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*.
- [7] AWS 5.36. (2016). *Specification for Carbon and Low-Alloy Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding and Metal Cored Electrodes for Gas Metal Arc Welding*.
- [8] AWS D1.1 (2020). *Structural Welding Code- Steel*.
- [9] Biederman R., (2005). *Microstructural analysis of Steel from the world trade center building 7, & 1 or 2*. Higgins Armony/WPI MCSI Symposium.
- [10] Brockenbrough, RL (2020). *Manual del diseñador de acero estructural*. Educación McGraw-Hill.
- [11] Cabrera, A., & Koller, M. (2017). *Comportamiento a tracción del acero estructural, según norma NTC 2289, de diferentes fabricantes de acero de refuerzo en el mercado*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- [12] DE LA CRUZ, C. R. B. (2015). *Influencia de la corriente de soldadura sobre la microestructura y las propiedades mecánicas en la unión de tubería de acero Astm–A53 grado b mediante un proceso de soldadura por arco eléctrico con alambre tubular autoprotegido (Fcaw-s)*.
- [13] Gil Mur F.J., Manero J.M., (2005). *Metalografía*. Iniciativa Digital Politécnica. Universidad

- [14] Grados Material Mundial (2020). Acero ASTM A36, Acero A36 Propiedades, Ficha Técnica, Dureza, Densidad Estructural PDF. Recuperado de <https://www.materialmundial.com/acero-astm-a36-propiedades-ficha-tecnica-estructural/>
- [15] Groover, Mikell (2007); "Fundamentos de manufactura moderna". México.
- [16] Hashmi, S. (2014). Procesamiento integral de materiales. Novedades
- [17] Jeffus L., (2009). Soldadura. Principios y aplicaciones (5ª ed.) Madrid: Editorial Paraninfo. Politécnica de Cataluña.
- [18] Kannan, T., & Murugan, N. (2006). Effect of flux cored arc welding process parameters on duplex stainless steel-clad quality. Journal of Materials Processing Technology.
- [19] Kou, Sindo. (2002); Welding metallurgy, 2da ed. New Jersey: John Willey & Sons. Marcos A., (2020). Soldadura con alambre tubular. España: Editorial Paraninfo.
- [20] Medina Guamán, E. P., & Vaca Guadalupe, R. P. (2020). Estudio de los efectos de la temperatura de precalentamiento sobre la microestructura y propiedades mecánicas de aceros ASTM A36 Y ASTM 572 gr. 50 soldados mediante proceso SMAW.
- [21] Naranjo, C., Sánchez, X., & Tobar, E. (2015). Estudio de las transformaciones metalográficas y variación de las propiedades mecánicas en juntas soldadas de acero ASTM A588 y A36. Ciencia y Tecnología.
- [22] Nippes, E. F. (1983). Metals Handbook; Vol. 6, Welding, Brazing and Soldering. American Society for Metals.
- [23] Ozcelik, S., & Moore, K. (2003). Modeling, sensing and control of gas metal arc welding. Elsevier.
- [24] Rodríguez R. & Gutiérrez I., (2002). Estudio de la contribución de las fases a las propiedades mecánicas en aceros con estructuras mixtas. VII Congreso Nacional de Propiedades Mecánicas de Sólidos, Gandía.
- [25] Velasteguí Zurita, J. E. (2014). Estudio de los procesos de soldadura SMAW y GMAW sobre acero ASTM a 36, a-500 y su incidencia en las propiedades mecánicas en las juntas soldadas de la estructura de buses (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Mecánica).
- [26] Wahab, M. A. (2014). Manual Metal Arc Welding and Gas Metal Arc Welding.