

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO CON ALAMBRE-ELECTRODO BAJO PROTECCIÓN GASEOSA (GMAW) SOBRE LA GEOMETRÍA DEL CORDÓN DE SOLDADURA.

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

EDISON RAMIRO SORIA PILLAJO

edison.soria@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. HOMERO BARRAGÁN, M.Sc.

homero.barragan@epn.edu.ec

DMQ, febrero 2022

CERTIFICACIONES

Yo, EDISON SORIA declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

EDISON SORIA

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por EDISON SORIA, bajo mi supervisión.

ING. HOMERO BARRAGÁN M.Sc.
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

EDISON SORIA

ING. HOMERO BARRAGÁN M.Sc.

DEDICATORIA

A Dios por darme la oportunidad de seguir adelante en mis estudios y metas por aun cumplir.

A mis abuelitos Josefina que esta en el cielo, guiándome, cuidándome y bendiciéndome en todo momento, y a Francisco por cada palabra de fé, fortaleza, respeto y responsabilidad en todo este proceso.

A mis padres por el apoyo en todo momento para poder culminar una etapa de mi vida, con paciencia, dedicación y perseverancia en todo este tiempo.

A mis hermanos por ser un apoyo, cariño y amor incondicional cada día.

A mi familia por confiar en mí, en las buenas y en las y acompañarme en este proceso y a sido algo tan hermoso de cumplir un sueño más.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por la salud de cada día, y darme la oportunidad de compartir todo esto junto a mi familia y amigos-

A mi abuelito Francisco por hacerme una persona humilde en todo momento, por sus sabios concejos, y sobre todo guiándome para ser mejor.

A mis padres Segundo e Inés, que supieron guiarme, apoyado en todo momento con su amor, cariño, respeto a donde quiera que vaya.

A mi hermano Javier y su esposa Tatiana, y a toda su familia, por ese cariño tan bonito en todo este tiempo, por permitirme ser parte de sus vidas.

Por último, quiero brindar un sincero agradecimiento al Ing. Homero Barragán M.Sc., director de este trabajo, por ser un guía durante todo este proceso, con sus conocimientos, paciencia y virtudes para poder culminar esta etapa universitaria de la mejor manera, y además de la ayuda del Ing. Gabriel Velastegui por la colaboración en el desarrollo de la parte experimental de este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI
1.1 Objetivo general.....	1
1.2 Objetivos específicos.....	1
1.3 Alcance.....	2
1.4 Marco teórico.....	2
1.4.1 Proceso GMAW.....	2
1.4.2 Equipo.....	2
1.4.3 Transferencia del material de aporte.....	4
1.4.4 Parámetros de la soldadura.....	5
1.4.5 Efecto de los parámetros en la soldadura.....	6
2 METODOLOGIA.....	11
2.1 Diseño Experimental.....	12
2.2 Materiales y Equipos.....	12
2.2.1 Soldadora Multiprocesos GMAW.....	12
2.2.2 Alimentación del alambre-electrodo.....	13
2.2.3 Material base.....	13
2.3 Desarrollo Experimental.....	15
2.3.1 Preparación de material base.....	15

2.4	Registro de datos	16
2.4.1	Probetas realizadas con velocidad de alimentación variable	16
2.4.2	Preparación de la muestra para Macrografía.....	21
2.4.3	Datos obtenidos en el desarrollo del proyecto	21
3	RESULTADOS CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	27
3.1	Resultados	27
3.1.1	Análisis y ecuación de los parámetros de soldadura en función de la geometría del cordón de soldadura.	27
3.1.2	Influencia de la corriente sobre la geometría del cordón de soldadura.	28
3.1.3	Influencia del voltaje sobre la geometría del cordón de soldadura.....	29
3.1.4	Influencia de la velocidad de avance en el geometría del cordón de soldadura.	30
3.1.5	Influencia de la velocidad de alimentación de alambre-electrodo sobre la corriente de soldadura	32
3.1.6	Influencia de la extensión libre del alambre electrodo (stick out) sobre la penetración del cordón de soldadura.....	33
3.1.7	Influencia del ángulo de la boquilla sobre la penetración del cordón de soldadura.	34
3.2	Conclusiones.....	35
3.3	Recomendaciones.....	36
4.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Proceso GMAW.	3
Figura 1.2. Proceso de Soldadura GMAW.	3
Figura 1.3. Tipos de transferencia del material de aporte.	5
Figura 1.4. Corriente vs Velocidad de alimentación de alambre-electrodo	6
Figura 1.5. Influencia en la geometría del cordón de soldadura por la velocidad de alimentación de alambre-electrodo.	7
Figura 1.6. Influencia en la geometría el cordón de soldadura por el voltaje de arco. ...	7
Figura 1.7. Influencia en la geometría el cordón de soldadura por la velocidad de avance.....	8
Figura 1.8. Influencia en el cordón de soldadura por la extensión del alambre-electrodo.	8
Figura 1.9. Influencia en el cordón de soldadura por: a) ángulo de empuje, b) perpendicular, c) ángulo de arrastre.	9
Figura 1.10. Forma del cordón de soldadura con diferente gas protector.	10
Figura 2.1. Diagrama de flujo del proceso.....	11
Figura 2.2. Soldadora INVERTEC V350-PRO.	12
Figura 2.3. Soldadora INVERTEC V350-PRO.	13
Figura 2.4. Material base acero ASTM A-36.	15
Figura 2.5. Equipo experimental.	16
Figura 2.6. Cordones de soldadura: voltaje y velocidad de avance constante, stick out 10 mm, ángulo de boquilla 90°.	17
Figura 2.7. Cordones de soldadura: velocidad de alimentación y velocidad de avance constante, stick out 10 mm, ángulo de boquilla 90°.	18
Figura 2.8. Cordones de soldadura: Velocidad de alimentación y voltaje constante, stick out 10 mm, ángulo de boquilla 90°.	18
Figura 2.9. Cordones de soldadura: velocidad de alimentación, voltaje y velocidad de avance constante, ángulo de boquilla 90°.	19

Figura 2.9. Cordones de soldadura: velocidad de alimentación, corriente, voltaje, velocidad de avance constante y variación del ángulo de la boquilla, stick out 10 mm. .	20
Figura 2.10. probeta con soldadura GMAW.	20
Figura 2.11. Vista general de la sección transversal del cordón de soldadura.	21
Figura 2.12. Geometría del cordón de soldadura: P: penetración, A: ancho y S: altura del refuerzo.	21
Figura 2.13. Macrografías: voltaje y velocidad de avance constante, stick out 10 mm, ángulo de boquilla 90°	22
Figura 2.14. Macrografías: velocidad de alimentación y velocidad de avance constante, stick out 10 mm, ángulo de boquilla 90°	23
Figura 2.15. Macrografías: velocidad de alimentación y voltaje constante, stick out 10 mm, ángulo de boquilla 90°	24
Figura 2.16. Macrografías: velocidad de alimentación y voltaje constante, ángulo de boquilla 90°.....	25
Figura 2.17. Macrografías: velocidad de alimentación, corriente, voltaje, velocidad de avance constante y variación del ángulo de la boquilla, stick out 10 mm.	26
Figura 3.1. Comportamiento de la corriente respecto a la geometría del cordón de soldadura.....	28
Figura 3.2. Comportamiento del voltaje respecto a la geometría del cordón de soldadura.....	30
Figura 3.3. Comportamiento de la velocidad de avance respecto a la geometría del cordón de soldadura.....	31
Figura 3.4. Comportamiento de la velocidad de alimentación del alambre-electrodo respecto al amperaje	32
Figura 3.5. Comportamiento de extensión libre del alambre electrodo (stickt out) respecto a la penetración de soldadura.	33
Figura 3.6. Comportamiento del ángulo de la boquilla respecto a la penetración de soldadura.....	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Características del acero ASTM A-36.....	14
Tabla 2.2. Composición química del alambre-electrodo.	14
Tabla 2.3. Parámetros de soldadura: voltaje y velocidad de avance constante, stick out 10 mm, ángulo de boquilla 90°.	17
Tabla 2.4. Parámetros de soldadura: velocidad de alimentación y velocidad de avance constante, stick out 10 mm, ángulo de boquilla 90°.	17
Tabla 2.5. Parámetros de soldadura: velocidad de alimentación y voltaje contante, stick out 10 mm, ángulo de boquilla 90°.	18
Tabla 2.6. Parámetros de soldadura: velocidad de alimentación, voltaje y velocidad de avance constante, ángulo de boquilla 90°.	19
Tabla 2.7. Parámetros de soldadura: velocidad de alimentación, corriente, voltaje, velocidad de avance constante y variación del ángulo de la boquilla, stick out 10 mm. .	19
Tabla 2.8. Cordón de soldadura: voltaje y velocidad de avance constante, stick out 10 mm, ángulo de boquilla 90°	22
Tabla 2.9. Cordón de soldadura: velocidad de alimentación y velocidad de avance constante, stick out 10 mm, ángulo de boquilla 90°	23
Tabla 2.10. Cordón de soldadura: velocidad de alimentación y voltaje constante, stick out 10 mm, ángulo de boquilla 90°	23
Tabla 2.11. Cordón de soldadura: velocidad de alimentación y voltaje constante, ángulo de boquilla 90°.....	24
Tabla 2.12. Cordón de soldadura: velocidad de alimentación, corriente, voltaje, velocidad de avance constante y variación del ángulo de la boquilla, stick out 10 mm. .	25

RESUMEN

En el desarrollo de este trabajo tiene como finalidad analizar la influencia de los parámetros de la soldadura por arco eléctrico con alambre-electrodo bajo protección gaseosa (GMAW) sobre la geometría del cordón de soldadura. Durante el proceso se logró establecer la relación que tiene cada los parámetros de soldadura y el efecto que cada uno de ellos produce sobre la geometría del cordón de soldadura. Para este proceso los datos generados en cada probeta de soldadura en acero ASTM A36 de 100 x 40 x 6 mm, que se utilizó un alambre-electrodo ER70S-6 de 0.9 mm, con gas protector de CO₂, además con una variación de la extensión del electrodo en 6.4, 8, 10, 12, 15, 19 mm y también de la variación del ángulo de la boquilla en (-30°, -20°, -10°, 90°, +10°, +20° y 30° grados). Luego se procedió a la extracción de una macrografía transversal a la probeta del cordón de soldadura, con la finalidad observar la geometría del cordón. Se utilizo Microsoft Excel para la realización del análisis con los datos registrados de la geometría del cordón en función de cada uno de los parámetros, el mismo que nos entregó una ecuación, esto nos permite obtener cordones óptimos y de calidad en cualquier proceso industrial.

Palabras clave: análisis, ecuación, geometría, macrografía, parámetros, soldadura.

ABSTRACT

In the development of this work, its purpose is to analyze the influence of the parameters of electric arc welding with a wire-electrode under gas protection (GMAW) on the geometry of the welding bead. During the process, it was possible to establish the relationship that each welding parameter has and the effect that each of them produces on the geometry of the welding bead. For this process, the data generated in each ASTM A36 steel welding specimen of 100 x 40 x 6 mm, which used a 0.9 mm ER70S-6 electrode wire, with CO₂ protective gas, also with a variation of the extension of the electrode in 6.4, 8, 10, 12, 15, 19 mm and also of the variation of the nozzle angle in (-30°, -20°, -10°, 90°, +10°, +20° and 30 degrees). Then, a transverse macrography of the weld bead specimen was extracted, in order to observe the geometry of the bead. Microsoft Excel was used to carry out the analysis with the recorded data of the cord geometry based on each of the parameters, the same one that gave us an equation, this allows us to obtain optimal and quality cords in any industrial process.

Keywords: analysis, equation, geometry, macrography, parameters, welding.

1 REALIZAR GRAFICOS DE LA CONFIGURACION GEOMETRICA DEL CORDON DE SOLDADURA EN FUNCIÓN DE LAS VARIABLES PRIMARIAS.

El componente a desarrollarse es el análisis de los parámetros predeterminados como diámetro del electrodo, tipo del gas protector, los parámetros primarios como corriente, voltaje, y velocidad de avance de la soldadura, y los parámetros secundarios, como la velocidad de alimentación, distancia libre del alambre-electrodo y ángulo de la boquilla, se realizan control de los parámetros y verificar cuales son los parámetros óptimos para elaborar cordones de soldadura en una posición plana, un gas protector activo como el CO₂, y un alambre-electrodo ER70S-6, donde cada parámetro generamos variaciones (el resto de parámetros permanece constante) y de esta probeta se realizara un corte transversal para la elaboración de una macrografía y esto nos permite medir la geometría del cordón de soldadura de como se ve afectado por los diferentes parámetros.

Se analizan cada una de los datos obtenidos, generando una línea de tendencia que puede ser lineal o polinomial, donde estas ecuaciones aproximadas me ayudan a entender el comportamiento de cada parámetro y cómo influye en la geometría del cordón de soldadura. Las ecuaciones resultantes se derivan con respecto a la geometría del cordón como la penetración, ancho y altura del refuerzo en función de cada una de los parámetros analizados (voltaje del arco, corriente, velocidad de avance de la soldadura, distancia libre del electrodo, ángulo de la boquilla y la velocidad de alimentación del alambre-electrodo).

1.1 Objetivo general

Analizar la influencia de los parámetros de soldadura por arco eléctrico con alambre-electrodo bajo protección gaseosa (GMAW) sobre la geometría del cordón de soldadura.

1.2 Objetivos específicos

1. Establecer la relación entre los parámetros de soldadura como el voltaje del arco, la corriente y la velocidad de avance del electrodo sobre la geometría del cordón de soldadura como penetración, ancho del cordón y altura del refuerzo.
2. Elaborar un banco de probetas con macrografías elaboradas para que se analice la influencia de las variables principales en la geometría del cordón.

3. Determinar las ecuaciones en función de los parámetros críticos y de interés en el proceso como son: penetración, ancho del cordón y altura del refuerzo en función del voltaje del arco, corriente de soldadura y velocidad de avance de la soldadura

1.3 Alcance

El alcance de este trabajo radica en el completo análisis del proceso de soldadura GMAW respecto a los parámetros que pueden ser abordados para su desempeño.

1.4 Marco teórico

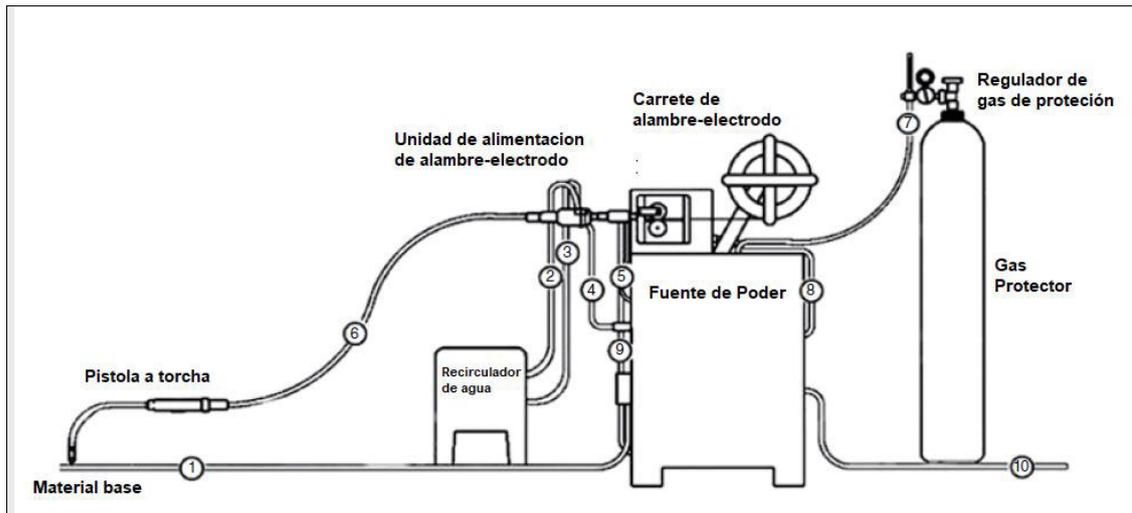
1.4.1 Proceso GMAW

GMAW es un proceso de soldadura por arco que implica la alimentación automática de un electrodo consumible continuo, protegido por un gas suministrado externamente al sistema. Dado que el equipo está diseñado para la autorregulación automática de las características eléctricas del arco y la tasa de deposición deben ser colocadas con antelación, el único control manual que requiere el soldador para la operación semiautomática es la posición de la máquina, el voltaje, la guía y la velocidad de alimentación de la pistola. La longitud del arco y el nivel de corriente se mantienen automáticamente una vez colocados [1].

En el proceso MIG, es la utilización de un gas protector inerte como el Argón o Helio, y en el proceso MAG actúa un gas protector activo CO_2 y sus diferentes mezclas. La única discrepancia entre estos dos procesos es el gas de protección, el material a soldar y el tipo de transferencia del alambre-electrodo, el resto de los elementos del equipo son similares.

1.4.2 Equipo

El equipo del proceso GMAW, se detalla a continuación en la figura 1 y figura 2.



1	Cable conductor	6	Cable de ensamblaje
2	Agua para la pistola	7	Gas protector desde el cilindro
3	Agua desde la pistola	8	Contacto para control de soldadura
4	Switch del circuito de la pistola	9	Cable de poder
5	Gas de protector hacia la pistola	10	Entrada primaria de energía

Figura 1.1. Proceso GMAW.

(Fuente: [2])

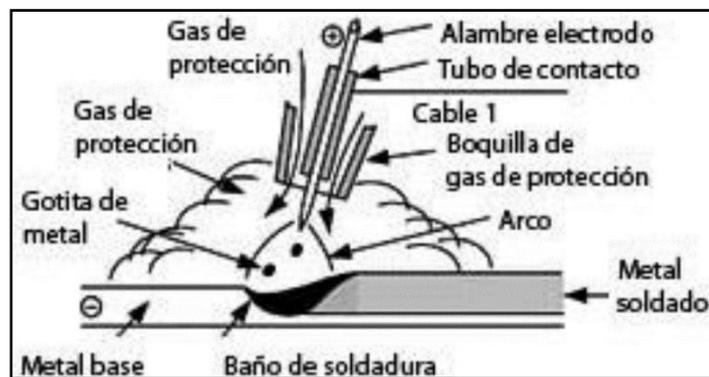


Figura 1.2. Proceso de Soldadura GMAW.

(Fuente: [3])

El conjunto de pistola y cable cumplen tres funciones. Como primera y más importante se encarga de suministrar gas protector a la región del arco, dirige el electrodo consumible a la punta de contacto y conduce energía eléctrica a la punta en contacto con la pieza. Cuando se activa el interruptor de la pistola, se suministran simultáneamente gas, electricidad y electrodos al trabajo y generando un arco. La unidad de alimentación de alambre y la fuente de alimentación normalmente están acopladas para proporcionar

autorregulación automática de la longitud del arco. El conjunto básico utilizado para producir esta regulación es una fuente de alimentación de voltaje constante (que proporciona una curva de voltaje-corriente plana) combinada con una unidad de alimentación de alambre de velocidad constante [4].

1.4.3 Transferencia del material de aporte

El alambre-electrodo se funde y las gotas de metal líquido se transfieren directamente al charco de soldadura por cuatro tipos de transferencia: cortocircuito, globular, rociado y por arco pulsado. Los más utilizados son el rociado y cortocircuito. Cada tipo de transferencia depende del gas protector a utilizar, stick out, diámetro del alambre-electrodo, amperaje y voltaje de soldadura. Los tipos de transferencia mencionados están en la siguiente figura 3 y 4.

- **Transferencia por cortocircuito**, se produce al usar intervalos bajos de corriente y voltaje, y al utilizar diámetros pequeños de alambre-electrodo. Es posible la soldadura en todas las posiciones y además para la unión de secciones de material delgado. El uso del gas protector es el CO₂ se obtiene una mayor penetración y altos niveles de salpicaduras.
- **Transferencia globular**, es diferenciado por un tamaño de gota de metal fundido con un diámetro mayor que el alambre-electrodo, y además utiliza CO₂ con niveles de voltaje y corrientes altos, y lo limita a realizar soldaduras en posición plana y horizontal, y alambre-electrodo mayor a 1.1 mm.
- **Transferencia por rociado**, también llamado por pulverización y sucede cuando el alambre-electrodo al fundirse son pequeñas gotas o su diámetro puede ser igual a su diámetro, con niveles de voltaje y corrientes altos, donde el gas protector es argón o una mezcla de argón con oxígeno (máx. 5%) y el alambre electrodo en un intervalo de 1.1 y 3.18 mm.

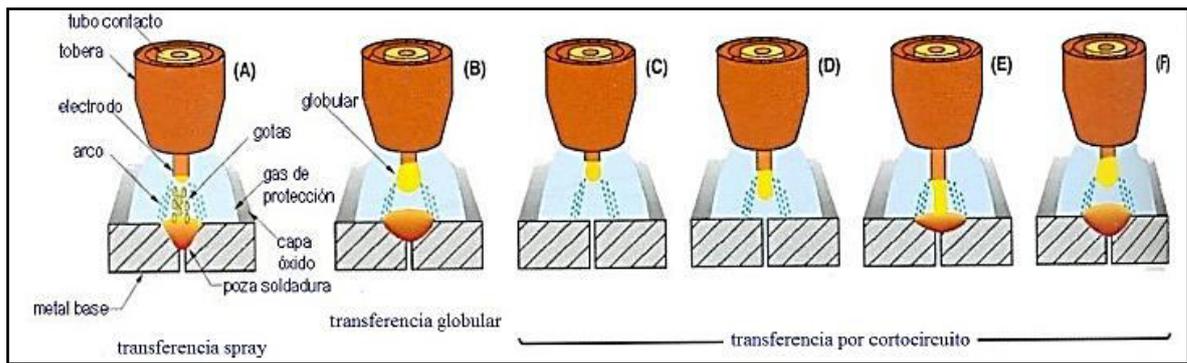


Figura 1.3. Tipos de transferencia del material de aporte.

(Fuente: [5])

1.4.4 Parámetros de la soldadura

Cada uno de estos parámetros aporta una gran cantidad de aspectos al momento del desarrollo y el proceso de soldadura. Controlar cada una de estas variables permiten conseguir que el cordón de soldadura sea de buena calidad. Sin embargo, en caso de no controlar este aspecto el trabajo puede convertirse en una tarea compleja. Al momento de controlar las variables es imperativo mantener un control sobre cada una de ellas, es decir si se modifica una de ellas es necesario revisar la demás y por supuesto controlarlas en su totalidad. Esta situación en la mayoría de ocasiones es ampliamente controlada por personas aptas, situación totalmente disímil para personas novatas en la materia. Los parámetros más comunes a considerar en el proceso de la soldadura son enlistados a continuación:

1.4.4.1 Parámetros predeterminados:

- Diámetro y composición química del alambre-electrodo.
- Tipo y flujo del gas protector.

Estos parámetros se establecen antes de iniciar un proceso de soldadura, además del material base, tipo de unión y posición de la soldadura.

1.4.4.2 Parámetros primarios:

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

Son aquellas que intervienen después que se han fijado los parámetros predeterminados.

1.4.4.3 Parámetros secundarios:

- Velocidad de alimentación de alambre
- Distancia libre del alambre-electrodo
- Ángulo de la boquilla
- Distancia entre la boquilla y el material base

Estas variables pueden ser rectificadas de manera continua, aunque en la soldadura automática es difícil de medir con exactitud y sobresaltan directamente a los parámetros primarios.

1.4.5 Efecto de los parámetros en la soldadura

1.4.5.1 Corriente de soldadura (velocidad de alimentación de alambre-electrodo)

A medida que varía la velocidad de alimentación, la corriente de soldadura varía de manera similar cuando se usa una fuente de alimentación constante. Esto ocurre porque la salida de corriente de la fuente de poder varía dramáticamente con los cambios en el voltaje de arco (longitud de arco) que resultan cuando se hacen cambios de velocidad de alimentación del electrodo. Cuando todas las variables se mantienen constantes, un aumento de la corriente de soldadura da como resultado un aumento a la profundidad y ancho de penetración, la tasa de deposición y el tamaño del cordón de soldadura [5].
Figura 1.4 y Figura 1.5.

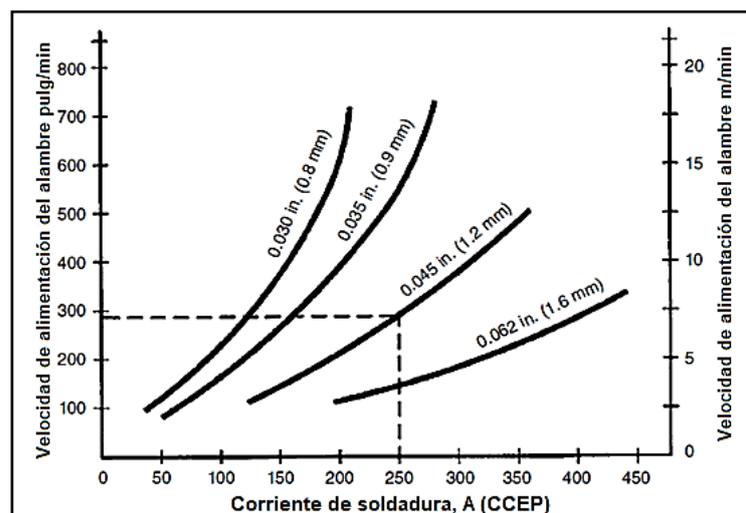


Figura 1.4. Corriente vs Velocidad de alimentación de alambre-electrodo

(Fuente: [6])

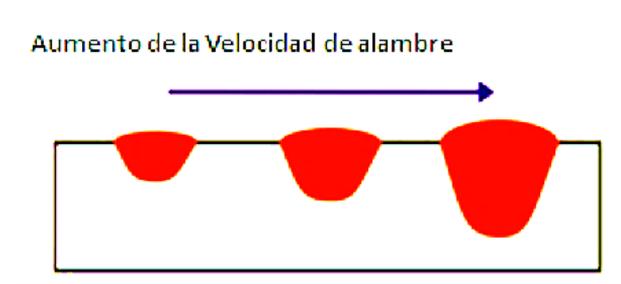


Figura 1.5. Influencia en la geometría del cordón de soldadura por la velocidad de alimentación de alambre-electrodo.

(Fuente: Propia)

1.4.5.2 Voltaje de arco

Este parámetro es directamente a la longitud del arco. A medida que aumenta el voltaje del arco la exigencia del gas también se incrementa. Para soldadura de voltaje constante, el voltaje se determina o configura primero en la máquina y, en consecuencia; el voltaje también controla o afecta el ancho del cordón. La tensión del arco tiene un efecto directo sobre la entrada de calor [5]. Figura 1.6.

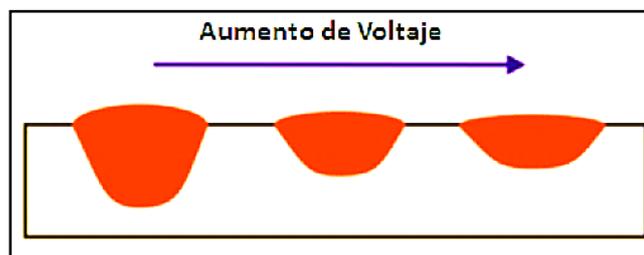


Figura 1.6. Influencia en la geometría el cordón de soldadura por el voltaje de arco.

(Fuente: Propia)

1.4.5.3 Longitud del arco

Es el término utilizado para describir la conexión eléctrica de la pistola de soldar en relación con los terminales de una fuente de alimentación de corriente continua (CC). Cuando el cable de alimentación de la pistola está conectado al terminal positivo, la polaridad se designa como corriente continua, electrodo positivo (DCEP). Alternativamente, una conexión al terminal negativo se designa como corriente continua, electrodo negativo (DCEN). La gran mayoría de las aplicaciones de GMAW utilizan DCEP, porque proporciona un arco estable, poca salpicadura, un buen perfil de cordón de soldadura y la mayor profundidad de penetración [5].

1.4.5.4 Velocidad de avance

Es la velocidad lineal a la que se mueve el arco a lo largo de la unión soldada. Manteniendo todas las demás condiciones constantes, la penetración de la soldadura es mayor a una velocidad de desplazamiento intermedia. Cuando se reduce la velocidad de desplazamiento, aumenta la deposición de metal de aporte por unidad de longitud. A velocidades muy bajas, el arco de soldadura golpea el baño de soldadura fundido, en lugar del metal base, lo que reduce la penetración efectiva. [5]. Figura 1.7.

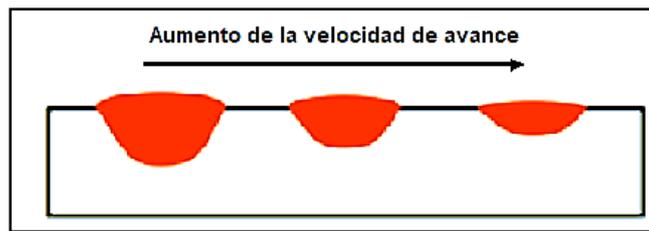


Figura 1.7. Influencia en la geometría el cordón de soldadura por la velocidad de avance.

(Fuente: Propia)

1.4.5.5 Extensión del alambre-electrodo (Stick out)

Es la distancia desde la punta de contacto al material base hasta el final de la boquilla. El valor óptimo de la extensión del alambre-electrodo está en el intervalo de 6,4 a 13 mm (1/4 y 1/2 pulg.) usado en transferencia de metal por cortocircuito y los valores entre 13 a 25 mm (1/2 y 1 pulg.) usado para transferencia globular y aspersion. Figura 1.8.

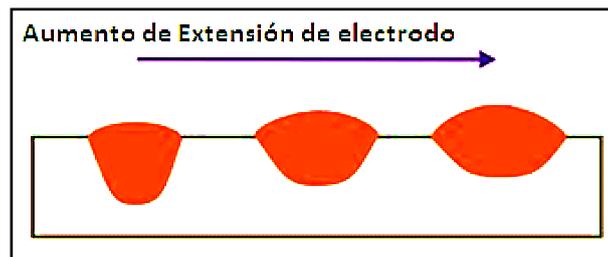


Figura 1.8. Influencia en el cordón de soldadura por la extensión del alambre-electrodo.

(Fuente: Propia)

1.4.5.6 Orientación del electrodo

Su efecto influye en el ancho y la penetración de la soldadura como se observa en la figura 1.9, cuando el electrodo apunta en la dirección de avance, la técnica se conoce como soldadura de derecha con un ángulo de empuje (a). Cuando el electrodo apunta en dirección opuesta a la dirección de avance, la técnica se denomina soldadura de revés

con un ángulo de arrastre (c), y cuando se cambia el electrodo de la técnica perpendicular (b) a una técnica de ángulo de empuje (de derecha) sin cambiar todas las demás condiciones, la penetración disminuye y el cordón de soldadura se vuelve más ancho y plano (a), [2].

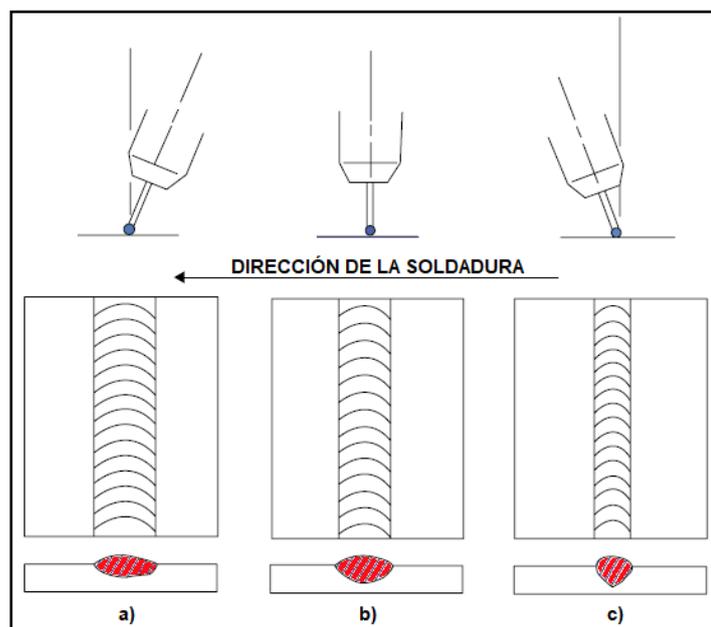


Figura 1.9. Influencia en el cordón de soldadura por: a) ángulo de empuje, b) perpendicular, c) ángulo de arrastre.

(Fuente: [7])

1.4.5.7 Polaridad

Al definir la dirección del flujo de corriente, la polaridad positiva (inversa) se logra cuando el cable del electrodo está conectado al terminal positivo de una fuente de alimentación de corriente continua (CC) y el cable de tierra está conectado al terminal negativo. La polaridad negativa (directa) ocurre cuando el alambre-electrodo está conectado al terminal negativo y la tierra está conectada al terminal positivo [5].

1.4.5.8 Alambre-electrodo

El alambre-electrodo utilizado en este proceso son de los siguientes diámetros (0.6, 0.8, 1, 1.2, 1.6, 2, 3 y 3.2 mm) y se abastecen en carretes para colocar directamente en el sistema de alimentación, y para la composición del alambre-electrodo en la soldadura por arco eléctrico bajo protección gaseosa debe ser seleccionado de acuerdo al metal base a soldar, diseño de la junta o espesor, a la variación dentro del proceso de soldadura MIG/MAG, y el gas protector.

Es una situación totalmente visible que a mayor diámetro del electrodo es necesario una mayor cantidad de amperaje. Si un electrodo tiene un diámetro reducido implica una mayor velocidad de depósito [8].

1.4.5.9 Gas de protección

Este componente durante todo el proceso se encarga de reducir la contaminación ambiental, además crea atmósfera ionizada que estabiliza el arco de soldadura. Dependiendo de su naturaleza y composición, los gases influyen en las características del arco, en la forma en que se transfiere el alambre-electrodo al material base, en la generación de penetración y en la forma del cordón. De la misma manera que el gas tiene efecto sobre la pérdida de elementos químicos, temperatura del baño de fusión y en algunos casos se permite provocar grietas y poros, no es dosificado apropiadamente [9].

El caudal de gas de protección también influye en la calidad del depósito de soldadura resultante. Si el caudal es demasiado bajo, es posible que la soldadura no esté debidamente protegida de la contaminación atmosférica. Si el caudal es demasiado alto, se pueden crear turbulencias a medida que sale el gas en la boquilla de la pistola, lo que hace que el oxígeno y el nitrógeno entren en la zona de soldadura. En cualquier caso, el resultado puede ser soldaduras contaminadas con óxidos, nitruros o porosidades atrapados, [2].

El gas protector a utilizarse en el proceso puede ser el dióxido de carbono (CO_2), argón (Ar) y helio (He), además se pueden emplear una mezcla de los mismo para obtener un mejor rendimiento en el procedimiento de la soldadura. Los gases también influyen en la geometría del cordón, se puede observar en la siguiente figura 1.10.

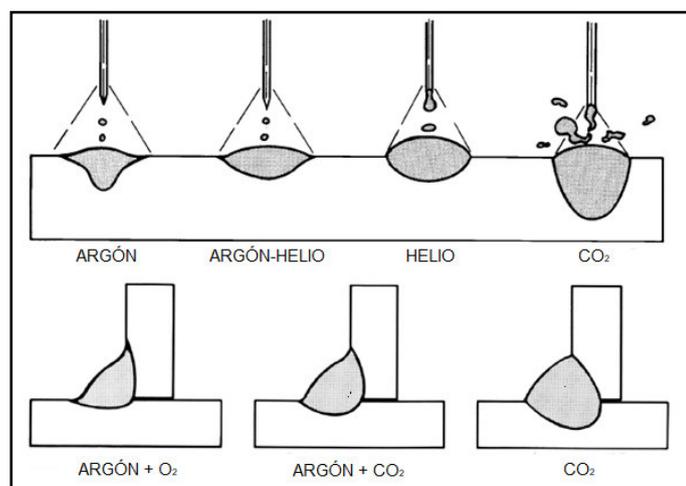


Figura 1.10. Forma del cordón de soldadura con diferente gas protector.

(Fuente: [2])

2 METODOLOGIA

Para la elaboración del siguiente trabajo fue necesario establecer una investigación de índole cualitativa correlacional, en la cual se busca identificar el efecto que tiene los parámetros de la soldadura sobre la geometría del cordón de soldadura en el proceso de soldadura GMAW por medio del material base acero ASTM A-36.

A continuación, en la figura 2.1 se detalla todo el procedimiento experimental de la soldadura para llevar a cabo cada una de las probetas en las placas de acero. Cada procedimiento incluye la preparación del material base y la selección de los parámetros óptimos y el control en la elaboración de cada probeta.

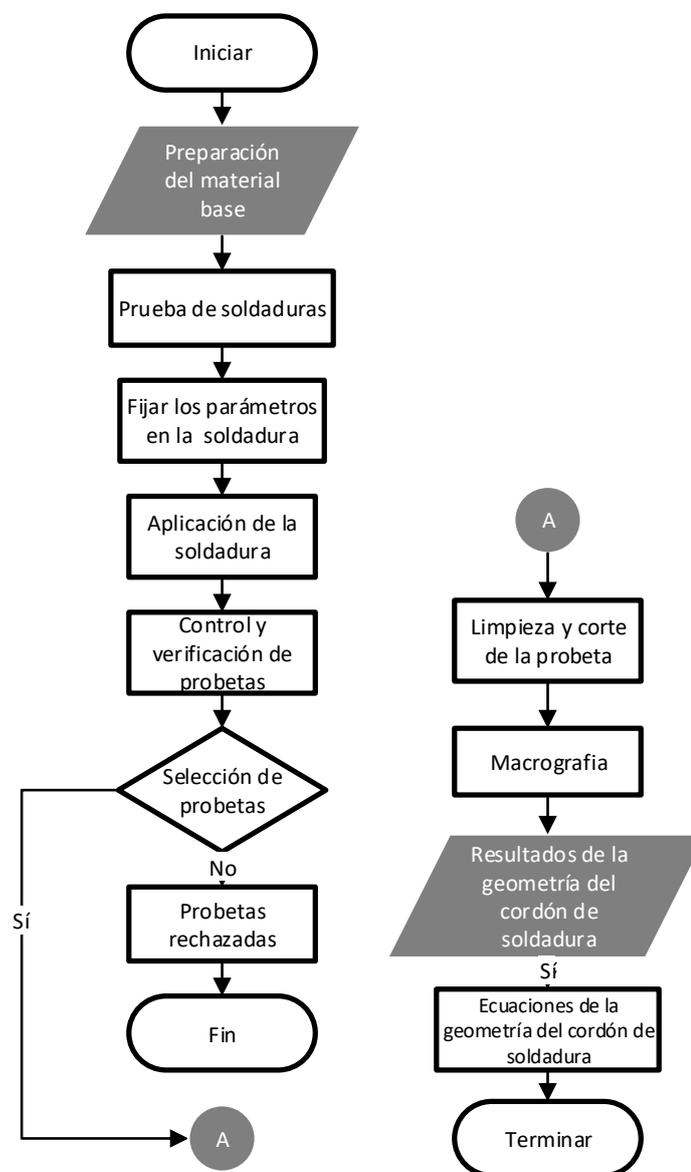


Figura 2.1. Diagrama de flujo del proceso.
(Fuente: Propia)

2.1 Diseño Experimental

En esta parte se designan y especifican los parámetros del procedimiento de soldadura con los que se desarrolla la investigación con un criterio técnico.

La parte experimental se determina en dos partes:

- a) Verificación de los parámetros predeterminados, primarios y secundarios.
- b) Análisis en la sección transversal de la soldadura, donde los parámetros que influyen en la geometría del cordón (penetración, altura y ancho del cordón) han generado resultados, y estos mismos son evaluados en cada macrografía.

2.2 Materiales y Equipos

2.2.1 Soldadora Multiprocesos GMAW

Uno de los equipos más versátiles y permite realizar diferentes procesos utilizamos la Soldadora INVERTEC V350-PRO de la figura 2.2, y Ubicado dentro del laboratorio de soldadura de la facultad de ingeniería mecánica.

La INVERTEC V350-PRO, es una máquina de soldadura que traba en la fabricación de múltiples procesos. que trabaja con cualquier fuente de alimentación, el rango de salida es de 5-425 (amperios), para todos los procesos, tiene un bajo consumo de energía del 88% eficiencia, su voltaje de entrada de 208-575 y operación de 50 y 60 Hz.



Figura 2.2. Soldadora INVERTEC V350-PRO.
(Fuente: Propia)

2.2.2 Alimentación del alambre-electrodo

Es una alimentadora LINCOLN LN-7 que trabaja con la soldadora GMAW de manera semiautomática y a una velocidad constante, rango del diámetro es de 0.6mm – 1.6mm y además la escala de velocidad es de 75 a 700 pulgadas/minutos.



Figura 2.3. Soldadora INVERTEC V350-PRO.
(Fuente: Propia)

2.2.3 Material base

Para la realización de los ensayos el material base es el acero ASTM A-36 donde sus dimensiones son, es un acero al carbono de grado estructural, conocido como hierro negro, para uso en puentes y edificios remachados, atornillados o soldados [10].

Tabla 2.1. Características del acero ASTM A-36.

CARACTERÍSTICAS GENERALES	
Normas	ASTM A36/A 36 M -04
Propiedades mecánicas	Límite elástico mínimo: 250 MPa (36300 PSI) Resistencia a la tracción: 400 – 550 MPa (58 000 – 79 800 PSI) Elongación mínima en 50 mm (2"): 23% Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)
Propiedades físicas	Densidad 7,85 g/cm ³ (0,284 lb/in ³)
Propiedades químicas	0,25 – 0,29 %C 0,60 – 1,20% manganeso 0,15 – 0,40 % Sí 0,04 % P máx 0,05% S máx.
Principal uso	Ampliamente empleado en estructuras

(Fuente: [10].)

2.2.3.1 Alambre-electrodo

Para el procedimiento de soldadura GMAW se hace el uso del alambre-electrodo ER70S-6 de diámetro de 0,9 mm, diseñado para una soldadura en todas las posiciones. A continuación, se muestra la información concerniente al material de aporte seleccionado:

Tabla 2.2. Composición química del alambre-electrodo.

Composición química del alambre-electrodo					
	%C	%Mn	%Si	%S	%P
Requisitos AWS ER70S-6	0,06-0,15	1,40-1,85	0,80-1,15	0,035 Máx	0,025 máx.
Resultados Típicos	0,08	1,45	0,84	0.011	0.008
	%Cr	%Ni	%Mo	%V	%Cu (Total)
Requisitos AWS ER70S-6	0,15 máx.	0,15 máx.	0,15 máx.	0,03 máx.	0,50 máx.
Resultados Típicos	0,025	0,013	0,002	0,002	0,12

(Fuente: [11])

2.2.3.2 Gas de protección

Durante el procedimiento se realiza el uso del gas protector CO_2 , muy utilizado por sus diferentes características en el proceso de soldadura como una mejor penetración y a su vez elevada velocidad de soldadura, y otro beneficio es por su menor costo. Además, según el tipo de transferencia de metal es por cortocircuito y globular. En la transferencia por rociado se hace el uso del gas protector argón. Durante el proceso de soldadura para el desarrollo de las probetas se usó el CO_2 una presión de salida de 35 psi.

2.3 Desarrollo Experimental

2.3.1 Preparación de material base

El material base utilizado para las probetas son placas de acero ASTM A-36 a temperatura ambiente, las dimensiones de los cordones son 100 x 40 x 6 (mm). Antes de realizar el proceso de soldadura, la superficie es limpiada superficialmente con grata metálica para eliminar cualquier tipo de oxidación que afecten a la estabilidad del arco eléctrico durante la soldadura.

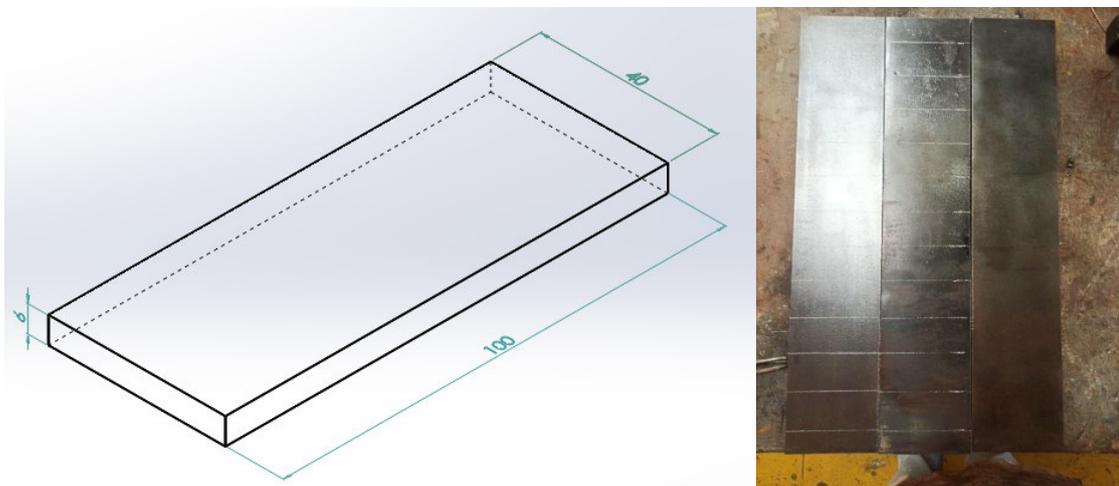


Figura 2.4. Material base acero ASTM A-36.

(Fuente: Propia)

2.3.1.1 Tipo de soldadura

Tipo de soldadura a desarrollarse es semiautomático, donde me permite establecer los parámetros y condiciones estables para efectuarse en cada una de las probetas, y nos permita comparar cada uno de los resultados obtenidos.

Se utilizó un sistema automático de movimiento longitudinal acoplado a este proceso de soldadura, además de un sujetador de la torcha para generar un ángulo de inclinación, esto me permite una velocidad de avance constante, con esto se logra mecanizar el sistema semiautomático de la soldadura GMAW, como indica en la Figura 2.5.

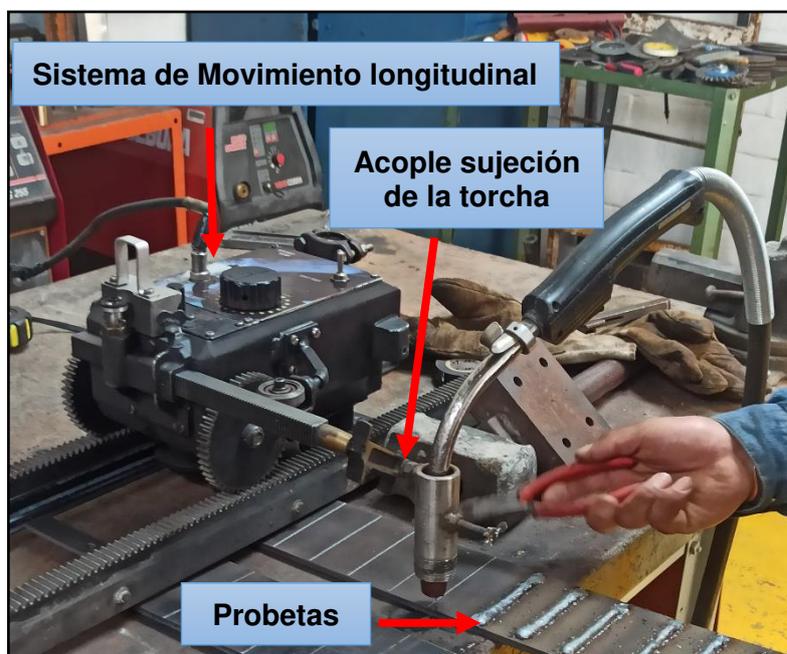


Figura 2.5. Equipo experimental.
(Fuente: Propia)

2.4 Registro de datos

Cada uno de los valores obtenidos por la metodología explicada están indicados a continuación. Para una forma más explicativa los datos están elaborados en las siguientes tablas y figuras, en donde el diámetro del alambre-electrodo será 0.9 (mm), el gas de protección CO₂ para todo el desarrollo de las probetas en este proceso de soldadura.

2.4.1 Probetas realizadas con velocidad de alimentación variable

Tabla 2.3. Parámetros de soldadura: voltaje y velocidad de avance constante, stick out 10 mm, ángulo de boquilla 90°.

Nro.	Velocidad de alimentación (mm/s)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)
1A	84,66	94	25	3,33
2A	105,83	110	25	3,33
3A	126,99	124	25	3,33
4A	148,16	135	25	3,33
5A	169,32	140	25	3,33
6A	190,49	150	25	3,33

(Fuente: Propia)

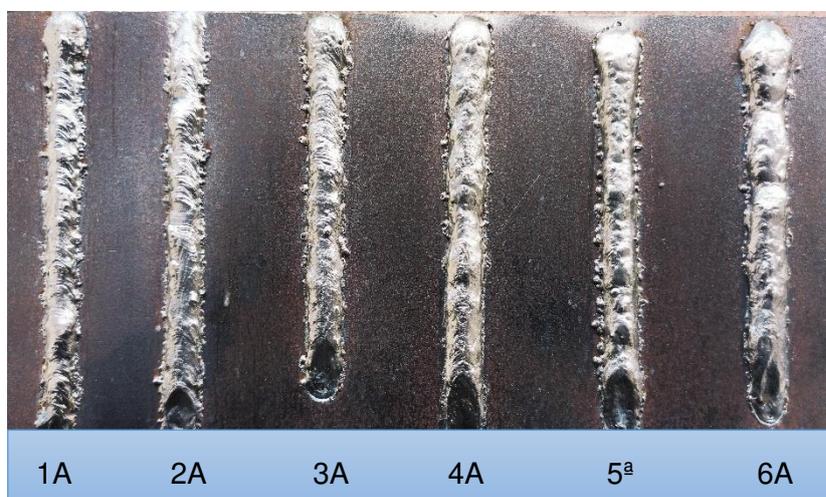


Figura 2.6. Cordones de soldadura: voltaje y velocidad de avance constante, stick out 10 mm, ángulo de boquilla 90°.

(Fuente: Propia)

Tabla 2.4. Parámetros de soldadura: velocidad de alimentación y velocidad de avance constante, stick out 10 mm, ángulo de boquilla 90°.

Nro.	Velocidad de alimentación (mm/s)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)
7A	148,16	125	16	3,33
10A	148,16	160	28	3,33
11A	148,16	179	32	3,33
12A	148,16	182	36	3,33

(Fuente: Propia)



Figura 2.7. Cordones de soldadura: velocidad de alimentación y velocidad de avance constante, stick out 10 mm, ángulo de boquilla 90°.

(Fuente: Propia)

Tabla 2.5. Parámetros de soldadura: velocidad de alimentación y voltaje contante, stick out 10 mm, ángulo de boquilla 90°.

Nro.	Velocidad de alimentación (mm/s)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)
13A	158,74	167	27	3,33
14A	158,74	165	27	5
15A	158,74	157	27	5,83
16A	158,74	152	27	6,67

(Fuente: Propia)

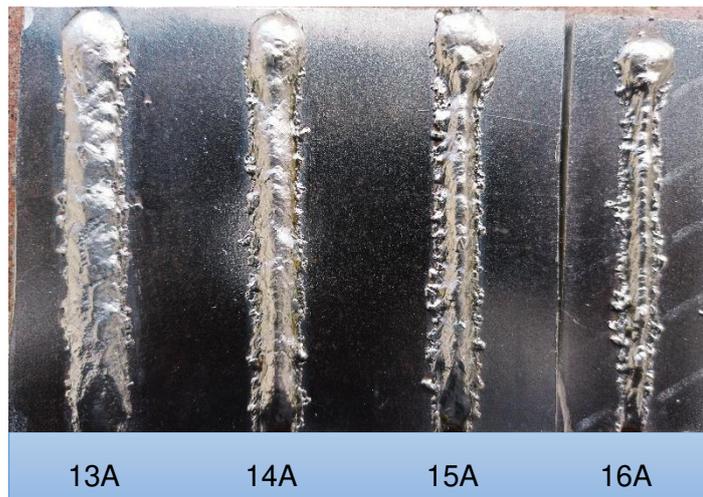


Figura 2.8. Cordones de soldadura: Velocidad de alimentación y voltaje constante, stick out 10 mm, ángulo de boquilla 90°.

(Fuente: Propia)

Tabla 2.6. Parámetros de soldadura: velocidad de alimentación, voltaje y velocidad de avance constante, ángulo de boquilla 90°.

Nro.	Velocidad de alimentación (mm/s)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Stick out (mm)
17	158,74	188,5	27	3,33	6.4
18	158,74	165,5	27	3,33	8
13	158,74	167	27	3,33	10
19	158,74	152	27	3,33	12
20	158,74	127	27	3,33	15
21	158,74	105	27	3,33	19

(Fuente: Propia)

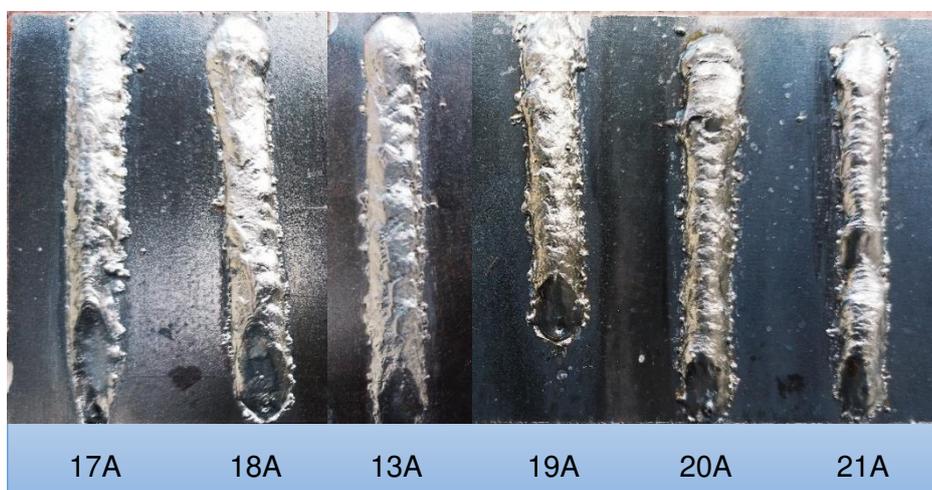


Figura 2.9. Cordones de soldadura: velocidad de alimentación, voltaje y velocidad de avance constante, ángulo de boquilla 90°.

(Fuente: Propia)

Tabla 2.7. Parámetros de soldadura: velocidad de alimentación, corriente, voltaje, velocidad de avance constante y variación del ángulo de la boquilla, stick out 10 mm.

Nro.	Velocidad de alimentación (mm/s)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Ángulo de la boquilla (°)
22A	158,74	143	27	3,33	(-) 30°
23A	158,74	153	27	3,33	(-) 20°
24A	158,74	164	27	3,33	(-) 10°
25A	158,74	168	27	3,33	90°
26A	158,74	168	27	3,33	(+) 10°
27A	158,74	151	27	3,33	(+) 20°
28A	158,74	144	27	3,33	(+) 30°

(Fuente: Propia)

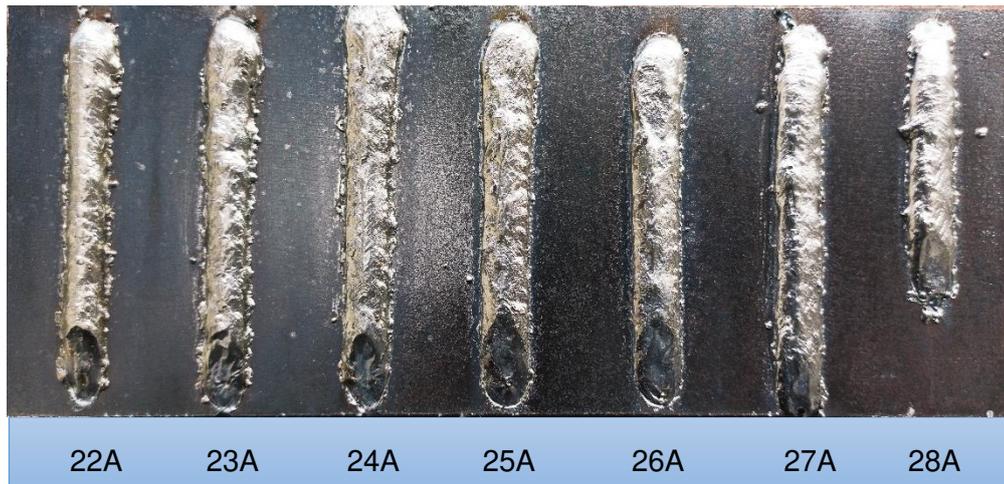


Figura 2.9. Cordones de soldadura: velocidad de alimentación, corriente, voltaje, velocidad de avance constante y variación del ángulo de la boquilla, stick out 10 mm.

(Fuente: Propia)

Terminado el proceso de soldadura en cada una de las probetas, se procede a la extracción de una muestra cuya finalidad es tener una visualización general de las dimensiones del cordón de soldadura. La elaboración de la probeta a extraer tiene los siguientes datos como la figura 2.10.

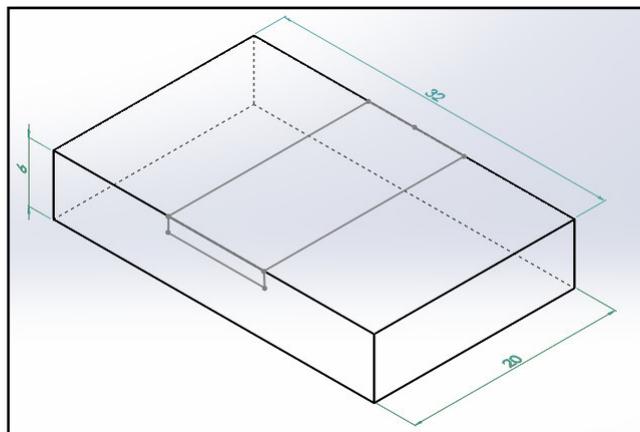


Figura 2.10. probeta con soldadura GMAW.

(Fuente: Propia)

Para obtención de la muestra se realizó al corte en frío para que no pueda alterar propiedades físicas, mecánicas y microestructurales obtenidas durante el proceso de soldadura.

2.4.2 Preparación de la muestra para Macrografía

Se realiza una muestra de sección transversal de dimensiones 32 x 20 x 6 (mm), donde me permita visualizar y anotar los valores de la macroestructura. Se realiza el desbaste con el propósito de obtener la superficie plana, mediante la preparación con lijas de agua de grano extrafino como 100, 240, 600, 1000, 2000, 2500 además del uso de agua y su debida limpieza, esto me permitirá analizar la geometría del cordón de soldadura realizada con los diferentes parámetros.

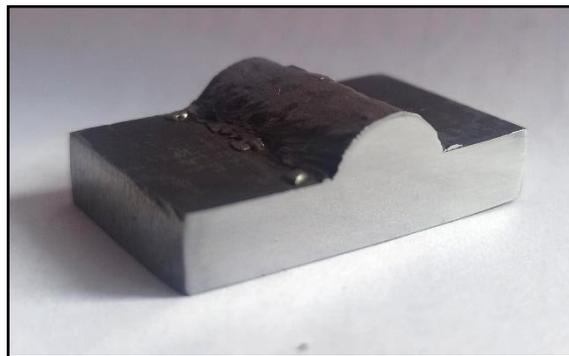


Figura 2.11. Vista general de la sección transversal del cordón de soldadura.

(Fuente: Propia)

2.4.3 Datos obtenidos en el desarrollo del proyecto

Se obtiene a partir de las diferentes muestras extraídas de las probetas realizadas en este estudio, se presenta en las tablas y figuras siguientes. Las mediciones de la geometría del cordón de soldadura se realizaron usando un calibrador Vernier y además de una herramienta de medición de ángulos para la boquilla (graduador), como indica la figura 2.12.

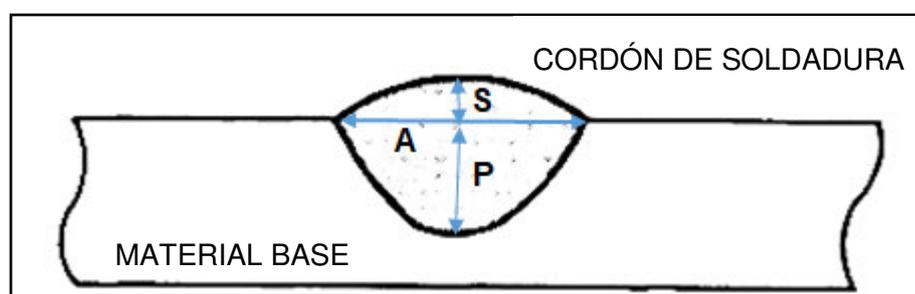


Figura 2.12. Geometría del cordón de soldadura: P: penetración, A: ancho y S: altura del refuerzo.

(Fuente: Propia)

2.4.3.1 Influencia de los parámetros en la geometría del cordón de soldadura

Tabla 2.8. Cordón de soldadura: voltaje y velocidad de avance constante, stick out 10 mm, ángulo de boquilla 90°

Nro.	Altura del refuerzo (mm)	Ancho del cordón (mm)	Penetración (mm)
1A	2,54	10,54	0,9
2A	2,6	10,84	1,56
3A	3,28	10,86	1,6
4A	3,56	11,42	2,48
5A	4,02	11,58	2,5
6A	4,04	11,76	4,38

(Fuente: Propia)

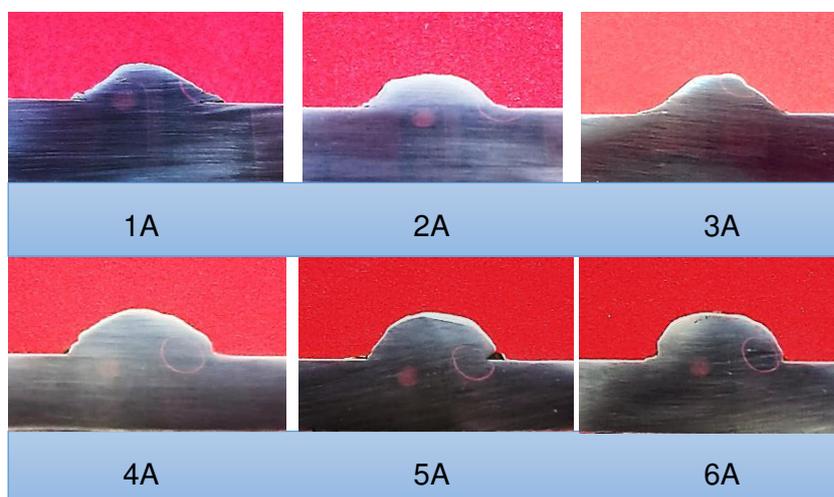


Figura 2.13. Macrográficas: voltaje y velocidad de avance constante, stick out 10 mm, ángulo de boquilla 90°

(Fuente: Propia)

Tabla 2.9. Cordón de soldadura: velocidad de alimentación y velocidad de avance constante, stick out 10 mm, ángulo de boquilla 90°

Nro.	Altura del refuerzo (mm)	Ancho del cordón (mm)	Penetración (mm)
7A	3,58	8,94	0,52
10A	3,22	14,38	3
11A	3,18	14,52	3,04
12A	2,94	14,76	2,54

(Fuente: Propia)

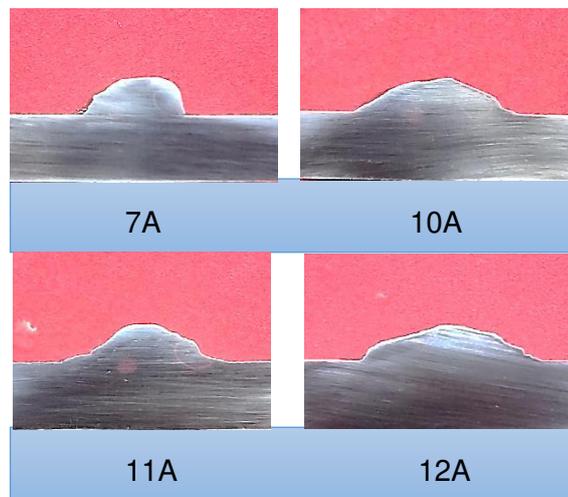


Figura 2.14. Macrográficas: velocidad de alimentación y velocidad de avance constante, stick out 10 mm, ángulo de boquilla 90°

(Fuente: Propio)

Tabla 2.10. Cordón de soldadura: velocidad de alimentación y voltaje constante, stick out 10 mm, ángulo de boquilla 90°

Nro.	Altura del refuerzo (mm)	Ancho del cordón (mm)	Penetración (mm)
13A	3,36	11,08	2,68
14A	3,14	9,18	2,48
15A	2,99	8,84	2,1
16A	2,54	5,62	2,02

(Fuente: Propio)

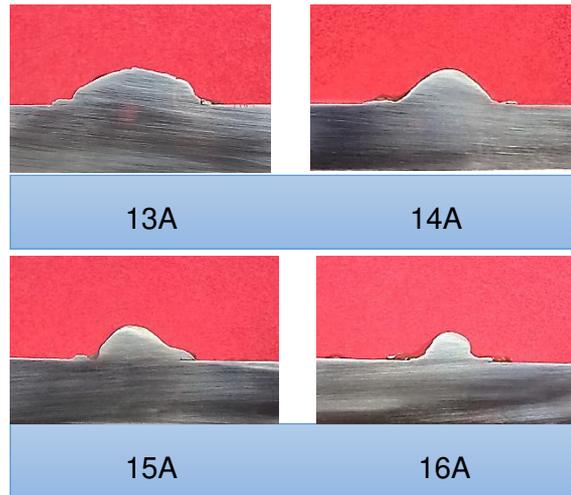


Figura 2.15. Macrografías: velocidad de alimentación y voltaje constante, stick out 10 mm, ángulo de boquilla 90°

(Fuente: Propia)

Tabla 2.11. Cordón de soldadura: velocidad de alimentación y voltaje constante, ángulo de boquilla 90°

Nro.	Altura del refuerzo (mm)	Ancho del cordón (mm)	Penetración (mm)	Stick out (mm)
17A	3,4	12,96	5,12	6.4
18A	3,56	18,8	3,06	8
13A	3,46	11,34	2,74	10
19A	3,64	11,76	2,72	12
20A	3,94	11,54	1,84	15
21A	4,1	12,54	0,68	19

(Fuente: Propia)

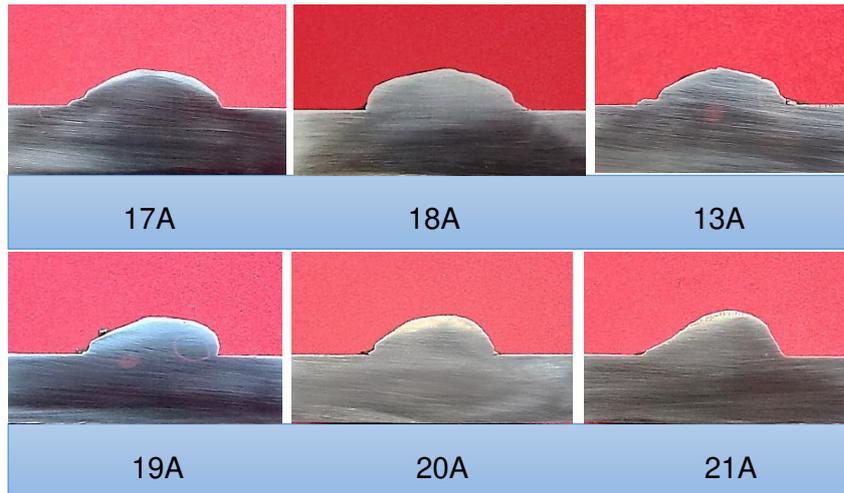


Figura 2.16. Macrografías: velocidad de alimentación y voltaje constante, ángulo de boquilla 90°.

(Fuente: Propia)

Tabla 2.12. Cordón de soldadura: velocidad de alimentación, corriente, voltaje, velocidad de avance constante y variación del ángulo de la boquilla, stick out 10 mm.

Nro.	Altura del refuerzo (mm)	Ancho del cordón (mm)	Penetración (mm)	Ángulo de la boquilla (°)
22A	4,14	10,26	2,7	(-) 30°
23A	3,56	12,36	3,24	(-) 20°
24A	3,96	14,76	2,98	(-) 10°
25A	3,46	14,66	2,94	90°
26A	3,42	13,84	2,6	(+) 10°
27A	3,32	14,36	1,92	(+) 20°
28A	3,3	13,34	1,78	(+) 30°

(Fuente: Propia)

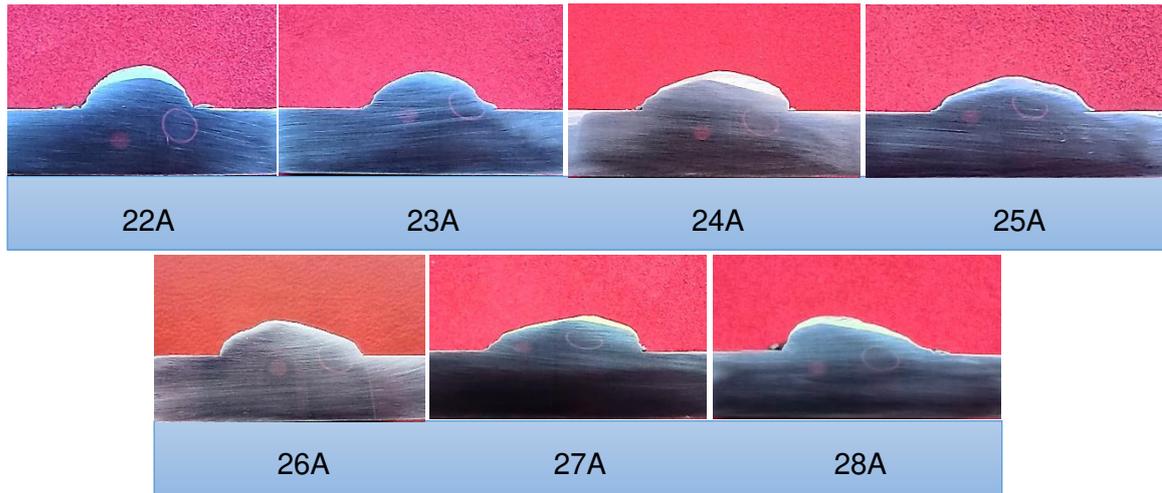


Figura 2.17. Macrografías: velocidad de alimentación, corriente, voltaje, velocidad de avance constante y variación del ángulo de la boquilla, stick out 10 mm.

(Fuente: Propia)

3 RESULTADOS CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se realiza un análisis de los valores obtenidos en el diseño experimental en cada uno de las probetas que se realizó en cada uno de los parámetros de la soldadura.

Se procede a realizar el análisis en la penetración, ancho del cordón y altura de refuerzo, en función de cada una de los parámetros primarios en la corriente, el voltaje, la velocidad de avance y también de los parámetros secundarios la velocidad de alimentación, stick out y el ángulo de la boquilla. Se desarrolla un ajuste de curva y nos ayudaremos de Microsoft Excel, el cual nos permitirá generar una ecuación que nos permita analizar la relación de la variable dependiente como es la geometría del cordón de soldadura, con las variables independientes como son los parámetros primarios y secundarios como se mencionó anteriormente.

3.1 Resultados

3.1.1 Análisis y ecuación de los parámetros de soldadura en función de la geometría del cordón de soldadura.

Se procede con los resultados obtenidos en el diseño experimental en cada uno de las probetas que se realizó una soldadura en posición plana, con la protección de gas CO₂. Cada una de las mediciones de los parámetros de soldadura en el cordón de soldadura, con las respectivas fotografías de cada una de las macrografías y mediciones como la penetración, ancho del cordón y altura de refuerzo, como efecto de los diferentes parámetros de la soldadura.

Además, se determinará la ecuación aproximada que relaciona a cada uno de los parámetros de la soldadura con la penetración, ancho del cordón y altura del refuerzo, para lo cual se desarrolló el análisis en el programa de Microsoft Excel 2016, mediante la ecuación por la línea de tendencia de dichos puntos de la parte experimental donde me relaciona estas variables.

Cada uno de los valores están en un gráfico por dispersión y se desarrolla con una línea de tendencia lineal o polinómica, donde al unir cada valor se obtiene la recta con mejor ajuste a los datos de la parte experimental, en base a todos los puntos obtenidos en las macrografías.

3.1.2 Influencia de la corriente sobre la geometría del cordón de soldadura.

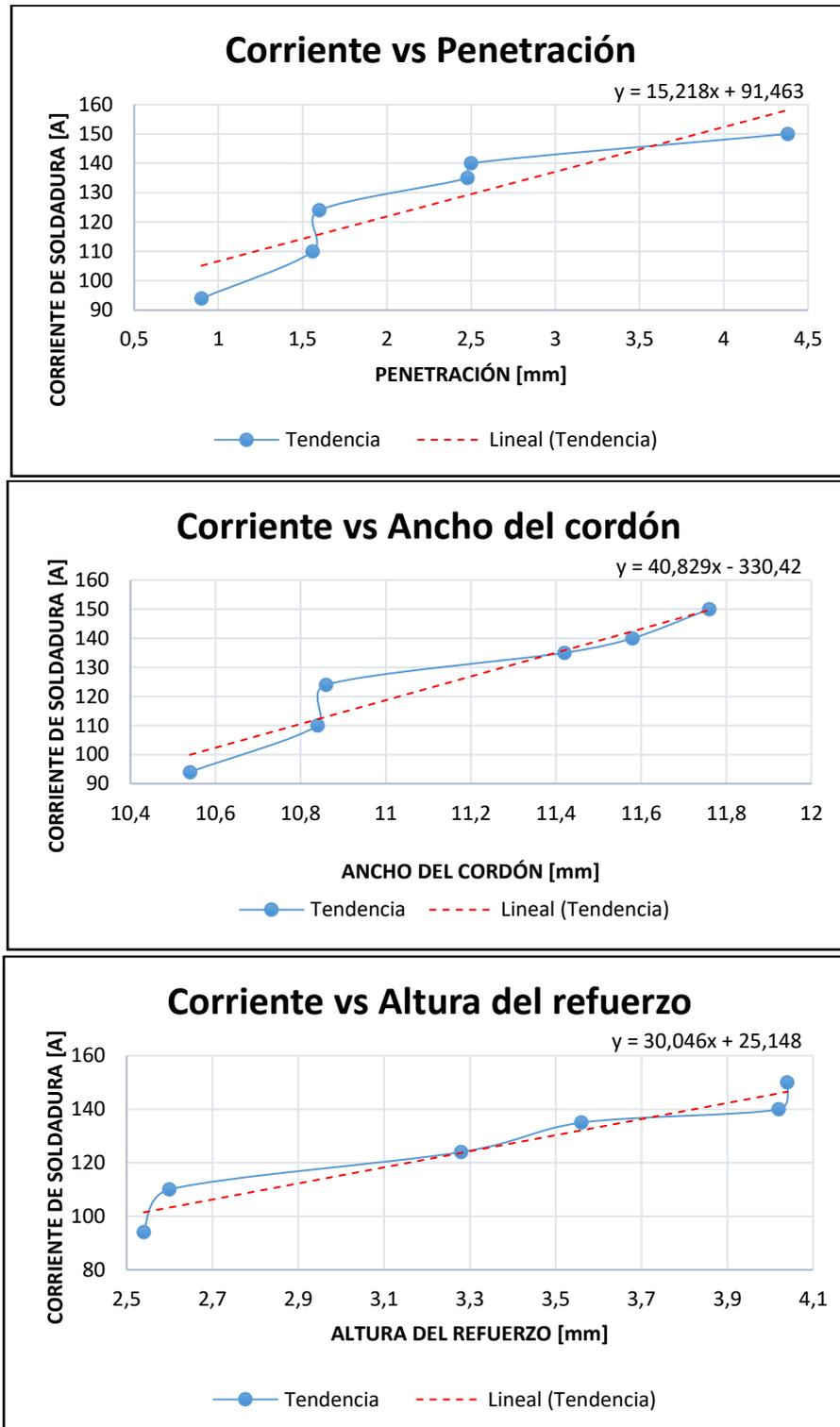
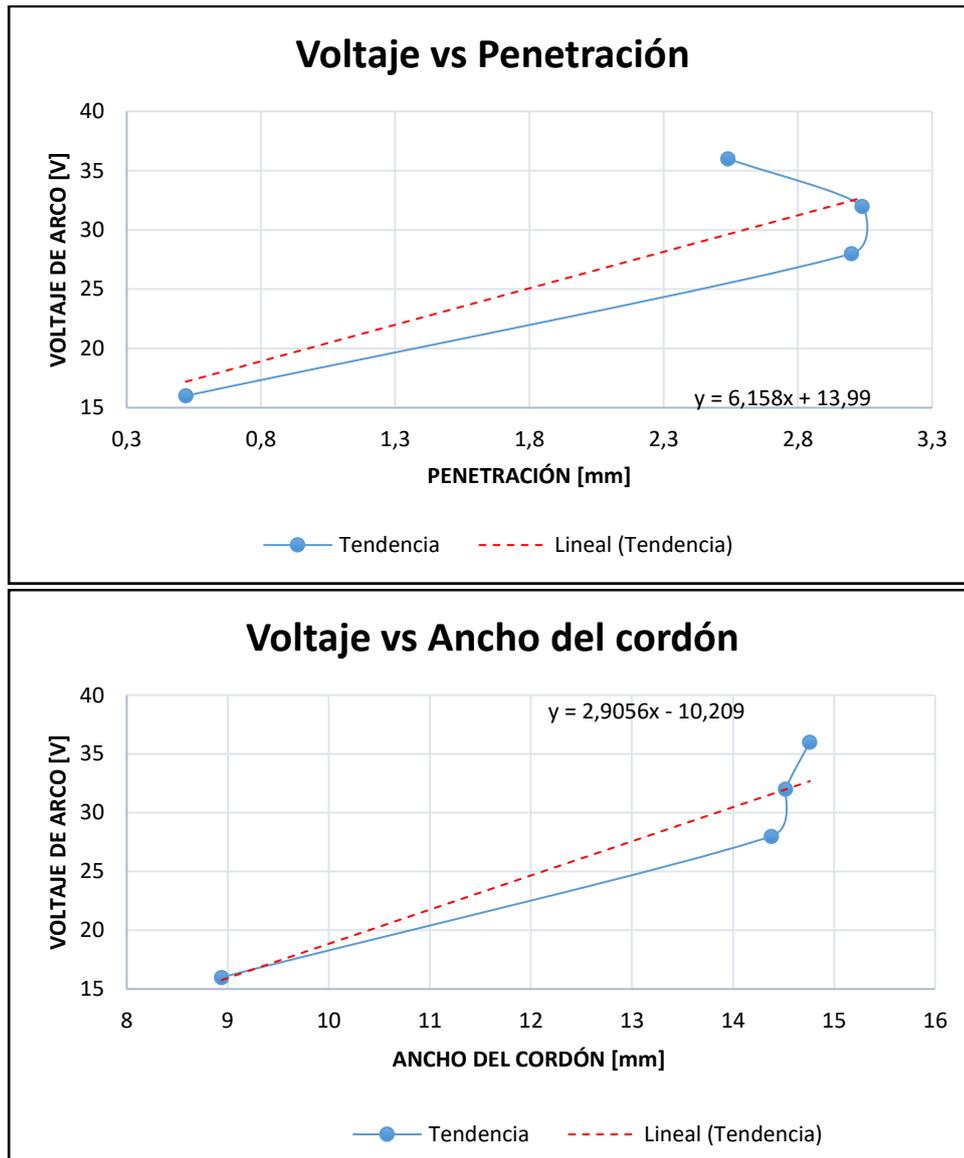


Figura 3.1. Comportamiento de la corriente respecto a la geometría del cordón de soldadura.

(Fuente: Propia)

En la figura 3.1 los datos obtenidos por el parámetro primario de la corriente indica una tendencia lineal, creciente esto indica que a medida que el amperaje aumenta también hay un aumento en la geometría del cordón de soldadura como en la penetración, ancho y altura del refuerzo, y se puede observar unos puntos dispersos y es común por la elaboración del método experimental de la soldadura.

3.1.3 Influencia del voltaje sobre la geometría del cordón de soldadura.



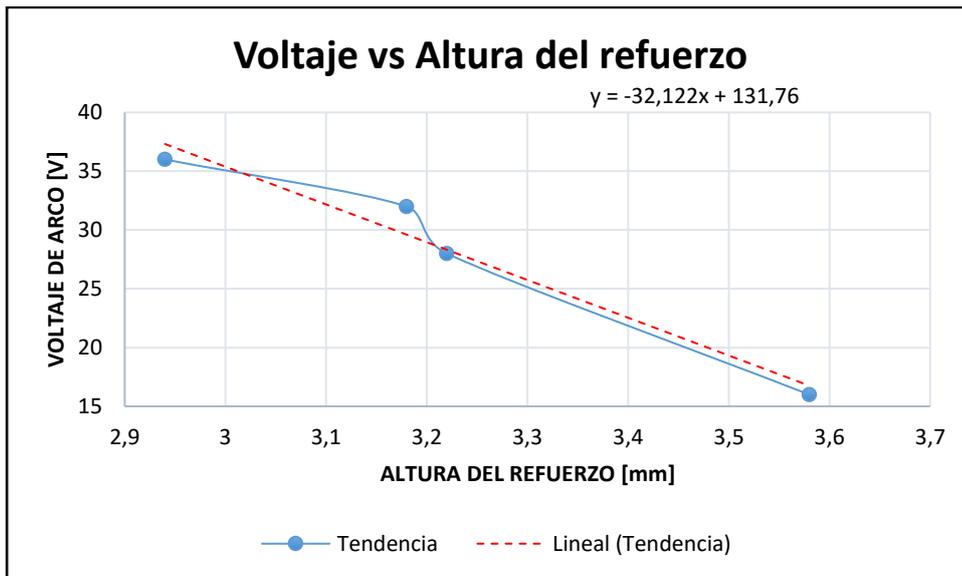
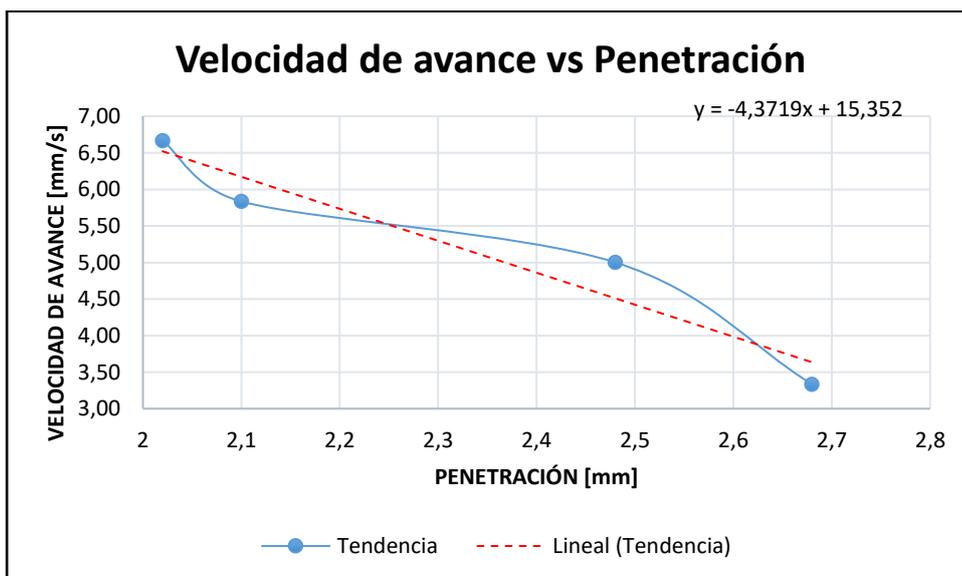


Figura 3.2. Comportamiento del voltaje respecto a la geometría del cordón de soldadura.
(Fuente: Propia)

En la figura 3.2 de los datos obtenidos por el parámetro primario del voltaje a medida que aumenta se tiene también un aumento en la geometría del cordón de soldadura como penetración y ancho del cordón de soldadura, y se tiene una tendencia contraria con la altura de refuerzo.

3.1.4 Influencia de la velocidad de avance en el geometría del cordón de soldadura.



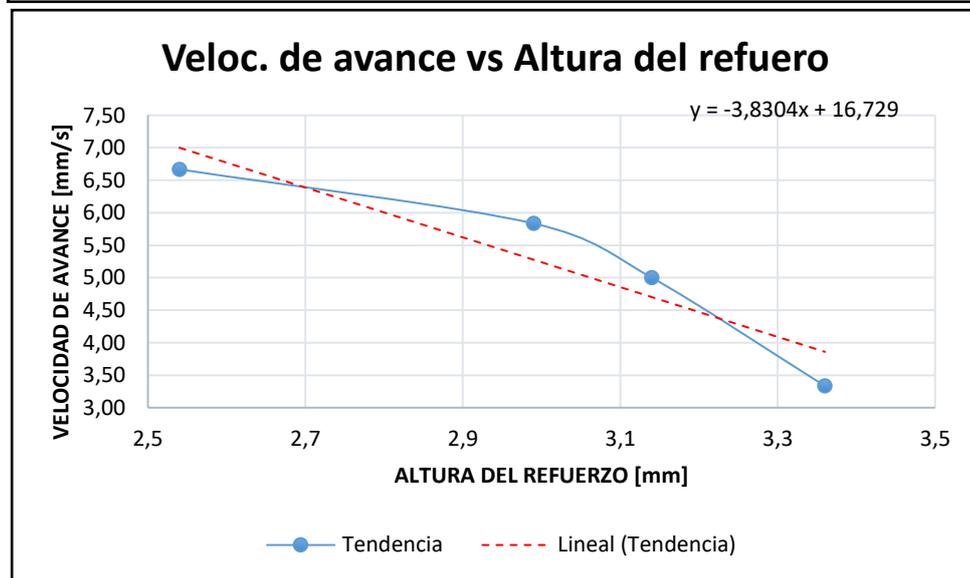
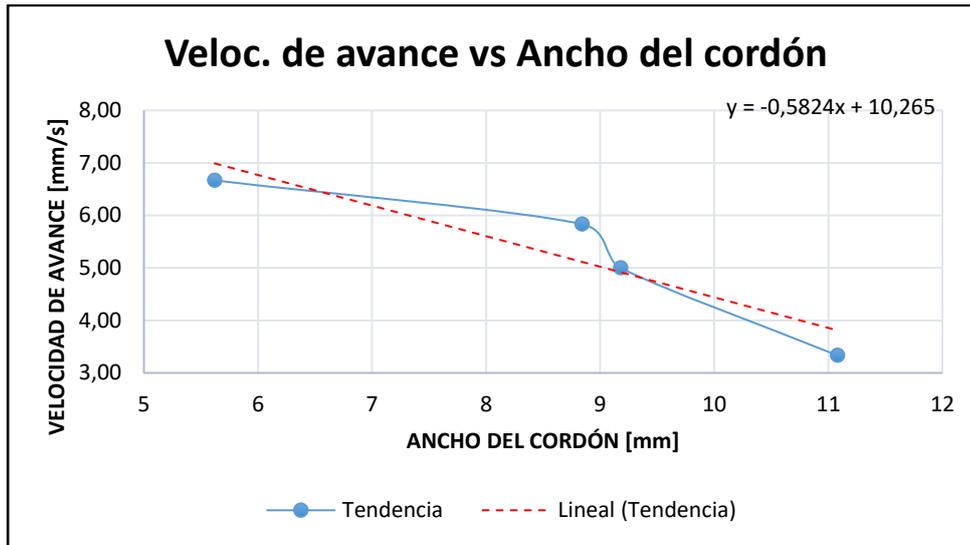


Figura 3.3. Comportamiento de la velocidad de avance respecto a la geometría del cordón de soldadura.
(Fuente: Propia)

En la figura 3.3 de los datos obtenidos por el parámetro primario de la velocidad de avance con respecto a la geometría del cordón, la tendencia es lineal decreciente a medida que disminuye la velocidad de avance se obtiene un incremento en la penetración, ancho y altura del refuerzo.

3.1.5 Influencia de la velocidad de alimentación de alambre-electrodo sobre la corriente de soldadura

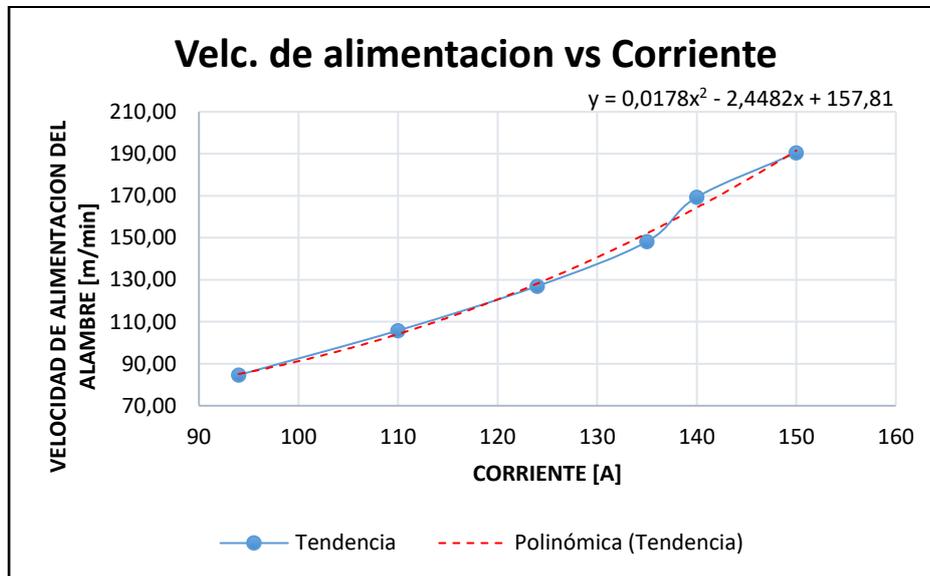


Figura 3.4. Comportamiento de la velocidad de alimentación del alambre-electrodo respecto al amperaje
(Fuente: Propia)

En la figura 3.4 de los datos obtenidos de la velocidad de alimentación del alambre-electrodo ER70S-6 de 0,9 mm, por lo tanto, genera una tendencia polinómica creciente y por lo tanto es claramente proporcional, a medida que aumenta se tiene un incremento en la corriente de soldadura.

3.1.6 Influencia de la extensión libre del alambre electrodo (stick out) sobre la penetración del cordón de soldadura.

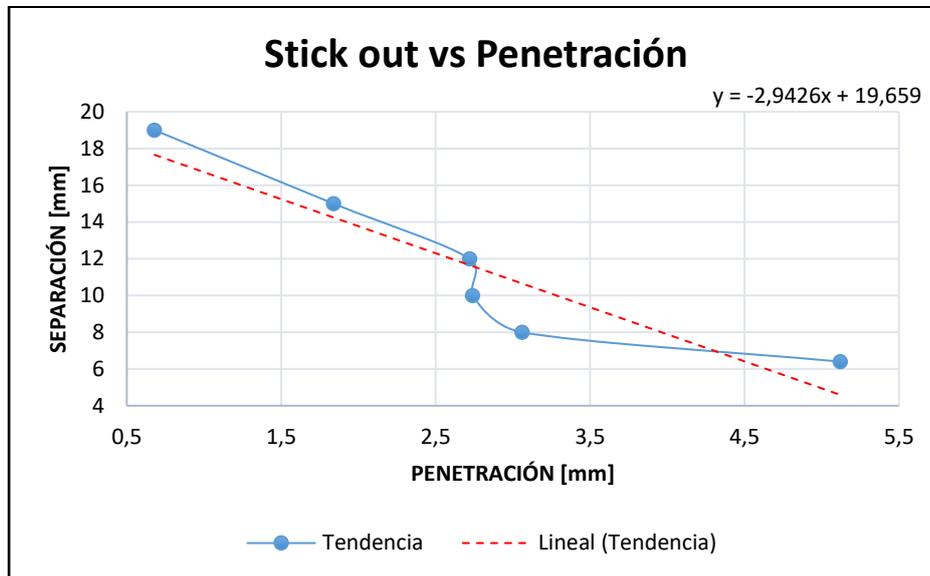


Figura 3.5. Comportamiento de extensión libre del alambre electrodo (stick out) respecto a la penetración de soldadura.
(Fuente: Propia)

En la figura 3.5 durante todo el desarrollo experimental con el alambre-electrodo ER70S-6, datos obtenidos de la velocidad de alimentación tiene una tendencia lineal, decreciente y por lo tanto al disminuir la extensión libre del electrodo, tenemos un incremento en la penetración del cordón de soldadura, además algunos valores son diferentes a la tendencia debido a los factores presentes en la boquilla al momento de soldar, esto ocasiona una mala obtención de los datos.

3.1.7 Influencia del ángulo de la boquilla sobre la penetración del cordón de soldadura.

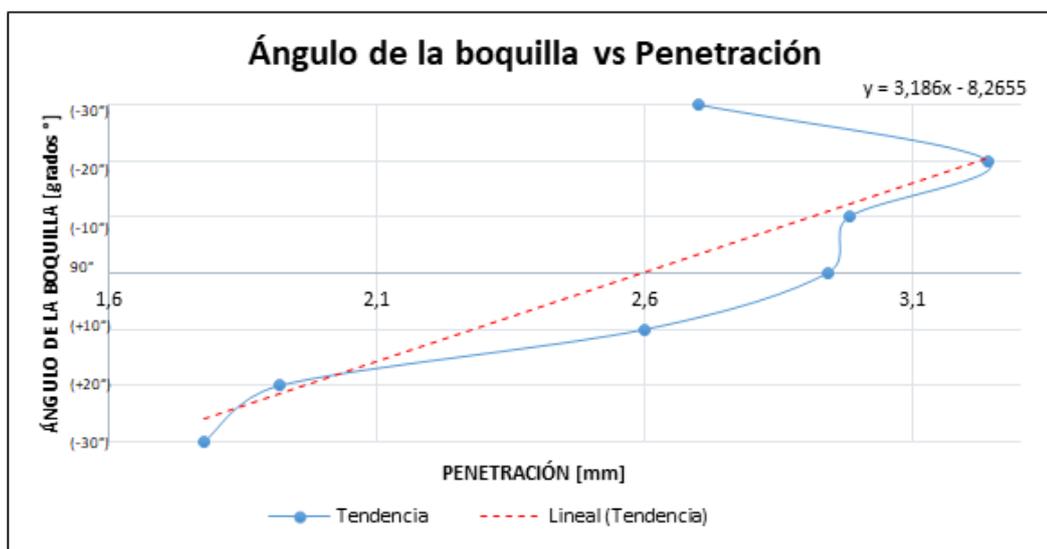


Figura 3.6. Comportamiento del ángulo de la boquilla respecto a la penetración de soldadura.
(Fuente: Propia)

En la figura 3.6 de los datos obtenidos en la utilización del ángulo de la boquilla, se observa que la tendencia es lineal, creciente y por lo tanto aumenta la penetración, si el ángulo de empuje aumenta la penetración será menor, y si el ángulo es de arrastre aumenta también la penetración de soldadura.

En cada una de las figuras 3.1 a la figura 3.6, cumplen con la información vista en la teoría, en el cual se trabajó todo el proceso de soldadura con el gas protector CO₂ y el alambre-electrodo ER70-6, y se obtuvo estos resultados que nos ayuda identificar los parámetros de la soldadura óptimos para ver la influencia que tiene en la geometría del cordón de soldadura.

Además se puede verificar que en la tabla 2.3 y figura 2.6, se observa con variación de la velocidad de alimentación de alambre-electrodo y amperaje donde la macrografía 6A, obtiene mejores características del cordón de soldadura con 4,38 mm de penetración, 11,76 mm de ancho y 4,04 mm de altura de refuerzo con los siguientes parámetros de soldadura 150 (A) de corriente, 25 (V) de voltaje y 3,3 (mm/s) de velocidad de avance, con un stick out de 10mm y un ángulo de boquilla de 90°.

Los valores de la tabla 2.4 y figura 2.7, se observa que al variar el voltaje hay un valor intermedio con las mejores características del cordón de soldadura se obtiene en la macrografía 10A con 3 mm de penetración, 14,38 mm de ancho y 3,22 mm de altura de

refuerzo con los siguientes parámetros 160 (A) de corriente, 28 (V) de voltaje y 3,32 (mm/s) de velocidad de avance.

Con los valores de la tabla 2.5 y la figura 2.8, se tiene el máximo valor de penetración de 2,69 mm con variación de la velocidad de avance, es en la macrografía 13A con 2,68 mm de penetración, 11,08 mm de ancho y 3,36 mm de altura de refuerzo.

En la tabla 2.6 y la figura 2.9, se observa la variación de la extensión del electrodo en la macrografía 13A con un valor de 6,4 (mm) y valores como 5,12 (mm) de penetración, se obtiene con los siguientes parámetros 188,5 (A) de corriente, 27 (V) de voltaje y 3,33 (mm/s) de velocidad de avance.

Y además en la tabla 2.7 y la figura 2.10, se puede determinar la variación del ángulo de la boquilla de la macrografía 13A, se obtiene una mayor penetración de 3,24 (mm) y se obtiene con los siguientes parámetros 153 (A) de corriente, 27 (V) de voltaje y 3,33 (mm/s) de velocidad de avance y un ángulo de arrastre -20° (grados).

3.2 Conclusiones

- Se determina que en las soldaduras por arco eléctrico cumplen que al incrementar el amperaje, se genera un cordón se hace más ancho y plano, pero en los procesos semiautomáticos como se observa en la figura 3.1 pasa lo contrario que al aumentar el amperaje, también se tiene un aumento en la velocidad de alimentación de alambre-electrodo y por lo tanto aumenta la tasa de aportación y por ese motivo aumenta la altura del refuerzo.
- Que la penetración depende directamente de los parámetros primarios de la soldadura y la tendencia es completamente satisfactorio en este trabajo que, al aumentar el amperaje, el voltaje y disminuir la velocidad de avance aumenta la penetración y esto se debe a que estos parámetros influyen en la potencia del arco, y con los mismos parámetros ocurre en el ancho del cordón.
- Se puede observar que en la figura 3.5 la extensión del electrodo en un valor intermedio se obtiene una penetración óptima y se trabaja con una transferencia de metal por corto circuito y además se cumple el marco teórico que a medida que aumenta el stick out, esto genera un incremento en la resistencia eléctrica que al aumentar la temperatura del alambre-electrodo, incrementa la tasa de fusión del mismo y por eso disminuye la penetración.

- Se puede observar en la orientación del electrodo en la figura 3.5 se obtiene valores óptimos en la penetración, en un ángulo de arrastre de 10° a 20° grados y además influye en el ancho del cordón haciéndolo más angosto y convexo.
- En la parte experimental la figura 3.4 representa los valores con el electrodo ER70S-6 de 0,9 (mm) y se cumple con el marco teórico presenta la tendencia correcta de la figura 1.4 ya que depende del diámetro del electrodo en el proceso de soldadura.
- Se debería establecer primeramente las condiciones de trabajo, ya que se desea obtener los valores óptimos de los parámetros predeterminados, primarios y secundarios, y generar una soldadura óptima de calidad cuyas características de la geometría del cordón de soldadura sean las adecuadas, con el fin de evitar fallas y dificultades en el material base a trabajar.
- Que la penetración depende directamente del amperaje, voltaje y velocidad de avance y la tendencia es completamente satisfactorio que, al aumentar el amperaje, el voltaje y disminuir la velocidad de avance aumenta la penetración y esto se debe a que estos parámetros influyen en la potencia del arco.
- Las ecuaciones conseguidas en este trabajo nos brindan un mayor panorama al comportamiento de la geometría del cordón de soldadura dependiendo de los parámetros de la soldadura tales como corriente, voltaje, velocidad de soldadura, stick out y el ángulo de la boquilla, lo que me permite establecer los parámetros óptimos para la ejecución de un trabajo explícito, que me permita utilizar valores próximos a los utilizados en el presente trabajo.
- Este trabajo busca integrar información óptima para los parámetros que intervienen en el proceso, porque estas influyen en la geometría del cordón durante la soldadura y cada una de las ecuaciones obtenidas se basan de acuerdo a los parámetros con que se calcula en el desarrollo del trabajo.

3.3 Recomendaciones

- Para este proceso de soldadura hacer el uso de equipo de protección personal es indispensable, debido a que se está trabajando con material base a elevadas temperaturas durante el proceso al igual que gafas y mascarilla, para la protección de la vista.
- Realizar la calibración de cada uno de los parámetros con el fin de obtener los valores óptimos en el proceso de soldadura por arco eléctrico (GMAW).

- Durante la elaboración de las probetas, se usó como gas protector dióxido de carbono, se debe tener en cuenta la escoria que genera, ya que esto puede producir un error en el desarrollo de los cordones, dicha escoria queda alojada en la boquilla de la pistola, lo que evita que el gas protector tenga una fluidez uniforme, provocando también discontinuidades.
- Se recomienda realizar y analizar el comportamiento con los diferentes diámetros del alambre-electrodo la figura 1.4 de la velocidad de alimentación en función de la corriente de soldadura, y además de hacer una comparación de los parámetros óptimos y visualizar como influyen en la geometría del cordón de soldadura.
- Se recomienda elaborar el mismo procedimiento de este trabajo con un gas protector inerte como Argón o Helio y obtener los parámetros recomendables que influyen en la penetración, altura de refuerzo y ancho del cordón de soldadura, esto nos permitiría comparar la geometría del cordón de soldadura con respecto al gas protector.
- Se recomienda realizar un análisis con los diferentes tipos de transferencia de alambre-electrodo como por transferencia por rocío y globular, considerando el tipo de gas protector con el fin de obtener parámetros óptimos en el cordón de soldadura.
- Este trabajo puede servir como una guía para el laboratorio de soldadura, teniendo cada uno de los parámetros los mismos que influyen en la geometría del cordón de soldadura, aportando conocimientos y comprensión del proceso a los estudiantes.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Federación de enseñanza de Santa Lucia, «Procesos de Soldadura,» Santa Lucia, 2010.
- [2] AWS, Welding Processes Part 1, 9th ed., vol. 2, A. O Brien, Ed., 2004.
- [3] S. Kou, Welding Metallurgy, vol. Second, J. W. & Sons, Ed., A Wiley-Interscience, 2003.
- [4] Lincoln Electric, «Gas Metal Arc Welding,» Cleveland, 2014.
- [5] ASM HANDBOOK, Welding Brazing and Soldering, 9 ed., vol. 6, A. INTERNACIONAL, Ed., 1998.
- [6] D. H. Phillips, Welding Engineering An Introduction, John Wiley & Sons, Ltd, 2016, p. 53.
- [7] American Welding Society, «Welding Hanbook».
- [8] Internatinal Welder, *Minimun Requeriments for the Education* , pp. 452-481, 2005.
- [9] E. Esquicha , «Control de parámetros del Proceso GMAW-MIG en Soldaduras Dela cero A-36 para ootimizar la recupoeración de Piezas,» Universidad Nacional de San Agustin, 2017.
- [10] SUMITEC, «Acero Estrutura A36,» 2017.
- [11] INDURA, «ALAMBRE MIG 70S-6(AWS ER 70S-6) 0.8MM,» [En línea]. Available: <https://www.indura.com.ec/Mobile/EC/494795/alambre-mig-70s-6-aws-er-70s-6-0-8mm/4>. [Último acceso: 19 11 2021].
- [12] E. Niebles , «Modelo de Diseño y Conocimientos en Tecnologías de Soldadura para el desarrollo de productos Soldados,» Universidad Autónoma del Caribe, 2007.

[13] M. Pairazamán , «Mecanismos de corrosión en cordones de soldadura del acero,»
Universidad Nacional de Huancavelica, Perú, 2016.

[14] Metals HandBook, Welding, Brazing and Soldering, vol. 6.