

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **ANÁLISIS DE LA TASA DE APORTACIÓN EN LOS PROCESOS GMAW**

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

**JUAN CARLOS CHAPACA GRANJA**

juanks009@hotmail.com

**RÓMULO FERNANDO MORENO BECERRA**

rmoreno\_epn@hotmail.com

**DIRECTOR: Ing. HOMERO BARRAGÁN, M.Sc.**

homero.barragan@epn.edu.ec

Quito, Septiembre 2016

## DECLARACIÓN

Nosotros, JUAN CARLOS CHAPACA GRANJA y RÓMULO FERNANDO MORENO BECERRA, declaramos 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.

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

---

**Juan Carlos Chapaca  
Granja**

---

**Rómulo Fernando Moreno  
Becerra**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por JUAN CARLOS CHAPACA GRANJA y RÓMULO FERNANDO MORENO BECERRA bajo mi supervisión.

---

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

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, a mis padres, por haberme acompañado y apoyado en este camino y siempre darme ánimos en los momentos más difícil, a mis hermanos por siempre sacarme una sonrisa y llenarme de alegría, a mi compañero por la paciencia y apoyo, a mi director por su valiosa guía durante el desarrollo de este trabajo, a mis maestros por sus enseñanzas, consejos y su amistad, y a mis amigos porque con ellos atravesé todo este camino que hoy culmino con alegría, gracias a todos ellos por ese apoyo incondicional y sabias palabras que supieron expresar en los momentos donde más las necesitaba.

**Juan Carlos Chapaca**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres por ser el soporte y el aliento durante toda mi vida, gracias por ser los mejores padres del mundo, gracias por nunca haber perdido la confianza en mí, aunque muchas veces les falle, siempre estuvieron ahí presentes.

A ese ser especial cuya presencia llena de luz mis días, ese ser maravilloso que me ha enseñado a ver el mundo a través de sus ojos, a disfrutar de los pequeños detalles de la vida, por su inmenso amor, mi montubita, a mi vane querida.

A nuestro director de tesis Ing. Homero Barragán, por confiar en nosotros y por su colaboración que fue tan valiosa para la realización de este proyecto.

Tampoco me podía olvidar de los amigos, esas personas que durante mi paso por la mejor facultad del mundo me brindaron su amistad sincera y desinteresada, gracias por estar ahí en los buenos y malos momentos.

A los diferentes laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional que nos prestaron sus instalaciones, así como a las personas que en ellos laboran por su ayuda para sacar adelante este proyecto.

**Rómulo Moreno Becerra**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a mis padres y hermanos ya que es por ellos que hoy me encuentro aquí, gracias de todo corazón por siempre comprenderme y empujarme por el buen camino.

A la Escuela Politécnica Nacional. Por haberme abierto sus puertas, a sus profesores por todas sus enseñanzas, y a toda esa gente que siempre nos prestó su tiempo para enseñarnos un poco más cada día.

**Juan Carlos Chapaca**

## DEDICATORIA

Quiero dedicar el presente primeramente a dios por darme la salud y la fortaleza para continuar en los momentos difíciles, a mis padres, quienes con su esfuerzo y ejemplo me han criado para ser una persona de bien.

A ese hombre de cabello cano que me enseñó el valor del trabajo, la importancia de un trabajo bien hecho, a comprender que la responsabilidad es primero y nunca rendirse por más que su cuerpo y espíritu se encuentren exhaustos.

A esa mujer que cambio sus manos lindas y tersas, por manos que ya aquejan el paso del tiempo por tanto luchar, mismas manos que me han entregado caricias de amor, pero también han sido lo suficientemente duras para corregirme cuando las circunstancias lo ameritaban, gracias por tu entrega, por ser ese pilar fundamental en mi vida, sin ti mi vida no sería nada.

A mi hermanita que este logro le sirva de guía y pronto logre sus propios objetivos, siempre estaré ahí para apoyarte en todo lo que te propongas.

**Rómulo Moreno Becerra**

## CONTENIDO

Declaración .....	i
Certificación .....	ii
Agradecimientos.....	iii
Dedicatoria .....	v
Índice de tablas .....	x
Índice de figuras.....	xi
Resumen.....	xiv
Presentación .....	xv
Capítulo 1 Estudio de los parámetros de la tasa de aportación .....	1
1.1 Objetivo de la presente tesis .....	1
1.2 Fundamentos del proceso.....	1
1.3 Usos y ventajas.....	1
1.4 Fundamentos de operación.....	2
1.5 Variables del proceso.....	4
1.5.1 Propiedades del cordón de soldadura .....	5
1.5.1.1 Tamaño y composición del electrodo.....	5
1.5.1.2 Tipo y caudal de gas de protección.....	5
1.5.1.3 Corriente de soldadura.....	5
1.5.1.4 Voltaje del arco .....	7
1.5.1.5 Longitud del arco.....	7
1.5.1.6 Velocidad de avance.....	7
1.5.1.7 <i>Stick out</i> o longitud libre del electrodo.....	8
1.5.1.8 Orientación del electrodo .....	9
1.5.1.9 Polaridad.....	9
1.5.1.10 Gas de protección .....	10
1.5.1.10.1 Argón .....	11
1.5.1.10.2 Dióxido de carbono .....	11
1.5.2 Tasa de aportación .....	11
Capítulo 2 Metodología .....	13
2.1 Definición de los parámetros.....	13
2.1.1 Material.....	13



2.1.1.1	Consumibles .....	13
2.1.1.2	Electrodos .....	14
2.1.1.3	Gases de protección .....	15
2.1.2	Variables esenciales .....	16
2.1.2.1	Posición de soldadura .....	16
2.1.2.2	Tipo de soldadura .....	17
2.1.2.3	Procedimientos a realizarse y evaluarse .....	17
2.1.3	Definición de las variables que intervienen en el proceso .....	18
2.1.3.1	Voltaje del arco .....	18
2.1.3.2	Corriente de soldadura .....	18
2.1.3.3	Polaridad .....	19
2.1.3.4	Velocidad de avance .....	19
2.1.3.5	Extensión del electrodo .....	20
2.1.4	Equipo utilizado .....	20
2.1.4.1	Soldadora multiprocesos .....	20
2.1.4.2	Alimentadora de electrodo .....	21
2.1.4.3	Balanza de precisión .....	22
Capítulo 3	Proceso experimental .....	23
3.1	Calibración de equipos .....	23
3.2	Manejo de variables .....	23
3.3	Registro de los datos .....	25
3.3.1	Pruebas desarrolladas para el electrodo de diámetro 1,2 mm .....	25
3.3.2	Pruebas desarrolladas para el electrodo de diámetro 0,9 mm .....	31
3.4	Macrografía .....	37
3.4.1	Datos obtenidos en el desarrollo del proyecto .....	38
3.4.1.1	Características físicas de los depósitos de soldadura gmaw con electrodo de diámetro 1,2 mm .....	38
3.4.1.2	Características físicas de los depósitos de soldadura gmaw con electrodo de diámetro 0.9 mm .....	42
Capítulo 4	Análisis del resultado del proceso experimental .....	47
4.1	Análisis del aporte realizado en función de las variables primarias de soldadura .....	47
4.1.1	Influencia del voltaje e intensidad sobre la tasa de aportación ( $\varnothing$ 1,2 mm, <i>stick out</i> 10 mm y protección CO <sub>2</sub> ) .....	48
4.1.2	Influencia del voltaje e intensidad sobre la tasa de aportación ( $\varnothing$ 1,2 mm, <i>stick out</i> 15 mm y protección CO <sub>2</sub> ) .....	49

4.1.3	Influencia del voltaje e intensidad sobre la tasa de aportación ( $\varnothing$ 1,2 mm, <i>stick out</i> 10 mm y protección argón) .....	51
4.1.4	Influencia del voltaje e intensidad sobre la tasa de aportación ( $\varnothing$ 1,2 mm, <i>stick out</i> 15 mm y protección argón) .....	52
4.1.5	Influencia del voltaje e intensidad sobre la tasa de aportación ( $\varnothing$ 0,9 mm, <i>stick out</i> 10 mm y protección CO <sub>2</sub> ).....	53
4.1.6	Influencia del voltaje e intensidad sobre la tasa de aportación ( $\varnothing$ 0,9 mm, <i>stick out</i> 15 mm y protección CO <sub>2</sub> ).....	54
4.1.7	Influencia del voltaje e intensidad sobre la tasa de aportación ( $\varnothing$ 0,9 mm, <i>stick out</i> 10 mm y protección argón) .....	55
4.1.8	Influencia del voltaje e intensidad sobre la tasa de aportación ( $\varnothing$ 0,9 mm, <i>stick out</i> 15 mm y protección argón) .....	57
4.2	Comparación respecto al proceso smaw .....	58
4.3	Análisis de las macrografías .....	62
4.4	Análisis final .....	63
Capítulo 5	Definición de la ecuación de la tasa de aportación .....	64
5.1	Regresión lineal múltiple electrodo 0.9 mm protección gaseosa CO <sub>2</sub> .....	65
5.2	Regresión lineal múltiple electrodo 0.9 mm protección gaseosa argón ..	67
5.3	Regresión lineal múltiple electrodo 1.2 mm protección gaseosa CO <sub>2</sub> .....	69
5.4	Regresión lineal múltiple electrodo 1.2 mm protección gaseosa argón ..	71
Capítulo 6	Conclusiones y recomendaciones .....	73
6.1	Conclusiones.....	73
6.2	Recomendaciones.....	74
Bibliografía	.....	76
Anexos	.....	77

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Procedimiento de prueba. ....	17
Tabla 3.1 Parámetros de soldadura, Ø 1,2 mm, stick out 10 mm y protección CO <sub>2</sub> .....	25
Tabla 3.2 Parámetros de soldadura, Ø 1,2 mm, stick out 15 mm y protección CO <sub>2</sub> .....	27
Tabla 3.3 Parámetros de soldadura, Ø 1,2 mm, stick out 10 mm y protección argón .....	28
Tabla 3.4 Parámetros de soldadura, Ø 1,2 mm, stick out 15 mm y protección argón .....	30
Tabla 3.5 Parámetros de soldadura, Ø 0,9 mm, stick out 10 mm y protección argón .....	31
Tabla 3.6 Parámetros de soldadura Ø 0,9 mm, stick out 15 mm y protección CO <sub>2</sub> .....	33
Tabla 3.7 Parámetros de soldadura, Ø 0,9 mm, stick out 10 mm y protección argón .....	34
Tabla 3.8 Parámetros de soldadura, Ø 0,9 mm, stick out 15 mm y protección argón .....	36
Tabla 3.9 Datos depósitos, Ø 1,2 mm, stick out 10 mm y protección CO <sub>2</sub> .....	38
Tabla 3.10 Datos depósitos, Ø 1,2 mm stick out 15 mm y protección CO <sub>2</sub> .....	39
Tabla 3.11 Datos depósitos, Ø 1,2 mm, stick out 10 mm y protección argón.....	40
Tabla 3.12 Datos depósitos, Ø 1,2 mm, stick out 15 mm y protección argón.....	41
Tabla 3.13 Datos depósitos, Ø 0,9 mm, stick out 10 mm y protección CO <sub>2</sub> .....	42
Tabla 3.14 Datos depósitos, Ø 0,9 mm, stick out 10 mm y protección CO <sub>2</sub> .....	43
Tabla 3.15 Datos depósitos, Ø 0,9 mm, stick out 10 mm y protección argón.....	44
Tabla 3.16 Datos depósitos, Ø 0,9 mm, stick out 15 mm y protección argón.....	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Partes del equipo de soldadura.....	2
Figura 1.2 Intensidad vs Velocidad de alimentación del electrodo en función del diámetro del electrodo.....	6
Figura 1.3 Stick Out.....	8
Figura 1.4 Tipo de polaridad.....	10
Figura 2.1 Composición química y requerimientos para varillas y electrodos sólidos.....	14
Figura 2.2 Tipos de transferencia de soldadura GMAW.....	16
Figura 2.3 Posiciones de soldadura.....	17
Figura 2.4 Velocidad de alimentación y voltaje Vs. Intensidad.....	19
Figura 2.5 IDEALARC CV-300.....	21
Figura 2.6 Alimentadora de electrodo Lincoln Electric LN-7.....	21
Figura 2.7 Balanza de precisión Shimadzu UW 6200H.....	22
Figura 3.1 Depósitos de soldadura, Ø 1,2 mm, stick out 10 mm y protección CO <sub>2</sub> .....	26
Figura 3.2 Depósitos de soldadura, Ø 1,2 mm, stick out 10 mm y protección CO <sub>2</sub> .....	26
Figura 3.3 Depósitos de soldadura, Ø 1,2 mm, stick out 15 mm y protección CO <sub>2</sub> .....	27
Figura 3.4 Depósitos de soldadura, Ø 1,2 mm, stick out 15 mm y protección CO <sub>2</sub> .....	28
Figura 3.5 Depósitos de soldadura, Ø 1,2 mm, stick out 15 mm y protección argón.....	29
Figura 3.6 Depósitos de soldadura, Ø 1,2 mm, stick out 15 mm y protección argón.....	29
Figura 3.7 Depósitos de soldadura, Ø 1,2 mm, stick out 15 mm y protección argón.....	30
Figura 3.8 Depósitos de soldadura, Ø 1,2 mm, stick out 15 mm y protección argón.....	31
Figura 3.9 Depósitos de soldadura, Ø 0,9 mm, stick out 10 mm y protección CO <sub>2</sub> .....	32
Figura 3.10 Depósitos de soldadura, Ø 0,9 mm, stick out 10 mm y protección CO <sub>2</sub> .....	32
Figura 3.11 Depósitos de soldadura, Ø 0,9 mm, stick out 15 mm y protección CO <sub>2</sub> .....	33
Figura 3.12 Depósitos de soldadura, Ø 0,9 mm, stick out 15 mm y protección CO <sub>2</sub> .....	34
Figura 3.13 Depósitos de soldadura, Ø 0,9 mm, stick out 10 mm y protección argón.....	35

Figura 3.14 Depósitos de soldadura, Ø 0,9 mm, stick out 10 mm y protección argón .....	35
Figura 3.15 Depósitos de soldadura, Ø 0,9 mm, stick out 15 mm y protección argón .....	36
Figura 3.16 Depósitos de soldadura, Ø 0,9 mm, stick out 15 mm y protección argón .....	37
Figura 3.17 Macrografías depósitos, Ø 1,2 mm, stick out 10 mm y protección CO <sub>2</sub> .....	39
Figura 3.18 Macrografías depósitos, Ø 1,2 mm, stick out 10 mm y protección CO <sub>2</sub> .....	40
Figura 3.19 Macrografías depósitos, Ø 1,2 mm, stick out 10 mm y protección argón .....	41
Figura 3.20 Macrografías depósitos, Ø 1,2 mm, stick out 15 mm y protección argón .....	42
Figura 3.21 Macrografías depósitos, Ø 0,9 mm, stick out 10 mm y protección CO <sub>2</sub> .....	43
<i>Figura 3.22 Macrografías depósitos, Ø 0,9 mm, stick out 10 mm y protección CO<sub>2</sub> .....</i>	<i>44</i>
Figura 3.23 Macrografías depósitos, Ø 0,9 mm, stick out 10 mm y protección argón .....	45
Figura 3.24 Macrografías depósitos, Ø 0,9 mm, stick out 15 mm y protección argón .....	46
Figura 4.1 Plano de tendencia de la tasa de aportación .....	48
Figura 4.2 Comportamiento de las variables respecto a la tasa de aportación. ...	49
Figura 4.3 Plano de tendencia de la tasa de aportación .....	49
Figura 4.4 Comportamiento de las variables respecto a la tasa de aportación. ...	50
Figura 4.5 Plano de tendencia de la tasa de aportación .....	51
Figura 4.6 Comportamiento de las variables respecto a la tasa de aportación. ...	51
Figura 4.7 Plano de tendencia de la tasa de aportación .....	52
Figura 4.8 Comportamiento de las variables respecto a la tasa de aportación. ...	52
Figura 4.9 Plano de tendencia de la tasa de aportación .....	53
Figura 4.10 Comportamiento de las variables respecto a la tasa de aportación. .	54
Figura 4.11 Plano de tendencia de la tasa de aportación .....	54
Figura 4.12 Comportamiento de las variables respecto a la tasa de aportación. .	55
Figura 4.13 Plano de tendencia de la tasa de aportación .....	55
Figura 4.14 Comportamiento de las variables respecto a la tasa de aportación. .	56
Figura 4.15 Plano de tendencia de la tasa de aportación .....	57
Figura 4.16 Comportamiento de las variables respecto a la tasa de aportación. .	57
Figura 4.17 Curva de tendencia de la tasa de aportación (SMAW).....	58
Figura 4.18 Comportamiento de las variables respecto a la tasa de aportación. .	59
Figura 4.19 Comparación de la tasa de aportación entre el proceso SMAW y el proceso GMAW con Ø 1.2 mm y stick out 10 mm.....	60
Figura 4.20 Comparación de la tasa de aportación entre el proceso SMAW y el proceso GMAW con Ø 1.2 mm y stick out 15 mm.....	60
Figura 4.21 Comparación de la tasa de aportación entre el proceso SMAW y el proceso GMAW con Ø 0.9 mm y stick out 10 mm.....	61

Figura 4.22 Comparación de la tasa de aportación entre el proceso SMAW y el proceso GMAW con $\varnothing$ 0.9 mm y stick out 15 mm.....	61
Figura 5.1 Regresión lineal proceso GMAW stick out 10 mm .....	65
Figura 5.2 Regresión lineal proceso GMAW stick out 15 mm .....	66
Figura 5.3 Regresión lineal proceso GMAW stick out 10 mm .....	67
Figura 5.4 Regresión lineal proceso GMAW stick out 15 mm .....	68
Figura 5.5 Regresión lineal proceso GMAW stick out 10 mm .....	69
Figura 5.6 Regresión lineal proceso GMAW stick out 15 mm .....	70
Figura 5.7 Regresión lineal proceso GMAW stick out 10 mm .....	71
Figura 5.8 Regresión lineal proceso GMAW stick out 15 mm .....	72

## RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo principal la determinación práctica de la tasa de aportación en los procesos de soldadura GMAW y la posterior definición de la ecuación que los rige. Esto se logró mediante el análisis de las variables que intervienen en el proceso y el efecto que cada uno de ellos produce. Para la recopilación de los datos se prepararon probetas de soldadura en acero ASTM A36 de 200 x 150 x 12,5 mm, que se soldaron con alambre de diámetro 0,9 mm y 1,2 mm, con gases de protección CO<sub>2</sub> y argón y *stick out* de 10 mm y 15 mm. Posteriormente bajo diferencia de pesos se cuantificó los efectos que tuvieron las variables sobre los cordones soldados. Se recurrió al programa *statgraphics* para realizar un análisis estadístico de los datos obtenidos, el mismo que entregó una ecuación para cada caso analizado. Además se realizó macrografías con el objetivo de analizar la geometría de los cordones obtenidos bajo cada condición. Adicionalmente se hizo un análisis comparativo entre el proceso manual SMAW y el proceso automático GMAW. Se concluyó que ambos procesos se comportan de una forma similar, cuando sus variables son modificadas, también se observó que como era de esperar, el proceso GMAW tiene una mayor tasa de aportación, respecto al otro proceso. La obtención de la ecuación de la tasa de aportación son herramientas útiles para la determinación de las cantidades de materiales de aporte requeridas, así como para la evaluación de los costos de soldadura GMAW cuando se aplica a procesos industriales específicos.

## PRESENTACIÓN

En el primer capítulo se hace un estudio de los parámetros de la tasa de aportación, realizando una introducción del proceso GMAW, donde se habla un poco de los fundamentos del proceso, y de las variables en general que rigen a este. El segundo capítulo corresponde a la metodología a seguir durante el proyecto, además en este apartado se designan, especifican y justifican los parámetros con los que se desarrollara la investigación. En el tercer capítulo se muestra el desarrollo del proceso experimental, donde se describe el manejo de las variables, el procedimiento a seguir en la parte práctica y el registro gráfico y la tabulación de los datos para cada prueba desarrollada. Para el cuarto capítulo se procede a realizar el análisis del aporte del material, en función de las variables primarias, para con la ayuda del programa *statgraphics* realizamos un análisis estadístico del proceso ya que este software nos permite la relación de las variables independientes con la variable dependiente. Además en este mismo capítulo se tiene un apartado donde realizamos una comparación con el proceso SMAW, a continuación. En el quinto capítulo procedemos a la definición de la ecuación de la tasa de aportación, para lo cual nos apoyaremos en el método de regresión lineal o ajuste lineal, mismo que se realizó en el programa mencionado anteriormente, obteniendo como resultado un modelo de regresión lineal múltiple que describe la relación entre la tasa de aportación y las cuatro variables independientes. Finalmente en el capítulo seis se presentan tanto las conclusiones como las recomendaciones del presente proyecto.



## CAPÍTULO 1

# ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE LA TASA DE APORTACIÓN

### 1.1 OBJETIVO DE LA PRESENTE TESIS

La presente tiene como objetivo analizar de manera detallada los parámetros que influyen en la tasa de aportación para posteriormente formular una ecuación que la describa.

### 1.2 FUNDAMENTOS DEL PROCESO

La soldadura a gas y arco eléctrico metálico o *gas metal arc welding*, (GMAW) es un proceso de soldadura que emplea un arco eléctrico entre el electrodo o material de aporte, el cual es un alambre continuo y el material base. El área de soldadura está protegida por una atmósfera circundante de gas activo, inerte o mezcla.

### 1.3 USOS Y VENTAJAS

Los usos del proceso, desde luego, están regidos por sus ventajas; las más importantes de éstas son:

- Es el único proceso de soldadura con electrodo consumible que sirve para soldar todos los metales y aleaciones que encontramos en el mercado.
- El proceso GMAW no tiene la restricción del largo de electrodo limitación que se presenta en el proceso SMAW, porque la longitud en este es de 300 mm.
- Esta técnica permite soldar en toda tipo de posiciones, algo que no es posible por ejemplo con el proceso SAW.
- Se obtienen tasas de aportación más altas que con el proceso SMAW.
- Las velocidades de soldadura son más altas que con SMAW, gracias a las mayores tasas de aportación y a la alimentación continua del electrodo.
- Como la alimentación es continua, es posible depositar cordones largos sin paradas y arranques por cambio de electrodo.

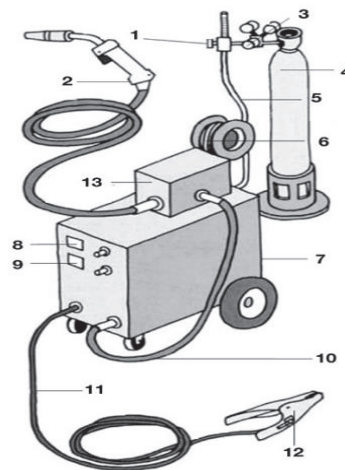
- Cuando se da transferencia por aspersion, se logra mayor penetración que con la soldadura SMAW.
- No produce mucha escoria, casi no se requiere limpieza después de soldar.

Estas ventajas hacen del proceso excelente para aplicaciones de soldadura de producción en serie y automatizadas. Esto se ha hecho cada vez más obvio con la llegada de la robótica, donde el proceso GMAW ha sido el predominante.

#### 1.4 FUNDAMENTOS DE OPERACIÓN

El proceso de soldadura GMAW se basa en la alimentación automática de un electrodo continuo y el arco se protege mediante un gas que puede ser activo o inerte. Se debe realizar pequeños ajustes iniciales, posteriormente el equipo se encarga de regular automáticamente las características eléctricas del arco. Por todo esto, en efecto, los únicos controles manuales que el soldador requiere para la operación semiautomática son los de voltaje, velocidad de alimentación del electrodo y dirección del desplazamiento, así como también el posicionamiento de la pistola. Cuando se cuenta con ajustes apropiados, la longitud del arco y la corriente se mantienen casi constantes automáticamente.

Los componentes básicos del equipo son fuente de potencia, unidad de alimentación de electrodo, fuente de gas protector, la pistola, cables y otros accesorios como se indican a continuación.



*Figura 1.1 Partes del equipo de soldadura*

(Fuente: "Partes de un soldador MIG/MAG", 2012)

1. Caudalímetro: instrumento de medición de caudal.
2. Pistola o antorcha: consta de un gatillo y un mango, que dirige el alambre, la corriente y el gas protector hacia la zona de soldadura. En su extremo contiene un tubo de contacto o boquilla (intercambiable para cada tamaño de alambre) rodeada de una tobera.
3. Regulador de presión: son los instrumentos que nos permiten regular la presión de salida del gas protector.
4. Tanque de gas protector: contiene el gas a elevada presión y está provisto de un regulador que permite medir el flujo del gas. Dependiendo del método (MIG o MAG), el gas usado es el dióxido de carbono (MAG) o se usa argón (MIG), helio (MIG). También son comunes las mezclas de dióxido de carbono con gas inerte para soldaduras MAG.
5. Manguera de abastecimiento de gas
6. Electrodo: la soldadura GMAW utiliza un sistema continuo de alimentación de electrodo o alambre.
7. Fuente de energía: aporta la energía necesaria para fundir el alambre en el material base.
8. Amperímetro: nos permite medir la intensidad de corriente.
9. Voltímetro: nos permite medir el voltaje en voltios.
10. Cable de alimentación y potencia.
11. Cable de masa o tierra.
12. Pinza de masa.
13. Alimentador de alambre de aporte: consta de un motor y rodillos que impulsan, y permite el desplazamiento continuo del alambre a través de la pistola para llegar a la zona donde se produce el arco de soldadura.

La pistola guía el electrodo, conduce la corriente eléctrica y el gas protector al lugar de trabajo, de forma que proporciona la energía para fijar y conservar el arco, fundir el electrodo, y crear una atmosfera protectora necesaria contra el entorno. Para lograr la autorregulación de la longitud del arco que se desea, se utilizan dos combinaciones de unidad de alimentación de electrodo y fuente de potencia. Generalmente, esta regulación se efectúa con una unidad de

alimentación de electrodo de velocidad constante en conjunción con una fuente de potencia de voltaje constante (que por lo regular tiene una curva volt-ampere prácticamente plana).

Con la combinación de potencial constante, alimentación de alambre constante, los cambios en la posición de la antorcha originan cambios en la corriente de soldadura que coincide exactamente con los cambios en la extensión del electrodo, de modo que la longitud del arco no se modifica. Por ejemplo, si se reduce la extensión del electrodo al acercar el soplete, la salida de corriente de la fuente de potencia se aumenta, con lo que se mantiene el mismo calentamiento por resistencia del electrodo. (Facum inspsold, 2007)

En el sistema alternativo, la autorregulación se efectúa cuando las variaciones del voltaje de arco reajustan los circuitos de control del alimentador, los cuales modifican la velocidad de alimentación del alambre de una manera apropiada.

## **1.5 VARIABLES DEL PROCESO**

Son las variables que afectan la calidad global de la soldadura; para una clasificación adecuada se han dividido en tres grupos principales:

Variables preseleccionadas: son aquellas que se fijan antes de comenzar un procedimiento de soldadura, y dependen del material a soldar y seleccionado entre las cuales tenemos:

- Tamaño y composición del electrodo.
- Tipo y caudal de gas de protección.

Variables primarias: son aquellas que controlan el proceso una vez que las variables preseleccionadas han sido establecidas, siendo estas:

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

Variables secundarias: estas variables pueden modificarse de manera continua, afectan a las variables primarias y a su vez al proceso de soldadura, como variables secundarias se tiene:

- *Stick out*
- Orientación del electrodo
- Tipo de corriente y polaridad
- Distancia entre la boquilla y la pieza de trabajo

## **1.5.1 PROPIEDADES DEL CORDÓN DE SOLDADURA**

### **1.5.1.1 Tamaño y composición del electrodo**

Al referirnos al tamaño del electrodo en realidad nos estamos refiriendo a diámetro de electrodo e influye en la configuración de la franja de soldadura.

Un electrodo de mayor diámetro requiere una corriente más alta que un electrodo de menor diámetro, con las mismas características de transferencia de metal, por lo que corrientes altas producen mayor fusión del electrodo y depósitos más grandes y fluidos, además un aumento en la penetración y en la tasa de aportación.

Además es necesario considerar la composición química del electrodo, puesto que la misma confiere y mejora diversas propiedades al material aportado durante la soldadura.

### **1.5.1.2 Tipo y caudal de gas de protección**

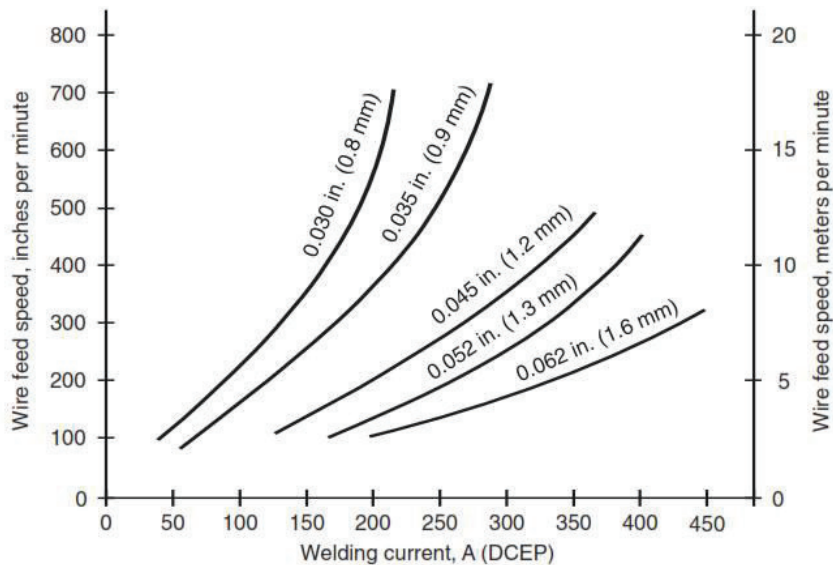
El tipo de gas o la naturaleza del mismo influye sobre la penetración, la forma del cordón, la transferencia del metal aportado; Esta variable afecta fundamentalmente la calidad de soldadura, un caudal de gas bajo resulta en una mala protección del charco de soldadura dando lugar a oxidación y porosidad. Exagerado caudal genera turbulencia y esto podría provocar que se mezcle el gas protector con el aire generando discontinuidades y posibles fallas posteriores.

### **1.5.1.3 Corriente de soldadura**

Si las demás variables se mantienen constantes la corriente de la soldadura varía con la velocidad de alimentación del electrodo o la rapidez de fusión del mismo. Al variar la velocidad de alimentación, la corriente varía de manera similar si se emplea una fuente de poder de voltaje constante, la relación entre la velocidad de

alimentación del electrodo y la corriente de soldadura varía de manera proporcional con el diámetro del electrodo utilizado.

La corriente aplicada a un electrodo utilizado en el proceso GMAW alcanzará un valor máximo de intensidad de corriente, este valor se denomina corriente de saturación, cuando el mismo es alcanzado el electrodo no puede transportar más corriente.



**Figura 1.2** Intensidad vs Velocidad de alimentación del electrodo en función del diámetro del electrodo

(Fuente: "Gas metal arc welding guide", 2015)

De lo mencionado anteriormente se tiene que, si todas las demás variables se mantienen constantes, un aumento en la corriente de soldadura tiene los efectos detallados a continuación:

- Aumento en la profundidad de penetración
- Aumento en la anchura de penetración
- Incremento en la tasa de aportación
- Aumento en el tamaño de la franja de soldadura

#### **1.5.1.4 Voltaje del arco**

El voltaje, es decir la tensión que ejerce la energía sobre el electrodo y el metal base, da como resultado un proceso determinante donde se observa que a mayor voltaje mayor es la penetración de la soldadura.

El voltaje del arco depende de la longitud de arco, así como de la composición y diámetro del electrodo, el gas protector, la técnica de soldadura. El voltaje del arco permite expresar en forma aproximada la longitud física del mismo en términos eléctricos. El voltaje del arco está relacionado directamente con la longitud del arco, si todas las variables se mantienen constantes.

#### **1.5.1.5 Longitud del arco**

En GMAW la longitud del arco es una variable crítica que debe controlarse cuidadosamente. Si el arco es demasiado largo, tiene a un movimiento lateral aleatorio, esto debido a que se pierde estabilidad en el mismo y existe una disipación de la protección gaseosa, provocando un cordón irregular que afecta tanto a la penetración como al perfil de la superficie de la franja. Un arco largo puede romper el escudo de gas, además si se utiliza dióxido de carbono un arco largo produce salpicaduras excesivas y porosidad. Si el arco es demasiado corto la punta del electrodo causará un cortocircuito en el charco de soldadura provocando inestabilidad.

#### **1.5.1.6 Velocidad de avance**

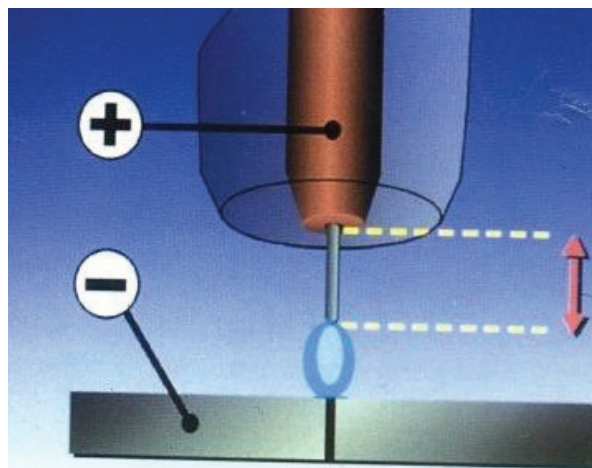
La velocidad de avance o de desplazamiento es la tasa de movimiento lineal del arco a lo largo de la unión que se va a soldar. Si se reduce la velocidad de avance se incrementa la tasa de aportación de metal por unidad de longitud, a velocidades muy bajas el arco actúa sobre el charco de soldadura mas no sobre el metal base provocando además una franja de soldadura ancha; Si se aumenta la velocidad de avance se incrementa la cantidad de energía que se transmite del arco al metal base debido a que el arco actúa de manera directa sobre el metal base, y si se sigue incrementando la velocidad de recorrido se proporciona menos energía por unidad de longitud de soldadura. Un aumento excesivo de la velocidad de avance producirá un efecto de socavamiento a lo largo de la franja

de soldadura, ya que no se deposita suficiente metal de aporte para rellenar el trayecto fundido por el arco.

#### 1.5.1.7 *Stick out* o longitud libre del electrodo

La longitud libre del electrodo o *stick out* es la distancia entre el extremo del tubo de contacto y la punta del electrodo. Un aumento en la extensión del electrodo produce un aumento en su resistencia eléctrica, el calentamiento por resistencia, a su vez, produce un aumento en la temperatura del electrodo lo que incrementa la tasa de fusión del mismo.

Una resistencia eléctrica mayor a la recomendada provoca el aumento de la caída de voltaje entre el tubo de contacto y la pieza de trabajo, este cambio es detectado por la fuente de poder la cual compensa este aumento reduciendo la corriente, de este modo se reduce la tasa de fusión del electrodo y se acorta la longitud física del arco, en consecuencia a menos que haya un incremento de voltaje el metal de aporte se depositará en una franja de soldadura angosta y de refuerzo alto.



*Figura 1.3 Stick Out*

(Fuente: Carreño, 2014)



### 1.5.1.8 Orientación del electrodo

La orientación del electrodo en los procesos de soldadura por arco eléctrico, afecta la penetración y la forma de franja de soldadura, esta afectación se manifiesta en mayor grado que lo generado por el voltaje del arco o por la velocidad de recorrido.

Para analizar la orientación del aporte es necesario determinar dos tipos de ángulos que son el ángulo de trabajo y el ángulo de desplazamiento. El ángulo de trabajo es el formado por el eje del electrodo y por la superficie de trabajo, mientras que el ángulo de desplazamiento en cambio es el formado por la dirección de desplazamiento y el eje del electrodo.

Si la dirección de desplazamiento del electrodo es contraria a al sentido en que apunta el electrodo, la técnica se denomina soldadura de arrastre, mientras que si la dirección de desplazamiento del electrodo está en el mismo sentido en que apunta el electrodo la técnica se denomina soldadura de empuje.

Para obtener una máxima penetración en la posición plan se debe mantener un ángulo de arrastre de unos 20 a 30 grados con respecto a la perpendicular de la pieza, con ello se obtiene un cordón de soldadura angosto y más convexo, y esto favorece a tener un arco más estable con menos salpicaduras sobre el sustrato.

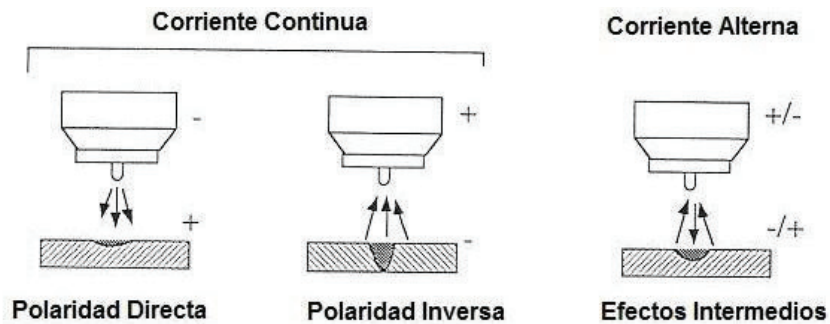
### 1.5.1.9 Polaridad

Es la posición de la conexión del electrodo con respecto a los terminales de la fuente de poder. Si el cable del porta electrodos se conecta al positivo de la fuente entonces se conoce como corriente continua con electrodo positivo, lo que popularmente se ha denominado como polaridad inversa (*reverse polarity*) (DC RP). Cuando el porta electrodo se conecta al terminal negativo de la fuente de poder, hablamos de corrientes continuas electrodo negativo, lo que se conoce generalmente como polaridad directa (*straight polarity*) (DC SP)

La corriente continua con el electrodo negativo raras veces se usa porque no puede obtenerse transferencia por aspersion axial sin efectuar modificaciones es

por ello que no han gozado de mucha aceptación comercial. (Facum inspsold, 2007)

En ambos casos, las tasas de aportación decaen, con lo que desaparece la única ventaja real de cambiar la polaridad. Sin embargo, en virtud de la menor penetración, la corriente continua con el electrodo negativo se ha usado en ocasiones en aplicaciones de recubrimiento.



*Figura 1.4 Tipo de polaridad*

(Fuente: Rodríguez, 2012)

#### 1.5.1.10 Gas de protección

Los gases protectores, en el proceso GMAW, se utilizan para proteger el metal fundido de la contaminación y de la oxidación, este generalmente es suministrado desde una bombona que ofrece una mayor portabilidad.

Los gases mayormente utilizados son dióxido de carbono, argón y helio, puede también utilizarse mezclas para obtener el mejor rendimiento posible de la soldadura.

Para escoger el mejor gas protector se debe considerar algunos factores, entre los principales tenemos:

- Método de transferencia
- Velocidad de soldadura
- Tipo de metal de aporte y metal base

- Posición de soldadura
- Eficiencia de transferencia del metal
- Coste del gas
- Forma del cordón

#### *1.5.1.10.1 Argón*

Es un gas inerte, que se obtiene en las plantas de separación del aire como un sub producto, debido a su densidad mayor a la del aire, protege efectivamente la soldadura en posición plana.

Los gases como el argón al ser inertes forman una excelente barrera ya que no forman compuestos con ninguna otra sustancia y además son insolubles en el metal fundido.

#### *1.5.1.10.2 Dióxido de carbono*

Este gas de protección se usa frecuentemente porque permite una velocidad de soldadura mayor, tiene una buena protección y sus costos son una fracción de la de los gases inerte, como desventaja se puede acotar una menor estabilidad del arco y demasiadas pérdidas de metal por salpicaduras, esto se puede controlar manteniendo una longitud de arco muy corta y uniforme.

### **1.5.2 TASA DE APORTACIÓN**

Es la cantidad de metal de aporte que puede ser depositado por un electrodo o un alambre por unidad de tiempo, generalmente es expresado en kilogramos por hora. Esta medición se calcula con base en el tiempo de arco, es decir, sin incluir paros para cambio de electrodo, limpieza de escoria, finalización de la soldadura u otras actividades. En el proceso GMAW la tasa de aportación es dependiente de las variables principales de soldadura como son intensidad, voltaje, velocidad de alimentación y velocidad de avance.

La tasa de aportación da a conocer la cantidad real de material entregado en el proceso, sin tomar en cuenta la escoria, sin embargo, desde el punto de vista de los costos de soldadura es necesario considerar para la eficiencia de la tasa de aportación las pérdidas por escoria ya que estas representan un desperdicio real de material.

Un cálculo real de la tasa de aportación ayuda a conocer la cantidad de material necesaria para realizar un trabajo logrando así reducir los costos por material que no sea empleado.

Para su cálculo se han de conocer:

- Diámetro del hilo de aporte ( $\varnothing_a$ ) en m
- Densidad del material de aporte ( $\rho_a$ ) en  $\text{Kg.m}^{-3}$
- Rendimiento de aportación ( $\eta_a$ ) y la
- Velocidad de alimentación del aporte ( $v_a$ ) en  $\text{m.min}^{-1}$ .

$$TD = 60 * \varnothing_a * \rho_a * \eta_a * v_a \quad (\text{Ec. 1.1}) \text{ (García \& Conde, 2012)}$$

## **CAPÍTULO 2**

### **METODOLOGÍA**

En este capítulo expondremos la metodología a seguir con el fin de cumplir los objetivos planteados para la presente investigación. Para lo cual se tratará de tener similares condiciones con el fin de poder comparar los diferentes ensayos a realizarse, también se definirán parámetros y variables sobre las que se cimienta este estudio, además se presentan los equipos a ser utilizados para el desarrollo del presente trabajo.

#### **2.1 DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS**

En este apartado se designan, especifican y justifican los parámetros con los que se desarrollara la investigación, los mismos han sido determinados basándose en un criterio técnico.

##### **2.1.1 MATERIAL**

El material base para realizar los ensayos es el acero ASTM A36 que es un acero de bajo carbono, el cual es muy común en el mercado ecuatoriano gracias a sus buenas propiedades mecánicas y a su bajo costo.

Debido a que se empleará un rango de amperaje entre (100-300 [A]) y se entrega un alto calor al material base, para evitar un difícil depósito de material y posteriormente un difícil análisis de la macrografía, se optó por trabajar en material de un espesor de 12,7 mm ver anexo 1.

##### **2.1.1.1 Consumibles**

Además de componentes del equipo, como los forros de contacto y las puntas de contactos, que se desgastan y deben ser reemplazadas, los consumibles del proceso GMAW son los gases de protección y los electrodos. En esta sección se hace referencia a estos dos últimos, que influyen directamente el estudio a realizar.

### 2.1.1.2 Electroodos

Para el proceso de soldadura GMAW, basándonos en la norma AWS 5.18 “Carbon Steel Electrodes & Rods for Gas Shielded Arc Welding”, y conociendo los requerimientos industriales a nivel nacional se ha optado por utilizar el electrodo ER70S-6 de diámetros 1,2 y 0,9 mm ver anexo 2 y 3.

- ER70S-6. Es el electrodo de mejor rendimiento y mayor costo, contiene altos niveles de silicio y manganeso como desoxidantes por lo que su uso es en material base ligeramente contaminado, además de tener una mayor fluidez del charco. Son adecuados para la soldadura de casi todos los tipos de acero al carbono desde espesores mínimos hasta espesores de 12,5 mm.

En la siguiente tabla se muestra los datos de composición química y propiedades mecánicas para el electrodo.

Chemical Composition Requirements for Solid Electrodes and Rods															
AWS Classification <sup>b</sup>			Weight Percent <sup>a</sup>												
A5.18	A5.18M	UNS <sup>c</sup> Number	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Cu <sup>d</sup>	Ti	Zr	Al
ER70S-2	ER48S-2	K110726	0.07	0.90 to 1.40	0.40 to 0.70	0.025	0.035	0.15	0.15	0.15	0.03	0.50	0.05 to 0.15	0.02 to 0.12	0.05 to 0.15
ER70S-3	ER48S-3	K111022	0.06 to 0.15	0.90 to 1.40	0.45 to 0.75	0.025	0.035	0.15	0.15	0.15	0.03	0.50	—	—	—
ER70S-4	ER48S-4	K111132	0.06 to 0.15	1.00 to 1.50	0.65 to 0.85	0.025	0.035	0.15	0.15	0.15	0.03	0.50	—	—	—
ER70S-6	ER48S-6	K111140	0.06 to 0.15	1.40 to 1.85	0.80 to 1.15	0.025	0.035	0.15	0.15	0.15	0.03	0.50	—	—	—
ER70S-7	ER48S-7	K11125	0.07 to 0.15	1.50 to 2.00 <sup>e</sup>	0.50 to 0.80	0.025	0.035	0.15	0.15	0.15	0.03	0.50	—	—	—
ER70S-G	ER48S-G	—	Not Specified <sup>f</sup>												

Notes:

a. Single values are maximum.

b. The letter “N” as a suffix to a classification indicates that the weld metal is intended for the core belt region of nuclear reactor vessels, as described in the Annex to the specification. This suffix changes the limits on the phosphorus and copper as follows:

P = 0.012% maximum

Cu = 0.08% maximum

c. SAE HS-1086/ASTM DS-56, *Metals & Alloys in the Unified Numbering System*.

d. Copper due to any coating on the electrode or rod plus the copper content of the filler metal itself, shall not exceed the stated 0.50% max.

e. In this classification, the maximum Mn may exceed 2.0%. If it does, the maximum C must be reduced 0.01% for each 0.05% increase in Mn or part thereof.

f. Chemical requirements are not specified but there shall be no intentional addition of Ni, Cr, Mo, or V. Composition shall be reported. Requirements are those agreed to by the purchaser and the supplier.

**Figura 2.1** Composición química y requerimientos para varillas y electrodos sólidos.

(Fuente: Wesley, 2005)

Tomando en cuenta las especificaciones de los electrodos vistos se eligieron electrodos de diámetro 0,9 y 1,2 mm debido a que esta medida se encuentra fácilmente en el mercado nacional, así como sus usos son generales en la industria, se cubrió las necesidades requeridas, como por ejemplo el espesor del material base.

Para la comparación con el proceso SMAW utilizaremos electrodo E7018 ver anexo 4

### **2.1.1.3 Gases de protección**

Luego de analizar los distintos gases de protección en el capítulo anterior se decidió utilizar el dióxido de carbono para el proceso MAG y el argón para el proceso MIG.

El uso del dióxido de carbono es más generalizado debido a sus buenas características proporcionadas como son mayor velocidad de soldadura y una buena penetración del cordón, estas características son potenciadas por dicho gas, además de su menor costo, es otro beneficio adicional de la utilización de este gas protector. En comparación con el argón, el CO<sub>2</sub> produce un cordón de excelente penetración pero con superficie más rugosa.

Al utilizar el dióxido de carbono como gas de protección se limita los tipos de transferencia en el proceso GMAW a corto circuito y globular. La transferencia en arco spray es una característica que presenta el argón y no se puede conseguir con dióxido de carbono. Al soldar con transferencia globular se produce un elevado nivel de salpicaduras. Para disminuirlas es necesario reducir el voltaje, es decir, la longitud de arco.

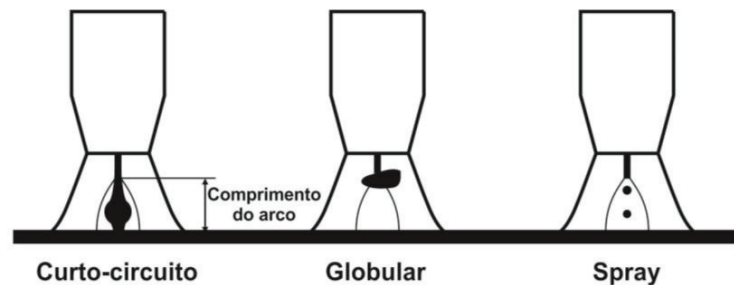
El argón por su parte debido a la excelente protección que brinda, es un gas que entrega cordones con muchas menos salpicaduras, pero su elevado costo no lo hace un gas tan rentable en comparación con el dióxido de carbono.

Transferencia corto-circuito se da cuando utilizamos corrientes y tensiones bajas, el material aportado se funde en gotas pequeñas entre 50 y 200 veces por

segundo y al momento que la punta del electrodo toca con el material fundido produce el corto-circuito.

Transferencia globular se produce con altas corrientes que producen una mayor penetración de la soldadura, al trabajar con esta transferencia el material de aporte se funde en gotas grandes que solo después de vencer la tensión superficial de la gota y por acción de la gravedad se desprende del electrodo y cae para depositarse.

Transferencia spray en este caso el material de aporte es transportado a través del arco en partículas muy pequeñas y a muy alta velocidad, 500 o 2000 veces por segundo, lo que permite atomizar las gotas es la alta fuerza electromagnética.



*Figura 2.2 Tipos de transferencia de soldadura GMAW*

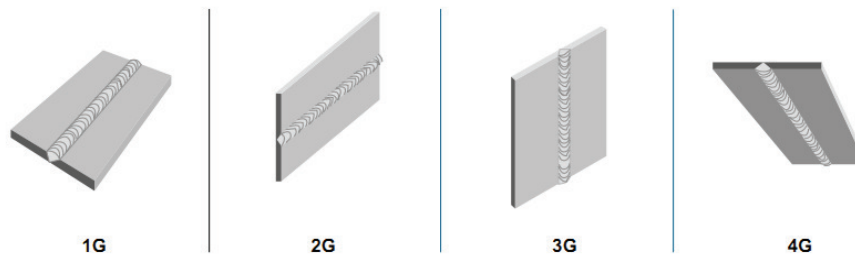
(Fuente: soldadura.org, 2014)

## 2.1.2 VARIABLES ESENCIALES

### 2.1.2.1 Posición de soldadura

La posición en la que se efectuara los ensayos es la posición plana 1G, por las facilidades que brinda a la hora de realizar los cordones, siendo esta la más conveniente para el estudio a realizarse.





**Figura 2.3** Posiciones de soldadura

(Fuente: “*Standard welding terms and definitions*”, 1994)

### 2.1.2.2 Tipo de soldadura

El tipo de soldadura empleada será la automática, para poder obtener un mejor control de las variables, y así poder lograr condiciones estables, que nos permitan realizar una comparación de resultados, para luego formular un análisis adecuado, ya que el trabajo así lo amerita.

Se utilizó una tortuga de oxicorte con el fin de mantener una velocidad de avance constante, con esto se logró hacer aún más automático nuestro sistema semiautomático de soldadura GMAW.

### 2.1.2.3 Procedimientos a realizarse y evaluarse

Luego de realizar un análisis a los parámetros se determinó el siguiente procedimiento de prueba.

**Tabla 2.1** Procedimiento de prueba.

Espesor metal base (mm)	Diámetro del electrodo (mm)	Protección	Tipo de transferencia
12,7	0,9	CO <sub>2</sub>	CORTO CIRCUITO - GLOBULAR
12,7	1,2	CO <sub>2</sub>	CORTO CIRCUITO - GLOBULAR
12,7	0,9	Argón	SPRAY
12,7	1,2	Argón	SPRAY

(Fuente: Andocilla & Maldonado 2007)

Para cada uno de los diferentes diámetros de electrodos se elaboraran depósitos variando los parámetros de soldadura, eso sí conservando la energía útil aportada

durante el proceso, con el fin de poder comparar de mejor manera los parámetros como penetración, estabilidad del arco, dimensiones del cordón, tasa de aportación.

### **2.1.3 DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO**

La presentación de la soldadura, así como la calidad se ven afectadas por algunas variables como son: el voltaje de arco, la corriente de soldadura, flujo de gas, la velocidad de avance, longitud libre y ángulo de inclinación del electrodo.

#### **2.1.3.1 Voltaje del arco**

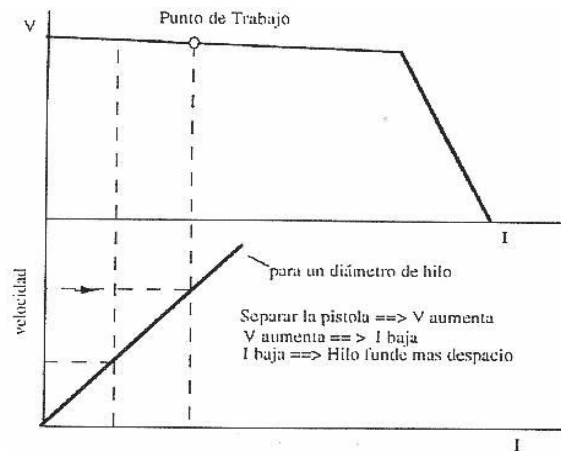
Los niveles establecidos de voltaje del arco varían dependiendo del material, para el presente proyecto el voltaje se encuentra definido en un rango entre los 21 voltios con una variación de dos unidades hasta llegar a los 33 voltios. Se requieren series de prueba para ajustar el voltaje del arco a fin de producir las características de arco y el aspecto de franja de soldadura más favorable. Estas pruebas son esenciales porque el voltaje de arco óptimo depende de diversos factores, incluidos el espesor del metal, el tipo de unión, la posición de soldadura, el tamaño del electrodo, la composición del gas protector y el tipo de soldadura. A partir de cualquier valor específico de voltaje del arco, un aumento en el voltaje tiende a aplanar la franja de soldadura y aumentar el ancho de la zona afectada por el calor. Un excesivo voltaje puede generar distintos tipos de defectos en el cordón de soldadura tales como porosidad, salpicaduras y socavamiento.

Al contrario si el voltaje es reducido se obtendrá una franja de soldadura más estrecha con una corona más alta y una penetración más profunda, por todo lo expuesto anteriormente se debe controlar cuidadosamente la longitud del arco, ya que es una variable crítica en el proceso GMAW.

#### **2.1.3.2 Corriente de soldadura**

El generador de corriente que se emplee debe presentar una característica estática ligeramente descendente, consiguiendo de esta manera que el voltaje establecido en el arco sea prácticamente constante gracias al proceso de

autorregulación con el que vienen equipados. La velocidad de alimentación del electrodo al ser un parámetro a regular deberá ser proporcional a la intensidad de corriente necesaria para fundirlo, con lo que se consigue que la distancia entre el electrodo y el material base se mantenga constante al igual que el voltaje aplicado.



**Figura 2.4** Velocidad de alimentación y voltaje Vs. Intensidad.

(Andocilla & Maldonado 2007)

### 2.1.3.3 Polaridad

El proceso GMAW por recomendación emplea corriente continua con el electrodo positivo. Esta condición produce un arco estable, así como una transferencia equilibrada de metal de aporte, relativamente buenas características de la franja de soldadura, pocas salpicaduras, y profundidad máxima de penetración para una amplia gama de corrientes de soldadura.

Para este estudio usaremos corriente continua con el electrodo positivo o también llamada corriente continua polaridad inversa.

### 2.1.3.4 Velocidad de avance

La velocidad de avance nos la entregará la tortuga de oxicorte, esta fue calculada y seteada con el fin de mantener la misma energía útil en todos los cordones

ensayados, y así tener un parámetro común en todos los cordones, para el posterior análisis.

El rango de esta velocidad para un diámetro de electrodo de 1,2 mm esta entre 3,50 a 9,80 (mm/s) y para el diámetro de 0,9 mm esta entre 2,40 a 6,00 (mm/s).

#### **2.1.3.5 Extensión del electrodo**

La extensión libre de electrodo para la transferencia en cortocircuito, generalmente está entre 6 y 13 mm y para los demás tipos de transferencia de metal entre 13 y 25 mm.

Para propósitos del estudio utilizaremos dos extensiones libres de electrodo, una de 10 mm y otra de 15 mm entrando en los dos rangos con el fin de tener todos los tipos de transferencia como son por corto circuito, globular y tipo spray.

### **2.1.4 EQUIPO UTILIZADO**

#### **2.1.4.1 Soldadora multiprocesos**

Dentro de los equipos que se encuentran disponibles en el laboratorio de soldadura de la facultad de ingeniería mecánica se ha optado por la soldadora *IDEALARC CV-300* por su versatilidad y la posibilidad de realizar diferentes tipos de procesos requeridos para la realización del presente documento como son el proceso GMAW.

La IDEALARC CV-300 es una fuente de poder de corriente directa de voltaje constante, tiene capacidad de soldadura de alambre tubular dentro de la capacidad de salida nominal de la máquina la cual es de 300 amps.

Puesto que posee dos posiciones de inductancia se puede elegir las características de salida óptimas, permitiéndonos así la variación y calibración de las mismas para obtener los resultados esperados.



*Figura 2.5 IDEALARC CV-300*

(Fuente propia, 2015)

#### **2.1.4.2 Alimentadora de electrodo**

La alimentadora a utilizarse será la Lincoln LN-7 puesto que es una alimentadora de velocidad constante semiautomática equipada para la soldadura GMAW.

Además, posee una escala de alimentación de alambre de 1,9 a 17,8 m/min.



**Figura 2.6** Alimentadora de electrodo Lincoln Electric LN-7.

(Fuente propia, 2015)

### 2.1.4.3 Balanza de precisión

Para las mediciones de la variación de masa se utilizará una balanza de precisión marca SHIMADZU UW-6200H ubicada en el centro de investigación aplicada a polímeros de la Escuela Politécnica Nacional.

Esta balanza nos permite un rango de apreciación de centésimas de gramo lo que nos permite tener obtener valores de pérdida de material por escoria.



**Figura 2.7** Balanza de precisión Shimadzu UW 6200H  
(Fuente propia, 2016)

## **CAPÍTULO 3**

### **PROCESO EXPERIMENTAL**

En este capítulo se muestra el desarrollo del proceso experimental, en base a los parámetros y variables justificados en los capítulos anteriores, además se explican los distintos pasos seguidos en cada uno de los campos de estudio seleccionados para cumplir con los objetivos y resultados propuestos.

Después que se ha definido los parámetros y las variables de soldadura que intervienen, corresponde determinar y enmarcar los frentes de investigación que se siguieron con el fin de obtener los resultados esperados.

Para obtener un buen resultado y garantizar el manejo adecuado de la información se dividió el proceso en dos etapas principales, siendo estas:

- calibración de equipos.
- manejo de variables.

#### **3.1 CALIBRACIÓN DE EQUIPOS**

Para el desarrollo del estudio se utilizó el equipo de soldadura, además de la tortuga de avance para simular las condiciones de un proceso automático.

#### **3.2 MANEJO DE VARIABLES**

Para esta etapa del estudio se seleccionó como probeta una placa de acero ASTM A -36 con dimensiones 150 x 200 x 12,7 (mm) sobre la cual se realizaron varios depósitos de soldadura de acuerdo al tipo de análisis realizado.

Las dimensiones escogidas se deben a la capacidad máxima de la balanza y a la facilidad de manipulación de la probeta.

En los depósitos que se realizaron se variaron los principales parámetros del proceso: velocidad de alimentación del electrodo que nos influye directamente en

la corriente de soldadura, el voltaje y la velocidad de avance o recorrido, teniendo en consideración que se realizó este proceso manteniendo constante la energía útil o *heat input* durante la soldadura, con el fin de obtener un parámetro constante, que nos permita elaborar las curvas necesarias para alcanzar los objetivos planteados.

## Procedimiento

A continuación se describe de manera detallada el procedimiento seguido en las diferentes etapas:

- Se mide el peso inicial de cada probeta.
- En base a los valores recomendados por los fabricantes para este proceso de soldadura, se establecen valores de longitud libre del electrodo (*stick out*) y flujo de gas.
- Se fijan valores de voltaje, velocidad de avance y velocidad de alimentación, variando los mismos de modo que se garantice que el *heat input* sea constante, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$q_e = \eta * \frac{V * I}{s} \quad (\text{Ec. 3.1}) \text{ (Andocilla \& Maldonado, 2007)}$$

en donde:

$q_e$  *heat input* (J/m)

$\eta$  eficiencia térmica del proceso ( $\approx 80\%$ )

V voltaje (v)

I intensidad de corriente (A)

s velocidad de avance (m/s)

El valor promedio de energía de aportación utilizado fue 900 (J/m) para todos los cordones realizados

- Una vez realizado cada depósito de soldadura sobre la probeta se mide el peso de la misma a fin de determinar la tasa de aportación para cada cordón.



- A continuación se realiza la limpieza de cada probeta utilizando grata.
- Se vuelve a pesar de la misma a fin de determinar la cantidad de material correspondiente a escoria y salpicaduras.
- Se procede a realizar siete cordones de soldadura con distintos valores que comprenden los rangos de operación de los distintos electrodos empleados en el estudio.
- Se realizan macrografías en todos los depósitos de soldadura, a fin de realizar la medición, registro y evaluación de ancho alto y penetración del cordón.

Este procedimiento se repite para cada uno de los electrodos y tipos de gas utilizados durante el proceso.

### 3.3 REGISTRO DE LOS DATOS

Todos los valores obtenidos en base al procedimiento explicado fueron tabulados.

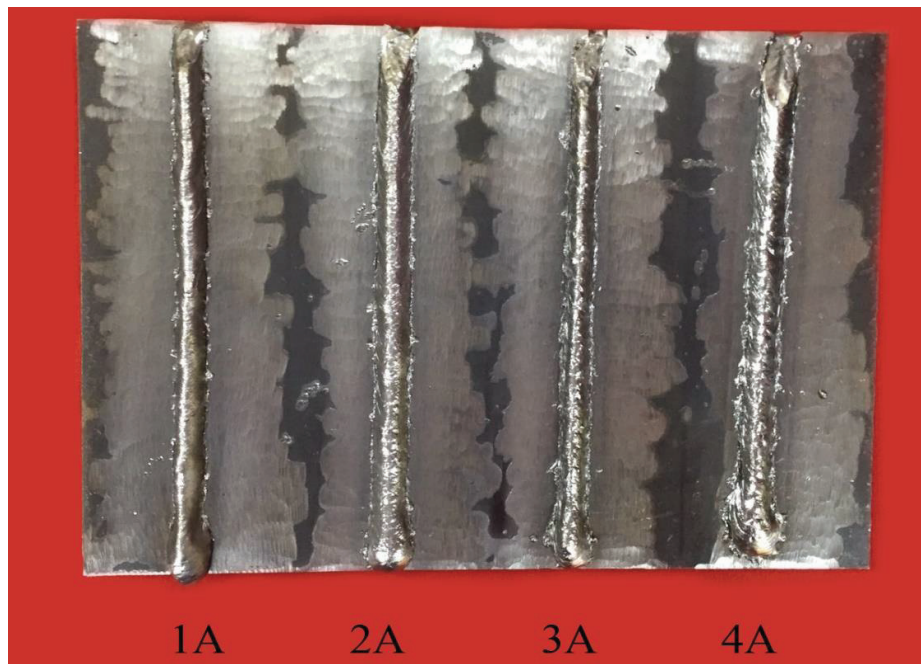
El registro de datos se detalla de una forma más elaborada en las siguientes tablas y figuras, cabe señalar que estas pruebas se desarrollan con el *heat input* antes mencionada.

#### 3.3.1 PRUEBAS DESARROLLADAS PARA EL ELECTRODO DE DIÁMETRO 1,2 mm

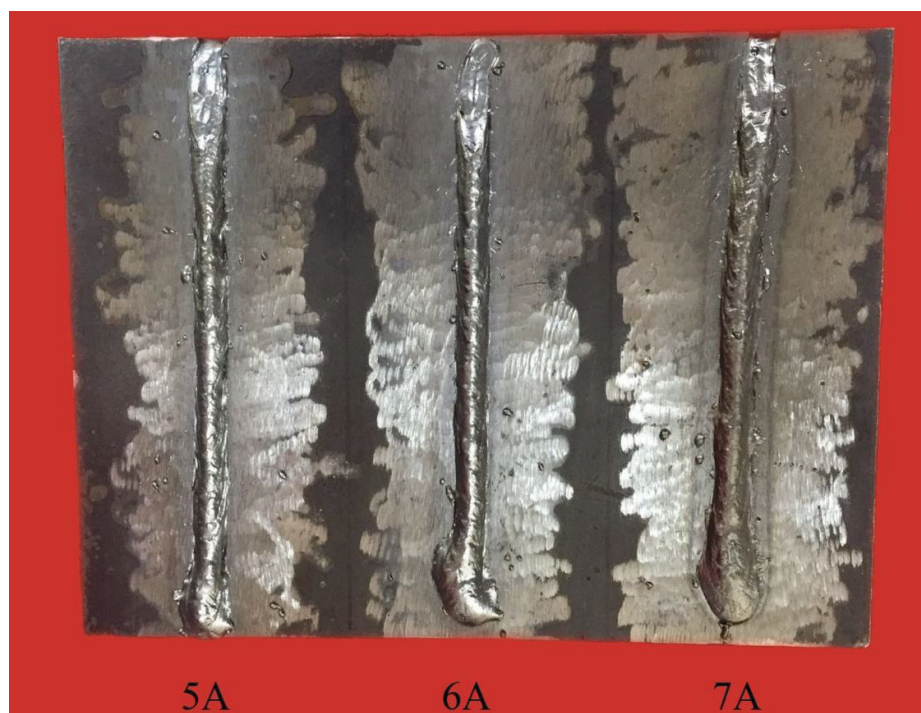
*Tabla 3.1 Parámetros de soldadura, Ø 1,2 mm, stick out 10 mm y protección CO<sub>2</sub>*

N°	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Velocidad Avance (mm/s)	Velocidad de Alimentación (mm/s)	Heat Input (J/m)
1A	21	158	3,70	63,5	895,860
2A	23	182	4,67	74,1	895,804
3A	25	206	5,75	84,7	896,100
4A	27	220	6,58	95,3	902,880
5A	29	238	7,69	105,8	897,260
6A	31	240	8,20	127,0	907,680
7A	33	268	9,80	137,6	902,088

(Fuente propia, 2016)



*Figura 3.1* Depósitos de soldadura,  $\varnothing$  1,2 mm, stick out 10 mm y protección  $CO_2$   
(Fuente propia, 2016)

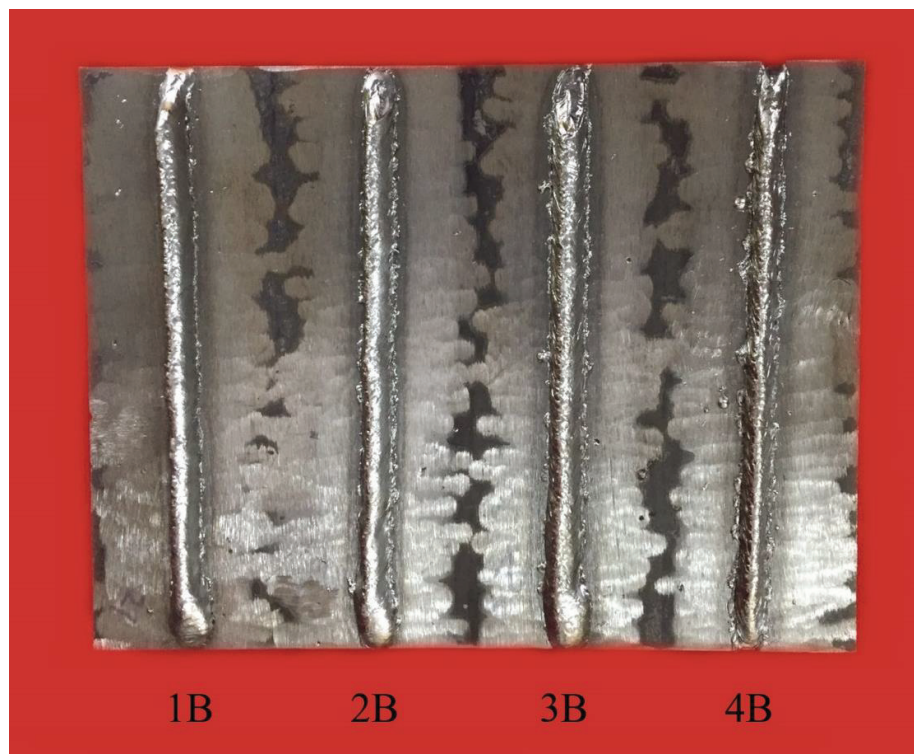


*Figura 3.2* Depósitos de soldadura,  $\varnothing$  1,2 mm, stick out 10 mm y protección  $CO_2$   
(Fuente propia, 2016)

**Tabla 3.2** *Parámetros de soldadura, Ø 1,2 mm, stick out 15 mm y protección CO<sub>2</sub>*

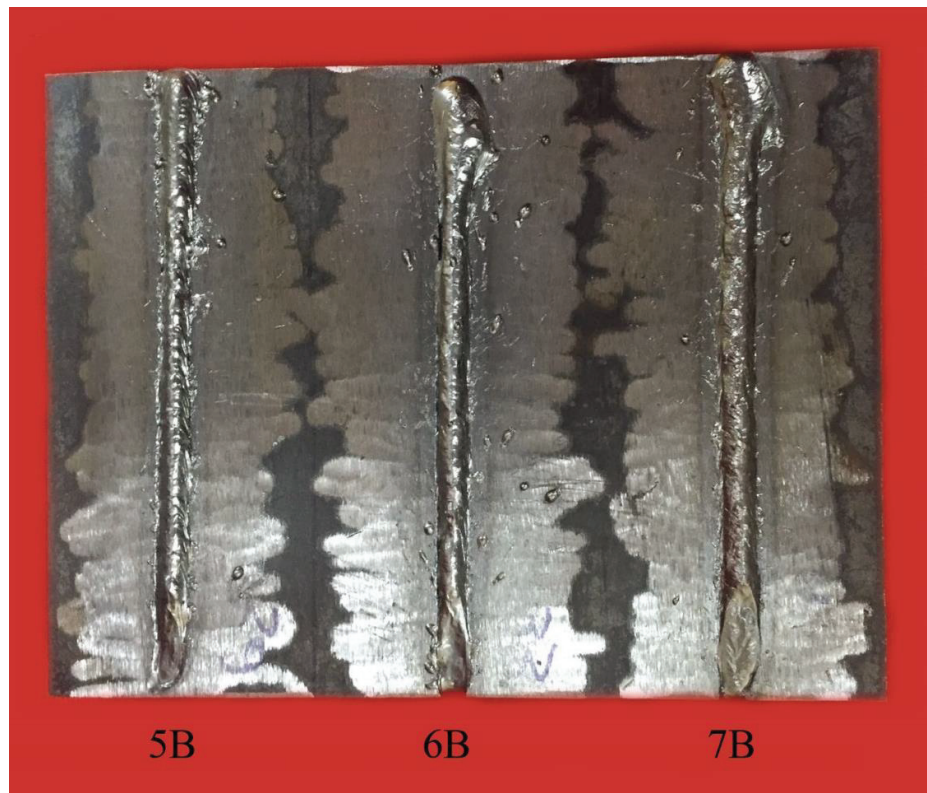
N°	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Velocidad Avance (mm/s)	Velocidad de Alimentación (mm/s)	Heat Input (J/m)
1B	21	168	3,91	63,5	903,17
2B	23	171	4,39	74,1	896,72
3B	25	182	5,05	84,7	900,90
4B	27	209	6,25	95,3	902,88
5B	29	210	6,76	105,8	901,32
6B	31	246	8,47	127,0	899,87
7B	33	267	9,80	137,6	898,72

(Fuente propia, 2016)



**Figura 3.3** *Depósitos de soldadura, Ø 1,2 mm, stick out 15 mm y protección CO<sub>2</sub>*

(Fuente propia, 2016)



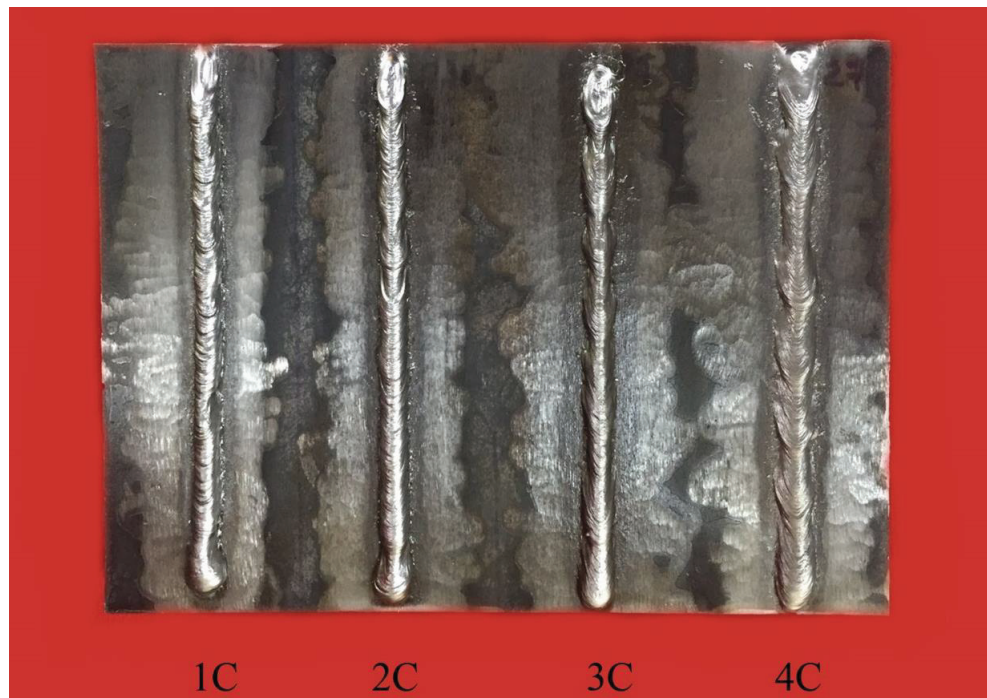
**Figura 3.4** Depósitos de soldadura,  $\varnothing$  1,2 mm, stick out 15 mm y protección  $CO_2$

(Fuente propia, 2016)

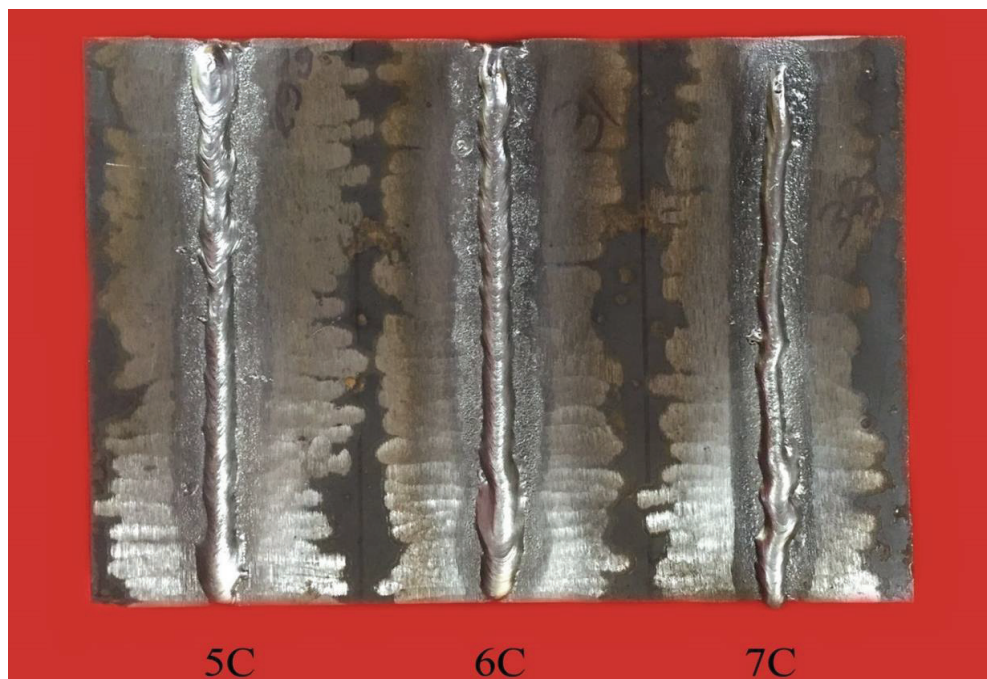
**Tabla 3.3** Parámetros de soldadura,  $\varnothing$  1,2 mm, stick out 10 mm y protección argón

N°	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Velocidad Avance (mm/s)	Velocidad de Alimentación (mm/s)	Heat Input (J/m)
1C	21	151	3,52	74,1	900,56
2C	23	155	3,94	84,7	905,51
3C	25	190	5,26	95,3	902,50
4C	27	208	6,25	95,3	898,56
5C	29	216	6,94	99,5	902,02
6C	31	240	8,20	105,8	907,68
7C	33	264	9,62	127,0	906,05

(Fuente propia, 2016)



*Figura 3.5* Depósitos de soldadura,  $\varnothing$  1,2 mm, stick out 15 mm y protección argón  
(Fuente propia, 2016)

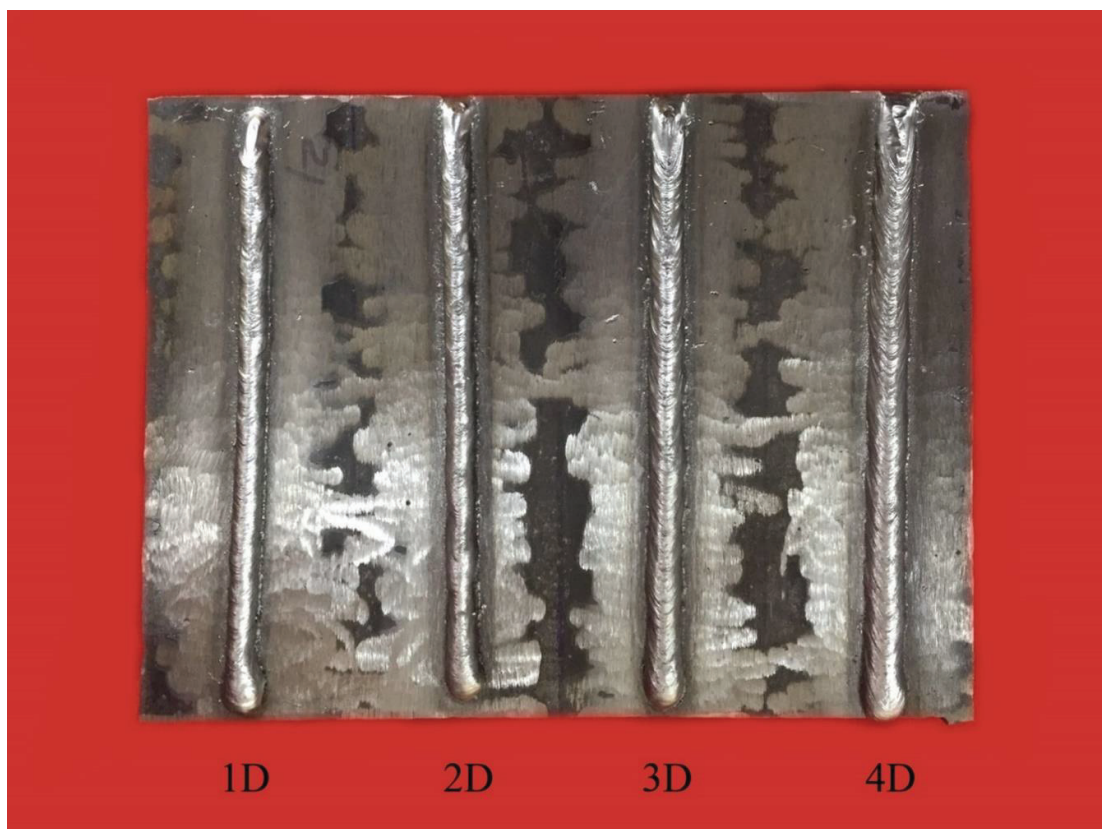


*Figura 3.6* Depósitos de soldadura,  $\varnothing$  1,2 mm, stick out 15 mm y protección argón  
(Fuente propia, 2016)

**Tabla 3.4** *Parámetros de soldadura, Ø 1,2 mm, stick out 15 mm y protección argón*

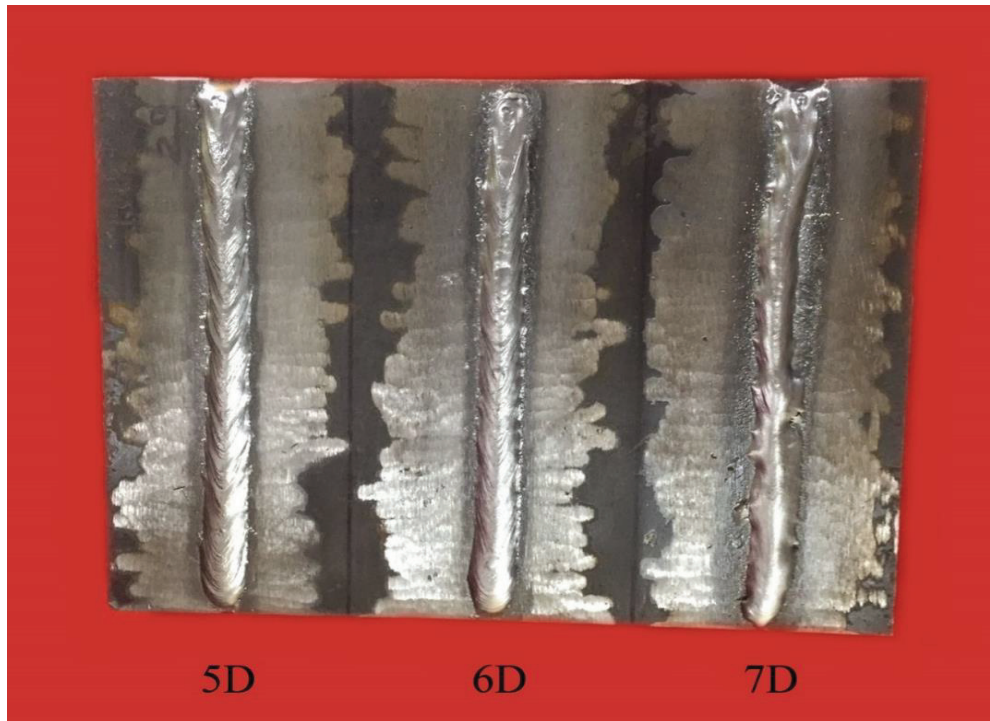
N°	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Velocidad Avance (mm/s)	Velocidad de Alimentación (mm/s)	Heat Input (J/m)
1D	21	169	3,97	84,7	894,35
2D	23	185	4,72	95,3	902,06
3D	25	193	5,32	105,8	907,10
4D	27	214	6,41	116,4	901,37
5D	29	233	7,46	127,0	905,44
6D	31	268	9,26	137,6	897,26
7D	33	270	9,80	148,2	908,82

(Fuente propia, 2016)



**Figura 3.7** *Depósitos de soldadura, Ø 1,2 mm, stick out 15 mm y protección argón*

(Fuente propia, 2016)



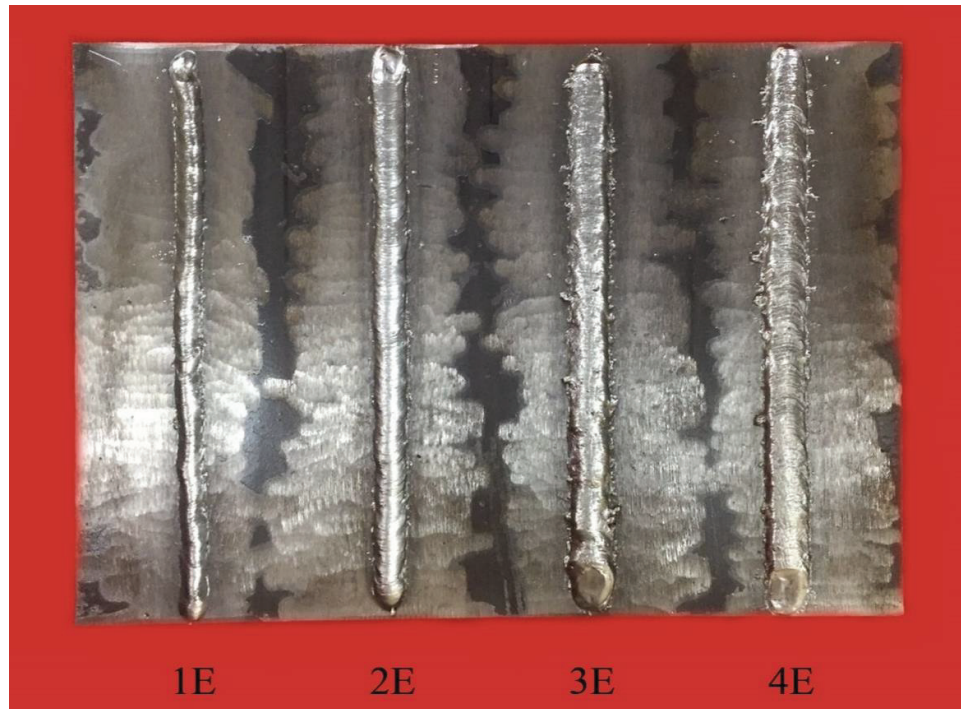
**Figura 3.8** Depósitos de soldadura,  $\varnothing$  1,2 mm, stick out 15 mm y protección argón  
(Fuente propia, 2016)

### 3.3.2 PRUEBAS DESARROLLADAS PARA EL ELECTRODO DE DIÁMETRO 0,9 mm

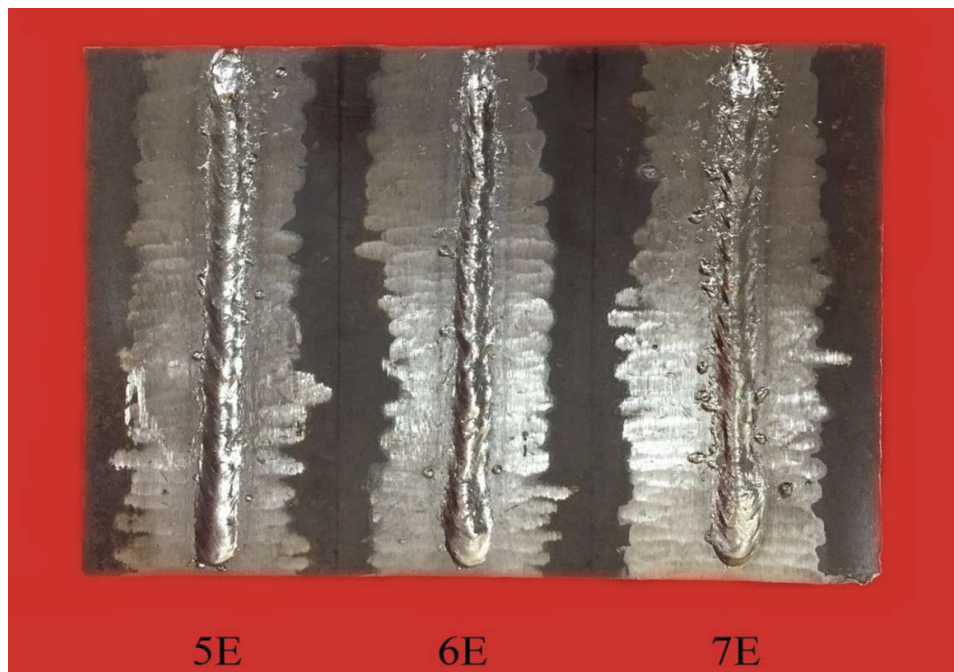
**Tabla 3.5** Parámetros de soldadura,  $\varnothing$  0,9 mm, stick out 10 mm y protección argón

N°	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Velocidad Avance (mm/s)	Velocidad de Alimentación (mm/s)	Heat Input (J/m)
1E	21	105	2,45	63,5	899,64
2E	23	112	2,89	74,1	891,30
3E	25	121	3,36	84,7	901,45
4E	27	127	3,82	95,3	898,40
5E	29	144	4,67	105,8	893,66
6E	31	154	5,32	116,4	897,51
7E	33	171	6,76	127,0	835,16

(Fuente propia, 2016)



*Figura 3.9* Depósitos de soldadura,  $\varnothing 0,9$  mm, stick out 10 mm y protección  $CO_2$   
(Fuente propia, 2016)



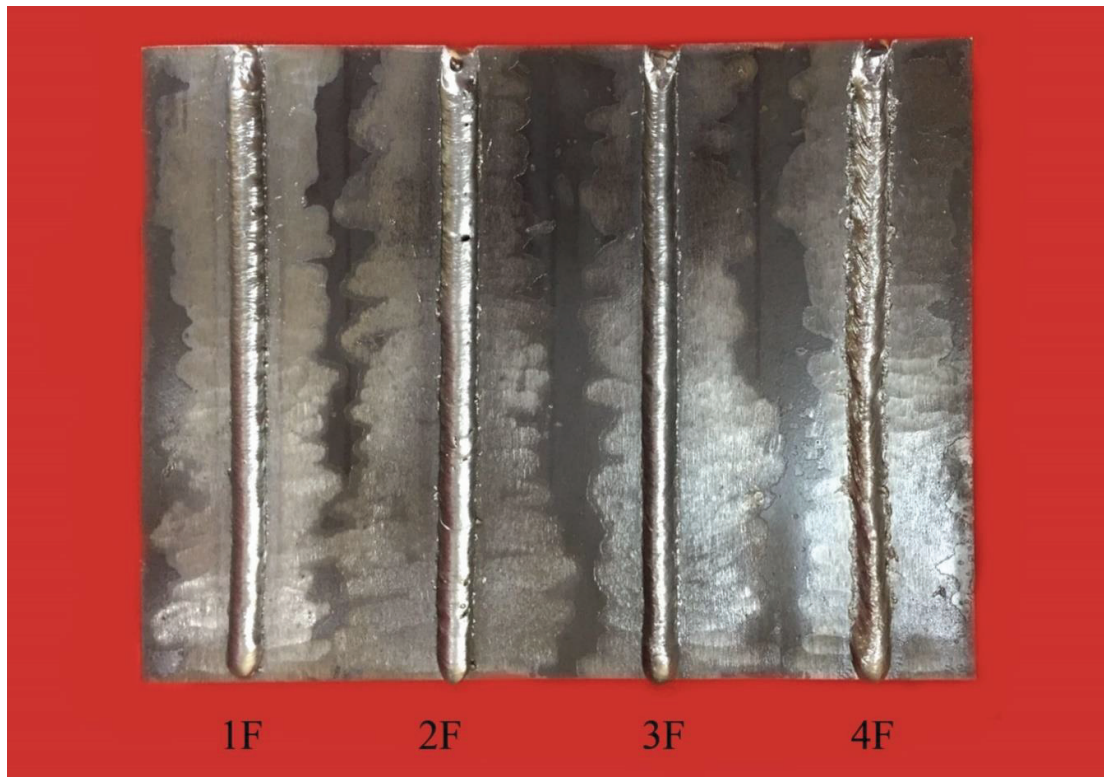
*Figura 3.10* Depósitos de soldadura,  $\varnothing 0,9$  mm, stick out 10 mm y protección  $CO_2$   
(Fuente propia, 2016)



**Tabla 3.6** *Parámetros de soldadura Ø 0,9 mm, stick out 15 mm y protección CO<sub>2</sub>*

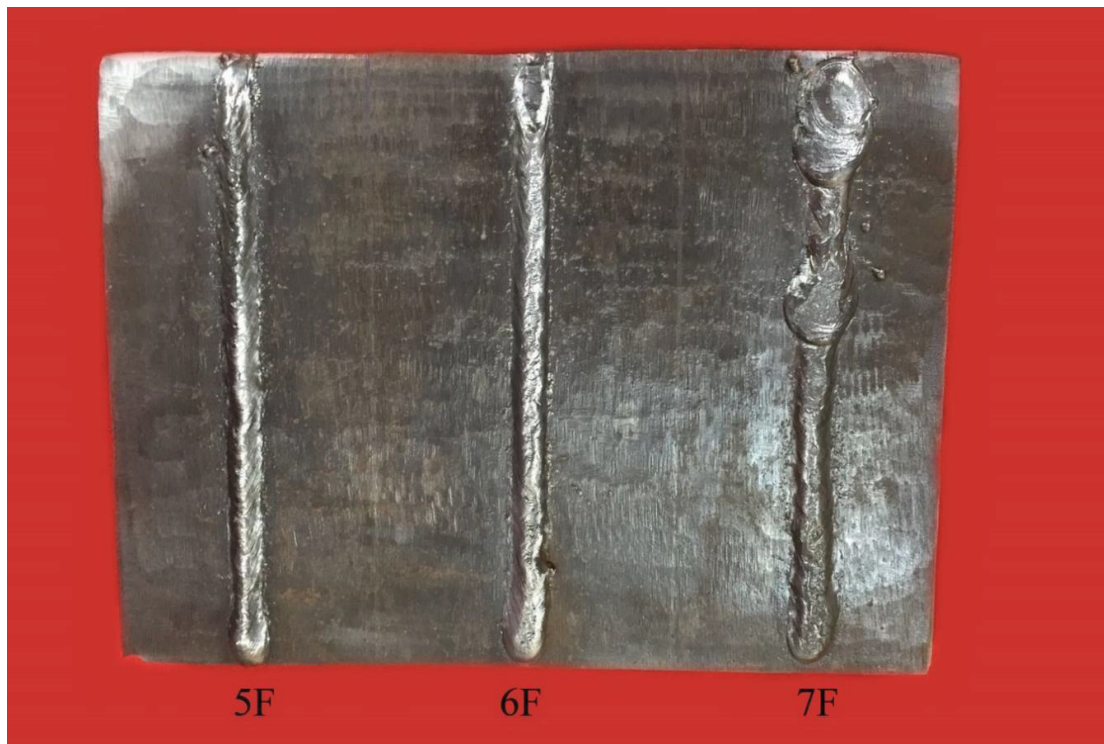
N°	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Velocidad Avance (mm/s)	Velocidad de Alimentación (mm/s)	Heat Input (J/m)
1F	21	107	2,50	84,7	898,80
2F	23	121	3,11	95,3	896,13
3F	25	134	3,76	105,8	891,10
4F	27	138	4,17	116,4	894,24
5F	29	140	4,55	127,0	893,20
6F	31	146	5,00	137,6	905,20
7F	33	165	6,02	148,2	903,87

(Fuente propia, 2016)



**Figura 3.11** *Depósitos de soldadura, Ø 0,9 mm, stick out 15 mm y protección CO<sub>2</sub>*

(Fuente propia, 2016)

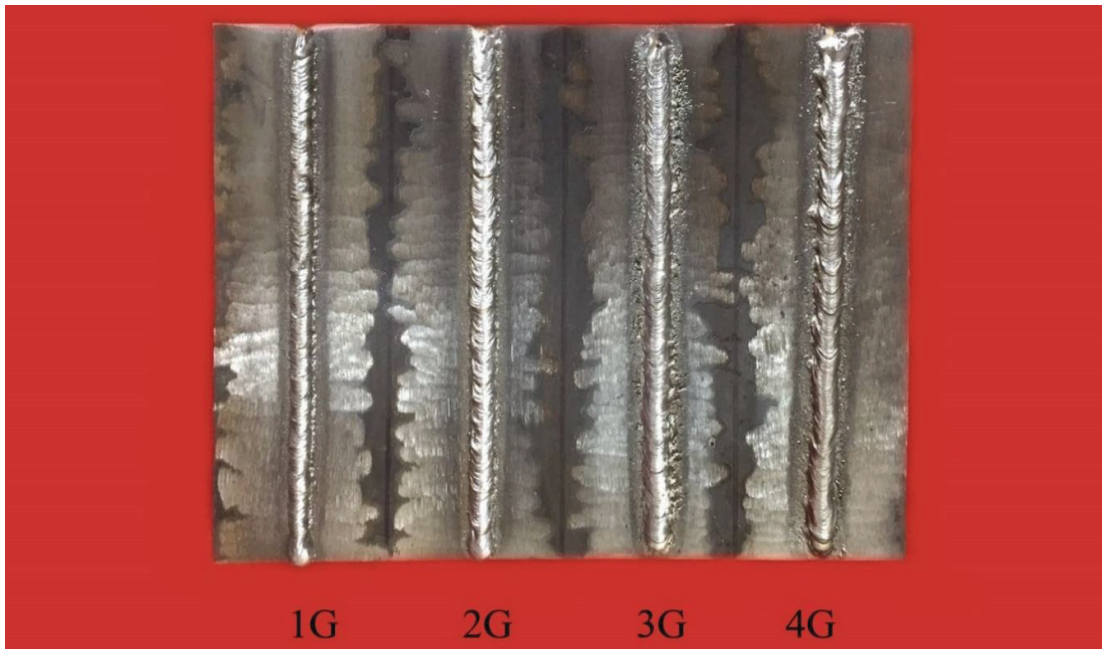


**Figura 3.12** Depósitos de soldadura,  $\varnothing$  0,9 mm, stick out 15 mm y protección  $\text{CO}_2$   
(Fuente propia, 2016)

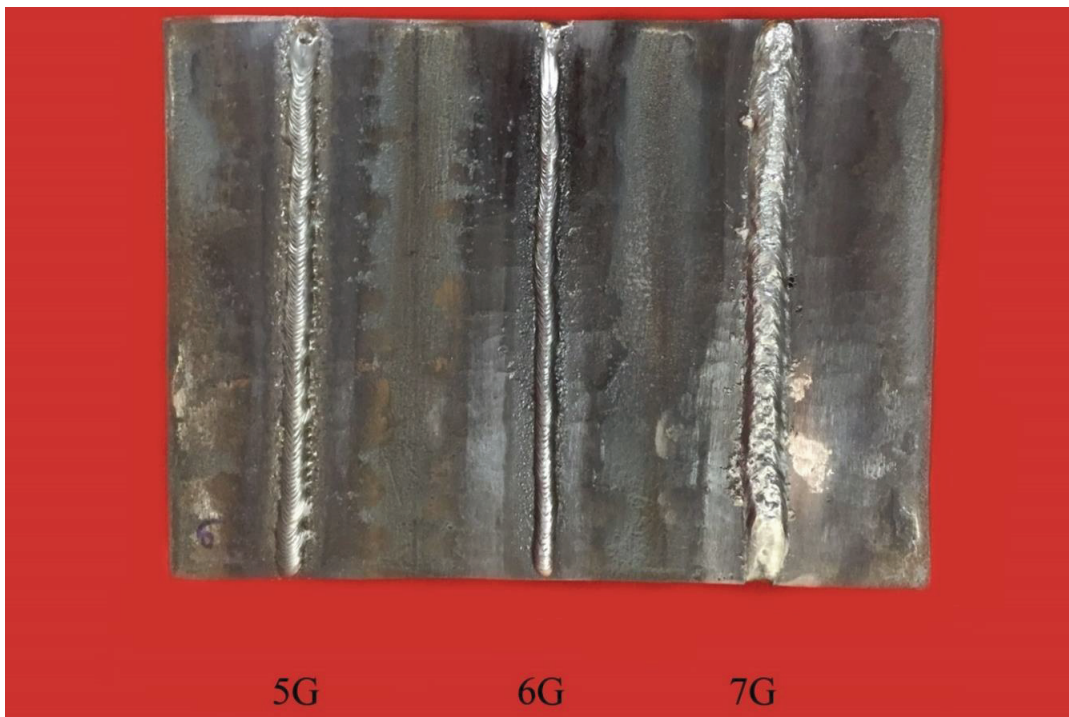
**Tabla 3.7** Parámetros de soldadura,  $\varnothing$  0,9 mm, stick out 10 mm y protección argón

N°	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Velocidad Avance (mm/s)	Velocidad de Alimentación (mm/s)	Heat Input (J/m)
1G	21	107	2,50	74,1	898,80
2G	23	113	2,86	84,7	909,65
3G	25	140	3,91	95,3	896,00
4G	27	142	4,24	105,8	904,82
5G	29	148	4,81	116,4	892,74
6G	31	171	5,88	127,0	901,17
7G	33	185	6,67	148,2	915,75

(Fuente propia, 2016)



*Figura 3.13* Depósitos de soldadura,  $\varnothing 0,9$  mm, stick out 10 mm y protección argón  
(Fuente propia, 2016)

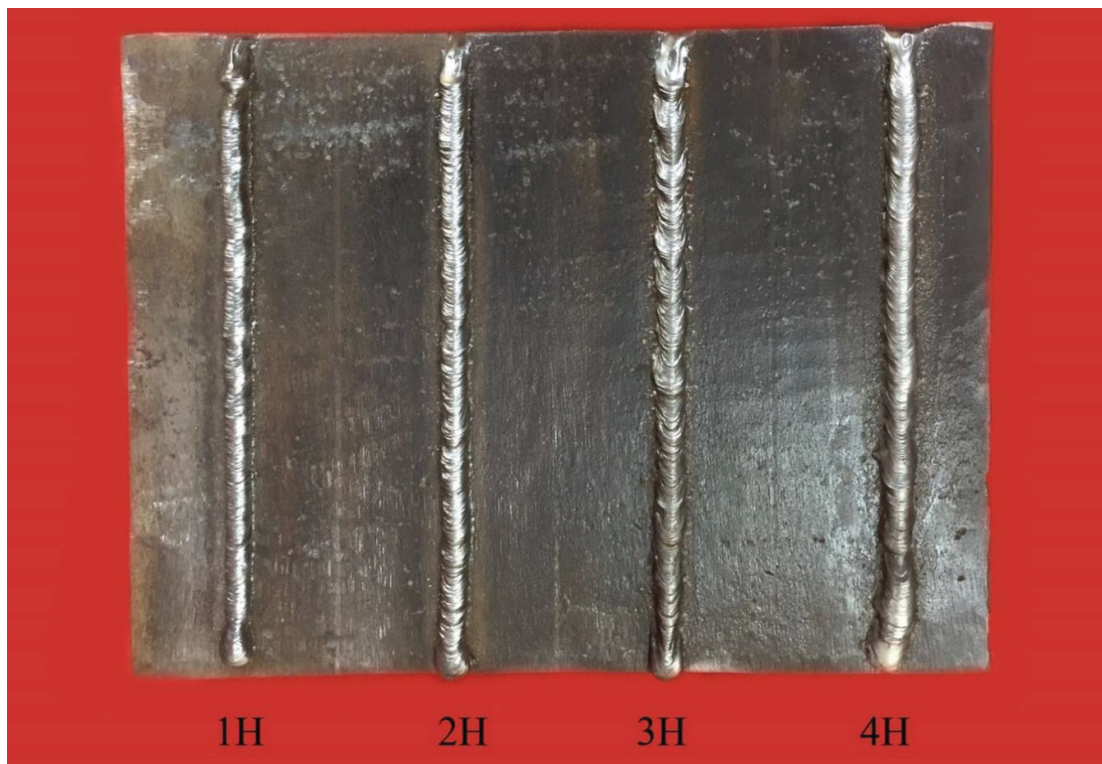


*Figura 3.14* Depósitos de soldadura,  $\varnothing 0,9$  mm, stick out 10 mm y protección argón  
(Fuente propia, 2016)

**Tabla 3.8** *Parámetros de soldadura, Ø 0,9 mm, stick out 15 mm y protección argón*

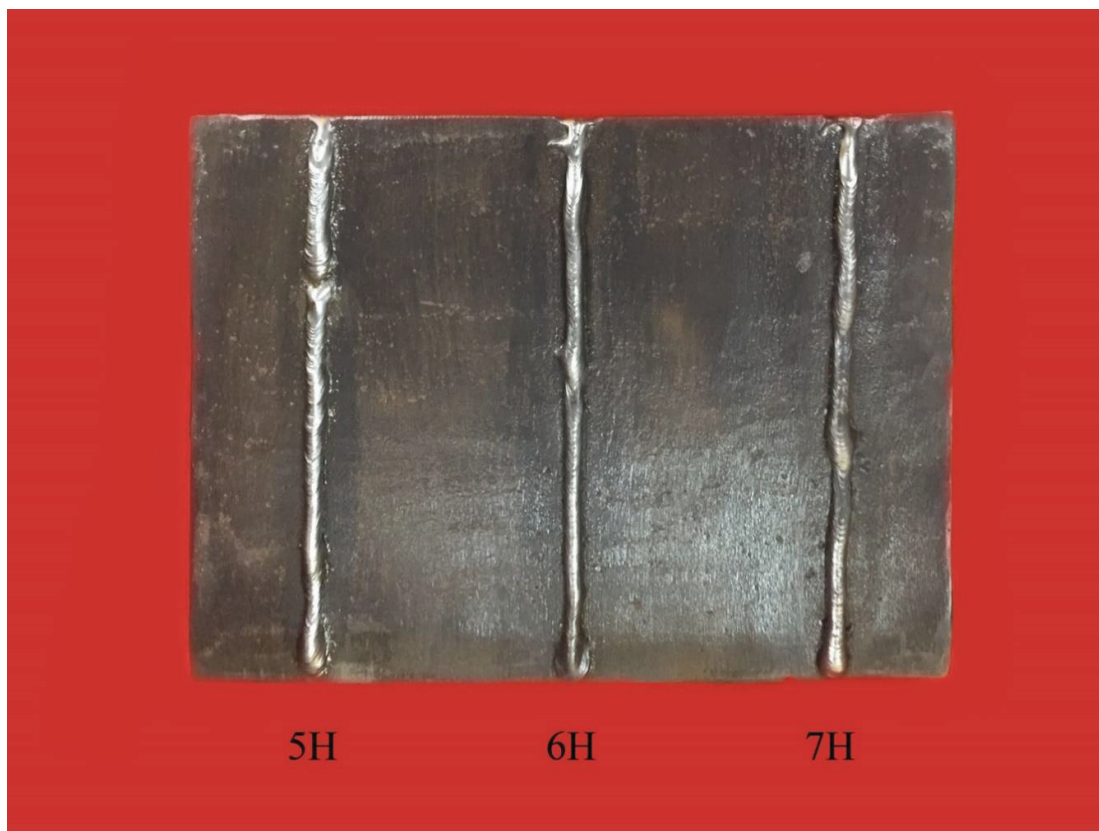
N°	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Velocidad Avance (mm/s)	Velocidad de Alimentación (mm/s)	Heat Input (J/m)
1H	21	103	2,40	84,7	899,81
2H	23	109	2,78	95,3	902,52
3H	25	115	3,16	105,8	908,50
4H	27	134	3,97	116,4	911,74
5H	29	142	4,55	127,0	905,96
6H	31	146	5,00	137,6	905,20
7H	33	163	5,95	148,2	903,67

(Fuente propia, 2016)



**Figura 3.15** *Depósitos de soldadura, Ø 0,9 mm, stick out 15 mm y protección argón*

(Fuente propia, 2016)



*Figura 3.16 Depósitos de soldadura,  $\varnothing$  0,9 mm, stick out 15 mm y protección argón  
(Fuente propia, 2016)*

### 3.4 MACROGRAFÍA

En este apartado realizaremos macrografías con el fin de analizar de una manera más profunda los cordones realizados.

Se obtendrá dimensiones como ancho de cordón, penetración, sobremonta, para logra esto se debe llevar a cabo el siguiente procedimiento.

- **Extracción de la muestra.-** Esta operación consiste en cortar la probeta, puede ser de forma transversal o longitudinal, todo dependerá lo que deseemos analizar.
- **Desbaste.-** Tiene por finalidad preparar la superficie plana a examinar; la cual se prepara con lijas de agua de diferente granulometría, es imprescindible el uso de agua, así como la limpieza y el secado cada vez

que se vaya aumentando el número de la lija. El desbaste se realiza con lijas de 100, 240, 400, 600 y 1000.

- **Ataque químico.-** El ataque tiene como propósito hacer visible las características estructurales y este consiste en aplicar nital al 10% durante un par de minutos, luego se procede a lavar y a secar con secador.
- **Observación y fotografía.-** Se observa las probetas mediante el microscopio, el aumento utilizado para todas las probetas fue 0,8x, Se registra el campo macrográfico de interés mediante una fotografía, con la fotografía se toma las medidas o cotas deseadas.

### 3.4.1 DATOS OBTENIDOS EN EL DESARROLLO DEL PROYECTO

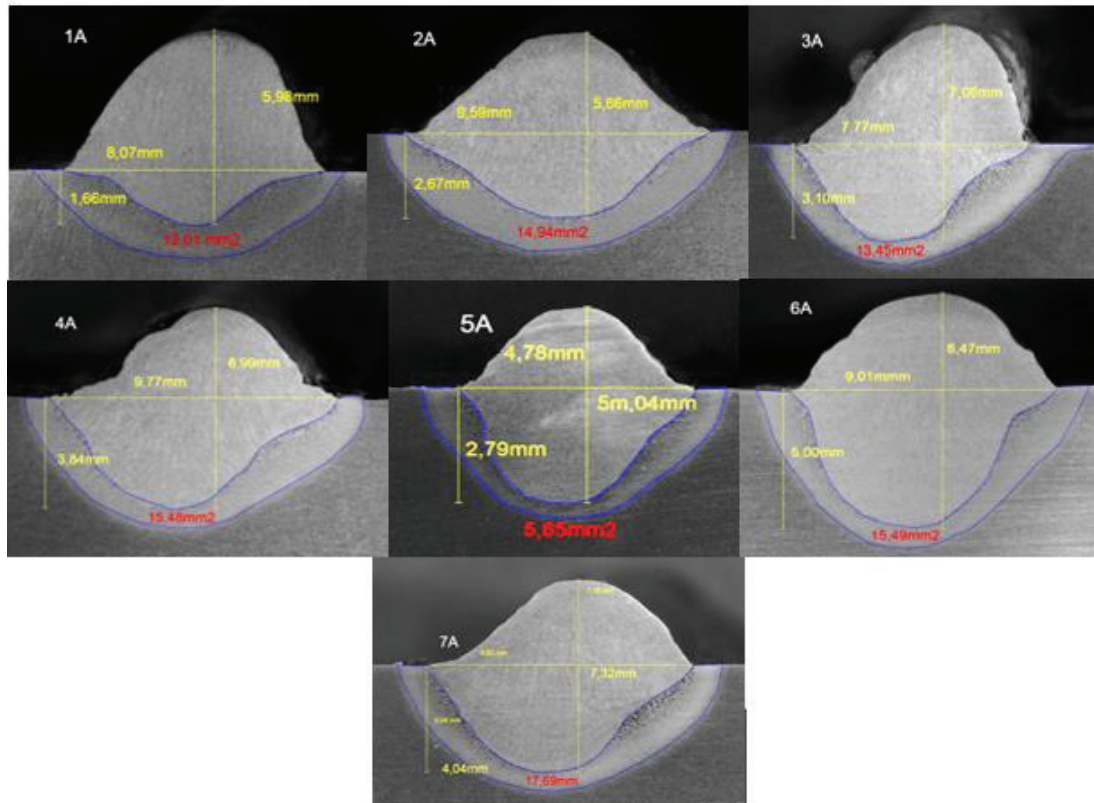
El registro de datos obtenidos se explica a partir del desarrollo de las distintas pruebas realizadas en el presente estudio, de modo que son presentados en las siguientes tablas y figuras.

#### 3.4.1.1 Características físicas de los depósitos de soldadura GMAW con electrodo de diámetro 1,2 mm

*Tabla 3.9 Datos depósitos, Ø 1,2 mm, stick out 10 mm y protección CO<sub>2</sub>*

Mo	Placa A	3082,54	Placa B	3075,61			
N°	Penetración (mm)	Ancho de Cordón (mm)	Zona afectada por el calor (mm <sup>2</sup> )	Peso con escoria (g)	Peso sin escoria (g)	Aporte (g)	Tasa de Aportación (g/s)
1A	1,66	8,07	12,01	3108,85	3108,24	25,7	0,19
2A	2,67	9,59	14,94	3128,53	3128,12	19,88	0,19
3A	3,1	7,77	13,45	3147,38	3146,75	18,63	0,21
4A	3,84	9,77	15,48	3166,43	3165,45	18,7	0,25
5A	2,79	5,04	5,65	3128,99	3128,35	17,78	0,27
6A	5	9,01	15,49	3111,33	3110,57	16,61	0,27
7A	4,04	9,92	17,69	3094,47	3093,96	18,35	0,36

(Fuente propia, 2016)

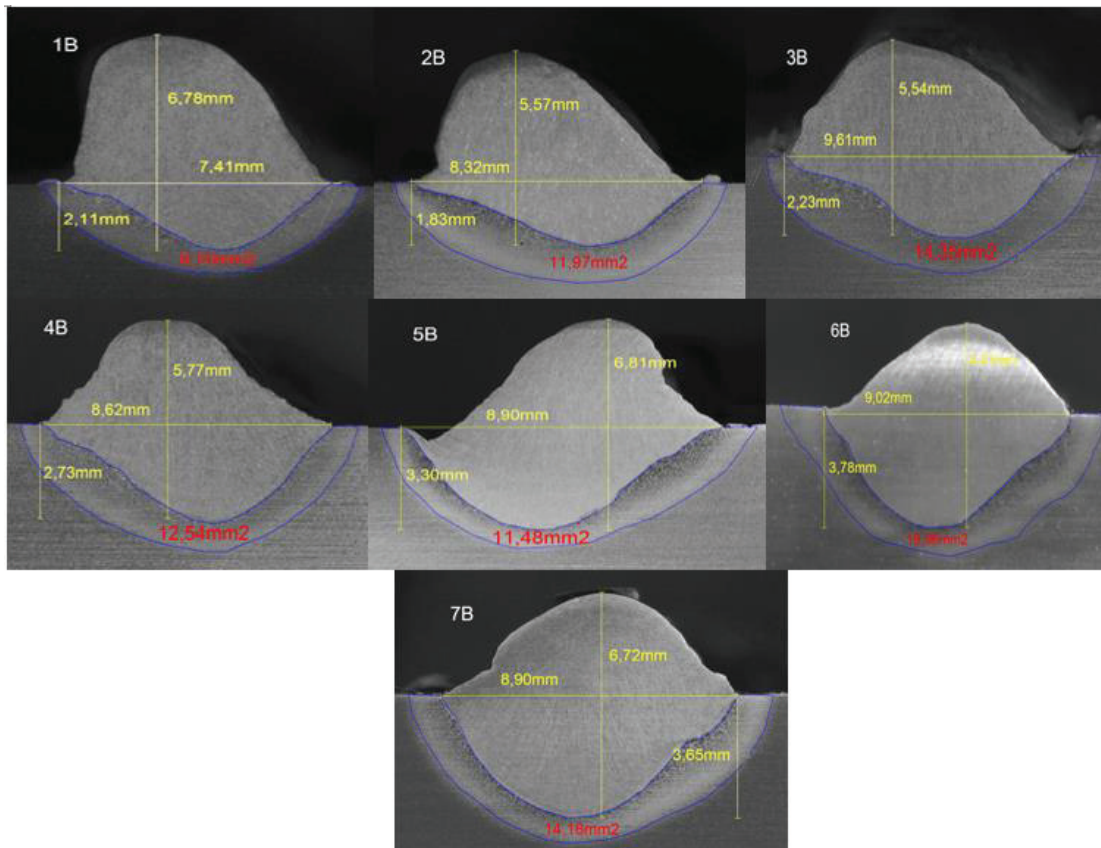


**Figura 3.17** Macrografías depósitos,  $\varnothing$  1,2 mm, stick out 10 mm y protección  $CO_2$   
(Fuente propia, 2016)

**Tabla 3.10** Datos depósitos,  $\varnothing$  1,2 mm stick out 15 mm y protección  $CO_2$

Mo	Placa A	3064,83	Placa B	3070,15			
N°	Penetración (mm)	Ancho de Cordón (mm)	Zona afectada por el calor ( $mm^2$ )	Peso con escoria (g)	Peso sin escoria (g)	Aporte (g)	Tasa de Aportación (g/s)
1B	2,11	7,41	9,10	3093,32	3092,72	27,89	0,22
2B	1,83	8,32	11,97	3114,99	3114,29	21,57	0,19
3B	2,23	9,61	14,35	3136,76	3136,04	21,75	0,22
4B	2,73	8,62	12,54	3153,77	3153,1	17,06	0,21
5B	3,30	8,90	11,48	3123,1	3122,14	17,36	0,23
6B	3,78	9,02	16,86	3088,67	3088,05	17,90	0,30
7B	3,65	8,90	14,16	3105,62	3104,78	16,73	0,33

(Fuente propia, 2016)



**Figura 3.18** Macrografías depósitos,  $\varnothing$  1,2 mm, stick out 10 mm y protección  $\text{CO}_2$

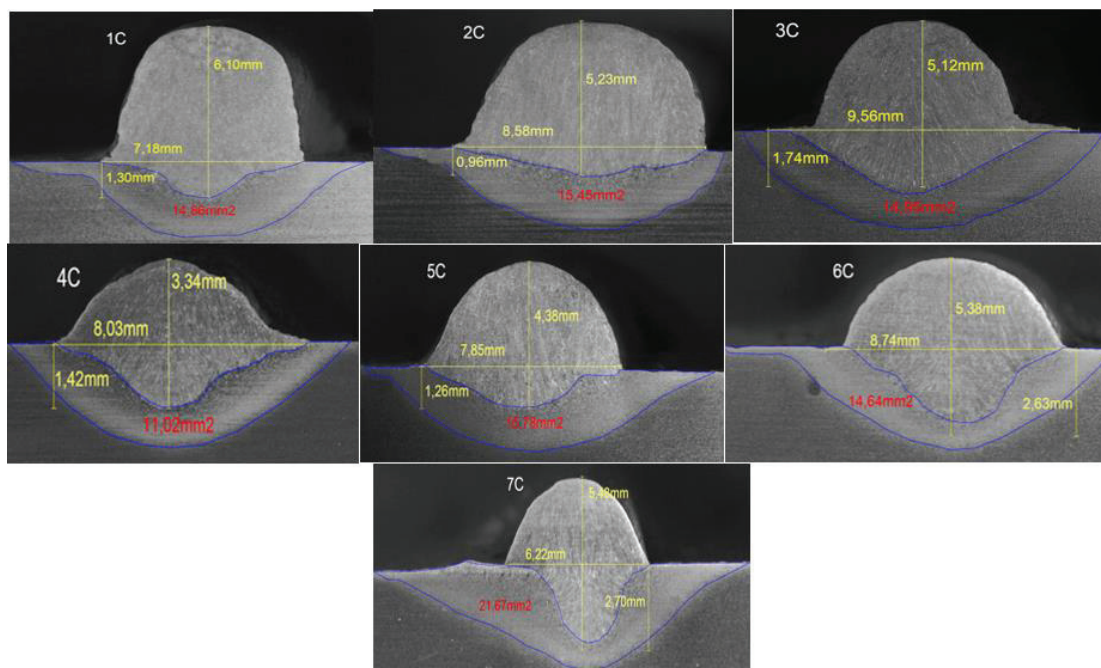
(Fuente propia, 2016)

**Tabla 3.11** Datos depósitos,  $\varnothing$  1,2 mm, stick out 10 mm y protección argón

Mo	Placa A	3064,83	Placa B	3070,15			
N°	Penetración (mm)	Ancho de Cordón (mm)	Zona afectada por el calor ( $\text{mm}^2$ )	Peso con escoria (g)	Peso sin escoria (g)	Aporte (g)	Tasa de Aportación (g/s)
1C	1,30	7,18	14,86	3053,7	3053,62	28,2	0,20
2C	0,96	8,58	15,45	3081,12	3080,91	27,29	0,21
3C	1,74	9,56	14,95	3102,24	3102,15	21,24	0,22
4C	1,42	8,03	11,02	3120,48	3120,25	18,1	0,23
5C	1,26	7,85	15,78	2987,45	2987,32	18,87	0,26
6C	2,63	8,74	14,64	3004,01	3003,94	16,62	0,27
7C	2,73	6,22	21,67	3018,53	3018,45	14,51	0,28

(Fuente propia, 2016)





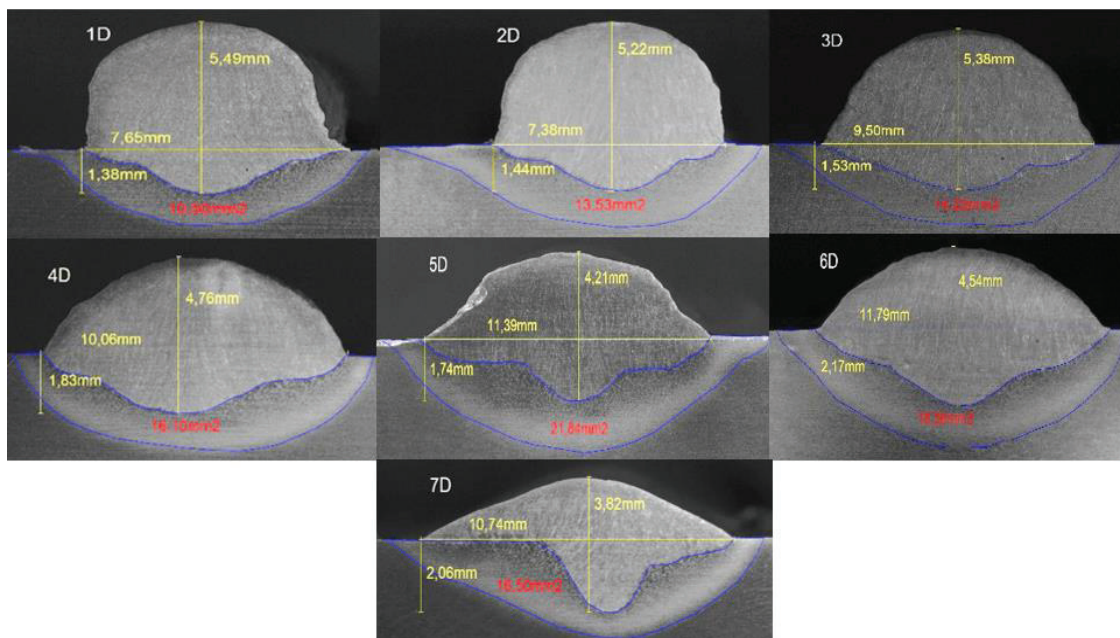
**Figura 3.19** Macrografías depósitos,  $\varnothing$  1,2 mm, stick out 10 mm y protección argón

(Fuente propia, 2016)

**Tabla 3.12** Datos depósitos,  $\varnothing$  1,2 mm, stick out 15 mm y protección argón

Mo	Placa A	3077,98	Placa B	3077,14			
N°	Penetración (mm)	Ancho de Cordón (mm)	Zona afectada por el calor (mm <sup>2</sup> )	Peso con escoria (g)	Peso sin escoria (g)	Aporte (g)	Tasa de Aportación (g/s)
1D	1,38	7,65	10,50	3104,26	3104,18	26,2	0,21
2D	1,44	7,38	13,53	3127,72	3127,42	23,24	0,22
3D	1,53	9,50	14,22	3155,72	3155,47	28,05	0,30
4D	1,83	10,06	16,10	3179,91	3179,76	24,29	0,31
5D	1,74	11,39	21,84	3097,49	3097,31	20,17	0,30
6D	2,17	11,79	19,36	3115,82	3115,55	18,24	0,34
7D	2,06	10,74	16,50	3133,74	3133,7	18,15	0,36

(Fuente propia, 2016)



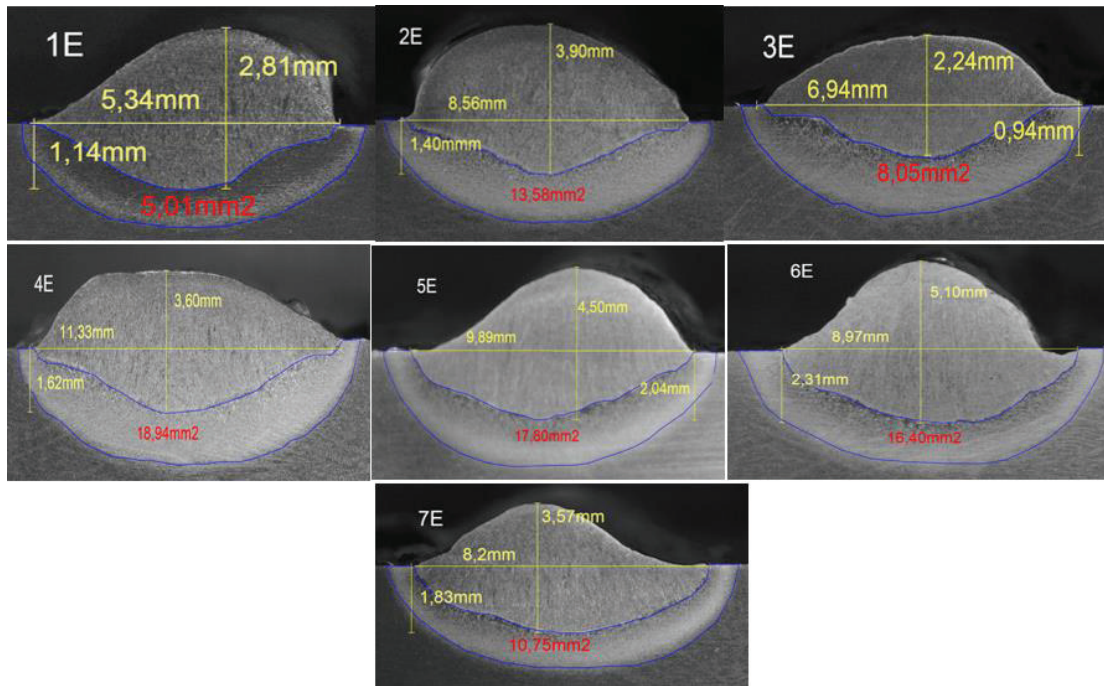
**Figura 3.20** Macrografías depósitos,  $\varnothing$  1,2 mm, stick out 15 mm y protección argón  
(Fuente propia, 2016)

### 3.4.1.2 Características físicas de los depósitos de soldadura GMAW con electrodo de diámetro 0.9 mm

**Tabla 3.13** Datos depósitos,  $\varnothing$  0,9 mm, stick out 10 mm y protección  $CO_2$

Mo	Placa A	3061,72	Placa B	3054,62			
N°	Penetración (mm)	Ancho de Cordón (mm)	Zona afectada por el calor (mm <sup>2</sup> )	Peso con escoria (g)	Peso sin escoria (g)	Aporte (g)	Tasa de Aportación (g)
1E	1,14	5,34	5,01	3072,39	3072,11	10,39	0,052
2E	1,40	8,56	13,58	3088,59	3088,05	15,94	0,092
3E	0,94	6,94	8,05	3106,72	3105,58	17,53	0,118
4E	1,62	11,33	18,94	3121,95	3121,04	15,46	0,118
5E	2,04	9,89	17,80	3069,45	3068,59	13,97	0,131
6E	2,31	8,97	16,40	3082,95	3082,25	13,66	0,145
7E	1,83	8,20	10,75	3094,2	3093,11	10,86	0,147

(Fuente propia, 2016)

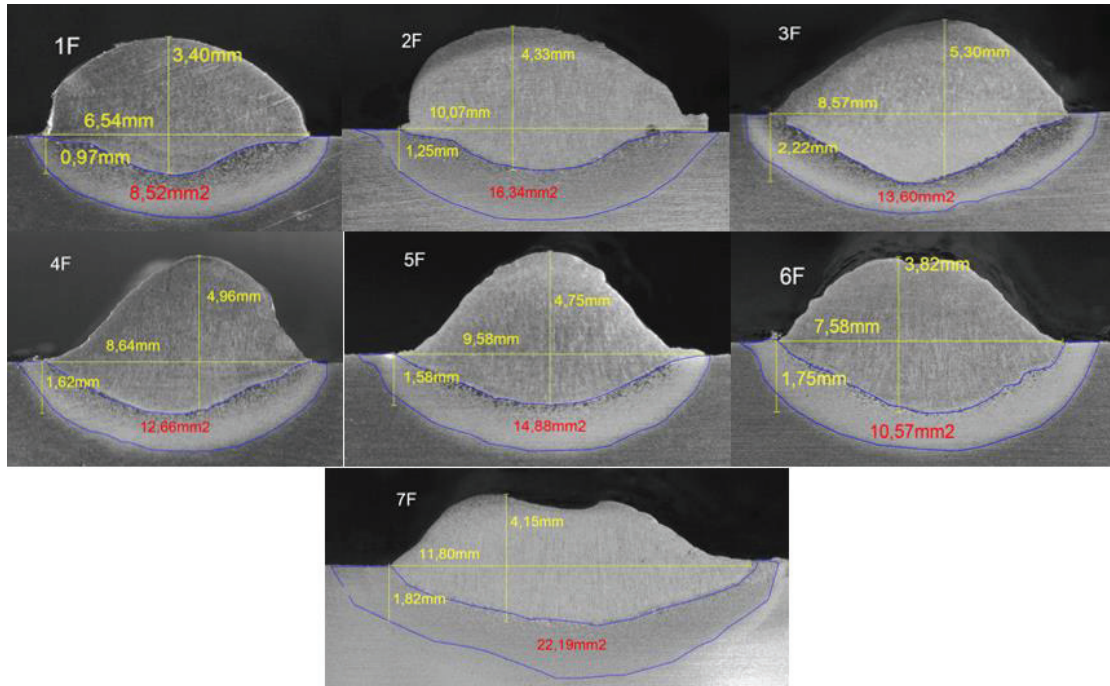


**Figura 3.21** Macrografías depósitos,  $\varnothing$  0,9 mm, stick out 10 mm y protección  $CO_2$   
(Fuente propia, 2016)

**Tabla 3.14** Datos depósitos,  $\varnothing$  0,9 mm, stick out 10 mm y protección  $CO_2$

Mo	Placa A	3072,25	Placa B	2993,56			
N°	Penetración (mm)	Ancho de Cordón (mm)	Zona afectada por el calor (mm <sup>2</sup> )	Peso con escoria (g)	Peso sin escoria (g)	Aporte (g)	Tasa de Aportación (g)
1F	0,97	6,54	8,52	3095,04	3094,58	22,33	0,112
2F	1,25	10,07	16,34	3118,09	3117,33	22,75	0,141
3F	2,22	8,57	13,60	3137,65	3137,21	19,88	0,149
4F	1,62	8,64	12,66	3156,46	3155,55	18,34	0,153
5F	1,58	9,58	14,88	3009,92	3009,12	15,56	0,141
6F	1,75	7,58	10,57	3027,14	3026,31	17,19	0,172
7F	1,82	11,80	22,19	3013,77	3013,03	19,46	0,182

(Fuente propia, 2016)



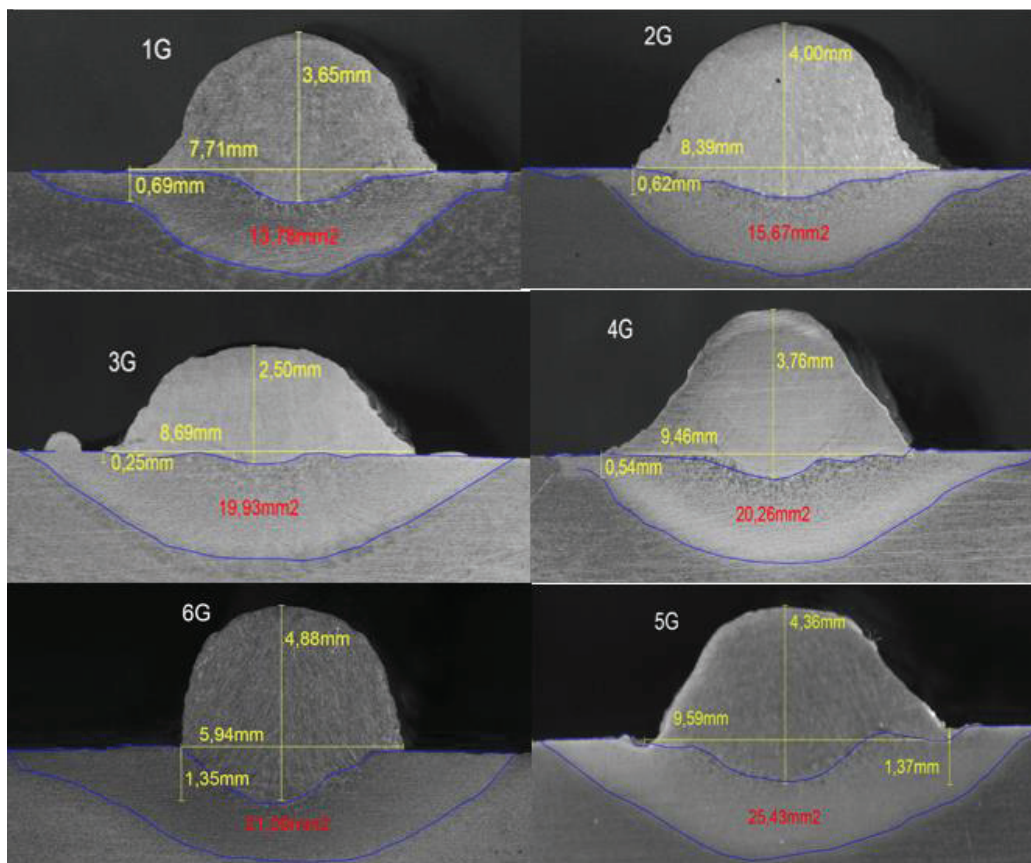
**Figura 3.22** Macrografías depósitos,  $\varnothing$  0,9 mm, stick out 10 mm y protección  $CO_2$

(Fuente propia, 2016)

**Tabla 3.15** Datos depósitos,  $\varnothing$  0,9 mm, stick out 10 mm y protección argón

Mo	Placa A	3063,39	Placa B	2963,97				
N°	Penetración (mm)	Ancho de Cordón (mm)	Zona afectada por el calor (mm <sup>2</sup> )	Peso con escoria (g)	Peso sin escoria (g)	Aporte (g)	Tasa de Aportación (g)	
1G	0,69	7,71	13,78	3081,47	3081.42	18,03	0,090	
2G	0,62	4,00	15,67	3102,43	3102.29	20,87	0,119	
3G	0,25	8,69	19,93	3118,44	3118.26	15,97	0,125	
4G	0,54	9,46	20,26	3137,98	3137.83	19,57	0,166	
5G	1,37	9,59	25,43	2980,63	2980.45	16,48	0,158	
6G	1,35	5,94	21,09	2998,03	2997.9	17,45	0,205	

(Fuente propia, 2016)



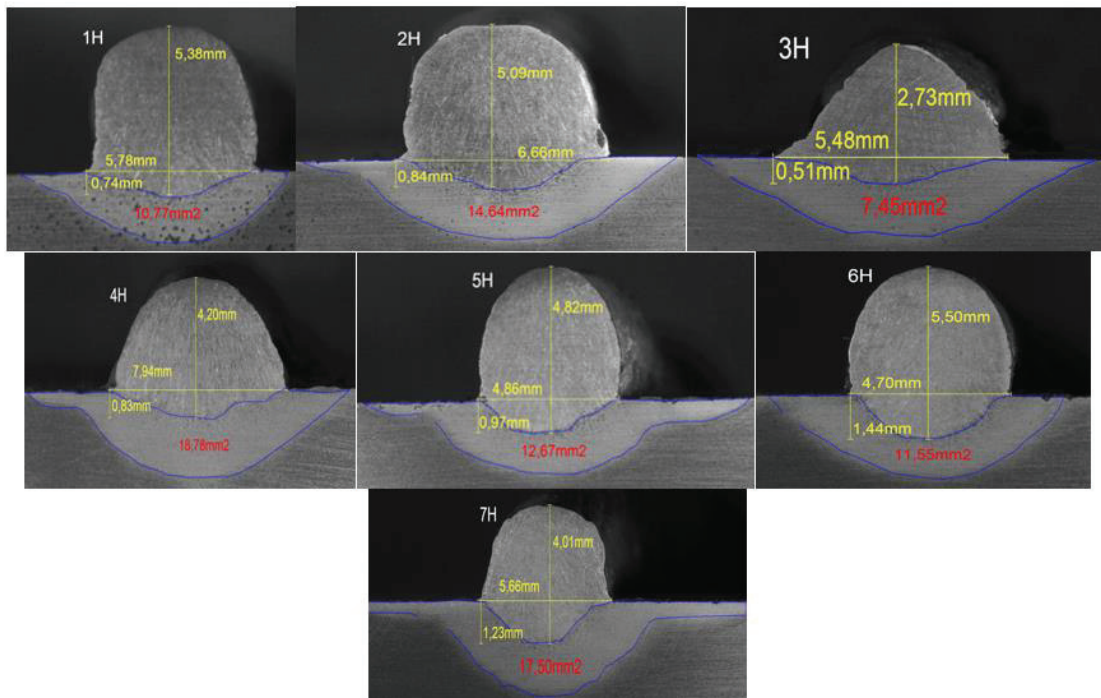
**Figura 3.23** Macrografías depósitos,  $\varnothing$  0,9 mm, stick out 10 mm y protección argón.

(Fuente propia, 2016)

**Tabla 3.16** Datos depósitos,  $\varnothing$  0,9 mm, stick out 15 mm y protección argón

Mo	Placa A	2996,01	Placa B	2947,22			
N°	Penetración (mm)	Ancho de Cordón (mm)	Zona afectada por el calor (mm <sup>2</sup> )	Peso con escoria (g)	Peso sin escoria (g)	Aporte (g)	Tasa de Aportación (g)
1H	0,74	5,78	10,77	3019,39	3019,23	23,22	0,112
2H	0,84	6,66	14,64	3043,59	3043,33	24,10	0,134
3H	0,51	5,48	7,45	3064,42	3063,71	20,38	0,129
4H	0,83	7,94	18,78	3085,36	3085,15	21,44	0,170
5H	0,97	4,86	12,67	2965,59	2965,13	17,91	0,163
6H	1,44	4,70	11,55	2984,40	2984,05	18,92	0,189
7H	1,23	5,66	17,50	3004,06	3003,76	19,71	0,235

(Fuente propia, 2016)



**Figura 3.24** Macrografías depósitos,  $\varnothing 0,9$  mm, stick out 15 mm y protección argón  
(Fuente propia, 2016)

## **CAPÍTULO 4**

### **ANÁLISIS DEL RESULTADO DEL PROCESO EXPERIMENTAL**

En el presente capítulo se presenta el análisis de los datos obtenidos en las probetas realizadas con la variación de los parámetros.

Para un mejor entendimiento del análisis de datos, se procederá a realizar un análisis del aporte de material, en función de las variables primarias de soldadura como son el voltaje, la intensidad, la velocidad de avance y la velocidad de alimentación y posteriormente se realizara una simulación para lo cual nos ayudaremos del programa StatGraphics el cual nos permite relacionar la variable dependiente en nuestro caso la tasa de aportación, con las variables independientes como el voltaje, la intensidad, velocidad de avance y velocidad de alimentación.

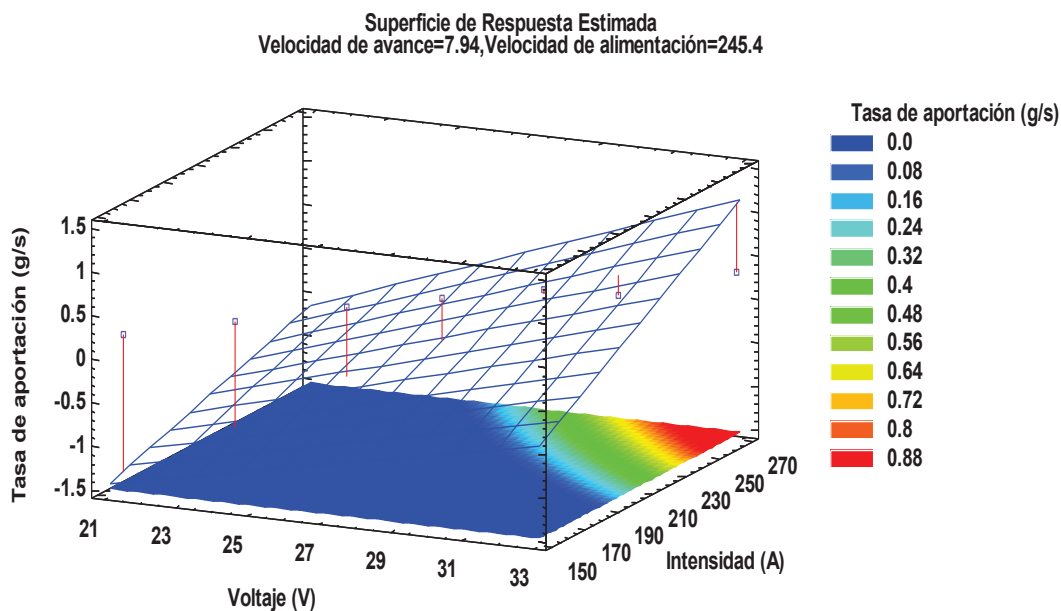
Una vez relacionadas dichas variables el programa nos permite observar el comportamiento de la tasa de aportación respecto a sus variables para posteriormente mediante la simulación obtener el punto óptimo para la misma.

#### **4.1 ANÁLISIS DEL APORTE REALIZADO EN FUNCIÓN DE LAS VARIABLES PRIMARIAS DE SOLDADURA**

Como se mencionó con anterioridad en este apartado se procede al análisis de los depósitos con protección gaseosa de CO<sub>2</sub> y Argón, la comparación se realiza respecto al voltaje, intensidad, velocidad de avance y velocidad de alimentación.

Debemos recordar que para toda la fase experimental siempre se mantuvo la energía útil constante, logrando así tener un parámetro de comparación entre los distintos casos que se verán a continuación.

#### 4.1.1 INFLUENCIA DEL VOLTAJE E INTENSIDAD SOBRE LA TASA DE APORTACIÓN ( $\varnothing$ 1,2 mm, *stick out* 10 mm y protección CO<sub>2</sub>)



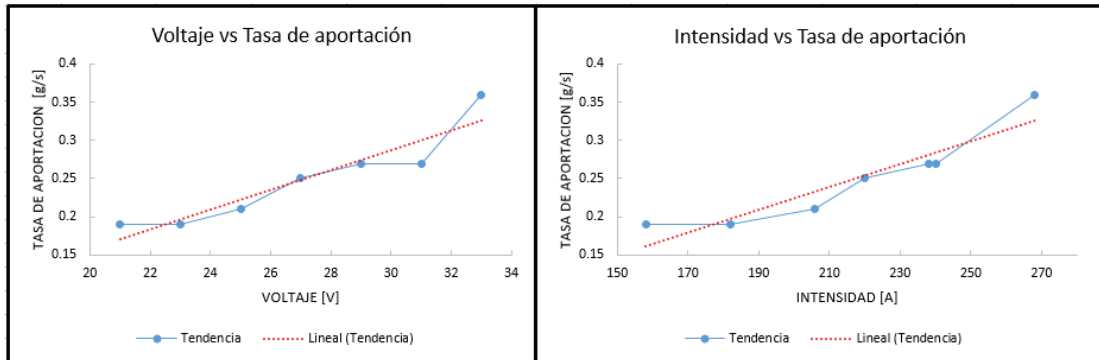
*Figura 4.1 Plano de tendencia de la tasa de aportación*

(Fuente propia, 2016)

Como se puede observar en el análisis la tasa de aportación puede ser explicada por las variables primarias de la soldadura, mostrando así que la tendencia es lineal, creciente y por lo tanto directamente proporcional a cada una de ellas, así tenemos que a medida que aumenta el voltaje aumenta la intensidad, lo cual repercute en el crecimiento de la tasa de aportación.

Además en la figura 4.1 mostrada anteriormente se puede observar una superficie de respuesta estimada la cual refleja una tendencia regional de los valores y que nos permite observar que sucedería con la tasa de aportación en caso de variar algún parámetro.



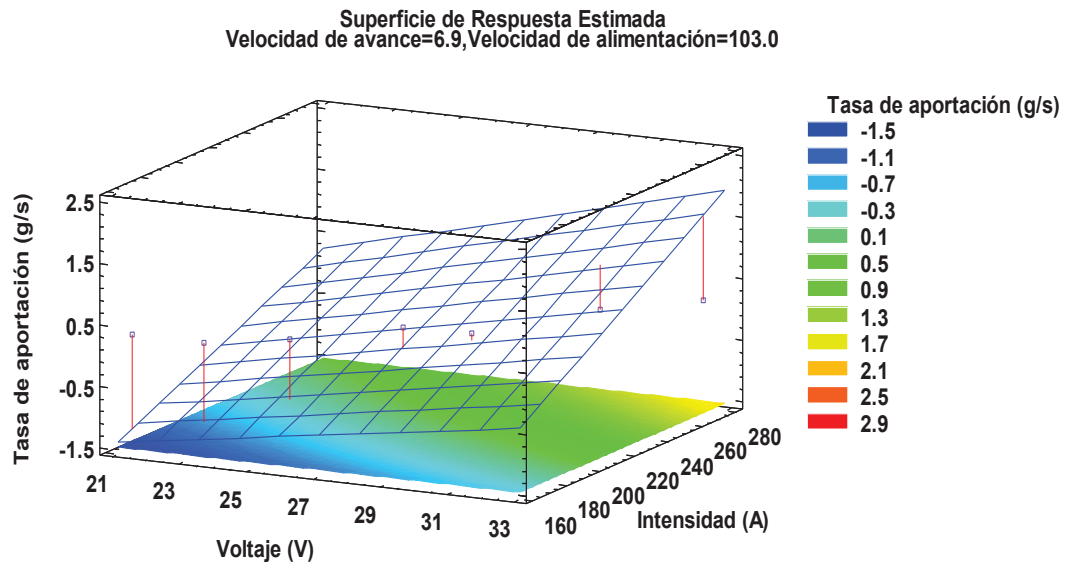


**Figura 4.2** Comportamiento de las variables respecto a la tasa de aportación.

(Fuente propia, 2016)

Se puede corroborar mediante los datos obtenidos en la figura 4.2 como la tasa de aportación aumenta al aumentar el voltaje y la intensidad, aunque se puede notar un par de puntos dispersos, es algo natural en procesos experimentales.

#### 4.1.2 INFLUENCIA DEL VOLTAJE E INTENSIDAD SOBRE LA TASA DE APORTACIÓN ( $\varnothing$ 1,2 mm, *stick out* 15 mm y protección CO<sub>2</sub>)

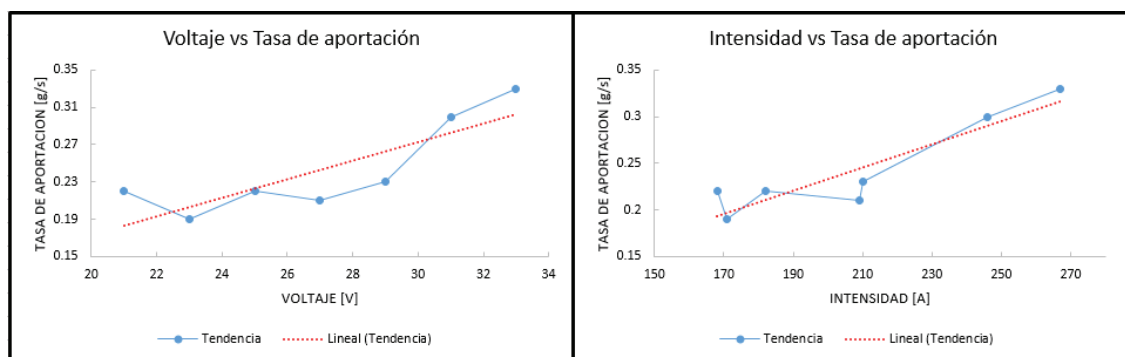


**Figura 4.3** Plano de tendencia de la tasa de aportación

(Fuente propia, 2016)

Del mismo modo que para el caso anterior la figura 4.3 permite observar una tasa de aportación mayor respecto a la anterior solo realizando un cambio en el *stick out*, pero para este caso al aumentar el *stick out* la intensidad también aumenta con lo que se puede concluir que el *stick out* es directamente proporcional a la intensidad.

El aumento en la intensidad genera que el material funda más rápido debido a que al estar a una mayor distancia el electrodo del material base produce una mayor resistencia por lo tanto una mayor necesidad de material a ser depositado.

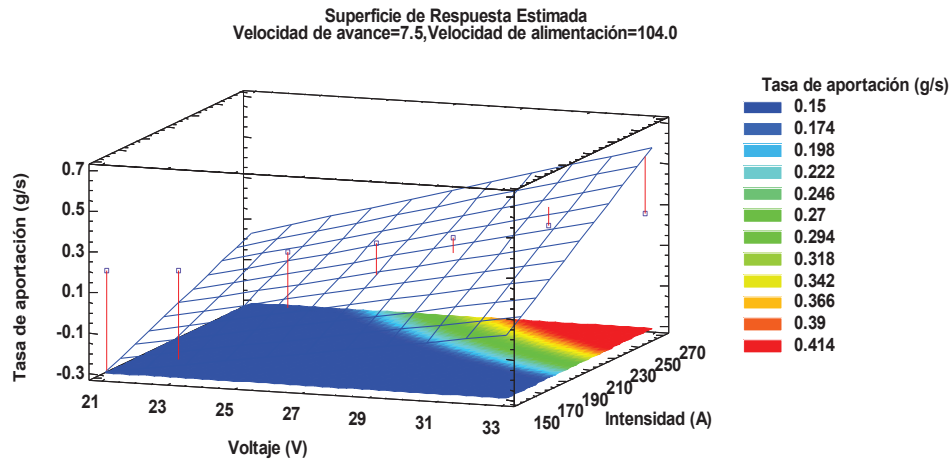


**Figura 4.4** Comportamiento de las variables respecto a la tasa de aportación.

(Fuente propia, 2016)

Como se puede observar en la figura 4.4 para este caso la tasa de aportación es creciente pero con puntos desfasados los cuales pudieron ocurrir por diversos factores tales como una mala lectura en la toma de datos, una mala calibración del equipo o posiblemente problemas en la boquilla al momento de soldar.

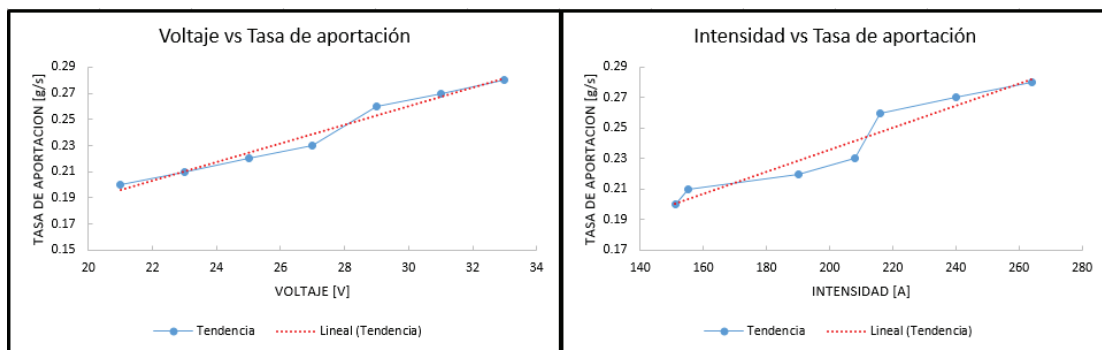
#### 4.1.3 INFLUENCIA DEL VOLTAJE E INTENSIDAD SOBRE LA TASA DE APORTACIÓN ( $\varnothing$ 1,2 mm, *stick out* 10 mm y protección argón)



*Figura 4.5 Plano de tendencia de la tasa de aportación*

(Fuente propia, 2016)

Como se puede observar en la figura 4.5, para este caso al modificar el gas de protección se obtiene cordones con mejor acabado pero se sacrifica la tasa de aportación, es así que se puede observar que para un voltaje e intensidad altos, la tasa de aportación es baja respecto a los casos anteriores, pero aun conservando la tendencia creciente; es decir a mayor voltaje e intensidad mayor será la tasa de aportación.

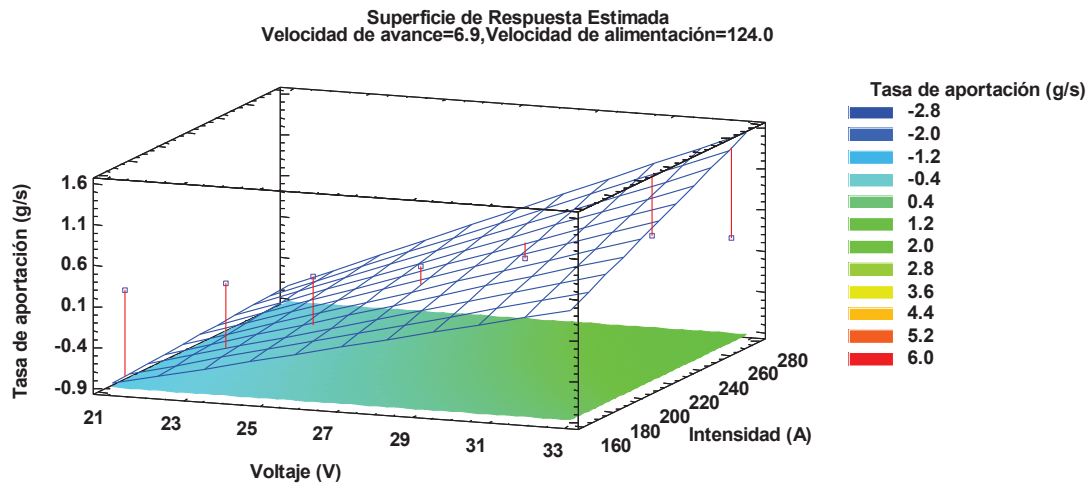


*Figura 4.6 Comportamiento de las variables respecto a la tasa de aportación.*

(Fuente propia, 2016)

Para este tipo de protección se puede observar en la figura 4.6 que es más estable la variación de la tasa de aportación pero más baja respecto a las realizadas con el gas de protección CO<sub>2</sub>.

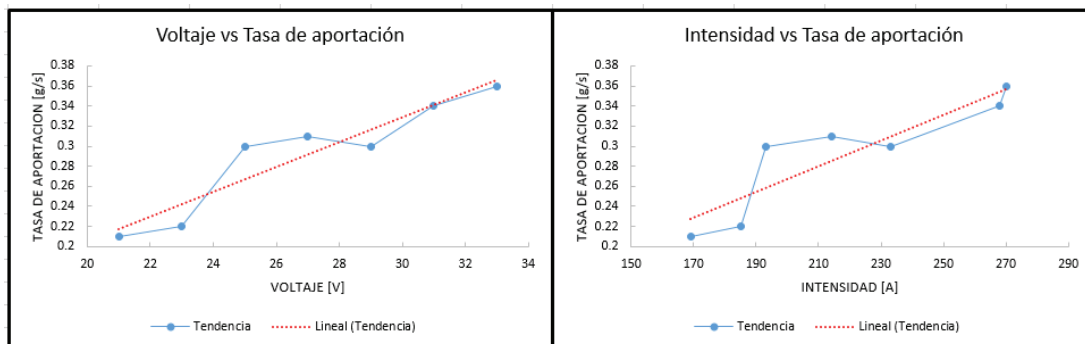
#### 4.1.4 INFLUENCIA DEL VOLTAJE E INTENSIDAD SOBRE LA TASA DE APORTACIÓN (Ø 1,2 mm, *stick out* 15 mm y protección argón)



*Figura 4.7 Plano de tendencia de la tasa de aportación*

(Fuente propia, 2016)

Se puede observar en la figura 4.7 un comportamiento similar respecto a la protección gaseosa de CO<sub>2</sub>, pero para este caso la superficie de análisis presenta una menor tendencia a obtener un punto máximo de la tasa de aportación.



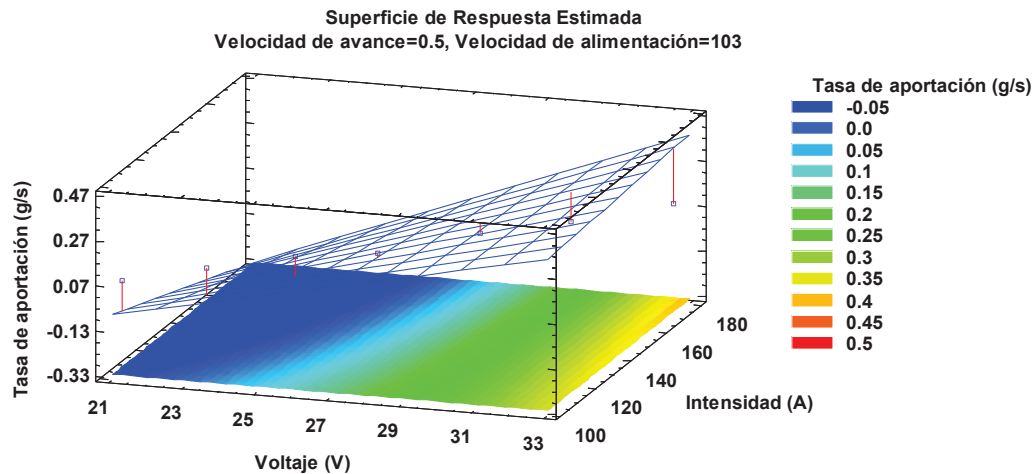
*Figura 4.8 Comportamiento de las variables respecto a la tasa de aportación.*

(Fuente propia, 2016)

En el caso de la figura 4.8 la variación no permanece estable puesto que el gas de protección no provee el suficiente enfriamiento por lo que el material funde mucho más rápido.

Aun así vemos que la tasa de aportación aumenta respecto a la intensidad y el voltaje, manteniendo la tendencia creciente vista en los casos anteriores.

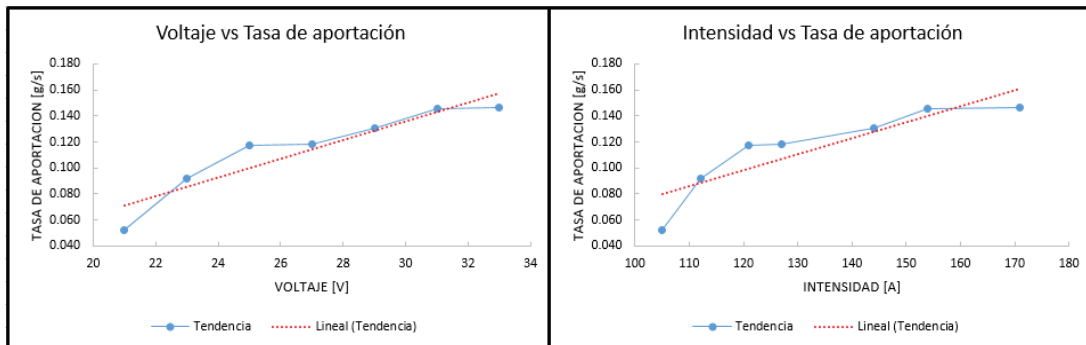
#### 4.1.5 INFLUENCIA DEL VOLTAJE E INTENSIDAD SOBRE LA TASA DE APORTACIÓN ( $\varnothing$ 0,9 mm, *stick out* 10 mm y protección CO<sub>2</sub>)



*Figura 4.9 Plano de tendencia de la tasa de aportación*

(Fuente propia, 2016)

Como se puede observar en la figura 4.9 la superficie de respuesta es similar que para el electrodo de diámetro 1.2 mm se obtiene una tendencia creciente resaltando el punto de mayor intensidad y mayor voltaje.

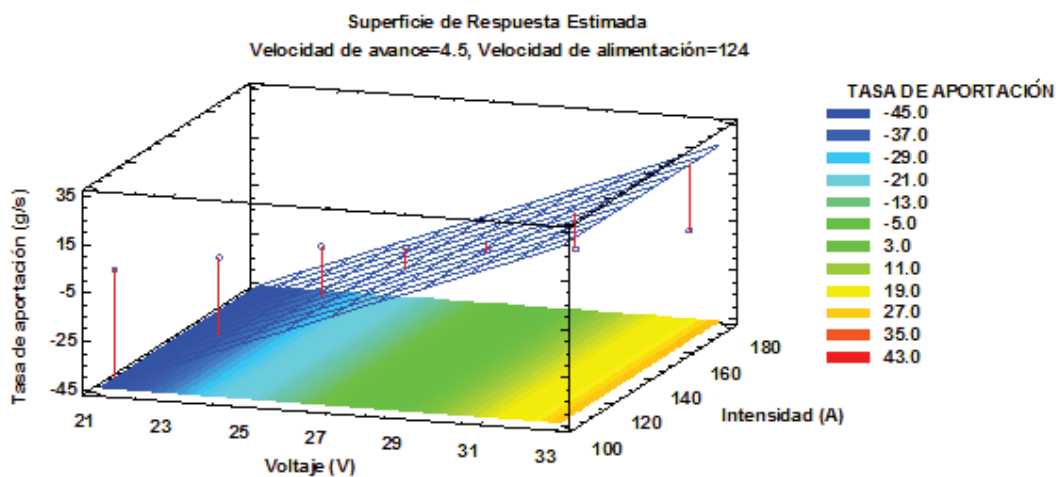


**Figura 4.10** Comportamiento de las variables respecto a la tasa de aportación.

(Fuente propia, 2016)

En la figura 4.10 se tiene para este caso una distribución estable de la tasa de aportación respecto a las variables, remarcando la tendencia creciente de la misma y de una manera más lineal respecto al anterior.

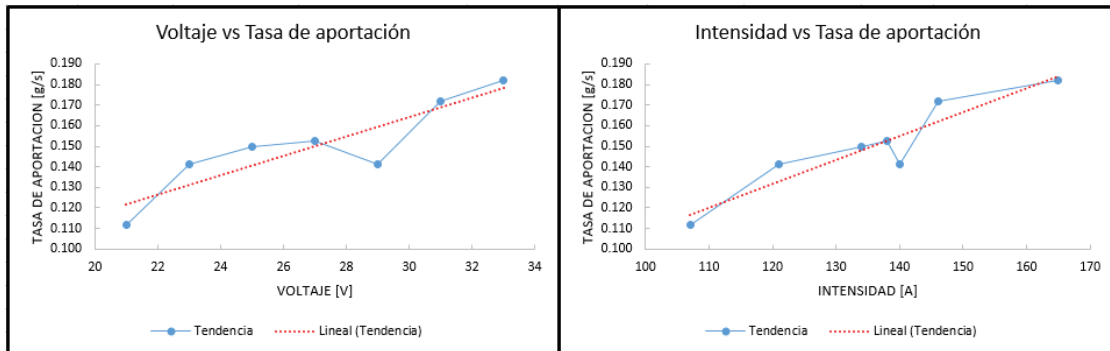
#### 4.1.6 INFLUENCIA DEL VOLTAJE E INTENSIDAD SOBRE LA TASA DE APORTACIÓN ( $\varnothing$ 0,9 mm, *stick out* 15 mm y protección CO<sub>2</sub>)



**Figura 4.11** Plano de tendencia de la tasa de aportación

(Fuente propia, 2016)

La superficie de respuesta que podemos observar en la figura 4.11 nos indica que podremos obtener altas tasas de aportación variando los parámetros, se mantiene la tendencia creciente como se puede observar, para voltaje e intensidad alta mayor será la cantidad de aportación de material.

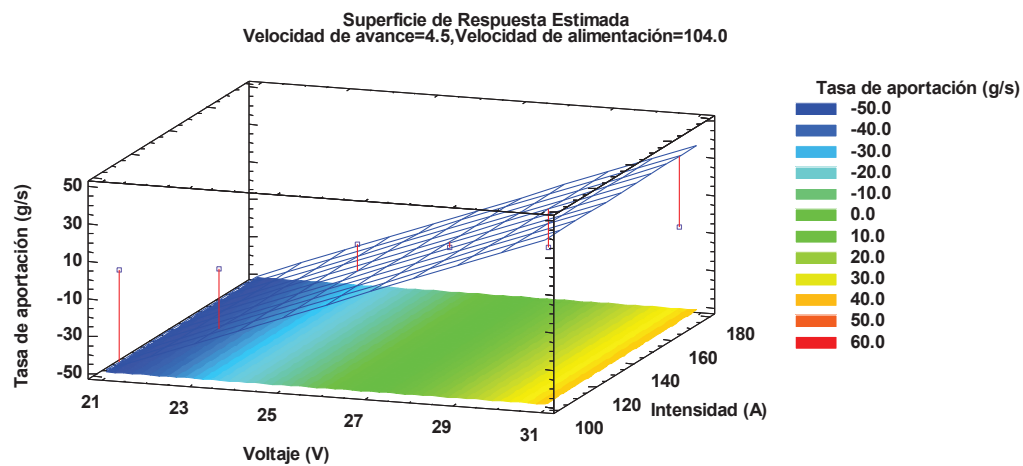


*Figura 4.12 Comportamiento de las variables respecto a la tasa de aportación.*

(Fuente propia, 2016)

De igual manera en la figura 4.12 se puede observar un comportamiento similar a los anteriores, teniendo un desfase propio de la experimentación, el cual no afecta directamente a la tasa de aportación que continua con la tendencia creciente obtenida en los casos anteriores.

#### 4.1.7 INFLUENCIA DEL VOLTAJE E INTENSIDAD SOBRE LA TASA DE APORTACIÓN ( $\varnothing$ 0,9 mm, *stick out* 10 mm y protección argón)

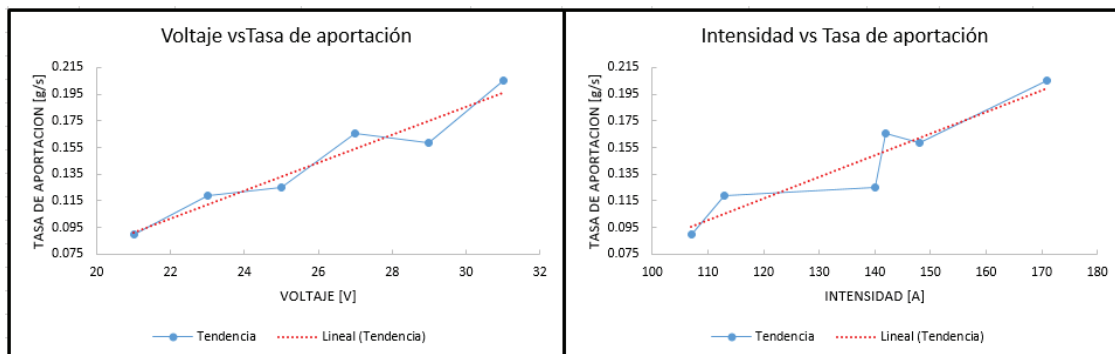


*Figura 4.13 Plano de tendencia de la tasa de aportación*

(Fuente propia, 2016)

Nuevamente conservando lo visto en la teoría se puede apreciar como en la figura 4.13 la tendencia a aumentar la tasa de aportación se mantiene, aún al utilizar un gas de protección diferente se aprecia en la superficie que los cambios no son significativos, es decir que tanto para el CO<sub>2</sub> como para el argón obtendremos los mismos resultados.

La superficie de respuesta indica que aun variando el voltaje y la intensidad obtendremos una tasa de aportación elevada, esto teniendo como límite de hasta 27 voltios, para menores voltajes la tasa de aportación disminuirá conforme disminuyan las variables.



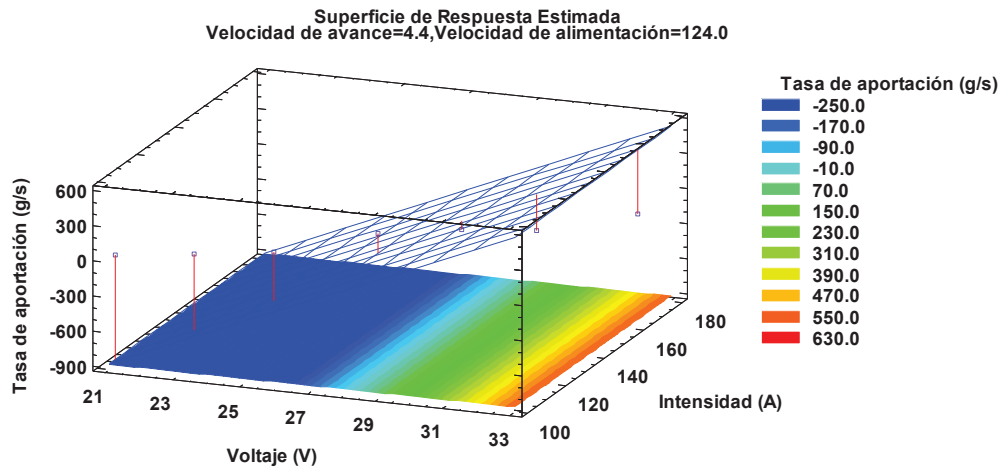
*Figura 4.14 Comportamiento de las variables respecto a la tasa de aportación.*

(Fuente propia, 2016)

El análisis de las gráficas de la figura 4.14 nos permite observar el punto límite de la tasa de aportación para este caso de 27 voltios, luego del cual para valores menores la tasa se reducirá a medida que las variables se reduzcan y se mantendrá en aumento luego del mismo.



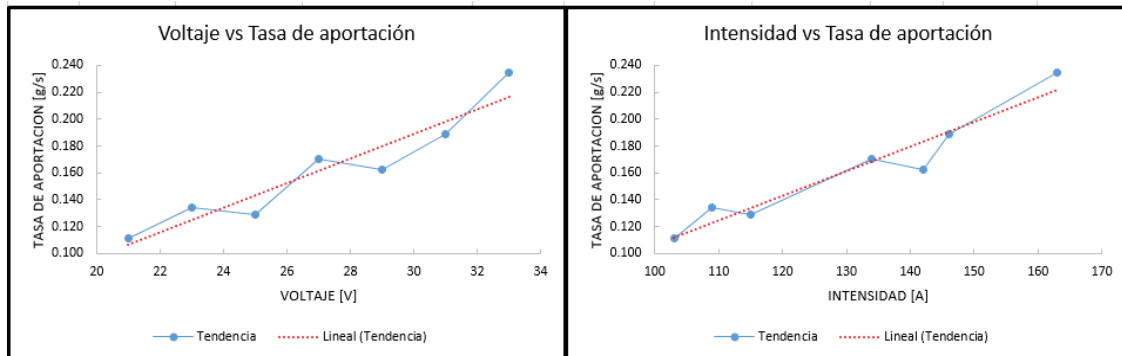
#### 4.1.8 INFLUENCIA DEL VOLTAJE E INTENSIDAD SOBRE LA TASA DE APORTACIÓN ( $\varnothing$ 0,9 mm, *stick out* 15 mm y protección argón)



*Figura 4.15 Plano de tendencia de la tasa de aportación*

(Fuente propia, 2016)

En la figura 4.15 conserva la misma tendencia creciente de la tasa de aportación aunque para este caso aún más remarcada para los valores elevados de las variables se observa la superficie similar a los casos anteriores.



*Figura 4.16 Comportamiento de las variables respecto a la tasa de aportación.*

(Fuente propia, 2016)

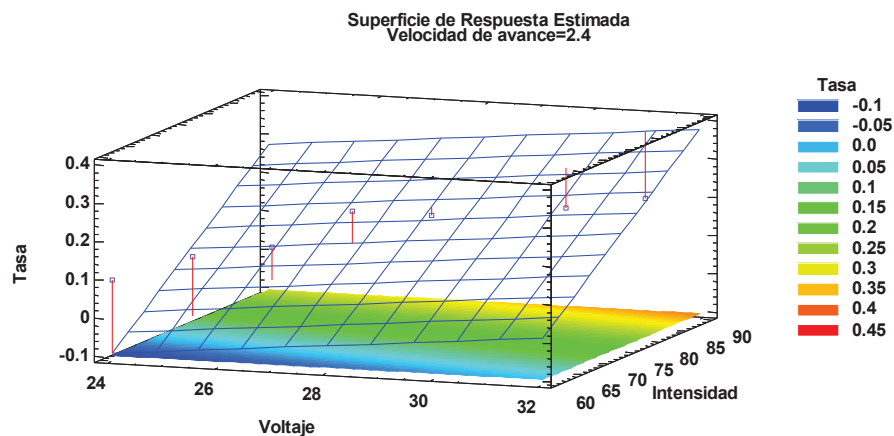
Similar al caso anterior en la figura 4.16 observando lo sucedido en la superficie de respuesta se observa un claro repunte en la tasa de aportación a partir de los 27 voltios, sin embargo para este caso se aprecia que para el mismo punto la intensidad

disminuye lo que viene a representarse en la superficie como un aumento en el cual se conseguirá tasas de aportación elevadas.

## 4.2 COMPARACIÓN RESPECTO AL PROCESO SMAW

En este apartado se procede a comparar los datos obtenidos en el proceso GMAW respecto a los datos recopilados en pruebas hechas mediante el proceso manual SMAW.

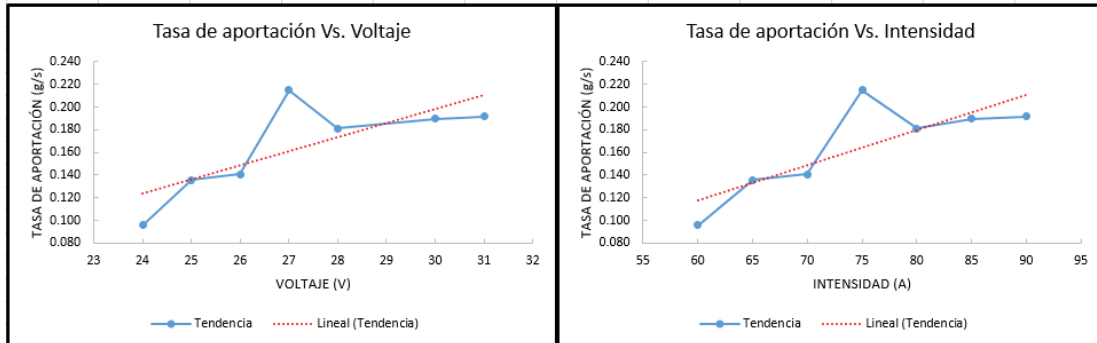
De la misma manera que para el proceso GMAW en este proceso se utilizara el programa StatGraphics para obtener los resultados y proceder con la simulación.



*Figura 4.17* Curva de tendencia de la tasa de aportación (SMAW)

(Fuente propia, 2016)

Como se puede observar en la figura 4.17 de manera un poco similar a los casos anteriores la tasa de aportación aumenta conforme aumentan los valores de las variables, en la superficie de respuesta se puede observar de manera contundente que para valores elevados de voltaje e intensidad la tasa de aportación será mayor.

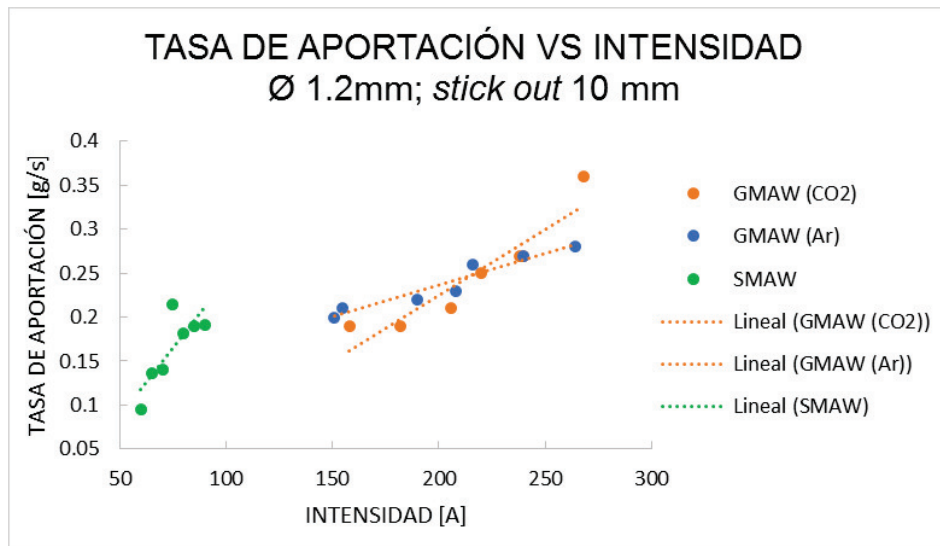


**Figura 4.18** Comportamiento de las variables respecto a la tasa de aportación.

(Fuente propia, 2016)

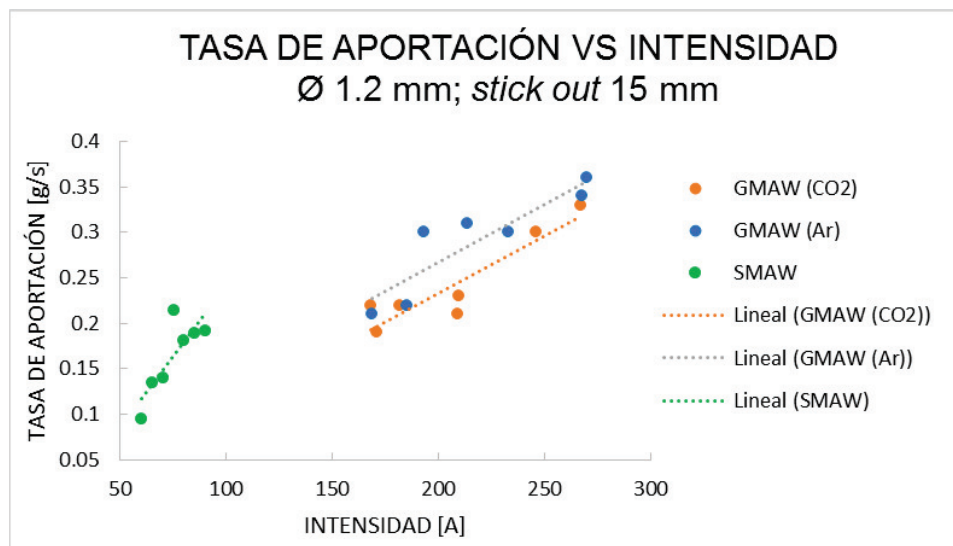
Finalmente podemos observar en la figura 4.18 cómo se comportan las variables principales respecto a la tasa de aportación, donde se puede observar como en el proceso GMAW para una caída de tensión de 27 voltios tenemos un desfase lo que se puede apreciar en la superficie de respuesta como una mayor área en donde se podrá obtener una tasa de aportación alta aun variando los distintos parámetros.

Finalmente al comparar los resultados obtenidos en los dos procesos se puede observar que la tendencia se mantiene, es decir al aumentar los parámetros principales la tasa de aportación aumenta; resaltando como una ligera diferencia que el proceso SMAW provee una menor tasa de aportación respecto al proceso GMAW.



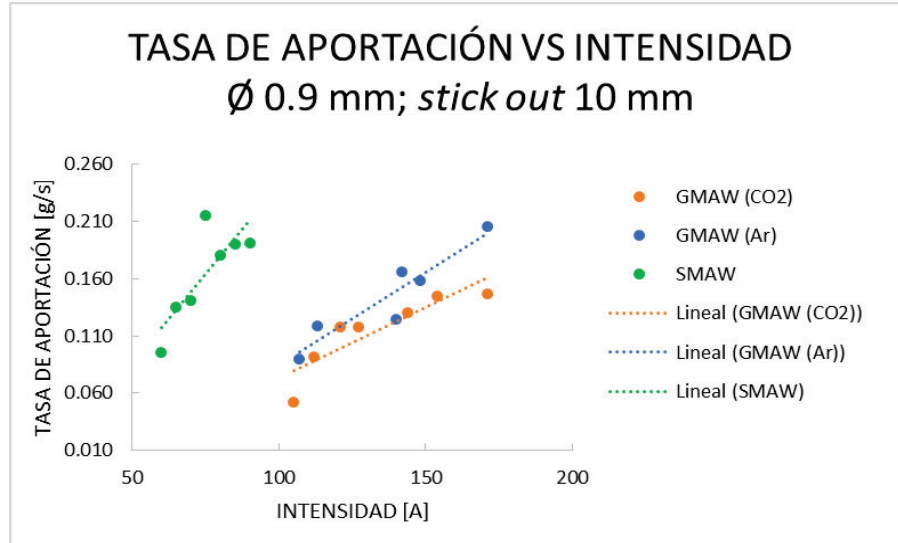
**Figura 4.19** Comparación de la tasa de aportación entre el proceso SMAW y el proceso GMAW con  $\varnothing$  1.2 mm y stick out 10 mm

(Fuente propia, 2016)

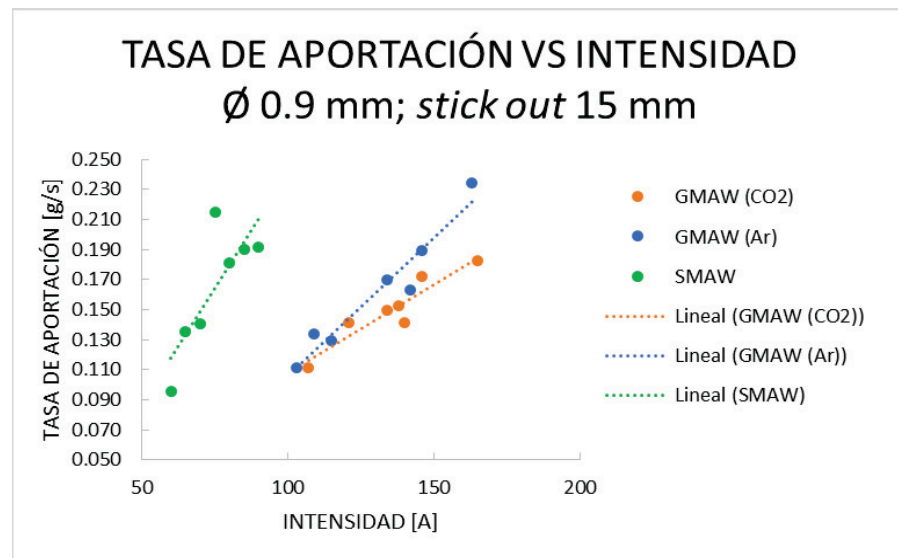


**Figura 4.20** Comparación de la tasa de aportación entre el proceso SMAW y el proceso GMAW con  $\varnothing$  1.2 mm y stick out 15 mm

(Fuente propia, 2016)



**Figura 4.21** Comparación de la tasa de aportación entre el proceso SMAW y el proceso GMAW con Ø 0.9 mm y stick out 10 mm  
(Fuente propia, 2016)



**Figura 4.22** Comparación de la tasa de aportación entre el proceso SMAW y el proceso GMAW con Ø 0.9 mm y stick out 15 mm  
(Fuente propia, 2016)

El diámetro del electrodo tuvo un papel fundamental en este estudio, ya que para un diámetro de 1,2 mm la tasa de aportación fue superior que para el proceso SMAW, pero en cambio para un diámetro menor de 0.9 mm los valores de aportación fueron muy similares en los dos procesos, aun manteniendo el mismo *heat input*.

### 4.3 ANÁLISIS DE LAS MACROGRAFÍAS

En la placa A referirse a la tabla 3.9 y figura 3.17, se puede observar que a medida que va aumentando la tasa de aportación, las características físicas del cordón como son penetración y ancho de cordón aumenta, así como la zona afectada por el calor la cual también va aumentando, aunque hay un punto que no cumple con esta tendencia y presenta valores menores.

En la probeta B o tabla 3.10 y figura 3.18, se puede ver que las características de los cordones van aumentando conforme la tasa de aportación crece, en el caso de la zona afectada por el calor no se puede definir un patrón de comportamiento.

Las macrografías de la placa C cuyos datos se encuentran en la tabla 3.11 y figura 3.19, muestran que la penetración y el ancho de cordón no tienen una tendencia clara, en la zona afectada por el calor nos muestra dos puntos lejanos de la tendencia, el primero es el cordón 4C es un valor pequeño en relación a los otros, el otro punto es el 7C el cual presenta un valor alto en relación a los que se encuentran dentro de la tendencia.

En la figura 3.20 y tabla 3.12 que nos muestra las características de la probeta D, podemos observar un patrón de crecimiento tanto en la penetración como en el ancho de cordón esta tendencia también se puede observar en la zona afectada por el calor, pero solo hasta el cordón 5D, en los dos últimos cordones la zona afectada por el calor disminuye.

La probeta E que corresponde a la tabla 3.13 y a la figura 3.21, muestra valores de penetración y ancho de cordón variables y no presentan una tendencia o patrón definido, lo mismo paso en el análisis de la zona afectada por el calor.

La placa F de las macrografías que sus datos se encuentran en la tabla 3.14 y la figura 3.22, se observa como los valores van aumentando conforme la tasa de aportación lo hace, aunque se puede notar también que el cordón 3F no está dentro de lo que muestran los otros cordones, en el caso de la zona afectada por el calor los valores que se obtuvieron son demasiado variados, esto no permite ver algún tipo de patrón.

Referirse a la tabla 3.15 y figura 3.23, que corresponde a la placa G se puede ver valores de penetración pequeños debido al uso de argón como gas protector, los valores de ancho de cordón crecen al igual que crece la tasa de aportación, aun cuando dos cordones no siguen este crecimiento, por parte de la zona de afectación de calor esta si presenta un incremento constante conforme si va incrementando la tasa de aportación.

En la última serie de cordones de la placa H, cuyos datos se encuentran en la tabla 3.16 y figura 3.24, nos muestran valores de penetración pequeños como en el caso anterior debido a la utilización del argón, los valores de ancho de cordón presentan un crecimiento hasta el cordón 4H y un decrecimiento en 5H, para posteriormente volver a crecer hasta 7H.

#### **4.4 ANÁLISIS FINAL**

Las probetas que se soldaron con un diámetro de electrodo de 1,2 mm en términos generales tuvieron una mayor penetración, con respecto a la tasa de aportación también se obtuvo una mayor a la obtenida con un diámetro de 0,9 mm debido a que dicho electrodo tiene mayor cantidad de material.

Analizando en función del gas de protección las probetas que fueron soldadas con CO<sub>2</sub> tienen una mayor penetración que los cordones que fueron soldados con argón como gas de protección bajo las mismas condiciones, en el caso de la tasa de aportación con respecto a al gas de protección no hay una diferencia considerable, que pudiera hacer que la balanza se incline hacia alguno de los lados, se puede decir que ahí no se sacan ventaja ninguno de los dos, por otro lado la zona afectada por el calor en el caso del argón, se observa que tiene un valor mayor que la zona afectada cuando usamos CO<sub>2</sub>

Estéticamente lo que se puede notar es que cuando se utiliza argón como gas de protección, el cordón obtenido es de mejor calidad, no presenta salpicaduras, debido a la pureza del gas, pero también se puede observar que tiene un perfil de penetración en forma de dedo que es característico del argón, esto hace que la zona húmeda sea menor que la que se genera cuando el gas protector es CO<sub>2</sub>

## CAPÍTULO 5

### DEFINICIÓN DE LA ECUACIÓN DE LA TASA DE APORTACIÓN

En el presente capítulo se procederá a determinar la ecuación que relacione los distintos parámetros con la tasa de aportación, con la ayuda del programa StatGraphics relacionaremos las mismas, para lo cual nos apoyaremos en el método de la regresión lineal o ajuste lineal, el cual es un método matemático utilizado para aproximar la relación de dependencia entre variables.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad (\text{Ec. 5.1}) \text{ (Barón \& Téllez, 2002)}$$

Donde:

$Y$ : variable dependiente

$X_1, X_2, \dots, X_n$ : variable independiente

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ : parámetros que miden la influencia que las variables independientes tienen sobre la dependiente.

$\beta_0$ : es el término constante de la ecuación

$n$ : es el número de parámetros independientes a tener en cuenta en la regresión.

En una situación ideal en la que todos los puntos de un diagrama de dispersión se encuentran en una línea recta, no se tendría que preocupar de encontrar la recta que mejor resume los puntos del diagrama. Simplemente al unir los puntos se tendría la recta con mejor ajuste a la nube de puntos.

Pero en una nube de puntos más real como la de los datos se puede trazar muchas rectas diferentes. Por supuesto, no todas ellas se ajustaran asimismo bien a la nube de puntos. Se debe encontrar la recta capaz de convertir en el mejor representante del conjunto total de puntos.



Existen diferentes procedimientos para ajustar este tipo de funciones, pero la elección que se ha tomado es la recta que hace mínima la suma de los cuadrados de las distancias verticales entre cada punto y la recta.

Esto ayuda a que la recta seleccionada de todas las posibles sea la única que posea la menor distancia entre el punto y una recta vertical a la línea.

## 5.1 REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE ELECTRODO 0.9 mm PROTECCIÓN GASEOSA CO<sub>2</sub>

### Regresión Múltiple - Tasa de aportación (g/s)

Variable dependiente: Tasa de aportación (g/s)

Variables independientes:

- Voltaje (V)
- Intensidad (A)
- Velocidad de avance
- Velocidad de alimentación

Parámetro	Estimación	Error		Valor-P
		Estándar	Estadístico	
CONSTANTE	20.175	109.671	0.183959	0.8710
Voltaje (V)	-2.24109	12.185	-0.183922	0.8710
Intensidad (A)	-0.0011377	0.00443038	-0.256796	0.8213
Velocidad de avance	-0.110876	0.492829	-0.224978	0.8429
Velocidad de alimentación	0.426746	2.30241	0.185347	0.8701

### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0.00621325	4	0.00155331	7.01	0.1287
Residuo	0.00044322	2	0.00022161		
Total (Corr.)	0.00665647	6			

R-cuadrada = 93.3415 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 80.0246 por ciento

Error estándar del est. = 0.0148866

Error absoluto medio = 0.00659025

Estadístico Durbin-Watson = 2.19756 (P=0.1480)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.237301

*Figura 5.1 Regresión lineal proceso GMAW stick out 10 mm*

(Fuente propia, 2016)

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre Tasa de aportación y 4 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es:

$$Ta = 20.175 - 2.24109 * V - 0.0011377 * I - 0.110876 * Va + 0.426746 * Val$$

(Fuente propia, 2016)

### Regresión Múltiple - Tasa de aportación (g/s)

Variante dependiente: Tasa de aportación (g/s)

Variante independientes:

- Voltaje (V)
- Intensidad (A)
- Velocidad de avance
- Velocidad de alimentación

		<i>Error</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimación</i>	<i>Estándar</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
CONSTANTE	-30.1722	53.8001	-0.56082	0.6314
Voltaje (V)	6.03751	10.7797	0.560081	<b>0.6318</b>
Intensidad (A)	0.00095994	0.00169875	0.565088	0.6289
Velocidad de avance	0.00760942	0.0613551	0.124023	0.9126
Velocidad de alimentación	-1.14118	2.03838	-0.559847	0.6319

### **Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.00283495	4	0.000708737	4.69	<b>0.1835</b>
Residuo	0.000302387	2	0.000151193		
Total (Corr.)	0.00313733	6			

R-cuadrada = **90.3617** por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = **71.085** por ciento

Error estándar del est. = **0.0122961**

Error absoluto medio = **0.00540045**

Estadístico Durbin-Watson = 3.05148 (P=**0.6244**)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.534065

*Figura 5.2 Regresión lineal proceso GMAW stick out 15 mm*

(Fuente propia, 2016)

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre Tasa de aportación y 4 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es:

$$Ta = -30.1722 + 6.03751 * V - 0.00095994 * I + 0.00760942 * Va - 1.14118 * Val$$

(Fuente propia, 2016)

## 5.2 REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE ELECTRODO 0.9 mm PROTECCIÓN GASEOSA ARGÓN

### Regresión Múltiple - Tasa de aportación (g/s)

Variable dependiente: Tasa de aportación (g/s)

Variables independientes:

- Voltaje (V)
- Intensidad (A)
- Velocidad de avance
- Velocidad de alimentación

Parámetro	Estimación	Error		Estadístico	Valor-P
		Estándar	T		
CONSTANTE	-61.034	136.481	-0.447199	0.7323	
Voltaje (V)	8.70502	19.502	0.446367	0.7327	
Intensidad (A)	0.00013085	0.00346189	0.0377972	0.9759	
Velocidad de avance	-0.01511	0.103149	-0.146488	0.9074	
Velocidad de alimentación	-1.6422	3.68462	-0.44569	0.7331	

### **Análisis de Varianza**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0.00786999	4	0.0019675	4.50	0.3333
Residuo	0.000437123	1	0.000437123		
Total (Corr.)	0.00830711	5			

R-cuadrada = 94.738 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 73.6898 por ciento

Error estándar del est. = 0.0209075

Error absoluto medio = 0.00752468

Estadístico Durbin-Watson = 2.98809 (P=0.8701)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.609511

*Figura 5.3 Regresión lineal proceso GMAW stick out 10 mm*

(Fuente propia, 2016)

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre Tasa de aportación y 4 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es:

$$Ta = -61.034 + 68.70502 * V + 0.00013085 * I - 0.01511 * Va - 1.6422 * Val$$

(Fuente propia, 2016)

### Regresión Múltiple - Tasa de aportación (g/s)

Variable dependiente: Tasa de aportación (g/s)

Variables independientes:

Voltaje (V)

Intensidad (A)

Velocidad de avance

Velocidad de alimentación

		Error		Estadístico	
Parámetro	Estimación	Estándar	T		Valor-P
CONSTANTE	270.733	75.5271	3.58458		0.0698
Voltaje (V)	-54.1405	15.1011	-3.5852		0.0698
Intensidad (A)	-0.00578349	0.00231998	-2.4929		0.1302
Velocidad de avance	-0.010129	0.0265122	-0.382051		0.7392
Velocidad de alimentación	10.2392	2.85606	3.58507		0.0698

### **Análisis de Varianza**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0.0103157	4	0.00257893	75.92	0.0130
Residuo	0.000067937	2	0.0000339685		
Total (Corr.)	0.0103837	6			

R-cuadrada = 99.3457 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 98.0372 por ciento

Error estándar del est. = 0.00582825

Error absoluto medio = 0.00237719

Estadístico Durbin-Watson = 2.94987 (P=0.9181)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.533538

*Figura 5.4 Regresión lineal proceso GMAW stick out 15 mm*

(Fuente propia, 2016)

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre Tasa de aportación y 4 variables independientes.

La ecuación del modelo ajustado es:

$$Ta = 270.733 + 54.1405 * V + 0.00578349 * I - 0.010129 * Va - 10.2392 * Val$$

(Fuente propia, 2016)

### 5.3 REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE ELECTRODO 1.2 mm PROTECCIÓN GASEOSA CO<sub>2</sub>

#### Regresión Múltiple - Tasa de aportación (g/s)

Variable dependiente: Tasa de aportación (g/s)

Variabes independientes:

- Voltaje (V)
- Intensidad (A)
- Velocidad de avance
- Velocidad de alimentación

		Error	Estadístico	
Parámetro	Estimación	Estándar	T	Valor-P
CONSTANTE	0.671261	0.303752	2.2099	0.1577
Voltaje (V)	-0.0190865	0.0334017	-0.571425	<b>0.6254</b>
Intensidad (A)	-0.0032232	0.00234717	-1.37323	0.3034
Velocidad de avance	0.143018	0.0468216	3.05453	0.0925
Velocidad de alimentación	-0.000684676	0.00157209	-0.435519	0.7057

#### **Análisis de Varianza**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0.0212656	4	0.00531641	25.31	<b>0.0384</b>
Residuo	0.000420084	2	0.000210042		
Total (Corr.)	0.0216857	6			

R-cuadrada = **98.0629** por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = **94.1886** por ciento

Error estándar del est. = **0.0144928**

Error absoluto medio = **0.00625293**

Estadístico Durbin-Watson = 2.94918 (P=**0.2959**)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.494602

*Figura 5.5 Regresión lineal proceso GMAW stick out 10 mm*

(Fuente propia, 2016)

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre Tasa de aportación y 4 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es:

$$Ta = 0.67414 - 0.0197003 * V - 0.00317966 * I + 0.142532 * Va - 0.00154074 * Val$$

(Fuente propia, 2016)

### Regresión Múltiple - Tasa de aportación (g/s)

Variable dependiente: Tasa de aportación (g/s)

Variables independientes:

Voltaje (V)

Intensidad (A)

Velocidad de avance

Velocidad de alimentación

Parámetro	Estimación	Error		Valor-P
		Estándar	Estadístico T	
CONSTANTE	0.749574	0.470525	1.59306	0.2522
Voltaje (V)	-0.0373236	0.0177742	-2.09987	0.1706
Intensidad (A)	-0.00192597	0.00340914	-0.564944	0.6290
Velocidad de avance	0.0745776	0.0884314	0.843338	0.4878
Velocidad de alimentación	0.00432729	0.00454853	0.951362	0.4418

### **Análisis de Varianza**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0.0152114	4	0.00380284	10.40	0.0897
Residuo	0.000731491	2	0.000365746		
Total (Corr.)	0.0159429	6			

R-cuadrada = 95.4118 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 86.2354 por ciento

Error estándar del est. = 0.0191245

Error absoluto medio = 0.00789966

Estadístico Durbin-Watson = 3.37792 (P=0.9055)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.777838

*Figura 5.6 Regresión lineal proceso GMAW stick out 15 mm*

(Fuente propia, 2016)

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre Tasa de aportación y 4 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es:

$$Ta = 0.749574 - 0.0373236 * V - 0.0019259 * I + 0.0745776 * Va + 0.00432729 * Val$$

(Fuente propia, 2016)

## 5.4 REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE ELECTRODO 1.2 mm PROTECCIÓN GASEOSA ARGÓN

### Regresión Múltiple - Tasa de aportación (g/s)

Variable dependiente: Tasa de aportación (g/s)

Variables independientes:

Voltaje (V)

Intensidad (A)

Velocidad de avance

Velocidad de alimentación

		<i>Error</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimación</i>	<i>Estándar</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
CONSTANTE	0.13488	0.109258	1.2345	0.3424
Voltaje (V)	0.0082131	0.00505091	1.62606	0.2455
Intensidad (A)	-0.000872291	0.00068351	-1.27619	0.3300
Velocidad de avance	0.018358	0.0180816	1.01529	0.4168
Velocidad de alimentación	-0.000567824	0.000552923	-1.02695	0.4124

### **Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.00581098	4	0.00145275	38.88	0.0252
Residuo	0.0000747298	2	0.0000373649		
Total (Corr.)	0.00588571	6			

R-cuadrada = 98.7303 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 96.191 por ciento

Error estándar del est. = 0.00611268

Error absoluto medio = 0.00267002

Estadístico Durbin-Watson = 3.5658 (P=0.9242)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.805077

*Figura 5.7 Regresión lineal proceso GMAW stick out 10 mm*

(Fuente propia, 2016)

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre Tasa de aportación y 4 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es:

$$Ta = 0.13488 + 0.0082131 * V - 0.000872291 * I + 0.018358 * Va - 0.000567824 * Val$$

(Fuente propia, 2016)

### Regresión Múltiple - Tasa de aportación (g/s)

Variable dependiente: Tasa de aportación (g/s)

Variabes independientes:

Voltaje (V)

Intensidad (A)

Velocidad de avance

Velocidad de alimentación

		<i>Error</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimación</i>	<i>Estándar</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
CONSTANTE	-19.4368	6.96218	-2.79178	0.1079
Voltaje (V)	3.97317	1.42742	2.78346	0.1085
Intensidad (A)	-0.00270637	0.00263353	-1.02766	0.4122
Velocidad de avance	0.0740668	0.0631337	1.17317	0.3615
Velocidad de alimentación	-0.751118	0.271592	-2.76561	0.1097

### **Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.0189091	4	0.00472727	25.10	0.0387
Residuo	0.000376624	2	0.000188312		
Total (Corr.)	0.0192857	6			

R-cuadrada = 98.0471 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 94.1414 por ciento

Error estándar del est. = 0.0137227

Error absoluto medio = 0.00617093

Estadístico Durbin-Watson = 2.40422 (P=0.3602)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.271629

*Figura 5.8 Regresión lineal proceso GMAW stick out 15 mm*

(Fuente propia, 2016)

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre Tasa de aportación y 4 variables independientes.

La ecuación del modelo ajustado es:

$$Ta = -19.4368 + 3.97317 * V - 0.00270637 * I + 0.0740668 * Va - 0.751118 * Val$$

(Fuente propia, 2016)



## CAPÍTULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 CONCLUSIONES

- El proceso GMAW es uno de los procesos de soldadura más eficientes, limpios, rápidos, a lo largo del desarrollo de este trabajo se observó este fenómeno, puede ser un poco costoso por la utilización de gases de protección pero en general es un proceso excelente ya que no produce casi escoria y eso libera de tener que hacer limpieza a cada instante después de terminar un cordón, comparándola con el procedimiento SMAW se puede decir que este proceso GMAW gana ya que se puede aportar continuamente sin paradas por cambio de electrodo o limpieza de escoria.
- Al observar todas las superficies de análisis y correr la simulación se observa el mismo patrón, donde la tasa de aportación aumenta, si las variables aumentan, con lo que podemos obtener más material aportado si aumentamos tan solo una variable, con lo que podemos utilizar el proceso para realizar cordones de relleno.
- El diámetro del electrodo fue fundamental al momento de comparar los dos tipos de procesos de soldadura, cuando tuvimos un diámetro de 1.2 mm se cumplió la predicción que el proceso con mayor tasa de aportación sería el proceso GMAW, pero cuando cambiamos de electrodo a 0.9 mm esta aseveración se volvió dudosa ya que al analizar los resultados, se obtuvo una ligera diferencia, casi se podría afirmar que bajo estas condiciones el proceso GMAW y SMAW obtuvieron los mismos valores de aportación.
- Si deberíamos elegir bajo qué condiciones se obtiene la mejor combinación de variables, esta sería un electrodo de mayor diámetro posible, ya que esto nos asegura una mayor penetración, e igual una tasa de aportación alta, como gas de protección CO<sub>2</sub> ya que este gas genera una mayor zona húmeda que nos garantiza una mayor área de soldadura y por ende una

mayor resistencia del cordón a las sollicitaciones mecánicas, CO<sub>2</sub> también produce una menor zona afectada por el calor, esta condición es importante para evitar fallas y problemas en el material base.

- Las ecuaciones obtenidas en el presente trabajo nos dan una idea de cómo podría ser el comportamiento de la tasa de aportación dependiendo del tipo de electrodo, diámetro y *stick out* utilizado, con lo que se podría calcular el material necesario para realizar un trabajo determinado, manteniendo los parámetros cercanos a los utilizados en el presente trabajo.
- En manuales de soldadura y hasta en simuladores online de algunas empresas proveedoras de materiales de soldadura, existen ecuaciones para calcular la tasa de aportación en función del diámetro del electrodo, de la densidad del electrodo, del rendimiento de aportación y de la velocidad de aportación, son una buena ayuda al momento de calcular la cantidad de material que se empleara, este trabajo busca complementar dicha información sustentándose en las variables que intervienen en el proceso, porque son ellas las que rigen el comportamiento durante la soldadura, las ecuaciones obtenidas y las existentes difieren en sus componentes o variables con que se calculan, pero en las dos son opciones validas al momento de realizar un cálculo de este tipo .

## 6.2 RECOMENDACIONES

- Para conservar una energía útil constante en el proceso uno de los parámetros de mayor influencia es la velocidad de avance, por lo que se recomienda la utilización de un equipo que permita la calibración sencilla y precisa de este parámetro.
- Para evitar posibles errores en la realización de cordones se debe tomar en cuenta la escoria que el proceso genera al trabajar con el dióxido de carbono, ya que esta puede quedarse incrustada en la boquilla de la pistola lo que evita que el gas fluya de manera uniforme sobre el cordón, y esto podría generar otro tipo de problemas graves tales como discontinuidades.


- El uso de equipo de protección personal siempre será una recomendación en este tipo de estudios, ya que se está trabajando con piezas extremadamente calientes, además se debe usar gafas y mascarilla, para proteger ojos y vías respiratorias.
- Obtener la calibración de los parámetros para una alta eficiencia consume mucho tiempo, el cual se reduce conforme se obtiene experiencia en el proceso.
- Para prácticas futuras del laboratorio de soldadura, puede servir el principio de esta tesis, ya que mediante la diferencia de pesos se puede analizar la aportación en los diferentes procesos de soldadura, dando a los estudiantes una visión completa de cada uno de los procesos y con ello una mejor comprensión de los mismos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Andocilla, A; & Maldonado, D. (2007). Análisis de la transferencia de metal en los procesos GMAW (tesis pregrado), Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Rowe, R; (2008), Manual de soldadura GMAW (MIG-MAG), Madrid, España, Editorial Paraninfo.
- Rodríguez, H;(2012-2016); Fundamentos de la Soldadura MIG-MAG. Sevilla; España. Ingemecanica. Recuperado de <http://ingemecanica.com>
- García, C; Conde, A; Gesto, D y López, A. (2012). Estudio comparativo de la productividad y calidad obtenidas en la soldadura de tubos de calidad T9 empleados en el sector petroquímico, mediante los procesos TIG, HW-TIG y PAW. Soldag.insp. 17(3), 266-267.
- Wesley, C; (2005), AWS A5.18/A5.18M:2005; Florida, USA, 2
- The Lincoln Electric Company. (2016). Gas Metal Arc Welding Guide. Cleveland, USA.: Lincoln Global Inc. Recuperado de <http://www.lincolnelectric.com>
- Lincoln Electric. (2001), Manual del Operador, Cleveland. USA. Recuperado de <http://www.lincolnelectric.com>
- Inspección Especializada de Mecánica General junto al Coordinador Técnico de la Tecnicatura de Soldadura UTU CETP. (2012). Inspección en soldadura. Recuperado de <http://campusvirtual.edu.uy>
- Martínez, E. (2012). Optimización del proceso de soldadura GMAW de uniones a tope de la aleación AA 6063-T5 basada en la metodología de superficie de respuesta y en la geometría del cordón de soldadura. 48(5), 335-341.
- Soldexa. (2012). Manual de soldadura y catálogo de productos. Lima, Perú
- Astralloy. (2008). Soldadura GMAW - MIG/MAG. Alabama. USA. Recuperado de <http://www.astralloymexico.com.mx>
- García, J. (2010), Stathgrapichs Centurion XVI Manual de usuario. USA. StatPoint Technologies.
- Carreño, H. (2014). Tema n° 1. mig-mag 2014. Es.slideshare.net. Retrieved 29 August 2016, from <http://es.slideshare.net/consuerte/tema-n-1-migmag-2014>
- MIG Wires and TIG Cut Lengths | Lincoln Electric. (2016). Lincolnelectric.com. Retrieved 29 August 2016, from <http://www.lincolnelectric.com/en-us/consumables/mig-wires-and-tig-cut-lengths/Pages/mig-wires-and-tig-cut-lengths.aspx>
- Partes de un Soldador MIG/MAG. (2016). De Máquinas y Herramientas. Retrieved 29 August 2016, from <http://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/partes-de-un-soldador-migmag>
- Rodríguez, H. (2012). Soldadura TIG. Ingemecanica.com. Retrieved 29 August 2016, from <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn52.html>

# ANEXOS

## ANEXO 1

 <b>USIMINAS</b> USINAS SIDERÚRGICAS DE MINAS GERAIS S.A. SEDE: BELO HORIZONTE - MG, BRASIL R. AFONSO AUGUSTO DE LIMA, 1511 FONE: (51) 3645-1000 FAX: (51) 3645-1116-346 CHP: (51) 658-7348582-4 INSCRIÇÃO ESTADUAL: 028319184515	<b>INSPECTION CERTIFICATE/PACKING LIST</b> CERTIFICADO DE INSPEÇÃO STEEL PLATE CHAPA GROSSA DO LCG	Customer-Client: Tolerações - Tolerâncias Width-Longitude Length-Comprimento	Lot/Lote: 941346 Order/Venda: 00318446 Item: 25	Date of Issue/Date de Emissão: 18/06/2014 Certificate No./Nº Certificado: 257060	
	Thickness-Espessura: -0,25/+1,02 mm -0,00/+22,00mm Length-Comprimento: -5,00/+41,00mm Folha - Sheet = 15				
	Nominal Dimensions - Dimensões Nominais 1/2x121x481 inch				
	Quality - Qualidade ASTM-A36-12-ASME-SA36-13				

Sample Pos	Dir Y-Z	T5 TS	YS/YS(L) E(L)	U1 U2	F S	P S	SI SI	AI AI	CU CU	CE CE	MO MO	CF CF	NI NI	MB MB	V V	T1 T1	N N
66394601	I	282,4	448	45	25,5												
66394602	I	231,5	445,9	66	27,5												
66394603	I	290,9	430,4	68	29,0												
66394604	I	284,7	432,6	67	28,6												
66394605	I	289,8	438,6	66	28,0												
66394606	I	331,4	451,8	70	24,5												
66394607	I	289,4	436,1	65	29,5												

**Tensile Test - Ensaio de Tracção**

BM = 200 mm Tension Unit - Unidade de Tensao - MZA  
 S - RECTANGULAR

**Chemical Composition (% Weight) - Composicao Quimica (% Peso)**

Heat Analysis	C	Mn	P	S	SI	AI	CU	CE	MO	CF	NI	MB	V	T1	N
571522	0,11	1,05	0,019	0,011	0,247	0,025	0,013	0,3-0,25	0,004	0,028	0,010	0,003	0,000	0,001	0,0032
462218	0,12	1,04	0,020	0,006	0,287	0,239	0,013	0,3-0,25	0,003	0,059	0,011	0,002	0,000	0,001	0,0055
471884	0,12	1,06	0,017	0,017	0,233	0,026	0,013	0,3-0,25	0,002	0,028	0,011	0,003	0,002	0,001	0,0032
452055	0,12	1,05	0,017	0,010	0,261	0,020	0,016	0,3-0,30	0,003	0,029	0,012	0,004	0,003	0,001	0,0037
471823	0,12	1,04	0,011	0,010	0,271	0,021	0,016	0,3-0,25	0,002	0,023	0,010	0,003	0,002	0,001	0,0032

**Carbon Equivalent Formula - Fórmula do Carbono Equivalente**


C<sub>E</sub> = C-Mn/6

Solvey Condition - Condição de Forno

AS ROLLED - COMO LAMINADO

Continua na Folha - Continued on Sheet: 2

Lutz Claudio de Oliveira Meyer  
 SUPERINTENDENTE DE GARANTIA DA QUALIDADE  
 QUALITY ASSURANCE MANAGER




## ANEXO 2

ER 70S-6	AWS/ASME
DIAMETRO	SFA A5.18
COLADA	1.2mm
PESO	0.047 Inch
ENROLLADO	37644
CARRETE	15kg
	PRECISION
	PLASTICO
	22/11/14 05.34

**INDURA®**  
Grupo AIR PRODUCTS


FABRICADO POR: **INDURA S.A.**  
RUT: 91.335.000-6  
Dirección: Av. Las Américas 585,  
Cerrillos, Santiago, Chile.  
Centro de Servicio al Cliente:  
600 600 3030

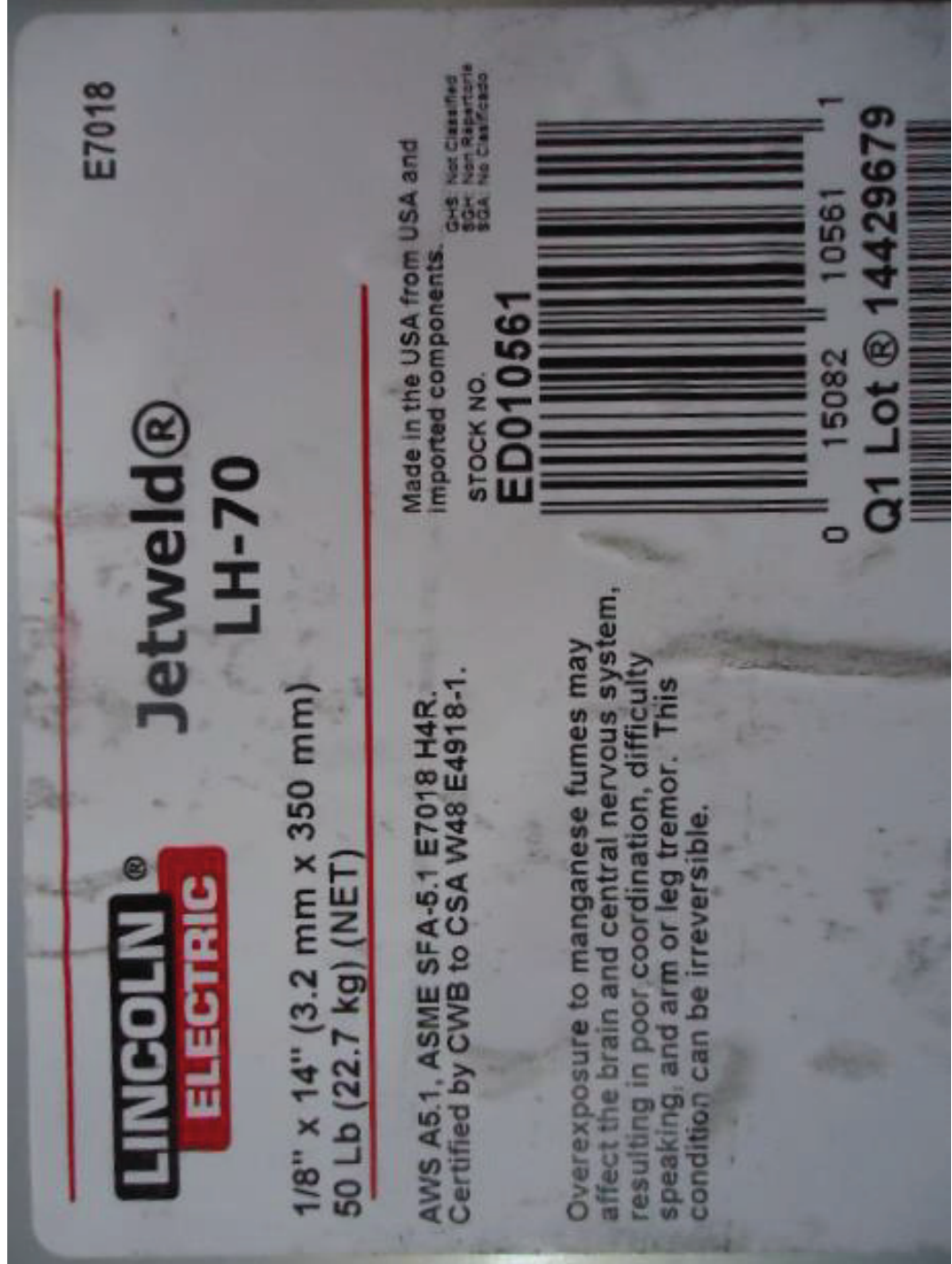
IMPORTADOR:  
Argentina  
INDURA A  
CUIT: 30-6  
Dirección: P  
Km 37.5 Pa  
Buenos Aire  
Centro de S  
0810 810 60

<b>INDURA®</b> Tecnología a su Servicio		Indura S.A. Chile Casa Matriz. Las Américas 585 Cerrillos Santiago Casilla 13850 – Correo 21 Código Postal 9230117 Chile. Teléfonos: 600 600 3030 / 56-02 3300 Fax: 56-02 530 3333														
<b>Certificado de Conformidad</b>		Fecha de descarga: miércoles, 20 de julio de 2016														
<b>Datos del Producto</b>																
Nº de Certificado	: 036831															
Nombre	: INDURA 70S-6 (CHL)															
Diámetro	: "Válido para todos los Diámetros"															
Nº de colada (Hecho en Chile)	: 37644															
AWS A5.18/A5.18M:2005 SFA 5.18M:2005	: ER70S-6															
<b>Análisis Químico</b>																
Elemento	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Fe	Co	Al	Ti	Nb	W
AWS A5.18/A5.18M:2005 SFA 5.18M:2005	0,06 --- 0,15	1,4 --- 1,85	0,8 --- 1,15	0,025	0,035	0,5	0 --- 0,15	0 --- 0,15	0 --- 0,15	0,03						
<b>INDURA 70S-6 (CHL)</b>	0,07	1,44	0,849	0,012	0,014	0,03	0,042	0,043	0,005	0,014						
(*) Valores únicos indicados en la especificación son máximos. (**) Valores en % en peso.																
<b>Propiedades Mecánicas</b>																
Nivel de Ensayo	F															
Resistencia a la Tracción (MPa).	545															
Límite de Fluencia (MPa).	440															
Elongación (%).	32															
Reducción de Área (%)	---															
Ensayo Impacto (-30°C) (Joule)	65															
Ensayo Filete	OK															
Ensayo de Doblado	Cara	OK														
	Raíz	OK														
Ensayo Soldabilidad	OK															
Ensayo Radiográfico	OK															
Humedad (%)	---															
<p><b>NOTA:</b> Este certificado indica que el producto nombrado y con el número de lote indicado pertenece a la misma clasificación y proceso de fabricación que el material que fue utilizado para las pruebas, cuyos resultados se muestran. Todas las pruebas requeridas por las especificaciones para la clasificación fueron realizadas y el material aprobó todos los requisitos. Es fabricado y suministrado bajo el sistema de calidad de INDURA, que cumple los requisitos de la norma ISO 9001 (Certificado N°SQA 703034) y de la norma AWS. Debido a que INDURA S.A está mejorando constantemente sus productos, se reserva el derecho de cambiar el diseño y/o las especificaciones sin aviso previo. La información contenida se presenta solamente como "típica" y sin garantía. INDURA no se hace responsable ante cualquier hecho basado en estos datos. Los datos "típicos" son obtenidos cuando están soldados y probados de acuerdo con la especificación de la AWS. Otras pruebas y procedimientos pueden producir diversos resultados.</p>																
 <hr/> Mauricio Ibarra E. Gerente de Investigación y Desarrollo																
arbp																

## ANEXO 3



INDURA® Tecnología a su Servicio		Indura S.A. Chile Casa Matriz: Las Américas 585 Cerrillos Santiago Casilla 13850 - Correo 21 Código Postal 9230117 Chile. Teléfonos: 600 600 3030 / 56-02 3000 Fax: 56-02 530 3333														
<b>Certificado de Conformidad</b>		Fecha de descarga: miércoles, 20 de julio de 2016														
<b>Datos del Producto</b>																
N° de Certificado	: 036853															
Nombre	: INDURA 70S-6 (CHL)															
Diametro	: "Válido para todos los Diámetros"															
N° de colada (Hecho en Chile)	: 32735															
AWS A5.18/A5.18M:2005 SFA 5.18M:2005	: ER70S-6															
<b>Análisis Químico</b>																
Elemento	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Fe	Co	Al	Ti	Nb	W
AWS A5.18/A5.18M:2005 SFA 5.18M:2005	0,06 ---	1,4 ---	0,8 ---	0,025	0,035	0,5	0 ---	0 ---	0 ---	0,03						
INDURA 70S-6 (CHL)	0,064	1,43	0,889	0,019	0,011	0,049	0,039	0,024	0,002	0,016						
(*) Valores Únicos indicados en la especificación son máximos. (**) Valores en % en peso.																
<b>Propiedades Mecánicas</b>																
Nivel de Ensayo	F															
Resistencia a la Tracción (MPa).	545															
Límite de Fluencia (MPa).	440															
Elongación (%).	32															
Reducción de Área (%)	---															
Ensayo Impacto (-30°C) (Joule)	65															
Ensayo Filete	OK															
Ensayo de Doblado	Cara															
	Raíz															
Ensayo Soldabilidad	OK															
Ensayo Radiográfico	OK															
Humedad (%)	---															
<p><b>NOTA:</b> Este certificado indica que el producto nombrado y con el número de lote indicado pertenece a la misma clasificación y proceso de fabricación que el material que fue utilizado para las pruebas, cuyos resultados se muestran. Todas las pruebas requeridas por las especificaciones para la clasificación fueron realizadas y el material aprobó todos los requisitos. Es fabricado y suministrado bajo el sistema de calidad de INDURA, que cumple los requisitos de la norma ISO 9001 (Certificado N°SQA 703034) y de la norma AWS. Debido a que INDURA S.A está mejorando constantemente sus productos, se reserva el derecho de cambiar el diseño y/o las especificaciones sin aviso previo. La información contenida se presenta solamente como "típica" y sin garantía. INDURA no se hace responsable ante cualquier hecho basado en estos datos. Los datos "típicos" son obtenidos cuando están soldados y probados de acuerdo con la especificación de la AWS. Otras pruebas y procedimientos pueden producir diversos resultados.</p>																
 Mauricio Ibarra E. Gerente de Investigación y Desarrollo																
arbp																



E7018

**LINCOLN<sup>®</sup>**  
**ELECTRIC**

**Jetweld<sup>®</sup>**  
**LH-70**

1/8" x 14" (3.2 mm x 350 mm)  
50 Lb (22.7 kg) (NET)

AWS A5.1, ASME SFA-5.1 E7018 H4R.  
Certified by CWB to CSA W48 E4918-1.

Overexposure to manganese fumes may affect the brain and central nervous system, resulting in poor coordination, difficulty speaking, and arm or leg tremor. This condition can be irreversible.

Made in the USA from USA and imported components.

GS: Not Classified  
SC: Non-Reportable  
SGA: No Classification

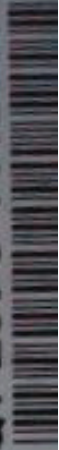
STOCK NO.

**ED010561**



0 15082 10561 1

**Q1 Lot<sup>®</sup> 14429679**





The Lincoln Electric Company  
23801 St. Clair Avenue  
Cleveland, Ohio 44117-1199

Product: Jetweld® LH-70

Classification: E7018, E7018 HAR

Specification: AWS A5.1:2012, ASME SFA-5.1

Date: July 15, 2015

Q1 Lot Number: 14429679

**CERTIFICATE OF CONFORMANCE**  
(APPLIES ONLY TO U.S. PRODUCTS)



This is to certify that the product named above and supplied on the referenced order number is of the same classification, manufacturing process, and material requirements as the material which was used for the test that was concluded on the date shown, the results of which are shown below. All tests required by the specifications shown for classification were performed at that time and the material tested met all requirements. It was manufactured and supplied according to the Quality System Program of the Lincoln Electric Company, Cleveland, Ohio, U.S.A., which meets the requirements of ISO9001, NCA3800, AWS A5.01, and other specification and Military requirements, as applicable. The Quality System Program has been approved by ASME, ABS, and VGTUV.

Operating Settings		E7018 HAR Requirements				RESULTS					
		5/32 inch		3/16 inch		5/32 inch		3/16 inch		3/16 inch	
Electrode Size		AC		AC		DC+		AC		DC+	
Polarity		19 (3/4)		19 (3/4)		19 (3/4)		19 (3/4)		19 (3/4)	
Plate Thickness, mm (in)		180		180		160		240		220	
Current, A		18/9		18/8				14/7		14/7	
Pass/Layers								120 (250)		120 (250)	
Preheat Temperature, °C (°F)	(225 min.)	120 (250)		120 (250)		As-welded		165 (325)		165 (325)	
Interpass Temperature, °C (°F)	(225 - 350)	As-welded		As-welded		As-welded		As-welded		As-welded	
Postweld Heat Treatment											
<b>Mechanical properties of weld deposits</b>											
Tensile Strength, MPa (ksi)	(70 min.)	540 (78)		560 (79)		510 (74)		510 (74)		510 (74)	
Yield Strength, 0.2% Offset, MPa (ksi)	(68 min.)	420 (62)		430 (62)		410 (59)		410 (59)		420 (61)	
Elongation %	22 min.	30		32		29		29		33	
Average Impact Energy	(20 min.)	180 (133)		184 (136)		232 (171)		232 (171)		205 (151)	
Joules @ -20 °C (ft-lbs @ -20 °F)		169,176,195 (125,130,144)		180,186,187 (133,137,138)		201,239,255 (148,176,188)		201,239,255 (148,176,188)		189,211,215 (140,165,169)	
Average Hardness, HRB	Not Required	85		84		83		83		83	

Chemical composition of weld deposits (weight %)		0.15 max.		1.27		0.08		0.07		0.05	
C		1.22		1.37		1.18		1.18		1.23	
Mn		0.38		0.44		0.52		0.52		0.55	
Si		0.008		0.007		0.008		0.009		0.009	
S		0.011		0.011		0.011		0.008		0.007	
P		0.02		0.02		0.03		0.03		0.03	
Cr		0.01		0.01		0.03		0.03		0.03	
Ni		0.00		0.00		0.01		0.01		0.01	
Mo		0.00		0.00		0.03		0.03		0.03	
V		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00	
B		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000	
Mn+Ni+Cr+Mo+V	Not Required	1.75 max.		1.40		1.27		1.40		1.32	

The Lincoln Electric Company  
 22801 St. Clair Avenue  
 Cleveland, Ohio 44117-1199

**CERTIFICATE OF CONFORMANCE**  
 (APPLIES ONLY TO U.S. PRODUCTS)

Q1 Lot Number: 14429679



Product: Jetweld® JH-70  
 Classification: E7018, E7018 HAR  
 Specification: AWS A5.1:2012, ASME SFA-5.1  
 Date: July 15, 2015

Operating Settings	E7018 HAR Requirements	RESULTS
Electrode Size	1/4 inch AC	1/4 inch DC+
Polarity		
Plate Thickness, mm (in)	25 (1)	25 (1)
Current, A	340	330
Pass/Layers	20/10	20/10
Preheat Temperature, °C (°F)	120 (250)	120 (250)
Interpass Temperature, °C (°F)	185 (325)	175 (350)
Postweld Heat Treatment	As-welded	As-welded

**Mechanical properties of weld deposits**

Tensile Strength, MPa (ksi)	490 (71)	490 (70)
Yield Strength, 0.2% Offset, MPa (ksi)	400 (58)	410 (59)
Elongation %	29	32
Average Impact Energy Joules @ -20 °C (ft-lbs @ -20 °F)	275 (203)	292 (215)
Average Hardness, HRB	268,273,293 (190,202,216)	284,292,300 (209,215,221)
	Not Required	82

**Chemical composition of weld deposits (weight %)**

C	0.15 max.	0.05	0.04
Mn	1.60 max.	1.04	1.02
Si	0.75 max.	0.40	0.41
S	0.035 max.	0.009	0.009
P	0.035 max.	0.007	0.007
Cr	0.20 max.	0.02	0.02
Ni	0.30 max.	0.01	0.01
Mo	0.30 max.	0.01	0.01
V	0.08 max.	0.02	0.02
B	Not Required	0.000	0.000
Mn+Ni+Cr+Mo+V	1.75 max.	1.10	1.09

Diffusible Hydrogen (per AWS A4.3)	E7018 HAR Requirements	RESULTS
Electrode Size		
Polarity		
Diffusible Hydrogen, mL/100g Absolute Humidity (grains moisture/lb dry air)	4 max. 3/32 inch AC 2 77	3/32 inch DC+ 2 77
Moisture		
Electrode Size		
Coating moisture - As received	0.3 max.	0.1
Coating moisture - Humidified	0.4 max.	0.2

The Lincoln Electric Company  
22801 St. Clair Avenue  
Cleveland, Ohio 44117-1199

**CERTIFICATE OF CONFORMANCE**  
(APPLIES ONLY TO U.S. PRODUCTS)

Q1 Lot Number: 14429679

Product: **Jeweld® LH-70**  
Classification: **E7018, E7018 H4R**  
Specification: **AWS A5.1.2012, ASME SFA-5.1**  
Date: **July 15, 2015**



1. This certificate complies with the requirements of EN 10204, Type 2.2.
2. The electrode sizes required to be tested for this classification are 5/32 inch, 3/16 inch and 1/4 inch. All other sizes manufactured will also meet these requirements.
3. Test assembly constructed of ASTM A36 steel.
4. Fillet Weld Test (positions as required): Met requirements.
5. Radiographic Inspection: Grade 1 - Met requirements.
6. Results below the detection limits of the instrument or lower than the precision required by the specification are reported as zero. Strength values in SI units are reported to the nearest 10 MPa converted from actual data. Preheat and interpass temperature values in SI units are reported to the nearest 5 degrees.

*Toronto Cunningham* July 15, 2015 Date  
Toronto Cunningham, Certification Supervisor

*Dave Fink* July 16, 2015 Date  
Dave Fink, Manager, Compliance Engineering, Consumable R&D