



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

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

**TEMA: ANÁLISIS DE PRODUCTIVIDAD Y RENDIMIENTO
DE ELECTRODOS E6011, E6010, E7018 PARA PROCESO
SMAW**

AUTORES

ARAUJO VIZUETE, DANIEL EDUARDO

GÁLVEZ POZO, PABLO ESTEBAN

DIRECTOR: ING. PATRICIO RIOFRÍO MSc.

SANGOLQUÍ

2015



DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA: Ingeniería mecánica
CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “ANÁLISIS DE PRODUCTIVIDAD Y RENDIMIENTO DE ELECTRODOS E-6011, E-6010 Y E-7018 PARA PROCESO SMAW” realizado por los señores Daniel Eduardo Araujo Vizuite y Pablo Esteban Gálvez Pozo, ha sido revisado en su totalidad, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores Daniel Eduardo Araujo Vizuite y Pablo Esteban Gálvez Pozo para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, Diciembre del 2015

Ing. Patricio Riofrío MSc.
Director



DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA: Ingeniería mecánica

Autoría de Responsabilidad:

Nosotros, Daniel Eduardo Araujo Vizuite con cédula de identidad N° 172019708-4 y Pablo Esteban Gálvez Pozo con cédula de identidad N° 171748982-5, declaramos que el presente trabajo de titulación: “ANÁLISIS DE PRODUCTIVIDAD Y RENDIMIENTO DE ELECTRODOS E-6011, E-6010 Y E-7018 PARA PROCESO SMAW”, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, Diciembre del 2015

Daniel Eduardo Araujo Vizuite

Ci: 172019708-4

Pablo Esteban Gálvez Pozo

Ci: 171748982-5



DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA: Ingeniería mecánica
AUTORIZACIÓN

Nosotros, Daniel Eduardo Araujo Vizuite y Pablo Esteban Gálvez Pozo, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “ANÁLISIS DE PRODUCTIVIDAD Y RENDIMIENTO DE ELECTRODOS E-6011, E-6010 Y E-7018 PARA PROCESO SMAW”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí, Diciembre del 2015

Daniel Eduardo Araujo Vizuite

CI: 172019708-4

Pablo Esteban Gálvez Pozo

CI: 171748982-5

AGRADECIMIENTO

A Dios, dador de vida y creador de todo lo que existe le agradezco por nunca soltar mi mano en toda esta etapa universitaria. A cada miembro de mi familia por velar mi trayectoria universitaria y demostrarme que todo esfuerzo es recompensado mientras sea con sacrificio y dedicación, en especial a mi hermana por ser el ejemplo de mi vida en cuanto a perseverancia y decisión. A mis tutores, maestros y compañeros de la Carrera de Ingeniería Mecánica por hacer de estos años un compendio de alegrías y calamidades que me ensaaron mucho más de lo que imagine dentro y fuera de las aulas y laboratorios. Y a todas esas personas que he conocido fuera de las aulas que me incentivaron y colaboraron para la realización de este proyecto. Por ultimo agradezco a la empresa que auspicio el proyecto ya que gracias ellos se crean oportunidades y se enriquecen conocimientos que benefician a muchos.

Daniel Araujo V.

En primer lugar y sobre todo quisiera agradecer a Dios, por llenarme de bendiciones todo el tiempo, por permitirme tener la salud, la fuerza y la inteligencia para llegar a este punto. Por permitirme cursar cada etapa de esta carrera dando pasos seguros al saber que todas las cosas depende en su totalidad de Él y por permitir que culmine esta etapa de mi vida tomado de su mano.

Agradezco también a mis padres que con su gran esfuerzo han permitido que alcance esta meta. Agradezco la amistad que me brindaron, agradezco que hayan sido una guía y un ejemplo de vida. Con su apoyo incondicional, sus constantes ánimos y sus concejos invaluable me dieron ese empujón que tanta falta me hacía cuando tropezaba.

Al resto de mi familia que con aportes aparentemente pequeños me ayudaban a llenar cada vacío que me estorbaba en mí caminar hacia esta meta tan anhelada.

A todos mis compañeros y amigos de la carrera que siempre supieron darme su apoyo incondicional para juntos alcanzar la meta propuesta. Por siempre poner el hombro para que la carga que tenía fuese más llevadera. Y por permitir que cada día de esta etapa estudiantil tuviera su toque de alegría y gracia.

Pablo Gálvez

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN	ii
Autoría de Responsabilidad	iii
AUTORIZACIÓN	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN	xix
ABSTRACT	xx
CAPÍTULO I	1
1. GENERALIDADES	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	4
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.4 ALCANCE.....	5
1.5 OBJETIVOS.....	7
1.5.1 Objetivo General.....	7
1.5.2 Objetivos específicos.....	7
CAPÍTULO II	8
2. MARCO TEÓRICO	8
2.1 SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO REVESTIDO.....	8
2.1.1 Electrodo Celulósicos	9
2.1.2 Electrodo de Gran Rendimiento.....	10
2.1.3 Tipo de Corriente	10
2.2 PRODUCTIVIDAD	11
2.2.1 Productividad en Soldadura.....	14
2.2.2 Conceptos Derivados del Análisis de Productividad.....	15
2.2.3 Influencia del Amperaje en la Productividad	19
2.2.4 Costos de la Productividad	20
2.2.4.1 Costo de Mano de Obra	20
2.2.4.2 Costo de Consumibles.....	21

2.2.4.3	Costo de Energía consumida.....	21
2.2.4.4	Costo de la depreciación del equipo utilizado.....	22
CAPÍTULO III		23
3.	DISEÑO EXPERIMENTAL	23
3.1	INTRODUCCIÓN AL PROCESO DE SOLDADURA	23
	Fuente: (Código de Soldadura Estructural - Acero, 2010, págs. 61,67)	24
3.1.1	Diseño de la Junta	25
3.1.2	Variables del Proceso	27
3.1.3	Descripción del Procedimiento	28
3.1.3.1	Verificación del ángulo de biselado y medición del refuerzo del cordón de relleno	29
3.1.3.2	Metodología del experimento.....	30
3.2	ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA ..	32
3.3	INICIO DEL PROCESO.....	32
3.3.1	Elementos que intervienen en el procedimiento	32
3.4	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DEL EXPERIMENTO	37
3.4.1	Inicio de la soldadura.....	38
CAPÍTULO IV		43
4.	RESULTADOS	43
4.1	DATOS EXPERIMENTALES	43
4.1.1	Material Depositado.....	43
4.1.2	Tiempo total de soldadura y tiempo de arco	45
4.1.3	Número de electrodos enteros y sobrante del último electrodo	48
4.1.4	Peso promedio de los electrodos por marca y clasificación	50
4.1.5	Longitud Promedio de Electrodos.....	51
4.2	APARIENCIAS DE CORDONES DE SOLDADURA.....	51
4.3	PARÁMETROS DE PRODUCTIVIDAD	56
4.4	CÁLCULO DE LA PRODUCTIVIDAD.....	59
4.4.1	Condiciones Ideales y no ideales	60
4.5	ANÁLISIS DE RESULTADOS	63
4.5.1	Productividad.....	64

4.5.2	Rendimiento.....	67
4.5.3	Eficiencia de Deposición.....	70
4.5.4	Factor de Operación.....	73
4.5.5	Costo de 1kg de Metal Depositado.....	76
4.5.6	Número de Electrodo por metro de soldadura.....	79
4.6	ÍNDICES GLOBALES DEL EXPERIMENTO.....	82
CAPÍTULO V.....		84
5.	ELABORACIÓN DEL MANUAL DEL USUARIO.....	84
5.1	INDICADORES DESTACADOS.....	85
5.2	OBJETIVO.....	85
5.3	ELABORACIÓN.....	85
CAPÍTULO VI.....		86
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	86
6.1	CONCLUSIONES.....	86
6.2	RECOMENDACIONES.....	90
BIBLIOGRAFÍA.....		91
 ANEXOS		
ANEXO 1 - ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTOS		
	DE SOLDADURA.....	94
ANEXO 2 - CARTA DE CERTIFICACIÓN DEL SOLDADOR.....		119
ANEXO 3 - DATOS EXPERIMENTALES.....		121
ANEXO 4 - INDICADORES CALCULADOS.....		128
ANEXO 5 - ANÁLISIS DE HISTOGRAMAS.....		177
ANEXO 6 - MANUAL DE USUARIO.....		188

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de los Electrodo Revestidos.....	2
Tabla 2 Total de toneladas exportadas por país al Ecuador.....	3
Tabla 3 Total de toneladas de exportación e importación nacional.....	4
Tabla 4 Eficiencia de aportación.....	16
Tabla 5 Factor de Operación.....	18
Tabla 6 Aplicables según el código AWS D1.1.....	24
Tabla 7 Dimensiones PJP - Código AWS D1.1.....	25
Tabla 8 Dimensiones CJP - Código AWS D1.1.....	27
Tabla 9 Variables del Proceso.....	28
Tabla 10 Valores recomendados de Amperaje.....	28
Tabla 11 Variaciones para uniones PJP.....	31
Tabla 12 Variaciones para uniones CJP.....	32
Tabla 13 Consumibles de cada marca.....	34
Tabla 14 Valores promedio de material depositado por marcas.....	44
Tabla 15 Valores promedio de material depositado por tipo de corriente.....	45
Tabla 16 Tiempos Muertos.....	46
Tabla 17 Tiempo de cordones de raíz por marca.....	46
Tabla 18 Tiempo de cordón de raíz por tipo de corriente.....	47
Tabla 19 Tiempo de cordón de relleno por marca.....	47
Tabla 20 Tiempo de cordón de relleno por tipo de corriente.....	48
Tabla 21 Número Promedio de Electrodo utilizados por marca.....	49
Tabla 22 Número Promedio de Electrodo utilizados por tipo de corriente.....	50
Tabla 23 Peso promedio de los electrodo por marca y clasificación.....	50
Tabla 24 Tarifas de M.O. y del [KWh] en Ecuador.....	57
Tabla 25 Promedio de costo de Electrodo.....	58
Tabla 26 Parámetros de cálculo de la Energía Consumida.....	58
Tabla 27 Depreciación Máquina Soldadora.....	59
Tabla 28 Índice Máximo y Mínimo de Productividad.....	60

Tabla 29 Productividad - E-6010.....	64
Tabla 30 Productividad - E-6011.....	65
Tabla 31 Productividad - E-7018.....	66
Tabla 32 Rendimiento - E-6010.....	67
Tabla 33 Rendimiento - E-6011.....	68
Tabla 34 Rendimiento - E-7018.....	69
Tabla 35 Eficiencia de Deposición - E-6010.....	70
Tabla 36 Eficiencia de Deposición - E-6011.....	71
Tabla 37 Eficiencia de Deposición - E-7018.....	72
Tabla 38 Factor de operación - E-6010.....	73
Tabla 39 Factor de operación - E-6011.....	74
Tabla 40 Factor de operación - E-7018.....	75
Tabla 41 Costo de 1 Kg de metal depositado - E-6010.....	76
Tabla 42 Costo de 1 Kg de metal depositado - E-6011.....	77
Tabla 43 Costo de 1 Kg de metal depositado - E-7018.....	78
Tabla 44 Número de electrodos consumidos - E-6010.....	79
Tabla 45 Número de electrodos consumidos - E-6011.....	80
Tabla 46 Número de electrodos consumidos - E-7018.....	81
Tabla 47 Índices Globales del Experimento.....	82
Tabla 48 Índices Globales por tipo de Electrodo.....	82
Tabla 49 Rendimiento-Marca B.....	83
Tabla A3.1 Valores de pesaje de uniones por marca.....	122
Tabla A3.2 Valores de pesaje de uniones por tipo de corriente.....	123
Tabla A3.3 Valores de tiempo de arco y tiempo total por marca.....	124
Tabla A3.4 Valores de tiempo de arco y tiempo total por tipo de corriente.....	125
Tabla A3.5 Electrodos consumidos por marca.....	126
Tabla A3.6 Electrodos consumidos por tipo de corriente.....	127
Tabla A4.1 Productividad - E-6010 – Cordón de Raíz.....	129
Tabla A4.2 Rendimiento - E-6010 – Cordón de Raíz.....	130
Tabla A4.3 Eficiencia de Deposición - E-6010 – Cordón de Raíz.....	131

Tabla A4.4 Factor de Operación - E-6010 – Cordón de Raíz.....	132
Tabla A4.5 Costo de 1Kg de Metal Depositado - E-6010 – Cordón de Raíz.....	133
Tabla A4.6 Número de electrodos por metro de soldadura – E-6010 – Cordón de Raíz.....	134
Tabla A4.7 Productividad - E-6010 – Cordón de Relleno.....	135
Tabla A4.8 Rendimiento - E-6010 – Cordón de Relleno.....	136
Tabla A4.9 Eficiencia de Deposición - E-6010 – Cordón de Relleno.....	137
Tabla A4.10 Factor de Operación - E-6010 – Cordón de Relleno.....	138
Tabla A4.11 Costo de 1Kg de Metal Depositado - E-6010 – Cordón de Relleno.....	139
Tabla A4.12 Número de electrodos por metro de soldadura – E-6010 – Cordón de Relleno.....	140
Tabla A4.13 Productividad - E-6011 – Cordón de Raíz.....	141
Tabla A4.14 Rendimiento - E-6011– Cordón de Raíz.....	142
Tabla A4.15 Eficiencia de Deposición - E-6011 – Cordón de Raíz.....	143
Tabla A4.16 Factor de Operación - E-6011 – Cordón de Raíz.....	144
Tabla A4.17 Costo de 1Kg de Metal Depositado - E-6011 – Cordón de Raíz.....	145
Tabla A4.18 Número de electrodos por metro de soldadura – E-6011 – Cordón de Raíz.....	146
Tabla A4.19 Productividad - E-7018 – Cordón de Relleno.....	147
Tabla A4.20 Rendimiento - E-7018– Cordón de Relleno.....	148
Tabla A4.21 Eficiencia de Deposición - E-6011 – Cordón de Relleno.....	149
Tabla A4.22 Factor de Operación - E-6011 – Cordón de Relleno.....	150
Tabla A4.23 Costo de 1Kg de Metal Depositado – E-6011 – Cordón de Relleno.....	151
Tabla A4.24 Número de electrodos por metro de soldadura –	

E-6011 – Cordón de Relleno.....	152
Tabla A4.25 Productividad - E-7018– Cordón de Raíz.....	153
Tabla A4.26 Rendimiento - E-7018– Cordón de Raíz.....	154
Tabla A4.27 Eficiencia de Deposición - E-7018 – Cordón de Raíz.....	155
Tabla A4.28 Factor de Operación - E-7018 – Cordón de Raíz.....	156
Tabla A4.29 Costo de 1Kg de Metal Depositado - E-7018– Cordón de Raíz.....	157
Tabla A4.30 Número de electrodos por metro de soldadura – E-7018 – Cordón de Raíz.....	158
Tabla A4.31 Productividad - E-7018 – Cordón de Relleno.....	159
Tabla A4.32 Rendimiento - E-7018– Cordón de Relleno.....	160
Tabla A4.33 Eficiencia de Deposición - E-7018 – Cordón de Relleno.....	161
Tabla A4.34 Factor de Operación - E-7018 – Cordón de Relleno.....	162
Tabla A4.35 Costo de 1Kg de Metal Depositado – E-7018 – Cordón de Relleno.....	163
Tabla A4.36 Número de electrodos por metro de soldadura – E-7018 – Cordón de Relleno.....	164
Tabla A4.37 Productividad - E-6011– Cordón de Raíz.....	165
Tabla A4.38 Rendimiento - E-6011– Cordón de Raíz.....	166
Tabla A4.39 Eficiencia de Deposición - E-6011 – Cordón de Raíz.....	167
Tabla A4.40 Factor de Operación - E-6011 – Cordón de Raíz.....	168
Tabla A4.41 Costo de 1Kg de Metal Depositado - E-6011– Cordón de Raíz.....	169
Tabla A4.42 Número de electrodos por metro de soldadura – E-6011 – Cordón de Raíz.....	170
Tabla A4.43 Productividad - E-7018 – Cordón de Relleno.....	171
Tabla A4.44 Rendimiento - E-7018– Cordón de Relleno.....	172
Tabla A4.45 Eficiencia de Deposición - E-7018 – Cordón de Relleno.....	173
Tabla A4.46 Factor de Operación - E-7018 – Cordón de Relleno.....	174

Tabla A4.47 Costo de 1Kg de Metal Depositado - E-7018 – Cordón de Relleno.....	175
Tabla A4.48 Número de electrodos por metro de soldadura – E-7018 – Cordón de Relleno.....	176
Tabla A5.1 Indicadores – Marca B.....	178
Tabla A5.2 Indicadores – Marca B.....	179
Tabla A5.3 Indicadores – Marca C.....	181
Tabla A5.4 Indicadores – Marca D.....	183
Tabla A5.5 Indicadores – Marca A – Variación de Corrientes.....	185

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Descripción del Proceso.....	8
Figura 2 Efecto de la Polaridad en la Penetración.....	11
Figura 3 Flujograma - Estudio de la Productividad.....	13
Figura 4 Velocidad de deposición.....	17
Figura 5 Factor de Operación.....	18
Figura 6 PJP - Soldadura de Canal Simple-V, Junta a Tope (B).....	25
Figura 7 Dimensiones: 6 x 10 [pulg.] - 150 x 250 [mm].....	26
Figura 8 CJP - Soldadura de Canal Simple-V, Junta a Tope (B).....	27
Figura 9 Ángulo de biselado.....	29
Figura 10 Cubículo 1–Laboratorio de Procesos de Manufactura.....	33
Figura 11 Soldadora Lincoln MH-27.....	33
Figura 12 Lotes de consumibles clasificados marcas D y C.....	34
Figura 13 Lotes de consumibles clasificados marca A y B.....	34
Figura 14 Lotes de uniones clasificadas por número.....	35
Figura 15 Unión PJP a tope.....	35
Figura 16 Unión CJP (separación de raíz: 3 [mm]).....	36
Figura 17 Pinza amperimetrica FLUKE 337 DC/AC.....	36
Figura 18 Galga MC WL GAGE.....	36
Figura 19 Unión PJP a tope rigidizada en los extremos.....	37
Figura 20 Pesaje de la unión sin soldar.....	37

Figura 21 Unión posición 1G.....	38
Figura 22 Soldadura posición 1G en arrastre.....	38
Figura 23 Cronometrado de tiempo total y tiempo de arco de la soldadura.....	39
Figura 24 Limpieza del cordón de raíz con la técnica del grateado.....	39
Figura 25 Cordón de raíz libre de escoria.....	40
Figura 26 Medición del sobrante del ultimo electrodo.....	40
Figura 27 Comprobación de Amperaje.....	41
Figura 28 Secuencia de soldadura del cordón de relleno.....	41
Figura 29 Medición del refuerzo mediante la galga.....	42
Figura 30 Pesaje final ya con el cordón de relleno.....	42
Figura 31 Apariencia de cordones de raíz.....	52
Figura 32 Apariencia de cordones de relleno.....	53
Figura 33 Apariencia de cordones de raíz- tipo de corriente.....	55
Figura 34 Apariencia de cordones de relleno- tipo de corriente	56
Figura 35 Interpretación de diagramas de radar.....	63
Figura 36 Índice de Productividad E-6010.....	64
Figura 37 Índice de Productividad E-6011.....	65
Figura 38 Índice de Productividad E-7018.....	66
Figura 39 Rendimiento E-6010.....	67
Figura 40 Rendimiento E-6011.....	68
Figura 41 Rendimiento E-7018.....	69
Figura 42 Eficiencia de Deposición E-6010.....	70
Figura 43 Eficiencia de Deposición E-6011.....	71
Figura 44 Eficiencia de Deposición E-7018.....	72
Figura 45 Factor de Operación E-6010.....	73
Figura 46 Factor de Operación E-6011.....	74
Figura 47 Factor de Operación E-7018.....	75
Figura 48 Costo de 1kg de Metal Depositado E-6010.....	76
Figura 49 Costo de 1kg de Metal Depositado E-6011.....	77
Figura 50 Costo de 1kg de Metal Depositado E-7018.....	78

Figura 51 Costo de 1kg de Metal Depositado E-6010.....	79
Figura 52 Costo de 1kg de Metal Depositado E-6011.....	80
Figura 53 Costo de 1kg de Metal Depositado E-7018.....	81
Figura A4.1 Productividad - E-6010 – Cordón de Raíz.....	129
Figura A4.2 Rendimiento - E-6010 – Cordón de Raíz.....	130
Figura A4.3 Eficiencia de Deposición - E-6010 – Cordón de Raíz.....	131
Figura A4.4 Factor de Operación - E-6010 – Cordón de Raíz.....	132
Figura A4.5 Costo de 1Kg de Metal Depositado - E-6010 – Cordón de Raíz.....	133
Figura A4.6 Número de electrodos por metro de soldadura – E-6010 – Cordón de Raíz.....	134
Figura A4.7 Productividad - E-6010 – Cordón de Relleno.....	135
Figura A4.8 Rendimiento - E-6010 – Cordón de Relleno.....	136
Figura A4.9 Eficiencia de Deposición - E-6010 – Cordón de Relleno.....	137
Figura A4.10 Factor de Operación - E-6010 – Cordón de Relleno.....	138
Figura A4.11 Costo de 1Kg de Metal Depositado – E-6010 – Cordón de Relleno.....	139
Figura A4.12 Número de electrodos por metro de soldadura – E-6010 – Cordón de Relleno.....	140
Figura A4.13 Productividad - E-6011 – Cordón de Raíz.....	141
Figura A4.14 Rendimiento - E-6011– Cordón de Raíz.....	142
Figura A4.15 Eficiencia de Deposición - E-6011 – Cordón de Raíz.....	143
Figura A4.16 Factor de Operación - E-6011 – Cordón de Raíz.....	144
Figura A4.17 Costo de 1Kg de Metal Depositado – E-6011 – Cordón de Raíz.....	145
Figura A4.18 Número de electrodos por metro de soldadura – E-6011 – Cordón de Raíz.....	146
Figura A4.19 Productividad - E-7018 – Cordón de Relleno.....	147
Figura A4.20 Rendimiento - E-7018– Cordón de Relleno.....	148
Figura A4.21 Eficiencia de Deposición - E-6011 – Cordón de	

Relleno.....	149
Figura A4.22 Factor de Operación - E-6011 – Cordón de Relleno.....	150
Figura A4.23 Costo de 1Kg de Metal Depositado – E-6011 – Cordón de Relleno.....	151
Figura A4.24 Número de electrodos por metro de soldadura – E-6011 – Cordón de Relleno.....	152
Figura A4.25 Productividad - E-7018– Cordón de Raíz.....	153
Figura A4.26 Rendimiento - E-7018– Cordón de Raíz.....	154
Figura A4.27 Eficiencia de Deposición - E-7018 – Cordón de Raíz.....	155
Figura A4.28 Factor de Operación - E-7018 – Cordón de Raíz.....	156
Figura A4.29 Costo de 1Kg de Metal Depositado - E-7018– Cordón de Raíz.....	157
Figura A4.30 Número de electrodos por metro de soldadura E-7018–Cordón de Raíz.....	158
Figura A4.31 Productividad - E-7018 – Cordón de Relleno.....	159
Figura A4.32 Rendimiento - E-7018– Cordón de Relleno.....	160
Figura A4.33 Eficiencia de Deposición - E-7018 – Cordón de Relleno.....	161
Figura A4.34 Factor de Operación - E-7018 – Cordón de Relleno.....	162
Figura A4.35 Costo de 1Kg de Metal Depositado – E-7018 – Cordón de Relleno.....	163
Figura A4.36 Número de electrodos por metro de soldadura – E-7018 – Cordón de Relleno.....	164
Figura A4.37 Productividad - E-6011– Cordón de Raíz.....	165
Figura A4.38 Rendimiento - E-6011– Cordón de Raíz	166
Figura A4.39 Eficiencia de Deposición - E-6011 – Cordón de Raíz.....	167
Figura A4.40 Factor de Operación - E-6011 – Cordón de Raíz.....	168
Figura A4.41 Costo de 1Kg de Metal Depositado - E-6011– Cordón de Raíz.....	169
Figura A4.42 Número de electrodos por metro de soldadura – E-6011 – Cordón de Raíz.....	170

Figura A4.43 Productividad - E-7018 – Cordón de Relleno.....	171
Figura A4.44 Rendimiento - E-7018– Cordón de Relleno.....	172
Figura A4.45 Eficiencia de Deposición - E-7018 – Cordón de Relleno.....	173
Figura A4.46 Factor de Operación - E-7018 – Cordón de Relleno.....	174
Figura A4.47 Costo de 1Kg de Metal Depositado – E-7018 – Cordón de Relleno.....	175
Figura A4.48 Número de electrodos por metro de soldadura – E-7018 – Cordón de Relleno.....	176

RESUMEN

El presente proyecto de investigación describe un análisis de productividad y rendimiento para electrodos E-6010, E-6011 y E-7018 de 1/8" de diámetro para proceso SMAW manufacturados por 4 distintos fabricantes. El análisis se llevó a cabo mediante la comparación de los siguientes indicadores: Índice de productividad, Rendimiento, Eficiencia de deposición, Factor de operación, Costo de 1 kilogramo de material depositado y Número de electrodos por metro soldado. Los indicadores fueron calculados con datos obtenidos de la soldadura de 60 uniones de penetración parcial (PJP) y 9 uniones de penetración completa (CJP) soldadas a diferentes valores de amperaje y tipo de corriente. El procedimiento de soldadura y las uniones se diseñaron mediante el Código AWS D1.1 (Soldadura Estructural - Acero). Para todas las marcas analizadas el índice de productividad de los electrodos E-6010 tienen una relación inversa con el amperaje, la marca A presenta el mayor índice de productividad con 58.11 [g/\$] a 90 [Amp]. Para los electrodos E-6011 no se tiene una tendencia general de los datos obtenidos, las marcas B y D muestran los valores más altos del índice de productividad con 51.66 [g/\$] a 105 [Amp] y 50.96 [g/\$] a 120 [Amp] respectivamente. Para electrodos E-7018 las marcas no muestran una tendencia general, la marca C destaca con el índice de productividad más alto de 42,45 [g/\$] a 130 [Amp]. Para todas las marcas y tipo de electrodos el rendimiento aumenta con el amperaje. Para electrodos E-6010 la marca B destaca con 1.16 [Kg/h] a 120 [Amp]. Para E-6011 las marcas D y B destacan con 1.23 [Kg/h] a 105 [Amp] y 1.15 [Kg/h] a 120 [Amp] respectivamente. Para electrodos E-7018 la marca C muestra el valor más alto del índice de productividad con 1.16 [Kg/h] a 130 [Amp].

PALABRAS CLAVE:

- **PRODUCTIVIDAD**
- **RENDIMIENTO**
- **ELECTRODO REVESTIDO**
- **PROCESO SMAW**

ABSTRACT

The present research project describes a productivity and performance analysis for E-6010, E-6011 and E-701 electrodes of 1/8" of diameter for SMAW process; these electrodes come from four different manufacturers (brands). This analysis was performed by calculating and comparing the following indicators: Productivity Index, Performance, Deposition efficiency, Operating factor, cost of 1 kg of deposited material, and number of electrodes per welded meter. The indicators were calculated from data obtained from the 60 welded partial penetration joints (PJP) and the 9 full penetration joints (CJP). These joints were welded with different amperage ratings and current type. The welding process and joints were designed by AWS D1.1 Code (Structural Welding - Steel). For all analyzed brands, E-6010 electrodes productivity have an inverse relationship with the amperage. A Brand has the highest productivity with 58.11 [g / \$] at 90 [Amp]. For E-6011 electrodes, there is not a general trend of the obtained data. B and D brands show the highest values of productivity 51.66 [g / \$] at 105 [Amp] and 50.96 [g / \$] at 120 [Amp] respectively. For E-7018 electrodes the brands do not show a general trend; the C brand highlights with the highest productivity of 42.45 [g / \$] at 130 [Amp]. For all brands and electrodes types the performance increases as amperage increases. For E-6010 electrodes, B brand stands with 1.16 [kg / h] at 120 [Amp]. For E-6011 electrodes, D and B brands stand with 1.23 [kg / h] at 105 [Amp] and 1.15 [kg / h] at 120 [Amp] respectively. For E-7018 electrodes C brand shows the highest value of productivity with 1.16 [kg / h] at 130 [Amp].

KEYWORDS:

- **PRODUCTIVITY**
- **PERFORMANCE**
- **ELECTRODE (STICK)**
- **SMAW PROCESS**

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

La productividad se puede definir como la relación que existe entre el producto terminado y los recursos necesarios para su fabricación, sean humanos o materiales. El verdadero desafío para el factor humano es el cómo economizar el uso de los recursos para fabricar un producto determinado, es decir, como elevar en forma tangible el factor total de productividad, lo que significa innovación en los métodos de producción creando, adaptando y aplicando nuevas tecnologías a fin de obtener mejores resultados al mismo costo real.

En soldadura la productividad se define como la relación entre los trabajos de soldadura y todos los costos que fueron necesarios para su realización, los trabajos de soldadura pueden definirse como un número determinado de uniones soldadas o cantidad de metal depositado. Los costos fundamentales incluidos en la realización de la soldadura son:

1. Costo de la mano de obra
2. Costo de consumibles de soldadura
3. Costos de energía consumida para la soldadura
4. Amortización de los equipos o máquinas para soldar

La cantidad de metal depositado por unidad de tiempo define a la velocidad de deposición y para el presente análisis el rendimiento, lo que puede ser de bastante utilidad para ahorro de costos al momento de diseñar y planificar un procedimiento de la soldadura.

El proceso SMAW (Shield Metal Arc Welding) corresponde a los procesos de soldadura por arco eléctrico que se produce entre la pieza a soldar y el electrodo revestido, el rango de espesor a soldar arranca en los 1.5 mm, es un método comúnmente utilizado en la construcción estructural, construcción naval, soldadura de calderas, puentes, usado en grandes y pequeños talleres,

la versatilidad de este proceso lo ha convertido en un método de unión para campo y taller.

Desde 1934 que se inventó el electrodo metálico con revestimiento el sector industrial a experimento un cambio notable en la soldadura, pues antes se soldaba con electrodo desnudo en el que se podía notar defectos como la fijación de elementos nocivos en el baño de fusión, la generación de una fuerte porosidad dentro de la soldadura, problemas de estabilización y soplado del arco eléctrico, estos defectos quedan solventados con la inclusión del revestimiento del material de aporte.

La American Welding Society (AWS) clasifica a los electrodos revestidos según se indica en la Tabla 1.

Tabla 1

Clasificación de los Electrodo Revestidos

Electrodos para aceros al carbono	AWS A.5.1
Electrodos para aceros de baja aleación	AWS A.5.5
Electrodos para aceros inoxidable	AWS A.5.4

De los electrodos para aceros al carbono podemos encontrar a los celulósicos, a esta clasificación pertenecen los denominados AWS-E-6010 y AWS-E-6011 y los básicos donde podemos encontrar al AWS-E-7018

Los electrodos E-7018, E-6010 y E-6011 ubicados en la clasificación de los electrodos para soldar acero al carbono son los más utilizados debido a que sueldan materiales comunes, materiales que se utilizan en todo ámbito de la construcción.

Ecuador importó 6460 toneladas de electrodo revestido bajo la partida arancelaria 8311100000 "ELECTRODOS RECUBIERTOS PARA SOLDADURA DE ARCO, DE METAL COMÚN" en el periodo Feb-2014 a Feb-2015 y se ha mantenido casi constante en los años 2013 y 2012. Sin embargo en el mismo periodo el tonelaje de exportación aumento radicalmente 430,56 toneladas, lo que significa que antes existía una escasa producción nacional de electrodos revestidos.

El principal exportador de electrodos revestidos al país es Perú con 2105 toneladas para el periodo febrero 2014 a febrero 2015, seguido de Chile y Colombia, los valores totales de importación se pueden observar en la Tabla 2.

Tabla 2

Total de toneladas exportadas por país al Ecuador

País de procedencia	Importación (Toneladas)
Perú	2,105.66
Chile	1,685.68
Colombia	1,019.42
Estados unidos	179.69
Corea (sur)	776.27
China	422.74
Brasil	49.12
México	35.57
India	119.91
Argentina	60.49
Francia	1.70
Malasia	2.61
Hong Kong	0.25
Canadá	0.17
España	0.20
Panamá	0.47
Holanda(países bajos)	0.27
Japón	0.01
Alemania	0.14
Italia	0.05
Curazao, isla	0.01
Suiza	0.01

Fuente: Banco Central del Ecuador

El total de toneladas de exportación e importación nacional de electrodos recubiertos para soldadura de arco para los años 2012 hasta febrero 2015, se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3*Total de toneladas de exportación e importación nacional*

Periodo	Importaciones (Toneladas)	Exportaciones (Toneladas)
Febrero 2014-Febrero 2015	6,460.34	442.54
Febrero 2013-Febrero 2014	6,529.58	11.98
Febrero 2012-Febrero 2013	6,109.34	1.84

Fuente: Banco Central del Ecuador

The Linde Group exporta e importa al Ecuador con el nombre de AGA.S.A. Se ubica entre las cinco principales empresas que importan al país y ocupa el primer lugar de exportación de este producto según la información proporcionada por el Banco Central del Ecuador para el periodo Febrero 2014 a Febrero 2015.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Los electrodos E-6011, E-6010 y E-7018 de 1/8 [pulgada] de diámetro son los que frecuentemente se adquieren para un sinnúmero de aplicaciones y en la mayoría de los catálogos de consumibles para proceso SMAW carecen de datos que indiquen la productividad y rendimiento que ofrecen estos electrodos.

Muchos de los usuarios del método de soldadura SMAW adquieren los consumibles por costumbre, simplemente comparando el valor nominal de la resistencia del consumible con el valor de la resistencia del material base o por recomendación de los expendedores del producto y no de los fabricantes. Este problema podría estar generando costos excesivos para todos los trabajos de soldadura presentes en un proyecto o falla de uniones soldadas.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Los electrodos revestidos: E-6011, E-6010 y E-7018 de 1/8" son vendidos desde pequeñas ferreterías hasta grandes distribuidores de material para

construcción, utilizados en procesos simples y complejos de producción y mantenimiento, son los preferidos comúnmente sobre las demás tipos de electrodos.

Para usuarios que comúnmente consumen estos tres tipos de electrodos poseer una referencia de valores que indiquen la productividad y rendimiento del electrodo sería de gran utilidad al momento de realizar cualquier tipo de compra o al tomar una decisión en cuanto a los electrodos que se usarán en algún proyecto determinado.

Según el tipo de corriente, la polaridad y el valor del amperaje elegido por el usuario se podrían tener índices de productividad y rendimiento específicos, sin embargo el tipo de corriente recomendada para procesos de soldadura manuales es la Corriente Directa (D.C.+) con polaridad positiva, por lo que la variación del amperaje determinará los índices de productividad y el rendimiento. Sin embargo se realizará un grupo de ensayos con Corriente Directa con polaridad negativa (D.C.-) y Corriente Alterna (A.C.). Los datos obtenidos mediante el presente estudio se tabularán, organizarán y graficarán de manera que se tenga un sencillo manual de consulta de productividad de los electrodos analizados.

El deseo por liderar las ventas de electrodos revestidos donde se incluyen los tres tipos de electrodo más común a obligado a todos los productores de consumibles de soldadura a estar en constante evolución e investigación, analizando las propuestas propias y extranjeras comparándolas y analizando los parámetros susceptibles de mejora para seguir en la competencia a la par y sobre todas las demás propuestas de otras empresas.

1.4 ALCANCE

El análisis estará orientado a la comparación de los índices de productividad, rendimiento y otros parámetros que derivan de estos conceptos, que presenten los electrodos revestidos: E-6011, E-6010 y E-7018

de 1/8 [pulgada] manufacturados por 4 distintos fabricantes y obtenidos mediante la variación del amperaje y tipo de corriente.

Los lotes de electrodos a analizar serán identificados como A, B, C y D respectivamente debido a que se guardará confidencialidad de las marcas ya que esta investigación no tiene fines comerciales.

Para cada variación del proceso incluyendo marca, tipo de electrodo, tipo de corriente y amperaje se harán 3 uniones para justificar que los datos obtenidos sean estadísticamente válidos, sumando un total de 69 uniones,

El presente análisis no tiene como objetivo la calificación de consumibles, calificación de soldadura o calificación del soldador, por lo que se supondrá que todos electrodos analizados cumplirán con los requisitos de resistencia mecánica que cada marca lo especifica en catálogos.

Para que todos los procesos de soldadura tengan valides se cumplirá con los siguientes requisitos:

- La soldadura será realizada por un soldador calificado para proceso SMAW.
- La junta estará diseñada según la Norma AWS D1.1.
- El método de soldadura, material base y los consumibles serán aceptados por AWS D1.1.

Una vez obtenidos los datos necesarios para calcular los indicadores se analizarán y se elaborará un práctico manual para el usuario que contendrá valores y graficas del comportamiento de los tres electrodos según los valores de amperaje determinados.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General

Calcular el índice de productividad y el rendimiento de los electrodos para proceso SMAW: E-6011, E-6010 y E-7018 de 1/8" de diámetro en determinados valores de amperaje.

1.5.2 Objetivos específicos

- Diseñar un procedimiento de soldadura para las 69 uniones planificadas que incluya: material base, consumibles y unión según la AWS D1.1.
- Determinar el índice de productividad para cada variación establecida.
- Determinar el rendimiento del electrodo para cada variación establecida.
- Comparar los índices de productividad, rendimiento y otros indicadores derivados de estos de todas las marcas de electrodos.
- Elaborar un manual de datos y gráficos acerca de la productividad, rendimiento y otros indicadores derivados de estos de los electrodos.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO REVESTIDO

La soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido - SMAW (Shield Metal Arc Welding) es posible debido a la temperatura generada por el arco eléctrico que se produce entre el extremo del electrodo y el material base provocando la fusión de los materiales. El material de aporte cae en forma de gotas y el recubrimiento se transforma en gas protector y escoria líquida que brindan el ambiente apropiado para lograr que el material de aporte sea depositado correctamente como se muestra en la Figura 1

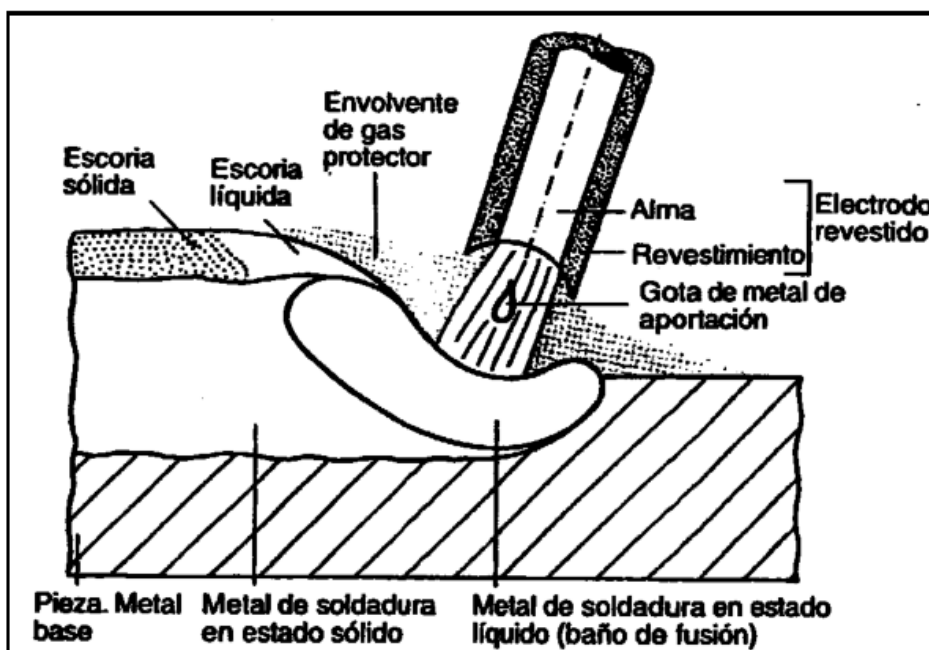


Figura 1 Descripción del Proceso

Fuente: (Manual de Soldadura SMAW Lincoln Electric, pág. 2)

El material de aporte utilizado por este método es una varilla metálica (alma) recubierta de diversos minerales y sustancias formados

concéntricamente alrededor de la varilla metálica (Revestimiento), la fórmula de composición de estos es un secreto guardado por los diversos fabricantes.

La composición de la pasta que conforma el recubrimiento suele conformarse de óxidos de hierro, silicatos naturales, celulosa, carbonatos, ferroaleaciones y en general fundente y productos químicos.

2.1.1 Electroodos Celulósicos

De los electroodos para aceros al carbono podemos encontrar a los celulósicos, a esta clasificación pertenecen los denominados AWS-E-6010 y AWS-E-6011. En estos electroodos el principal componente es la celulosa obtenida a partir de la pulpa de madera, estos producen una gran penetración debido al hidrogeno procedente de la celulosa que el calor del arco libera. Tiene alta velocidad de soldeo, la superficie del cordón es rugosa y se enfría rápidamente. El arco produce un fuerte chisporroteo, con abundantes pérdidas por salpicaduras y el rendimiento estándar suele ser inferior al 90%. Los electroodos celulósicos producen grandes cantidades de vapores, por lo que se evita su uso para regiones y espacios cerrados sin ventilación (Cona Guzman, 2005, pág. 8).

Los electroodos celulósicos son apropiados para soldar en todas las posiciones sin embargo suelen utilizarse para soldar tubería en posición vertical, en especial el E-6010. Es un electroodo con baja deposición de escoria y con alta penetración debido a que en su contenido se encuentra alto porcentaje de hidrogeno. El E-6011 regularmente es utilizado para realizar cordones de raíz debido a que se consigue una gran penetración.

La escoria depositada por los electroodos celulósicos es poco voluminosa debido a que el recubrimiento se transforma en su mayoría en gases.

Para electroodos E-6010 los fabricantes recomiendan usar corriente continua con polaridad positiva (polaridad inversa - D.C.+) en un rango de 80 a 120 [Amperios] y para electroodos E-6011 recomiendan corriente alterna (A.C.) o corriente continua con polaridad positiva (polaridad inversa - D.C.+) en un rango de 80 a 125 [Amperios]

2.1.2 Electroodos de Gran Rendimiento

Otra clasificación de los electrodos al carbono son los básicos, también conocidos como electrodos de gran rendimiento, en este grupo se encuentra el AWS-E-7018. Estos electrodos encuentran su cualidad más ventajosa en las posiciones sobremesa y horizontal con ángulo debido a que pueden conseguir máximas velocidades de soldeo con una alta tasa de deposición de material, el rendimiento de un electrodo, en general es función de la naturaleza del revestimiento, del diámetro y de la intensidad de la corriente.

Los electrodos básicos demandan grandes cantidades de energía de las máquinas de soldar debido a que se debe lograr fundir una gran cantidad de material que poseen en el alma y en el revestimiento del electrodo.

Los fabricantes recomiendan usar corriente continua con polaridad positiva (polaridad inversa - D.C.+) en un rango de 95 a 145 [Amperios]. Regularmente estos electrodos son elegidos para amenorar costos en soldadura (Cona Guzman, 2005, pág. 10).

2.1.3 Tipo de Corriente

El método de soldadura SMAW puede ser utilizado tanto en Corriente Directa (D.C.) como en Corriente Alterna (A.C.), sin embargo se recomienda trabajar con Corriente Directa debido a la facilidad del encendido del arco y a la estabilidad que posee durante el proceso. Los fabricantes de los consumibles recomiendan el uso de Corriente Directa o Alterna dependiendo del electrodo que vaya a utilizar. Los catálogos de los diferentes fabricantes señalan el tipo de corriente y el valor de la corriente en la que el electrodo puede entregar sus mejores características. La polaridad (directa o inversa) es un factor determinante para la penetración del material de aporte según se muestra en la Figura 2. Cuando la polaridad es directa, es decir que el electrodo está conectado al polo negativo la penetración es mayor.

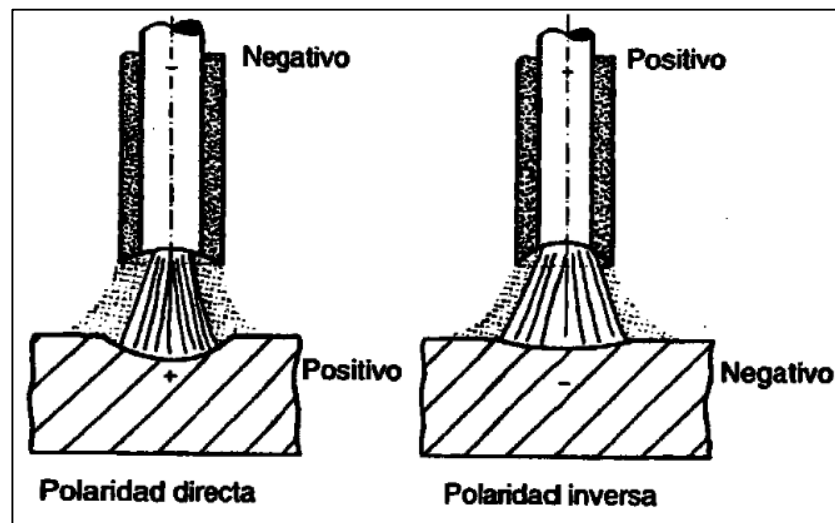


Figura 2 Efecto de la Polaridad en la Penetración
Fuente: (Manual de Soldadura SMAW Lincoln Electric, pág. 5)

2.2 PRODUCTIVIDAD

En términos generales la productividad es la relación que existe entre un producto terminado y todos los recursos utilizados para su fabricación, como se muestra en la ecuación:

$$PRODUCTIVIDAD = \frac{PRODUCCIÓN}{INSUMOS (RECURSOS UTILIZADOS)}$$

Para el análisis de la productividad se delimita el tipo de insumos, lo que da lugar a la productividad de un solo factor o de múltiples factores, estos pueden ser costos, personal, maquinaria, tiempo, entre otros.

La productividad ha ocupado un lugar prominente para apreciar el avance económico, tanto de las organizaciones como de las naciones. En la concepción general, la productividad es una medida de la eficiencia económica que resulta de la relación entre los recursos utilizados y la cantidad de productos o servicios elaborados. (Rodríguez Combeller, 1993)

En las industrias el estudio y cálculo de la productividad es una práctica necesaria si se quiere tener un pronóstico correcto en cuanto al futuro de la empresa. Los estudios de productividad revelan importantes deficiencias y eficiencias que afectan de manera global a la empresa, la corrección de las

deficiencias significan un gran gasto que se convertirá en inversión puesto que el objetivo es mejorar la productividad mediante innovación de la tecnología que está produciendo la deficiencia.

Al innovar la tecnología y mejorar los métodos de producción se disminuye el costo para producir el mismo producto quizá con mejores prestaciones, es un fenómeno que se presenta para toda empresa que desea crecer. El desarrollo y crecimiento de las empresas tienen como factor inherente el estudio de la productividad. El éxito para el crecimiento y estabilidad de una industria manufacturera está en economizar lo más que se pueda los recursos necesarios para la fabricación de un producto determinado como se representa en la Figura 3

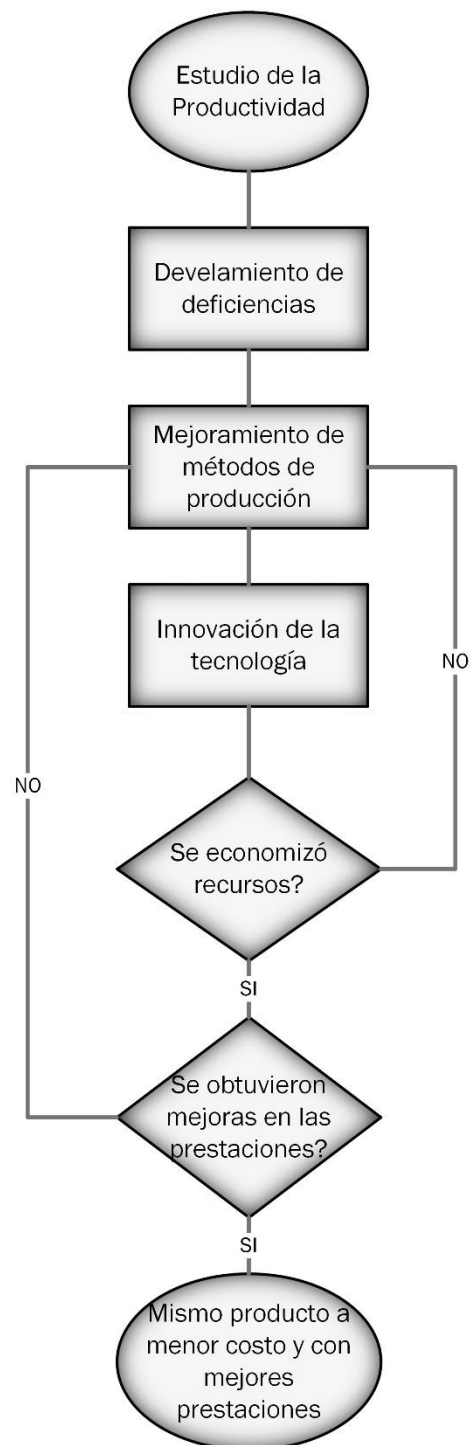


Figura 3 Flujograma - Estudio de la Productividad

2.2.1 Productividad en Soldadura

En soldadura la productividad se define como la relación que existe entre los resultados de un procedimiento de soldadura y todos los costos que en este se involucraron. (Gamarra Chinchay & Palacios Aranda, Optimización de la Soldadura en Construcción Naval en el Perú, pág. 22)

El resultado de un procedimiento de soldadura se puede apreciar en la cantidad de metal depositado o en un determinado número de uniones que se lograron soldar, para que estos valores obtenidos sean válidos para cálculos posteriores los trabajos de soldadura se deben guiar mediante normas que dicten y recomienden procedimientos de soldadura, por ejemplo por la AWS (American Welding Society) o por ASME (American Society of Mechanical Engineers), (Gamarra Chinchay & Yarin Achachagua, 2011, pág. 2).

Los procesos de soldadura que utilizan material de aporte se distinguen por tener tasas de deposición diferentes entre sí, y por lo tanto llevan un índice de productividad único que varía dependiendo de los parámetros de soldadura utilizados.

Son tres factores fundamentales los que determinan una exitosa fabricación o elaboración de cualquier componente en soldadura: EFICIENCIA, COSTO y APARIENCIA. Mediante el análisis y desglose de los parámetros presentes en la eficiencia y los costos podemos determinar la productividad y el rendimiento que un electrodo posee.

Los costos fundamentales involucrados para la realización de una soldadura son:

- Costo de la mano de obra
- Costo de los consumibles
- Costo de la energía consumida y
- Costo de depreciación del equipo utilizado.

Por lo tanto el índice de productividad en soldadura queda definida de la siguiente manera (Gamarra Chinchay & Yarin Achachagua, Optimización de la Soldadura en Contrucción Naval en Perú, pág. 22):

$$P = \frac{\text{cantidad de material de aporte depositado [g]}}{\text{costo de mano de obra [\$] +} \\ \text{costo de consumibles [\$] +} \\ \text{costo de energia consumida [\$] +} \\ \text{costo de depreciacion del equipo [\$]}}$$

El estudio de los costos de soldadura implica tratar con conceptos que relacionan parámetros de soldadura con el objetivo de alcanzar un equilibrio entre la exactitud y la simplicidad.

2.2.2 Conceptos Derivados del Análisis de Productividad

El análisis de la Productividad involucra el estudio de otros conceptos similares que relacionan los parámetros de soldadura que influyen en el proceso SMAW, todos los indicadores a continuación fueron obtenidos del Manual de Sistemas y Materiales de Soldadura (INDURA, 2007, págs. 10-13):

a. *Peso o cantidad de material depositado [Kg]:*

Es la cantidad de metal de aporte necesario para rellenar correctamente la junta o unión.

$$Pmd = \text{Area seccional (Union) [m}^2\text{]} * \text{Longitud [m]} \\ * \text{densidad (material de aporte) } \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$$

Pmd puede ser calculada por diferencia de pesos antes y despues de la soldadura.

b. *Eficiencia de deposición [%]:*

Es la relación que existe entre el peso del material depositado efectivamente (libre de escoria y excesos por sobremonta) y el peso de la cantidad de electrodos utilizados para realizar la soldadura tomando en cuenta el peso por desperdicio de las colillas de los electrodos.

$$E_{dep} = \frac{\text{Material depositado [g]}}{\text{Peso de electrodos utilizados [g]}} * 100$$

Los diferentes procesos de soldadura tienen eficiencias de deposición características de cada uno, los procesos con menor eficiencia de deposición requieren más material de aporte para lograr depositar la misma cantidad que depositaría otro método con una mejor eficiencia de deposición como se observa en la Tabla 4.

Tabla 4

Eficiencia de aportación

Proceso	Eficiencia deposición (%)
Electrodo manual	60 – 70
MIG sólido	90
MIG tubular c/protección	83
MIG tubular s/protección	79
TIG	95
Arco sumergido	98

Fuente: (INDURA, 2007, pág. 11)

c. Rendimiento - Velocidad de deposición [Kg/hr]:

Es la cantidad de material de aporte depositado en la unidad de tiempo y que para nuestro estudio será tomado como el rendimiento del electrodo.

$$R = \frac{\text{Cantidad de metal depositado [Kg]}}{\text{Tiempo de Fusión [hr]}}$$

La velocidad de deposición también es característica inherente de cada método de soldadura y también de las clasificaciones de material de aporte para cada método. En la Figura 4 se muestra la velocidad de deposición.

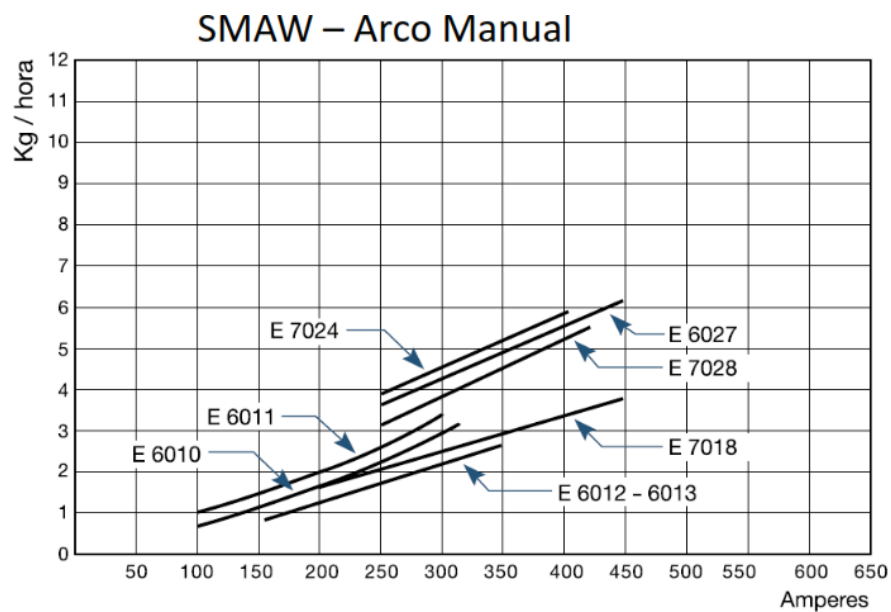


Figura 4 Velocidad de deposición
Fuente: (INDURA, 2007, pág. 11)

d. Factor de operación [%]:

Es la relación entre el tiempo de arco durante todo el proceso y el tiempo real pagado, es decir tomando en cuenta tiempos muertos del proceso, como cambios de electrodo, paro por ciclo de trabajo de la máquina, limpieza de escoria y todos los factores que interrumpen el arco eléctrico.

$$F_{op} = \frac{\text{Tiempo de Arco [hr]}}{\text{Tiempo Total Pagado [hr]}} * 100$$

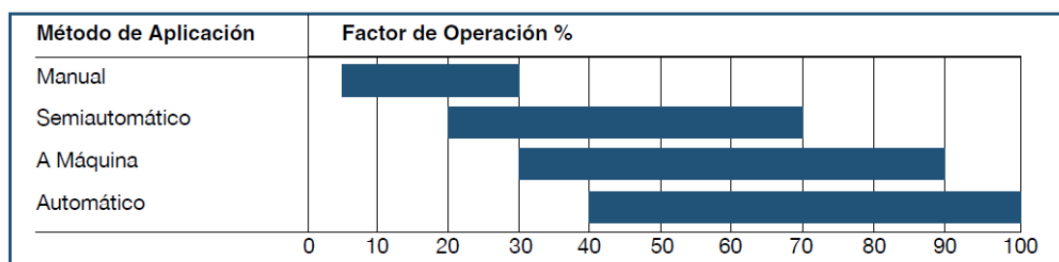
El proceso SMAW tiene un bajo factor de operación aproximadamente entre 5 y 30% como se detalla en la Tabla 5, debido a que, requiere de muchas interrupciones del arco necesarias para completar el proceso de soldadura y su mayor desventaja es la dificultad para automatizarlo.

Tabla 5*Factor de Operación*

Proceso	Factor de Operación (%)
Electrodo manual	5 – 30
MIG sólido	10 – 60
MIG tubular	10 – 60
TIG	5 – 20
Arco sumergido	50 – 100

Fuente: (INDURA, 2007, pág. 13)

Considerando la facilidad para transformar los procesos en semiautomáticos y automáticos se tiene factores de operación entre 20 y 70% y 40 y 100% respectivamente como se representa en la Figura 5.

**Figura 5** Factor de Operación**Fuente:** (INDURA, 2007, pág. 15)

Adicional a estos factores ya generalizados en el campo de la soldadura con electrodo revestido existen un sinnúmero de variaciones de estos que ayudan a cuantificar los costos, productividad y rendimiento de la soldadura:

e. *Costo de un 1 kilogramo de metal depositado [\$/Kg]:*

(Optimización de la Soldadura en Construcción Naval en el Perú, 2011, pág. 2):

$$C_{1Kg} = (\text{Tiempo de Fusión de 1 Kg [hr]} + \text{Tiempo específico [hr]})$$

$$+ \text{tiempos auxiliares [hr]} * \text{costo de 1 hora del soldador} \left[\frac{\$}{hr} \right]$$

$$+ \text{Costo de consumibles [\$]} + \text{costo de amortización [\$]}$$

$$+ \text{costo de energía [\$]}$$

f. *Numero de varillas por metro lineal de soldadura [Varillas/m]:*

$$\text{No. Elec por metro} = \frac{\text{Cantidad de material depositado en 1 metro [Kg/m]}}{\text{peso real utilizado por electrodo} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{electro}} \right]}$$

g. *Peso perdido en colillas, gases y escoria [g]:*

$$\text{MED} = \text{Peso de electrodos utilizados} - \text{Peso de material depositado}$$

2.2.3 Influencia del Amperaje en la Productividad

Entre todos los parámetros de soldadura que influyen en el proceso SMAW el amperaje es el más notable que el usuario prefiere variar para conseguir un resultado determinado.

Todo electrodo posee un rango de amperajes en el que brinda su mejor desempeño, cuando se supera los rangos recomendados por los fabricantes aparecen defectos como el exceso de penetración, salpicaduras, mordeduras, entre otros, que pueden pasar desapercibidos o pueden ser sobreestimados y en un futuro causar grandes pérdidas de dinero. Todos los valores incluidos en estos rangos recomendados tienen índices de productividad diferentes y rendimientos distintos para cada valor, es decir que también corresponden rangos de valores de productividad y rendimiento con el que los usuarios podrían analizar y mejorar sus propuestas de trabajos y proyectos.

El objetivo de los índices de productividad, valores de rendimiento y demás indicadores nombrados anteriormente es obtener calidad en la soldadura (eficiencia y apariencia) a menor costo.

Que un electrodo sea más productivo que otro significa que el trabajo final de soldadura realizado sea el mismo, en cantidad y calidad pero a un menor costo, y esto implica ahorro de energía y material de aporte, por lo que las variaciones de amperaje a la que se están realizando los trabajos de soldadura son de gran importancia para el resultado funcional, económico y estético.

Una curva característica de un electrodo se determina mediante el rendimiento que este presenta en distintos rangos de amperaje. Esta referencia permite realizar un juicio de conveniencia en cuanto al amperaje que se está utilizando para un determinado trabajo.

2.2.4 Costos de la Productividad

Los modelos para poder estimar los costos en soldadura generalmente se componen de tres parámetros, el costo de mano de obra, el costo de materiales y gastos generales, de los cuales el costo de mano de obra se lleva la proporción más significativa del costo total de soldadura. El proceso para la determinación de los costos en soldadura comienza con el cálculo de la cantidad de material de aporte que se necesita depositar en la unión. Cada configuración que posee una junta de soldadura tiene diferente área transversal y por lo tanto se necesitara mayor o menor cantidad de material de aporte para llenarla de acuerdo a lo que dicten los códigos de soldadura en cuanto a la penetración y sobremonta del cordón de relleno (Quispe Montoro, 2013, págs. 133-135).

2.2.4.1 Costo de Mano de Obra

La cantidad de material de aporte que una unión requiere crece conjuntamente con el tiempo que tomará llenarla y por lo tanto el tiempo pago al soldador también se incrementará, ya que la manera tradicional de su remuneración es por horas de trabajo, sin embargo también suelen cobrar por uniones soldadas o por metro soldado.

El costo de la mano de obra depende de la cantidad de soldadura necesaria es decir el peso del material depositado, la velocidad de deposición, factor de operación y tarifa de la mano de obra, ecuación 8

$$Costo_{M.O.} = \frac{P.M.D. \left(\frac{Kg}{m} \right) * Tarifa M.O. \left(\frac{\$}{h} \right)}{Velocidad de Deposicion \left(\frac{Kg}{h} \right) * Factor de Operacion (\%)} \quad (8)$$

La tarifa de la mano de obra del soldador es un valor que cada compañía debe determinar de acuerdo al sistema de contabilidad que lleve.

La velocidad de deposición tiene gran incidencia sobre los costos en soldadura, cuando el método utilizado puede depositar a una mayor velocidad significa que el tiempo que tomará completar la unión será menor y por lo tanto menor costo. Hoy podemos encontrar en todos los catálogos de soldadura porcentajes donde se indica la velocidad de deposición que los métodos de soldadura pueden ofrecer (Quispe Montoro, 2013, págs. 155-159).

2.2.4.2 Costo de Consumibles

Cada proceso de soldadura necesita de fundentes y consumibles inherentes, que al final afectarán al costo total de la soldadura. El consumo de gases y fundentes para métodos como el Mig-Mag, y Arco Sumergido representan una carga para el costo final de la soldadura. Para el proceso SMAW este factor se simplifica ya que no se utilizan gases ni fundentes aparte del recubrimiento que viene adherido al material de aporte, es decir que al momento de planificar una adquisición de consumibles para SMAW simplemente se pagará por los kilogramos en varillas con recubrimiento (Quispe Montoro, 2013, pág. 155).

2.2.4.3 Costo de Energía consumida

Entre los gastos generales de soldadura se encuentra el consumo de energía eléctrica utilizada durante la deposición de material y aplica para todos los procesos de soldadura.

Para todos los métodos de soldadura por fusión, puede ser considerado aproximadamente como 4 [KWh/kg] de soldadura de acero depositado (INDURA, 2007, pág. 14).

Para la estimación de este costo se tiene la siguiente ecuación:

$$C_{Energía}[\$] = \frac{\text{Voltaje (V)} * \text{Amperaje(Amp)} * \text{F. de Potencia} * \text{T. de Arco (h)}}{1000} [\text{KWh}]$$

$$* \text{Tarifa} \left[\frac{\$}{\text{KWh}} \right]$$

Los valores de voltaje y amperaje son los medidos durante el proceso de soldadura, el factor de potencia es el que indica la eficacia de la fuente de potencia y se puede encontrar en la curva de operación de la máquina y el tiempo de arco es el valor en horas de lo que tomo realizar la soldadura sin interrupciones.

2.2.4.4 Costo de la depreciación del equipo utilizado

La depreciación es la pérdida de valor de un activo fijo, por su uso o desgaste natural, cuando un activo es utilizado para generar ingresos, este sufre un desgaste normal durante su vida útil que al final lo lleva a ser inutilizable. (Granados & Latorre, pág. 187)

La depreciación de los activos fijos se realizará de acuerdo a la naturaleza de los bienes, a la duración de su vida útil y la técnica contable. (Reglamento para la aplicación Ley de Regimen Tributario Interno, LORTI, pág. 17). Para que este gasto sea deducible, no podrá superar los siguientes porcentajes:

- Instalaciones, maquinarias, equipos y muebles 10% anual.
- Vehículos, equipos de transporte y equipo caminero móvil 20% anual.
- Equipos de cómputo y software 33% anual.

La técnica contable para realizar la depreciación de una máquina de soldar recomendada es el método de línea recta principalmente por su sencillez y por la facilidad de implementación, tomando en cuenta para su cálculo el valor del activo o coste de adquisición, valor residual (10% anual) y el total de las horas de vida útil estimadas de la maquinaria según se observa en la fórmula:

$$\text{Depreciación} \left[\frac{\$}{h} \right] = \frac{\text{Valor del activo fijo}[\$] - \text{Valor residual} [\%]}{\text{Horas estimadas de trabajo} [h]}$$

CAPÍTULO III

3. DISEÑO EXPERIMENTAL

3.1 INTRODUCCIÓN AL PROCESO DE SOLDADURA

En la industria metalmeccánica se invierten grandes cantidades de dinero y tiempo para la construcción, reparación y mantenimiento de estructuras o elementos mecánicos, por lo tanto todos estos trabajos de soldadura tienen que ser guiados por normas y códigos que recomienden y establezcan procedimientos de soldadura que garanticen que la junta realizada responderá con seguridad a todas las solicitudes que se le presenten. Estos códigos tienen que ser utilizados en el diseño de las juntas, selección y aceptación del material base y de aporte, tienen que guiar el proceso de soldadura, verificar mediante ensayos que la soldadura sea confiable y libre de defectos y también certificar que los soldadores están capacitados y calificados para realizar la soldadura, es decir que estas normativas están presentes durante la planeación, ejecución y verificación del proceso de soldadura.

En el mercado se puede encontrar una gran variedad de marcas de consumibles para proceso SMAW, siendo objetivo de este estudio el análisis de la productividad y rendimiento de los tres electrodos más consumidos (E-6010, E-6011 y E-7018 de 1/8" de diámetro) de cuatro marcas de diferentes fabricantes, que serán llamadas A, B, C y D ya que el presente análisis no tiene fines comerciales.

El material base será de acero ASTM A36, elegido debido a que es el comúnmente utilizado para aplicaciones artesanales y preferido especialmente para la construcción estructural a pequeña y grande escala.

Todos los consumibles de las distintas marcas se expenden en el mercado compitiendo entre sí, por lo que supondremos que todos los consumibles cumplen con los requerimientos de resistencia mecánica con los que el

catálogo de cada marca lo especifica. Debido a que este es un análisis de productividad, rendimiento y otros indicadores similares no se realizarán ensayos destructivos y no destructivos que certifiquen al consumible, a la soldadura o las habilidades del soldador, por lo que para el experimento las soldaduras serán realizadas en posición horizontal (1G) por un soldador calificado para proceso SMAW, y así tener la seguridad que el material de aporte fue depositado correctamente en todos los experimentos. La carta de certificación del soldador se encuentra en el Anexo 2.

Para métodos manuales de soldadura, se recomienda utilizar corriente directa (D.C), con polaridad inversa, debido a la estabilidad del arco durante todo el tiempo de deposición de material, por lo que 60 uniones serán realizadas con este tipo de corriente, dejando 9 para variar entre D.C+ (Corriente Continua con Polaridad Inversa), D.C- (Corriente Continua con Polaridad Directa), y AC (Corriente Alterna).

En la sección 3 del código AWS D1.1 se describe la Precalificación de WPSs en el que se especifica lo expresado en la Tabla 6.

Tabla 6

Aplicables según el código AWS D1.1

Aplicables	Aceptación según AWS D1.1	Justificación	Referencia
Proceso SMAW	Aceptado	Proceso Precalificado	3.2.1 Procesos Precalificados Pág. 61
Material base: ASTM A36 Espesor: 10 [mm]	Aceptado	Espesor menor a $\frac{3}{4}$ [pulg] o 20 [mm]	Tabla 3.1 Metal de base Precalificado Pág. 67
Material de aporte: E-6010, E-6011 E-7018	Aceptados	Según AWS A5.1 E60XX y E70XX	Tabla 3.1 Combinaciones de metales de aporte Pág. 67

Fuente: (Código de Soldadura Estructural - Acero, 2010, págs. 61,67)

3.1.1 Diseño de la Junta

Mediante el Código AWS D1.1 (Soldadura Estructural - Acero) que establece las reglas para la regulación de construcción de acero estructural se diseñaron los dos tipos de uniones, el tipo de unión PJP (Junta de Penetración Parcial) será para 60 uniones y CJP (Junta de Penetración Completa) para 9 uniones.

En la sección 3 del Código AWS D1.1 (Precalificación de WPSs), en 3.12 se describen los requerimientos dimensionales para PJP, donde nos refieren a la Figura 3.3 - Detalles de Juntas de Canal Soldadas Precalificadas como PJP (Código de Soldadura Estructural - Acero, 2010, pág. 82). Los detalles dimensionales de la junta se describen en la Figura 6 y Tabla 7.

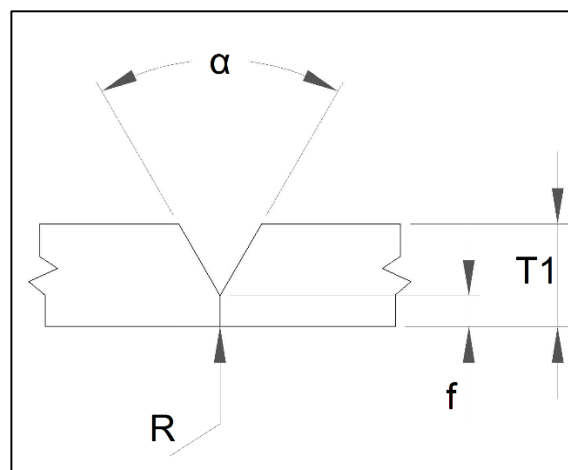


Figura 6 PJP - Soldadura de Canal Simple-V, Junta a Tope (B)

Tabla 7

Dimensiones PJP - Código AWS D1.1

	Espesor metal base	Abertura de raíz	Cara de Raíz	Ángulo de Canal
Requerimientos	T1= 1/4" [6 mm] min	R=0	f= 1/32" [1 mm] min	α=60°
Aceptados	T1=3/8" [10 mm]	R=0	f=1/8" [3 mm]	α=60°

Las dimensiones de largo y ancho de las placas a soldar serán tomadas de la Figura 4.23 Verificación de Consumibles para Soldaduras (Código de Soldadura Estructural - Acero, 2010, pág. 183), perteneciente a la Sección 4 (Calificación) las dimensiones se expresan en la Figura 7.

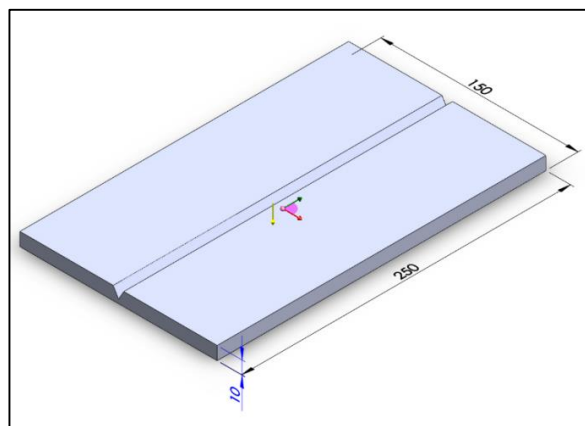


Figura 7 Dimensiones: 6 x 10 [pulg.] - 150 x 250 [mm]

En la sección 3 (Precalificación de WPSs), en 3.13 se describen los requerimientos para CJP (Junta de Penetración Completa), donde nos refieren a la Figura 3.3 - Detalles de Juntas de Canal Soldadas Precalificadas como CJP (Código de Soldadura Estructural - Acero, 2010, pág. 110). Los detalles dimensionales de la junta se expresan en la Figura 8 y Tabla 8:

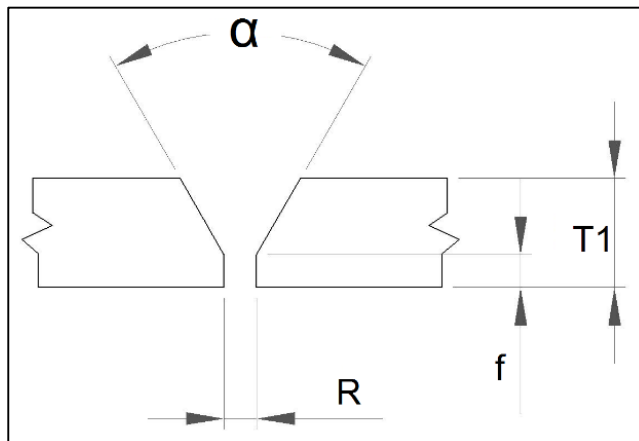


Figura 8 CJP - Soldadura de Canal Simple-V, Junta a Tope (B)

Tabla 8.

Dimensiones CJP - Código AWS D1.1

	Espesor metal base	Abertura de raíz	Cara de Raíz	Ángulo de Canal
Requerimientos	T1= U [Ilimitado]	R=0 a 3	f= 0 a 1/8" [0 a 3 mm]	$\alpha=60^\circ$
Aceptados	T1=3/8" [10 mm]	R=3	f=1/8" [3 mm]	$\alpha=60^\circ$

Las dimensiones de largo y ancho de las 9 uniones CJP a soldar serán tomadas de la Figura 4.23 - Verificación de Consumibles para Soldaduras, perteneciente a la Sección 4 - Calificación, (Código de Soldadura Estructural - Acero, 2010, pág. 183).

Dimensiones: 6 x 10 [pulg.] - 150 x 250 [mm]

3.1.2 Variables del Proceso

Las variables para el procedimiento se seleccionaron según recomendaciones de parámetros de soldeo con procesos manuales especificados en la Tabla 9 y para valores de amperaje recomendados para electrodos de 1/8" se indican en la Tabla 10.

Tabla 9*Variables del Proceso*

Variable	Asignación
Corriente y polaridad	60 PJP: D.C.+ 9 CJP: 3 (D.C.+), 3 (D.C.-) y 3 (A.C.)
Longitud de arco	1/8"
Empuje o arrastre	Arrastre
Posición del electrodo	Rotación de cara 150°
Posición de la junta a soldar	Plana (1G)

Tabla 10*Valores recomendados de Amperaje*

Electrodo 1/8"	Amperaje
E-6010	80-120
E-6011	80-120
E-7018	90-140

3.1.3 Descripción del Procedimiento

La documentación fotográfica, la descripción del procedimiento y el planteamiento de los WPS son prácticas fundamentales para complementar la validez de un proceso de soldadura. A continuación se mostrara el procedimiento iterativo para completar la soldadura de las 69 uniones planificadas. Los electrodos a utilizar son manufacturados por cuatro distintos fabricantes, de cada marca se tomarán los electrodos E-6010, E-6011 y E-7018 y las uniones serán soldadas con variaciones del amperaje que oscilan entre los valores de corriente recomendados para cada tipo de electrodo. Adicional se soldarán nueve uniones variando el tipo de corriente.

Todos los procedimientos serán realizados con los siguientes equipos:

- Soldadora - *LINCOLN PRECISION TIG 225 – CÓDIGO: MH-27*
- Pinza amperimétrica – *FLUKE 337 DC/AC*
- Balanza de precisión - *AE ADAM PGL 6001*

- Galga de medición de refuerzo de cordón y ángulo de biselado- *MC WL CHINA GAGE*
- Cronómetro – *DIGITAL IPAD AIR Y SONY XPERIA Z2*
- Conjunto de herramientas para limpieza de escoria y remoción de cordón de soldadura.
 - Grata Circular Trenzada TRUPER
 - Piqueta
 - Cepillo de Alambre

3.1.3.1 Verificación del ángulo de biselado y medición del refuerzo del cordón de relleno

Para que los datos obtenidos tengan validez en todos los experimentos se comprobará que las placas biseladas posean 30° con la vertical como se muestra en la Figura 9.

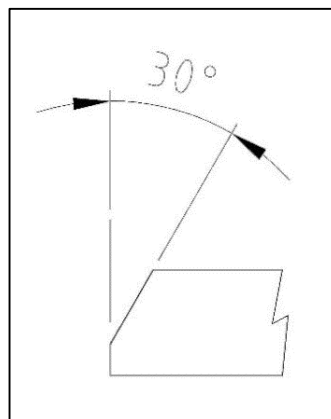


Figura 9 Ángulo de biselado

Se llevará un control de la sobremonta o refuerzo del cordón final o de relleno para cada unión realizada mediante la galga de medición de refuerzo de cordón.

En la sección 3 - Precalificación de WPSs, en la Figura 3.3 (Código de Soldadura Estructural - Acero, 2010, pág. 89), se describe la tolerancia de refuerzo que el cordón puede tener, especificando que debe estar entre $1/32''$ a $1/8''$ o 1 a 3 [mm].

3.1.3.2 Metodología del experimento

1. Se iniciará con la unión de las placas a tope, y se fijará la unión con platinas unidas en los extremos de las placas mediante puntos de suelda.
2. Se realizarán 3 pesajes para estimar la media del peso de los electrodos individuales pertenecientes a cada marca y a cada tipo, promedio asignado como P_e .
3. Se continuará con el pesaje de la unión (par de placas biseladas ya unidas) en la balanza de precisión, este valor inicial será asignado como P_1 .
4. Se ubicará la junta en posición plana (1G).
5. Se colocará en el porta electrodos la primera varilla de la marca A, tipo E-6010.
6. Se regulará la máquina en los amperajes convenidos, iniciando con 75 [Amp], comprobada con la pinza amperimétrica.
7. Se tomarán el tiempo total que tomo realizar la soldadura (T_{tot}), se tomará el tiempo de arco (T_a) y los tiempos auxiliares al proceso (T_m).

Nota: T_m incluye cambios de electrodo y limpieza de escoria.

8. Se realizará el pase de raíz a una velocidad que el soldador calificado estime correcta para que el material de aporte quede depositado correctamente.
9. Se limpiará la escoria del cordón al finalizar el consumo de un electrodo y al finalizar el total de soldadura.

Nota: El electrodo se desechara cuando la colilla mida 7 cm.

10. Se registrara el número de los electrodos utilizados (N_e) y se medirá la longitud del sobrante del ultimo electrodo (P_m).
11. Se realizará el pesaje de la placa soldada (P_2).
12. Se colocará un nuevo electrodo del mismo tipo y marca utilizado anteriormente.

13. Se regulará la máquina a 90 [Amp], comprobando con la pinza amperimétrica.

14. Se realizará el pase de relleno.

15. Mediante la galga para medir refuerzo del cordón se tomarán 3 puntos arbitrarios para comprobar que cumple con la tolerancia permitida.

16. Se realiza el pesaje de la placa (P3).

Se repetirán los 16 pasos antes nombrados para cada variación del proceso especificada en la Tabla 11.

Tabla 11

Variaciones para uniones PJP

Marca	Electrodo	Amperaje [Amp]	Observación	No. Replicas
A (Se repetirá para cada marca: B, C y D)	E-6010	75	1 pase de raíz	3
		90	1 pase relleno	
	E-6011	105	1 pase de raíz	3
		120	1 pase relleno	
	E-6011	75	1 pase de raíz	3
		90	1 pase relleno	
	E-7018	105	1 pase de raíz	3
		120	1 pase relleno	
Total Uniones por Marca				15
Total de Uniones				60

Las 9 uniones CJP serán realizadas con una sola marca, el pase de raíz será con E-6011 y el de relleno con E-7018 variando según la Tabla 12.

Tabla 12*Variaciones para uniones CJP*

Marca	Electrodo	Amperaje [Amp]	Observación	Corriente	No. Replicas
A	E-6011	85	1 Pase de Raíz	D.C.+	3
	E-7018	120	1 Pase de Relleno		
	E-6011	85	1 Pase de Raíz	AC	3
	E-7018	120	1 Pase de Relleno		
	E-6011	85	1 Pase de Raíz	D.C-	3
	E-7018	120	1 Pase de Relleno		
Total de uniones					9

Las 69 uniones serán soldadas en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, Laboratorio de Procesos de Manufactura – Área de Soldadura, Cubículo 1.

3.2 ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

El código AWS D1.1 en el Anexo N (Código de Soldadura Estructural - Acero, 2010, pág. 372), establece un formato para las Especificaciones de Procedimientos de Soldadura (WPS) en el que se dictan los parámetros del procedimiento con base en los requerimientos del código con el que el soldador estará orientado e informado en cuanto a las variables esenciales y no esenciales que posea cada procedimiento. Todos los WPS pertenecientes al presente análisis están en el ANEXO 1.

3.3 INICIO DEL PROCESO

3.3.1 Elementos que intervienen en el procedimiento

- *Cubículo 1:* Laboratorio de Procesos de Manufactura de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE



Figura 10 Cubículo 1–Laboratorio de Procesos de Manufactura

- *Equipo:* Soldadora Lincoln Precision Tig 225 – Código: MH-27



Figura 11 Soldadora Lincoln MH-27

- *Consumibles:* Todos los consumibles fueron adquiridos en distribuidores oficiales de cada producto se detallan en la Tabla 13,

constatando la calidad del electrodo en cuanto a almacenamiento, observar Figura 12 y 13

Tabla 13

Consumibles de cada marca

Marca	Clasificación		
A	E-6010	E-6011	E-7018
B	E-6010	E-6011	E-7018
C	E-6010	E-6011	E-7018
D	E-6010	E-6011	E-7018

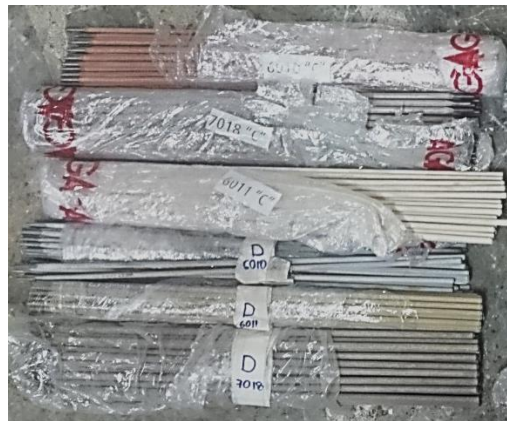


Figura 12 Lotes de consumibles clasificados marcas D y C



Figura 13 Lotes de consumibles clasificados marca A y B

- *Acero – Material Base: Acero ASTM A36 de 10 mm de espesor*

Dimensiones de las uniones: 150 x 250 [mm], los cuales se observan en la Figura 14.



Figura 14 Lotes de uniones clasificadas por número

- *Configuración: Unión PJP a tope, Soldadura de canal simple – V. (a la derecha vista inferior de la unión, Figura 15)*

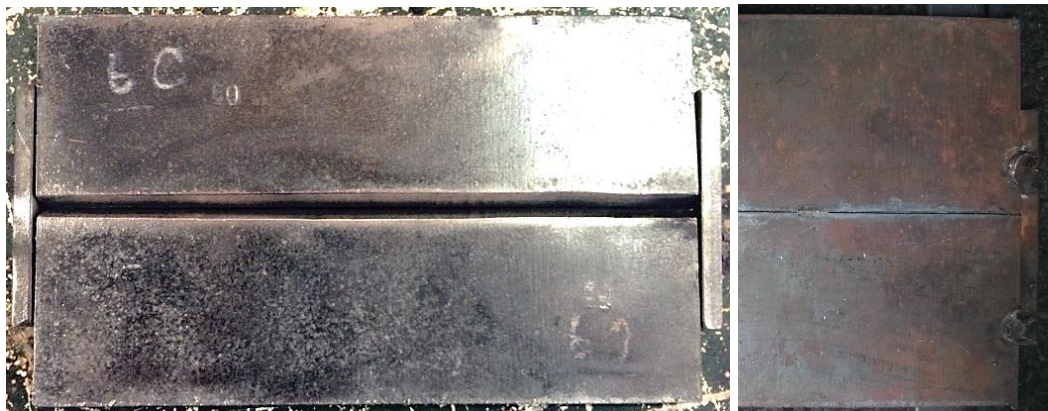


Figura 15 Unión PJP a tope

- *Configuración: Unión CJP (separación de raíz: 3 [mm]), Soldadura de canal simple – V. (a la derecha vista inferior de la unión, Figura 16)*

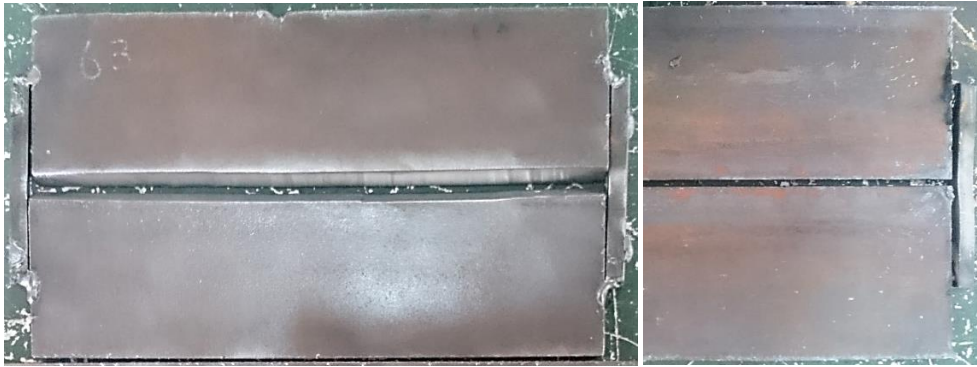


Figura 16 Unión CJP (separación de raíz: 3 [mm])

- *Equipo de Control:* Los ángulos de biselado serán verificados mediante la galga MC WL GAGE y los amperajes con la pinza amperimétrica FLUKE 337 DC/AC, Figura 18 y 17 respectivamente.



Figura 17 Galga MC WL GAGE



Figura 18 Pinza Amperimétrica FLUKE 337 DC/AC

3.4 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DEL EXPERIMENTO

Se observa en la Figura 19 la unión de las placas a tope fijadas con platinas en los extremos.



Figura 19 Unión PJP a tope rigidizada en los extremos

En la Figura 20 se muestra el pesaje de la unión (par de placas biseladas ya unidas) en la balanza de precisión, este valor inicial será asignado como P1.



Figura 20 Pesaje de la unión sin soldar

Ubicación de la junta en posición plana (1G) como se observa en la Figura 21.



Figura 21 Unión posición 1G

Se coloca en el porta electrodos la primera varilla de la marca A, tipo E-6010. Se regula la maquina en 75 Amp.

3.4.1 Inicio de la soldadura

- Para iniciar el proceso de soldadura se debe tomar en cuenta la ergonomía del puesto de trabajo, es decir, la postura y la manera de sostener el porta electrodo para alcanzar la altura a la que la unión a soldar se ubica como se demuestra en la Figura 22.

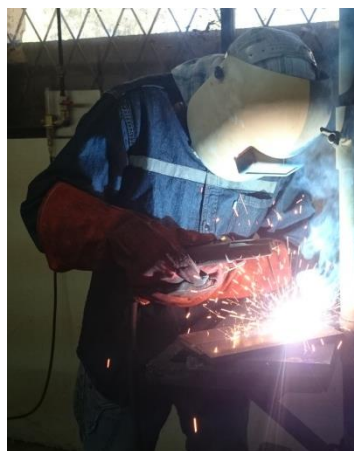


Figura 22 Soldadura posición 1G en arrastre

- Se registra el tiempo de arco y el tiempo total (Tiempo de arco más tiempo de cambios de electrodo y limpieza de escoria) que tomo realizar la soldadura, con los elementos indicados en la Figura 23.

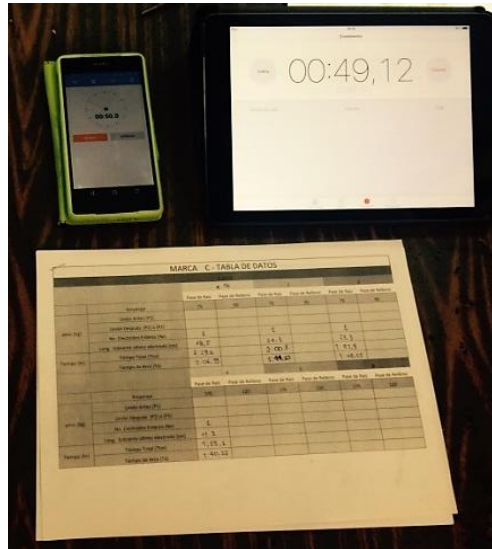


Figura 23 Cronometrado de tiempo total y tiempo de arco de la soldadura

- Se realiza el pase de raíz, limpiando la escoria al finalizar cada electrodo y al final de la soldadura como se observa en la Figura 24 y 25.



Figura 24 Limpieza del cordón de raíz con la técnica del grateado



Figura 25 Cordón de raíz libre de escoria

- Se cuentan los electrodos enteros consumidos y se mide el sobrante del último electrodo como se muestra en la Figura 26.



Figura 26 Medición del sobrante del último electrodo

- Se pesa la placa con el pase de raíz.
- Se coloca un nuevo electrodo del mismo tipo y marca utilizado anteriormente.
- Se regula la máquina a 90 [Amp], comprobando con la pinza amperimétrica Figura 27 y se hace el cordón de relleno, observando la secuencia en la Figura 28.



Figura 27 Comprobación de Amperaje

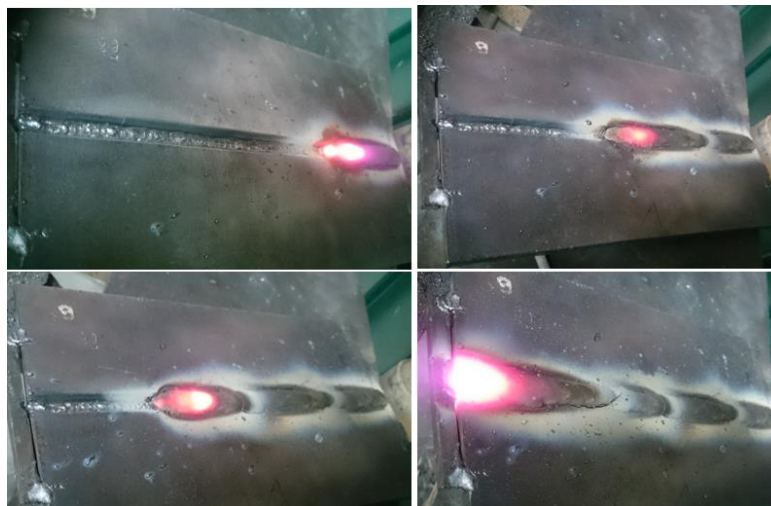


Figura 28 Secuencia de soldadura del cordón de relleno

- Mediante la galga para medir refuerzo del cordón se tomaran 3 puntos arbitrarios para comprobar que cumple con la tolerancia permitida como se observa en la Figura 29.



Figura 29 Medición del refuerzo mediante la galga

- Pesaje de la placa con el cordón de relleno



Figura 30 Pesaje final ya con el cordón de relleno

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1 DATOS EXPERIMENTALES

En el presente capítulo se expondrán los valores tomados durante la soldadura de las 69 uniones. Los datos tomados corresponden a:

- Material Depositado para cordón de raíz
- Material Depositado para cordón de relleno
- Tiempo de Arco
- Tiempo total de la soldadura (incluido tiempos auxiliares)
- Número de electrodos enteros utilizados
- Longitud sobrante de último electrodo
- Peso promedio de los electrodos de cada marca y clasificación
- Longitud promedio de electrodos

Todos los experimentos se realizaron mediante los siguientes parámetros de control:

- El amperaje de todos los experimentos fue comprobado con pinza amperimétrica.
- La medida de la colilla a la que los electrodos consumidos fueron desechados fue 7 cm para todos los experimentos.
- En todos los cordones de relleno se tomaron tres medidas a longitudes arbitrarias de sobremona comprobando que estén entre 1mm y 3 mm.

4.1.1 Material Depositado

El material depositado en cada unión pudo ser medido mediante diferencia de pesos antes y después de la soldadura. Se realizaron tres pesajes de la unión: sin soldadura, con el cordón de raíz y con el cordón de relleno. Este método es más exacto que el cálculo de área transversal para medir material

depositado. Los valores del pesaje para cada caso se pueden ver en la Tabla A3.1 y Tabla A3.2 del Anexo 3, correspondiente a variación marca y variación de tipo de corriente respectivamente. A continuación se presentan el valor promedio de pesaje perteneciente a las tres réplicas hechas para cada caso. Los valores están ordenados de mayor a menor, para variación de marcas y variación de tipo de corriente, Tabla 14 y Tabla 15 respectivamente.

Tabla 14

Valores promedio de material depositado por marcas

Valor promedio de material depositado [g]- ordenado de mayor a menor			
Cordón de Raíz		Cordón de Relleno	
E-6010 a 75 [AMP]		E-6010 a 90 [AMP]	
Marca	Peso [g]	Marca	Peso [g]
A	24,67	D	56,27
B	21,63	A	37,57
C	21,33	C	37,17
D	17,90	B	34,73
E-6010 a 105 [AMP]		E-6010 a 120 [AMP]	
D	30,10	C	43,40
A	26,47	D	41,37
C	25,63	B	38,77
B	23,73	A	34,80
E-6011 a 75 [AMP]		E-6011 a 90 [AMP]	
B	28,47	D	41,40
A	22,67	B	41,03
C	21,40	C	40,97
D	19,03	A	39,00
E-6011 a 105 [AMP]		E-6011 a 120 [AMP]	
B	28,30	D	41,47
D	25,57	A	40,30
A	23,87	C	36,13
C	23,07	B	34,83

Continúa 

E-7018 a 110 [AMP]		E-7018 a 130 [AMP]	
D	32,27	C	37,77
C	33,20	B	37,43
B	30,93	D	35,90
A	28,50	A	35,80

Tabla 15

Valores promedio de material depositado por tipo de corriente

Valor promedio de material depositado [g]- ordenado de mayor a menor			
Cordón de Raíz		Cordón de Relleno	
E-6011 a 85 [AMP]		E-7018 a 130 [AMP]	
DC-	31,57	DC-	74,97
DC+	30,03	AC	70,50
AC	29,53	DC+	66,17

4.1.2 Tiempo total de soldadura y tiempo de arco

El proceso SMAW se caracteriza por tener interrupciones durante el proceso debido a los tiempos muertos que son cambios de electrodo y limpieza de escoria. Al consumir un electrodo se debe retirar la escoria del tramo final soldado para comenzar a consumir un electrodo nuevo y así evitar inclusiones de escoria en el cordón, de igual manera al terminar un cordón se debe retirar la escoria de todo el tramo soldado. Para la estimación de tiempos muertos se consideró el tiempo de cambio de electrodo, tiempo de limpieza de escoria del segmento donde empezará a fundir el nuevo electrodo y tiempo de limpieza del cordón terminado. De acuerdo a la dificultad que cada electrodo presentó para limpiar su escoria se dio valores de dificultad baja, media y alta, los valores estimados se pueden ver en la Tabla 16. El tiempo promedio de para cambio de electrodo fue de 21 [segundos] para todos los casos.

En las tablas 17 y 19 se indican los valores promedio de tiempo de arco y tiempo total de cada marca para cordones de raíz y relleno respectivamente y las tablas 18 y 20 indican los valores promedio de tiempo para la variación de tipo de corriente para cordones de raíz y relleno. Todos los datos de tiempo pertenecientes a las 69 uniones se encuentran en la Tabla A3.3 y A3.4 del Anexo 3.

Tabla 16*Tiempos Muertos*

ESTIMACIÓN DE TIEMPOS MUERTOS [SEGUNDOS]			
Marca	Dificultad de remoción de Escoria	Limpieza de final de electrodo	Limpieza Final Unión
D	Media	8	55
C	Alta	8	70
B	Baja	7	40
A	Baja	7	40

Tabla 17*Tiempo de cordones de raíz por marca*

Cordón de Raíz			
Tiempo de Arco [Segundos]		Tiempo Total [segundos]	
E-6010 a 75 [AMP]		E-6010 a 75 [AMP]	
Marca	Segundos	Marca	Segundos
A	118.66	C	205.37
B	111.40	D	187.56
C	106.37	A	186.66
D	103.56	B	179.40
E-6010 a 105 [AMP]		E-6010 a 105 [AMP]	
D	117.79	D	201.79
A	109.36	C	201.21
C	102.21	A	127.36
B	86.92	B	154.92
E-6011 a 75 [AMP]		E-6011 a 75 [AMP]	
B	126.91	C	218.41
C	119.41	D	182.64
A	108.09	B	194.91

Continúa 

D	98.64	A	176.09
E-6011 a 105 [AMP]		E-6011 a 105 [AMP]	
C	109.44	C	208.44
D	99.30	D	183.30
A	96.05	A	164.05
B	88.46	B	156.46
E-7018 a 110 [AMP]		E-7018 a 110 [AMP]	
A	147.75	D	216.32
D	132.32	A	215.75
B	121.79	C	202.07
C	103.07	B	189.79

Tabla 18*Tiempo de cordón de raíz por tipo de corriente*

Cordón de Raíz			
Tiempo de Arco		Tiempo Total	
E-6011 a 85 [AMP]		E-6011 a 85 [AMP]	
DC+	120.77	DC+	188.77
DC-	114.11	DC-	182.11
AC	96.64	AC	164.64

Tabla 19*Tiempo de cordón de relleno por marca*

Cordón de Relleno			
Tiempo de Arco [Segundos]		Tiempo Total [Segundos]	
E-6010 a 90 [AMP]		E-6010 a 90 [AMP]	
Marca	Segundos	Marca	Segundos
D	265.61	D	391.61
C	155.75	C	275.75
B	147.13	B	236.13
A	143.40	A	232.40
E-6010 a 120 [AMP]		E-6010 a 120 [AMP]	
C	161.97	C	281.97
D	159.22	D	264.22
B	126.03	A	215.03
A	120.69	B	209.69
E-6011 a 90 [AMP]		E-6011 a 90 [AMP]	
C	211.27	C	331.27

Continúa 

B	167.50	D	266.65
D	161.65	B	256.50
A	160.16	A	249.16
E-6011 a 120 [AMP]		E-6011 a 120 [AMP]	
C	151.06	C	271.06
A	144.37	A	233.37
D	121.75	D	226.75
B	117.72	B	206.72
E-7018 a 130 [AMP]		E-7018 a 130 [AMP]	
D	130.68	C	215.92
B	122.62	D	214.68
A	120.70	B	190.62
C	116.92	A	188.70

Tabla 20

Tiempo de cordón de relleno por tipo de corriente

Cordón de Relleno - Ordenado			
Tiempo de arco		Tiempo total	
E-7018 a 130 [AMP]		E-7018 a 130 [AMP]	
AC	251.02	AC	354.02
DC+	225.54	DC+	309.88
DC-	220.18	DC-	323.18

4.1.3 Número de electrodos enteros y sobrante del último electrodo utilizado

El número exacto de electrodos utilizados por cordón es un valor muy útil para poder estimar cuanto realmente se depositó en la unión, con la diferencia entre peso de electrodos utilizados y material depositado podremos obtener una eficiencia de deposición inherente para cada variación analizada en el presente estudio. La diferencia calculada representa lo que se pierde en colillas de electrodo, gases de la fusión del recubrimiento y escoria. El número de electrodos utilizados en las 69 uniones podemos encontrar en la Tabla A3.5 del Anexo 3 y el número promedio de electrodos utilizados y el sobrante

podemos apreciar en la Tabla 21 para cada marca y Tabla 22 para la variación de tipo de corriente.

Tabla 21

Número Promedio de Electrodo utilizados por marca

No. Electrodo Utilizados por marca ordenado de mayor a menor					
Cordón de Raíz			Cordón de Relleno		
E-6010 a 75 [AMP]			E-6010 a 90 [AMP]		
Marca	Enteros	Sobrante [cm]	Marca	Enteros	Sobrante [cm]
C	1	23,8	D	3	22,0
B	1	21,1	B	2	26,0
D	1	15,4	C	2	24,4
A	1	14,9	A	2	23,3
E-6010 a 105 [AMP]			E-6010 a 120 [AMP]		
B	1	15,7	A	2	23,8
A	1	13,9	B	2	18,4
C	1	11,4	D	2	13,5
D	1	10,1	C	2	8,8
E-6011 a 75 [AMP]			E-6011 a 90 [AMP]		
B	1	29,0	B	2	23,8
C	1	25,2	A	2	23,5
A	1	21,7	D	2	21,0
D	1	14,9	C	2	17,9
E-6011 a 105 [AMP]			E-6011 a 120 [AMP]		
C	1	20,6	B	2	27,3
D	1	18,3	C	2	22,6
A	1	12,9	A	2	22,2
B	1	8,8	D	2	20,5
E-7018 a 110 [AMP]			E-7018 a 130 [AMP]		
A	1	22,9	D	1	18,8
D	1	22,4	B	1	16,8
B	1	20,2	A	1	9,7
C	1	14,5	C	1	8,8
E-6011 a 85 [AMP]			E-7018 a 130 [AMP]		
DC-	1	12,1	AC	3	22,6
AC	1	11,3	DC-	3	18,1
DC+	1	10,5	DC+	2	8,0

Tabla 22*Número Promedio de Electrodo utilizados por tipo de corriente*

No. Electrodo Utilizados por tipo de corriente ordenado de mayor a menor					
Cordón de Raíz			Cordón de Relleno		
E-6011 a 85 [AMP]			E-7018 a 130 [AMP]		
DC-	1	12,1	AC	3	22,6
AC	1	11,3	DC-	3	18,1
DC+	1	10,5	DC+	2	8,0

4.1.4 Peso promedio de los electrodos por marca y clasificación

Para poder comparar el peso del material depositado en cada unión con los pesos exactos de los electrodos utilizados es necesario conocer la media del peso de cada electrodo de cada marca y tipo. La Tabla 23 indica el valor promedio de los electrodos por marca y clasificación.

Tabla 23*Peso promedio de los electrodos por marca y clasificación*

		PESO POR ELECTRODO [g]			Promedio
Marca	Electrodo	Repetición			
		1	2	3	
D	6010	26.9	26.9	26.9	26.9
	6011	26.9	26.9	26.8	26.9
	7018	34.0	34.1	34.2	34.1
C	6010	25.0	25.1	25.1	25.1
	6011	27.3	27.3	27.3	27.3
	7018	37.8	38.1	37.7	37.9
B	6010	26.6	26.5	26.5	26.5
	6011	28.6	28.5	28.6	28.6
	7018	34.5	34.5	34.5	34.5
A	6010	26.4	26.4	26.4	26.4
	6011	27.1	27.2	27.1	27.1
	7018	35.4	34.0	35.0	34.8

4.1.5 Longitud Promedio de Electroodos













Todos los fabricantes de consumibles para proceso SMAW producen los electrodos de 35 [cm] de longitud. Al igual que los otros factores medidos antes del procedimiento este factor nos ayuda a estimar el peso que tendría cualquier electrodo que ha empezado a utilizarse mediante la medición del sobrante.

4.2 APARIENCIAS DE CORDONES DE SOLDADURA

Para toda soldadura el primer ensayo que se practica es el visual, regularmente este proporciona la primera pauta para saber si la soldadura fue realizada correctamente en cuanto a ancho del cordón, sobremona o defectos superficiales. La primera impresión que puede tener una soldadura realizada con proceso SMAW podría indicar que tan hábil es el soldador, o podrían revelar que una variable del proceso puede estar afectando al aspecto del cordón de soldadura.

En el presente estudio no tiene como objetivo realizar formalmente un ensayo visual sobre las 69 uniones soldadas sin embargo el aspecto del cordón podría ayudar a concluir respecto a la influencia de los amperajes usados y el tipo de corriente en la productividad de los demás indicadores de las cuatro marcas analizadas.

Las apariencias de los cordones de raíz se pueden observar en las Figura 31 y 32 y los aspectos de los cordones de relleno en las Figuras 33 y 34.

PASE DE RAÍZ Corriente: DC+	
E-6010 Amperaje: 75 [Amp]	
A 	B 
C 	D 
E-6010 Amperaje: 105 [Amp]	
A 	B 
C 	D 
E-6011 Amperaje: 75 [Amp]	
A 	B 
C 	D 
E-6011 Amperaje: 105 [Amp]	

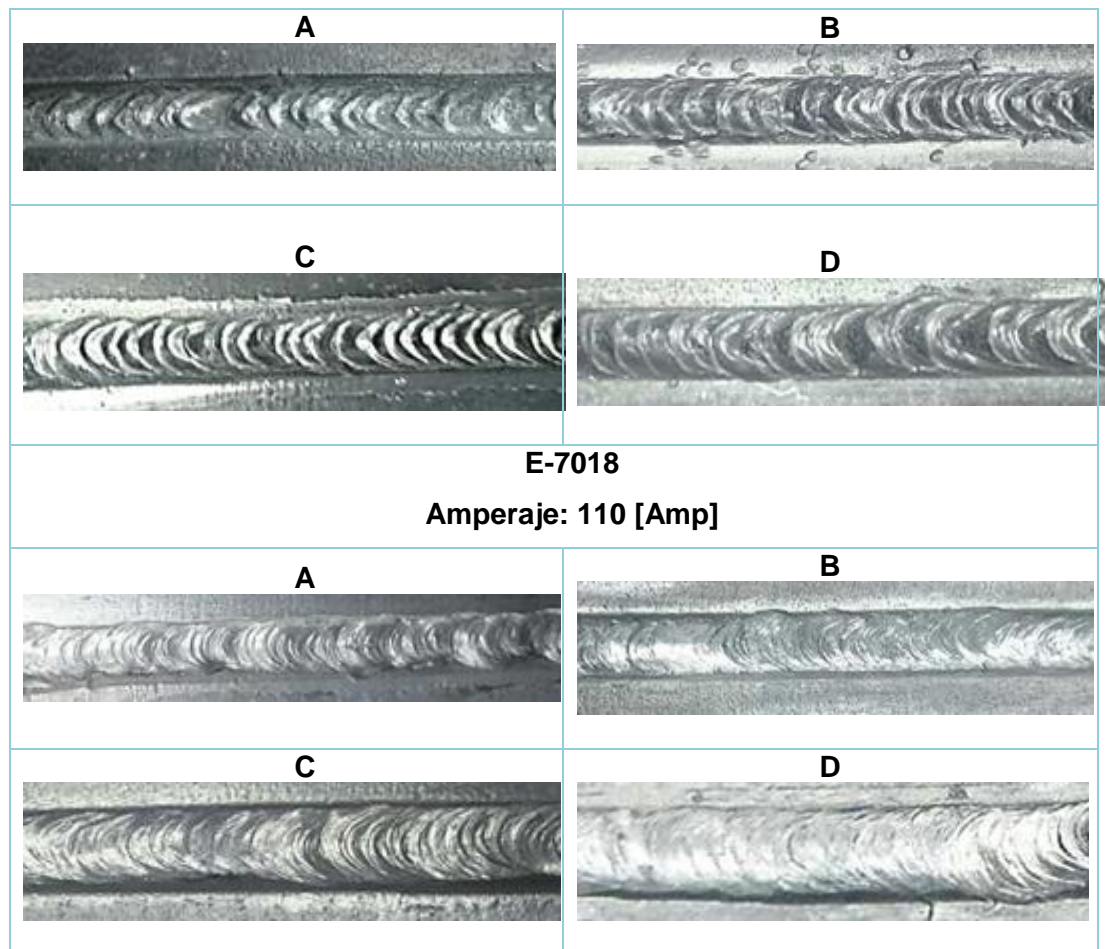
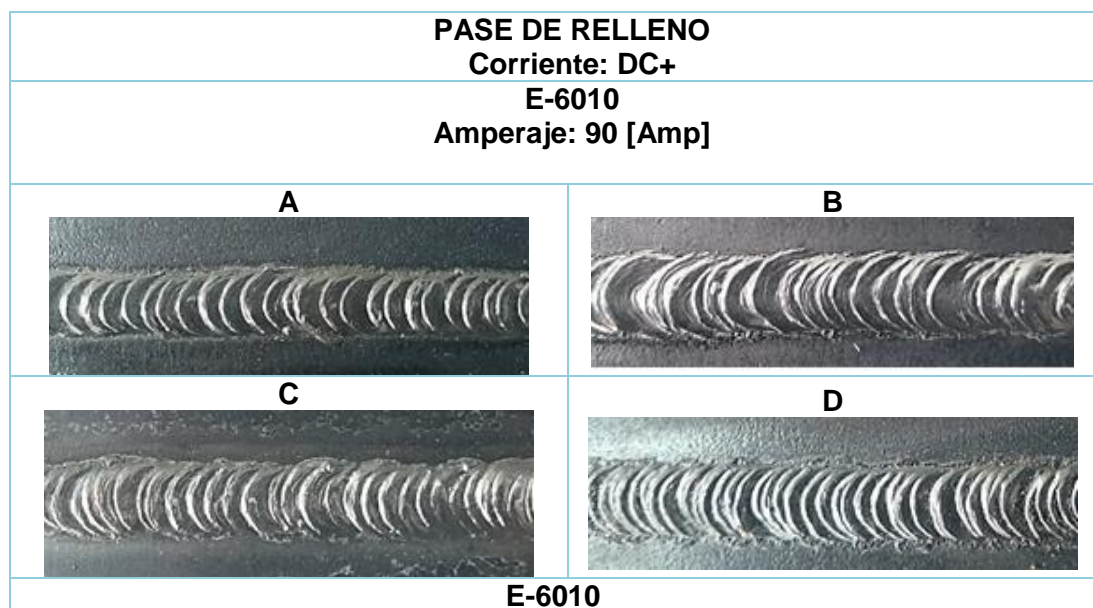
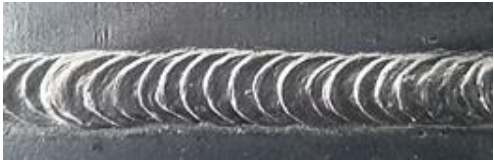







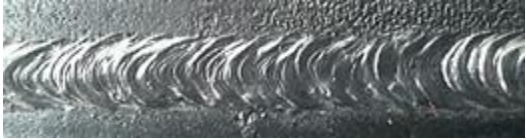





Figura 31 *Apariencia de Cordones de Raíz*



Amperaje: 120 [Amp]	
A 	B 
C 	D 
E-6011 Amperaje: 90 [Amp]	
A 	B 
C 	D 
E-6011 Amperaje: 120 [Amp]	
A 	B 
C 	D 
E-7018 Amperaje: 130 [Amp]	
A	B

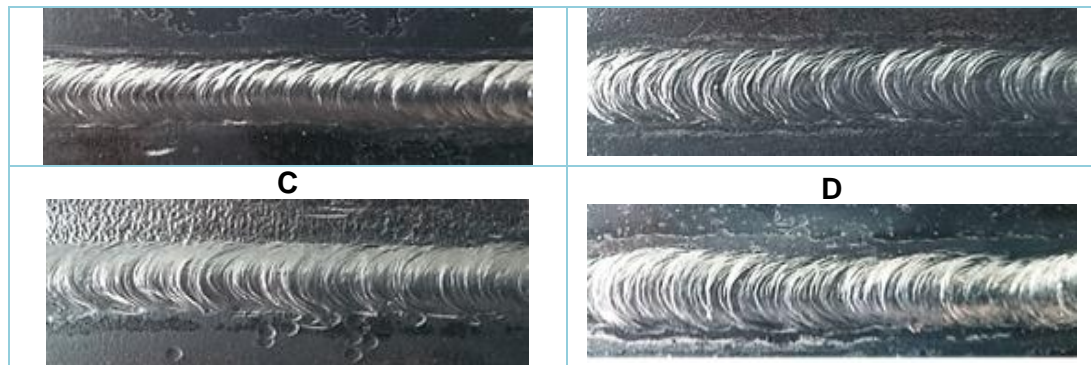


Figura 32 Apariencia de Cordones de Relleno

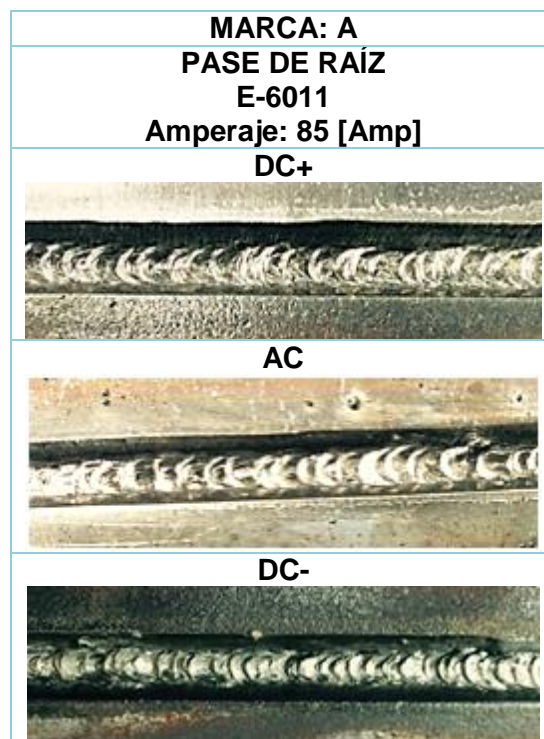


Figura 33 Apariencia de Cordones de Raíz – Tipo de corriente

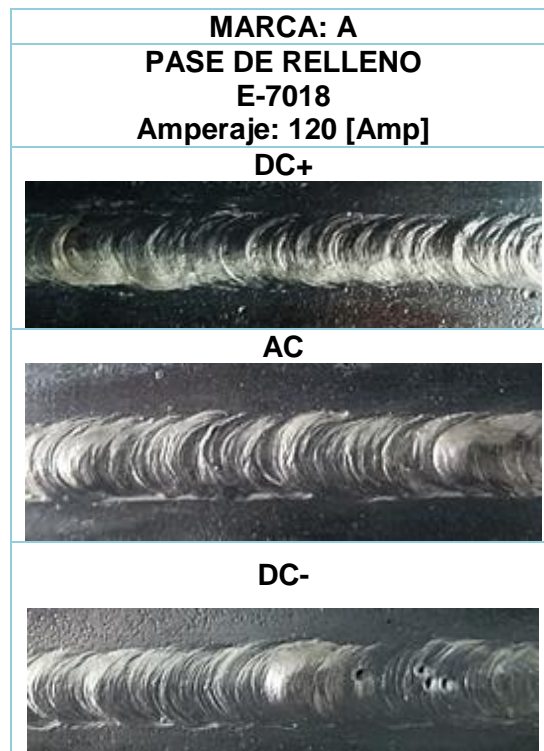


Figura 34 *Apariencia de Cordones de Relleno - Tipo de corriente*

4.3 PARÁMETROS DE PRODUCTIVIDAD

Para el cálculo de los índices de Productividad se involucran tarifas y costos que usualmente son utilizados en soldadura. Los costos que se presentan a continuación son parámetros que toman valor de acuerdo a la situación económica del país, de la empresa y a la capacidad de la máquina con la que se vaya a realizar el trabajo de soldadura.

Se presentan cuatro costos, la mano de obra, el más determinante para los costos totales de soldadura, los costos de consumibles, que son precios fijados de acuerdo a la economía e interés de cada compañía fabricante, el costo de la energía, que depende del valor del Kilovatio hora [KWh] en el País conjuntamente con la regulación de la corriente de la máquina utilizada y la depreciación del equipo que depende del valor anual de depreciación que está fijado para maquinaria como se expresa en la siguiente fórmula:

$$Productividad = \frac{\text{cantidad de material de aporte depositado [g]}}{\text{costo de mano de obra [\$] +} \\ \text{costo de consumibles [\$] +} \\ \text{costo de energía consumida [\$] +} \\ \text{costo de depreciación del equipo [\$]}}$$

El presente estudio se centra en la productividad de los electrodos más vendidos en el Ecuador, por lo que dos de los parámetros de la productividad toman valor de las tarifas que usualmente un soldador especializado gana por hora (Tabla sectorial 2015 - Foros Ecuador) y del valor del [KWh] de energía eléctrica (Empresa Electrica Quito, 2015) expresados en la Tabla 24.

Tabla 24

Tarifas de M.O. y del [KWh] en Ecuador

TARIFAS	
Costo de Mano de Obra [\$/h]	2.299
Costo del KWh en Ecuador [\$/KWh]	0.436

El costo de los consumibles es un parámetro que varía de acuerdo a como se realice la compra de los mismos. Al comprar al por mayor el costo del kilogramo será notablemente inferior al costo que sería al comprar un solo kilogramo, por lo que este costo toma los valores de la Tabla 25 que son los promedios de los valores a los que podemos adquirir los tres tipos de electrodo en una ferretería de barrio. Estos costos se aplican para todas las marcas analizadas ya que al usar los precios actuales de los electrodos de cada marca estaríamos irrumpiendo con el compromiso de confidencialidad del presente estudio.

Tabla 25*Promedio de costo de Electrodo*

Costo de Consumibles [\$/Kg]		
Electrodo	Cantidad	Costo [\$]
E-6010	1Kg	4.5
E-6011	1Kg	4.2
E-7018	1Kg	5.9

El costo de la energía eléctrica en [KWh] estimado para cada proceso depende a su vez de otros parámetros y se calcula según la ecuación siguiente.

$$KWh = \frac{Voltaje * Amperaje * Tiempo[h] * Factor de Potencia}{1000}$$

El Voltaje es un parámetro que depende de la fuente de alimentación de la máquina soldadora, el amperaje es el valor regulado al que la máquina trabaja, el tiempo equivale al tiempo de arco y el factor de potencia es un valor proporcionado por el fabricante de la máquina soldadora (Manual del Operador - Precision TIG 225, págs. A-2), estos valores se expresan en la Tabla 26.

Tabla 26*Parámetros de cálculo de la Energía Consumida*

Parámetros para Costo de Energía Consumida		
Alimentación de la Máquina	220	[Voltios]
Costo de KWh en el País	0.436	[\$/Kwh]
Factor de Potencia Máquina	0.62	%

El costo de depreciación de la máquina soldadora se calcula tomando en cuenta el valor del activo fijo, el valor residual que por ley se establece a un valor del 10% del activo y la vida útil estimada en horas, como se expresa en la siguiente fórmula.

$$\text{Depreciación} \left[\frac{\$}{h} \right] = \frac{\text{Valor del activo fijo}[\$] - \text{Valor residual} [\%]}{\text{Horas estimadas de trabajo} [h]}$$

Los valores tomados para el cálculo de la depreciación de la máquina soldadora utilizada en este estudio se indican en la Tabla 27.

Tabla 27

Depreciación Máquina Soldadora

Costo Activo Fijo	\$2.265,00
Valor Residual (10%)	\$226,50
Vida útil en horas (estimadas)	17.280
DEPRECIACIÓN MÁQUINA	\$0,12

4.4 CÁLCULO DE LA PRODUCTIVIDAD

Para cada variación del proceso especificada en las Tablas 11 y 12 se calculó un índice de productividad, utilizando los datos tomados para cada una de las 69 uniones y los valores de costos de las Tablas 26 y 27 según la ecuación:

$$I_{\text{Productividad}} = \frac{\text{Material Depositado}[g]}{\begin{aligned} & (\text{Tarifa de M.O.} \left[\frac{\$}{h} \right] * \text{Tiempo Total} [h]) + \\ & (\text{Costo de Consumible} \left[\frac{\$}{Kg} \right] * \text{Peso de electrodos utilizados} [Kg]) + \\ & (\text{Tarifa Energía Eléctrica} \left[\frac{\$}{KWh} \right] * \text{Energía Consumida} [KWh]) + \\ & (\text{Depreciación de Maquinaria} \left[\frac{\$}{h} \right] * \text{Tiempo Total} [h]) \end{aligned}}$$

Para poder establecer una comparación entre los índices de productividad se deben establecer las condiciones más favorables o ideales del proceso para obtener un máximo valor de productividad posible y las condiciones menos favorables para el proceso donde se obtendrá un valor mínimo de la Productividad.

4.4.1 Condiciones Ideales y no ideales

Para que el procedimiento sea ideal la Eficiencia de Deposición debe ser máxima, es decir que no se debe perder materiales por el desecho del electrodo o colillas, por gases y por escoria. El valor de la Eficiencia de Deposición toma el valor de 98% correspondiente al proceso SAW (arco sumergido). De la misma manera para para lograr un mínimo en los índices de productividad el valor de la eficiencia de deposición toma el valor de 50% correspondiente a soldadura SMAW (FMA The Fabricator, 2014).

El Factor de Operación debe ser máximo, es decir que no se perderá tiempo en cambios de electrodo y limpieza de escoria. Toma el valor de 100% correspondiente al proceso SAW. Para obtener el valor mínimo de Productividad el Factor de operación toma el valor de 5% correspondiente a la soldadura SMAW.

Para cualquier variación del procedimiento mediante las tarifas definidas anteriormente para el proceso y las condiciones ideales y no ideales reemplazadas en la Ecuación anterior se obtiene el índice de productividad máximo y mínimo. Para el cálculo de los límites de los valores de Productividad se eligieron combinaciones de todos los electrodos, todos los amperajes y aleatoriamente de las marcas analizadas, Tabla 28.

Tabla 28

Índice Máximo y Mínimo de Productividad

ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD IDEAL Y NO IDEAL [g/\$] - SELECCIÓN ALEATORIA							
Electrodo	Amperaje	Índice					
		Mínimo			Máximo		
		1	2	3	1	2	3
E-6010	75	12.56	12.35	13.49	105.17	90.70	104.14
	90	10.84	10.94	10.66	91.20	109.55	89.73
E-6011	105	14.01	12.65	13.85	87.34	89.35	81.11
	120	15.57	13.76	14.65	81.72	86.59	85.54
E-7018	110	10.32	11.95	12.03	62.50	65.05	59.25
	130	11.77	9.58	9.75	65.35	60.05	64.34
		PROMEDIO	12.26		PROMEDIO	82.15	

Ejemplo de cálculo:**Marca D – E-6011- 105 [Amp]**

Consideraciones ideales:

Material depositado=98% * Peso de electrodos utilizados

Tiempo total = 100% * Tiempo de Arco

$$I_{Productividad-IDEAL} = \frac{\text{Material Depositado}[g]}{\left(\text{Tarifa de M.O.} \left[\frac{\$}{h} \right] * \text{Tiempo Total [h]} \right) + \left(\text{Costo de Consumible} \left[\frac{\$}{Kg} \right] * \text{Peso de electrodos utilizados}[Kg] \right) + \left(\text{Tarifa Energia Electrica} \left[\frac{\$}{KWh} \right] * \text{Energia Consumida}[KWh] \right) + \left(\text{Depreciación de Maquinaria} \left[\frac{\$}{h} \right] * \text{Tiempo Total [h]} \right)}$$

Material Depositado= 45.14 [g] = 0.04514 [Kg]

Tiempo total de soldadura= 2 [minutos] 57.2 [segundos] = 0.0259 [Horas]

Tiempo de Arco= Tiempo total de soldadura

Tarifa de Mano de Obra= 2.299 [\$/h]

Costo del consumible= 4.2 [\$/Kg]

Peso de electrodos utilizados=0.0461 [Kg]

Tarifa de Energía Eléctrica= 0.436 [\$/KWh]

Energía Consumida=0.598 [KWh]

Depreciación de la máquina= 0.12 [\$/h]

$$I_{Productividad-IDEAL} = 87.336 [g/\$]$$

Para un electrodo ideal para proceso SMAW, en el que no se pierda material por desecho o colillas, remoción de escoria y gases de soldadura, que no necesite de tiempos auxiliares como limpieza de cordones y cambios de electrodo el índice de productividad sería cercano a 82 [g/\$], y para las condiciones más desfavorables el valor del índice sería cercano a 12 [g/\$].

Los valores correspondientes a los seis indicadores analizados se muestran en las Tablas A5.1, Tabla A5.2, Tabla A5.3, Tabla A5.4 y Tabla A5.5 que se encuentran en el Anexo 5.

4.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para un grupo de datos la apreciación de las tendencias y pautas de variación que posea son importantes para comprender el comportamiento de lo que se esté analizando. La elaboración de histogramas y diagramas de radar son métodos eficaces para apreciar los múltiples valores que posea una misma variable. En este caso se aprecian los valores de los indicadores analizados a los distintos amperajes. El análisis de histogramas perteneciente a cordones de raíz y de relleno de las 69 uniones a los distintos amperajes y a los tipos de corriente se encuentra en el Anexo 4. Los diagramas de radar mostrados a continuación se interpretan de la siguiente manera:

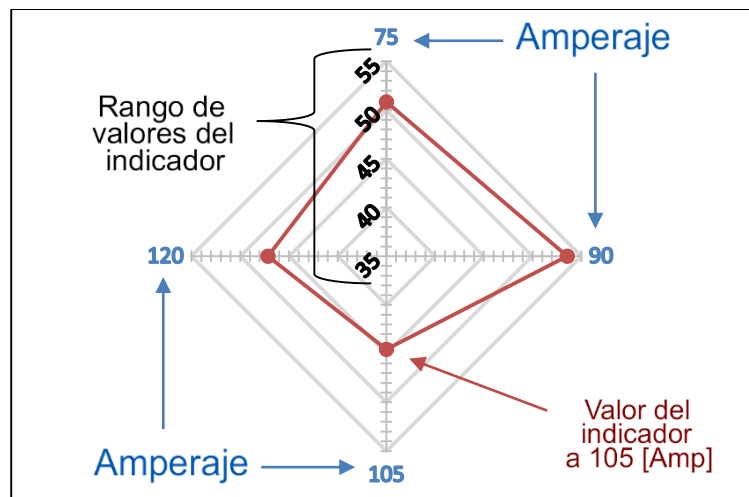


Figura 35 Interpretación de Diagramas de Radar

4.5.1 Productividad

A continuación se muestran los diagramas de radar e histogramas pertenecientes al Índice de Productividad para todas las marcas analizadas.

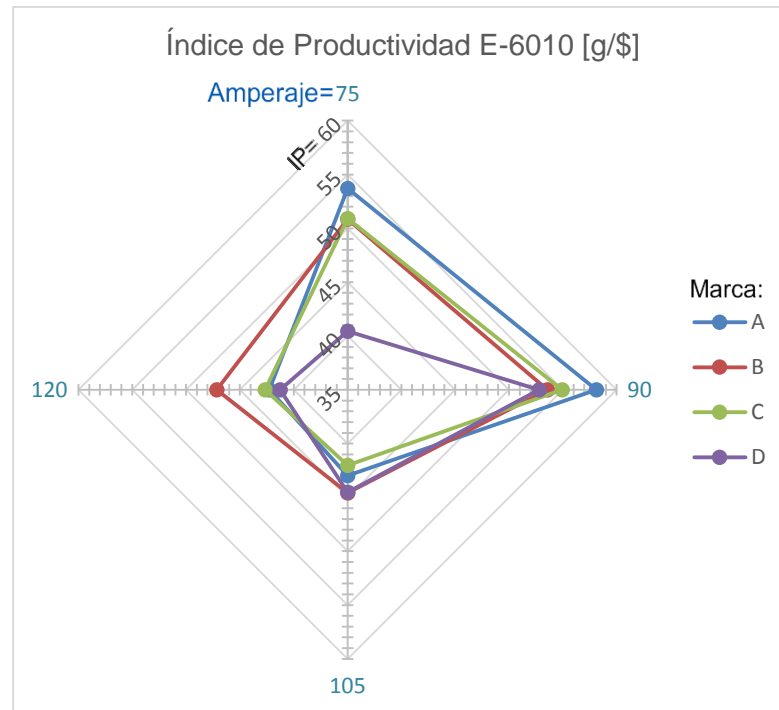


Figura 36 Índice de Productividad E-6010

Tabla 29

Productividad - E-6010

	Unidad	Amperaje	Marca
IP_{MAX}	$\left[\frac{g}{\$} \right]$	90	A

Observaciones:

Para todas las marcas a amperajes bajos (75 [Amp] para Cordones de raíz– 90 [Amp] para cordones de relleno) se muestra la productividad más alta a excepción de la marca D que muestra su máxima productividad a 105 [Amp] para cordones de raíz, la marca A destaca favorablemente sobre las demás a amperajes bajos.

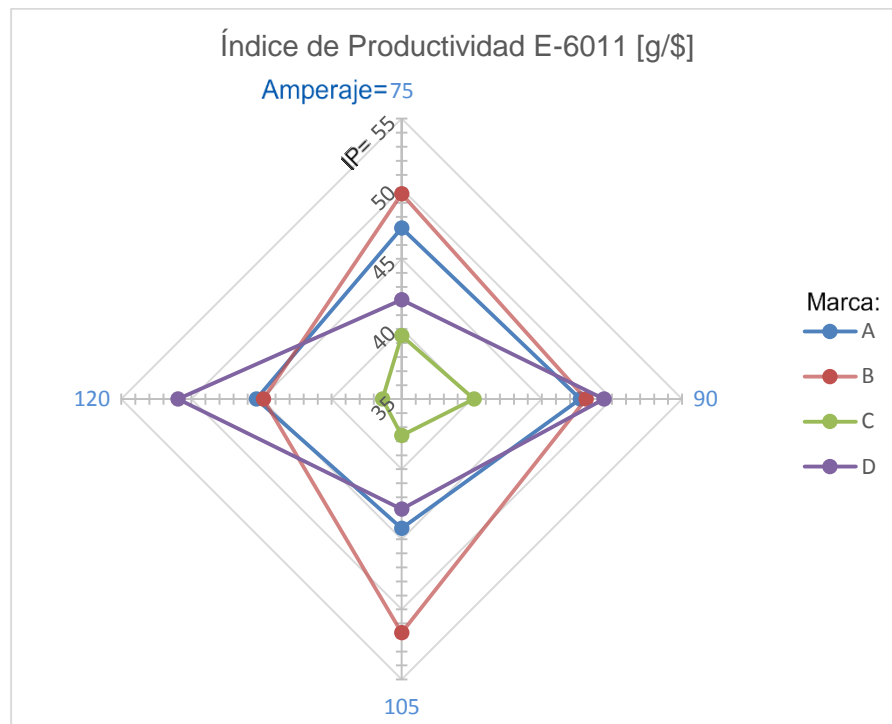


Figura 37 Índice de Productividad E-6011

Tabla 30

Productividad - E-6011

	Unidad	Amperaje	Marca
IP_{MAX}	$\left[\frac{g}{\$} \right]$	105	B

Observaciones:

A amperajes altos (105 [Amp] para cordón de raíz– 120[Amp] para cordón de relleno) se muestra la productividad más alta correspondiente a las marcas D y B, a amperajes bajos (75 [Amp] para cordón de raíz– 90 [Amp] para cordón de relleno) la productividad más alta presentan los electrodos de las marcas A y B. La marca C destaca desfavorablemente para todos los amperajes.

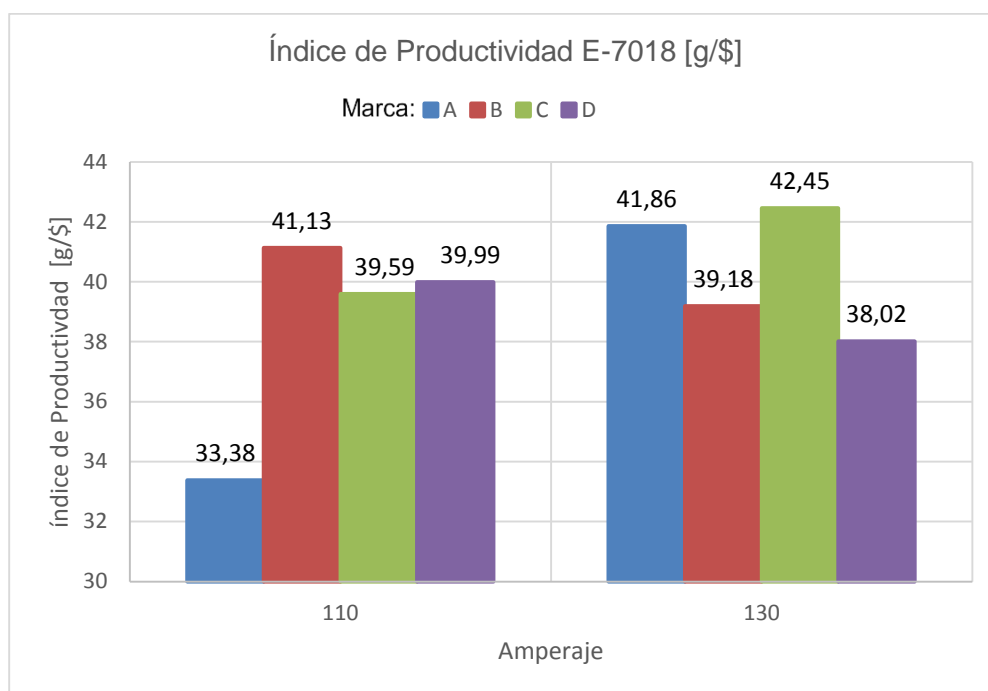


Figura 38 Índice de Productividad E-7018

Tabla 31

Productividad - E-7018

	Unidad	Amperaje	Marca
IP_{MAX}	$\left[\frac{g}{\$}\right]$	130	C

Observaciones:

Para las marcas A y C la productividad tiene una relación directa con el amperaje contrario a las marcas B y D que guardan relación inversa. Las marcas A y C destacan favorablemente a amperaje alto (130 [Amp]). Se observa una depresión significativa para la marca A a bajos amperajes (110 [Amp]).

4.5.2 Rendimiento

A continuación se muestran los diagramas de radar e histogramas pertenecientes al Rendimiento para todas las marcas analizadas.

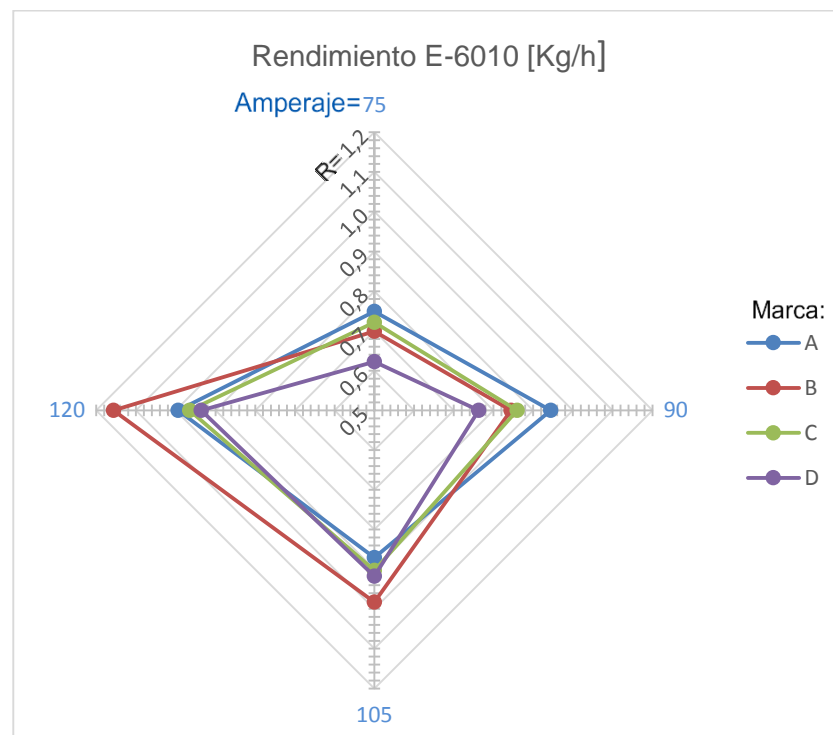


Figura 39 Rendimiento E-6010

Tabla 32

Rendimiento - E-6010

	Unidad	Amperaje	Marca
R_{MAX}	$\left[\frac{Kg}{h} \right]$	120	B

Observaciones:

Para todas las marcas el rendimiento es mayor a amperajes altos (105 [Amp] para cordones de raíz – 120 [Amp] para cordones de relleno). La marca B destaca favorablemente sobre las demás marcas en amperajes altos. La marca A destaca favorablemente sobre las demás marcas a 90 [Amp].

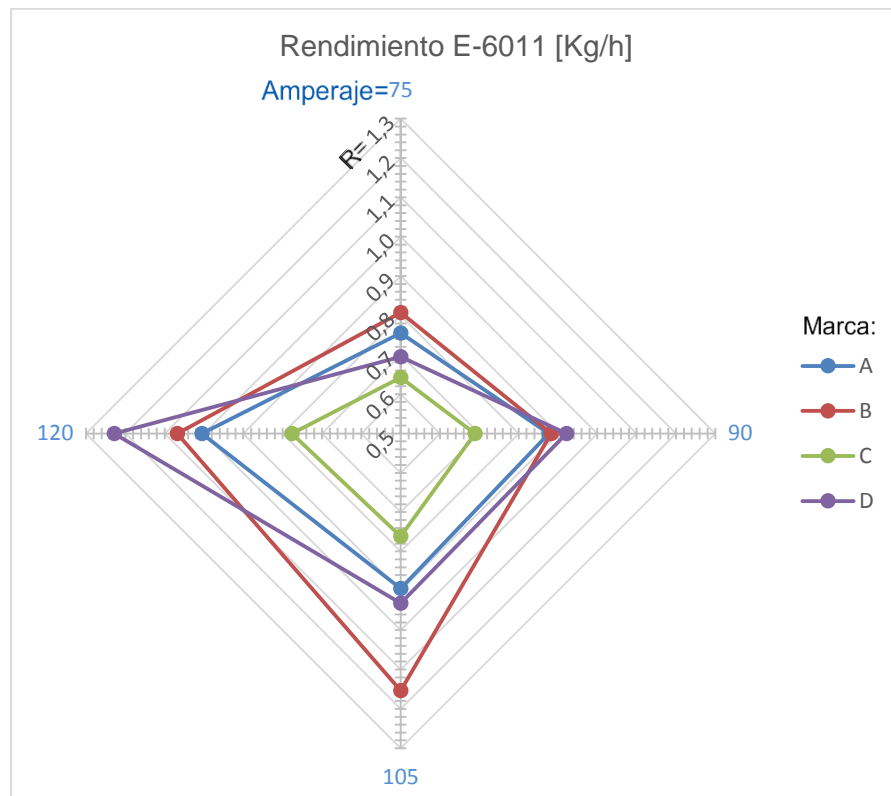


Figura 40 Rendimiento E-6011

Tabla 33

Rendimiento - E-6011

	Unidad	Amperaje	Marca
R_{MAX}	$\left[\frac{Kg}{h}\right]$	120	D

Observaciones:

Para todas las marcas el rendimiento es mayor a amperajes altos (105 [Amp] para cordones de raíz– 120[Amp] para cordones de relleno). La marca D y B destaca favorablemente sobre las demás marcas a los amperajes 120 [Amp] y 105 [Amp] respectivamente. La marca C destaca desfavorablemente sobre las demás marcas para todos los amperajes.

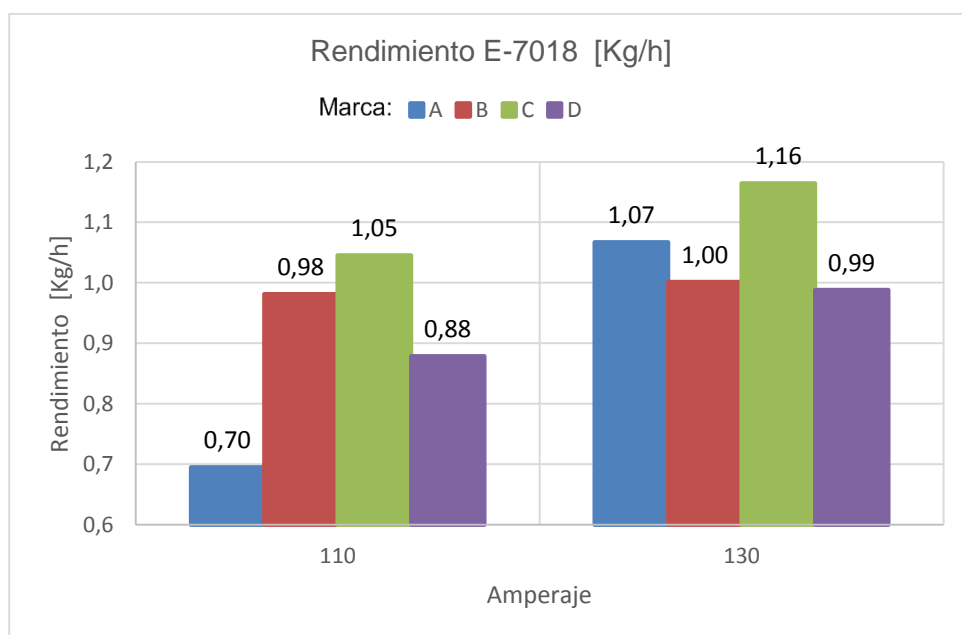


Figura 41 Rendimiento E-7018

Tabla 34

Rendimiento - E-7018

	Unidad	Amperaje	Marca
R_{MAX}	$\left[\frac{Kg}{h} \right]$	130	C

Observaciones:

Todas marcas tienen relación directa con el amperaje. La marca C destaca favorablemente a 130 [Amp]. Se observa una depresión a 110 [Amp] correspondiente a la marca A.

4.5.3 Eficiencia de Deposición

A continuación se muestran los diagramas de radar e histogramas pertenecientes a la Eficiencia de Deposición para todas las marcas.

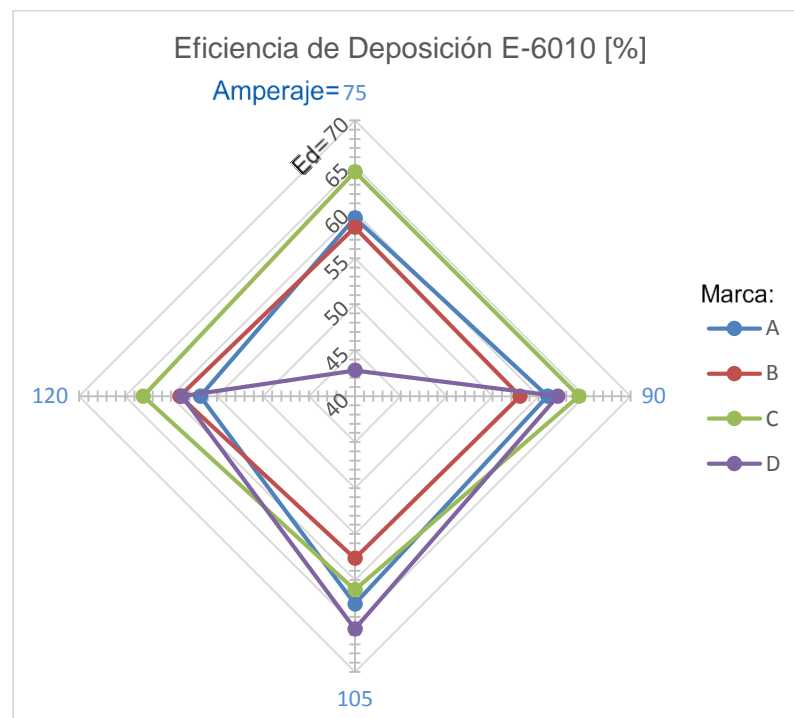


Figura 42 Eficiencia de Deposición E-6010

Tabla 35

Eficiencia de Deposición - E-6010

	Unidad	Amperaje	Marca
Ed_{MAX}	[%]	105	D

Observaciones:

Para todas las marcas la eficiencia de deposición no varía significativamente para todos los amperajes analizados, la marca C destaca favorablemente en todos los amperajes a excepción de 105 [Amp] donde destaca la marca D. La marca D a 75 [Amp] muestra un bajo valor de eficiencia de deposición.

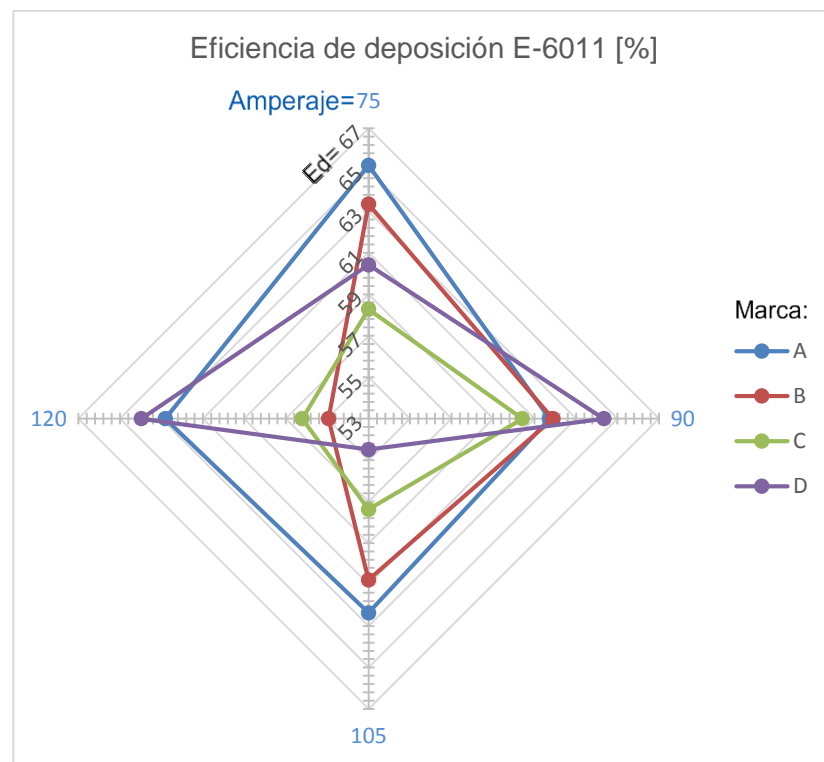


Figura 43 Eficiencia de Deposición E-6011

Tabla 36

Eficiencia de Deposición - E-6011

	Unidad	Amperaje	Marca
Ed_{MAX}	[%]	75	A

Observaciones:

La marca A destaca favorablemente a 75 [Amp] y a 105 [amp] sin embargo para los demás amperajes no muestra valores bajos de eficiencia de deposición. La marca D a 105 [Amp] muestra el valor más bajo de eficiencia de deposición. La marca C muestra valores bajos de deposición para todos los amperajes.

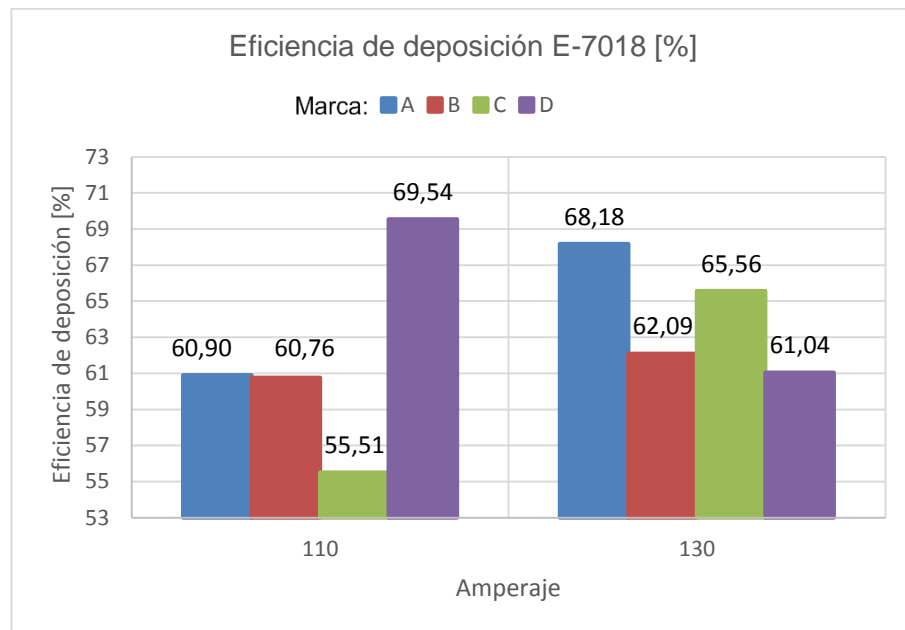


Figura 44 Eficiencia de Deposición E-7018

Tabla 37

Eficiencia de Deposición - E-7018

	Unidad	Amperaje	Marca
Ed_{MAX}	[%]	110	D

Observaciones:

Para todas las marcas la eficiencia de deposición tiene relación directa con el amperaje a excepción de la marca D. La marca D destaca favorablemente a 110 [Amp] con aproximadamente 9% más de eficiencia de deposición de la marca que le precede. A 110 [Amp] se muestra una depresión correspondiente a la marca C.

4.5.4 Factor de Operación

A continuación se muestran los diagramas de radar e histogramas pertenecientes al Factor de Operación para todas las marcas analizadas.

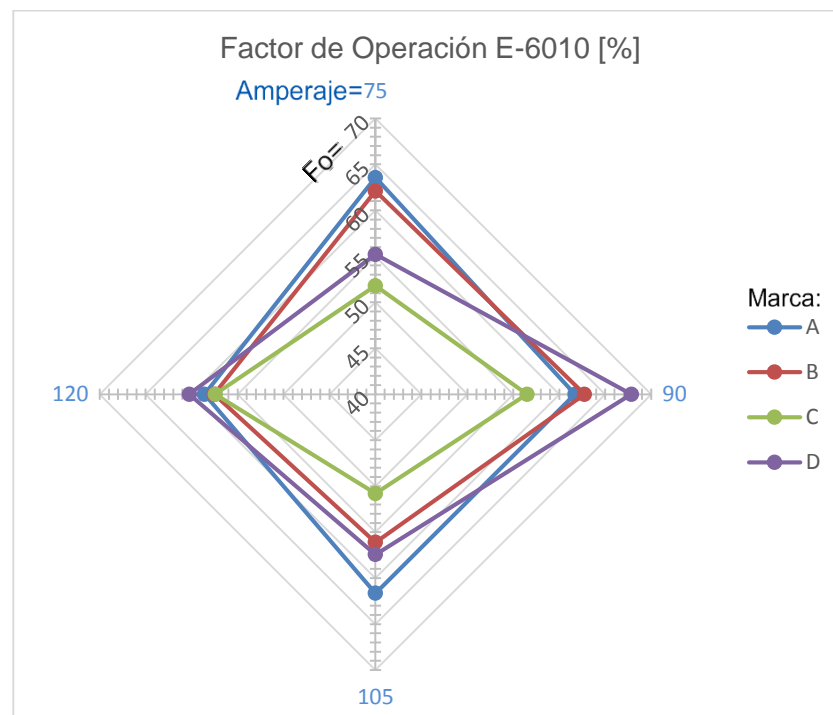


Figura 45 Factor de Operación E-6010

Tabla 38

Factor de operación - E-6010

	Unidad	Amperaje	Marca
FO_{MAX}	[%]	90	D

Observaciones:

A 90 [Amp] el factor de operación de la marca D presenta el mayor valor. La marca A y B tienen valores similares para todos los amperajes. La marca C destaca desfavorablemente con los menores valores de factor de operación para todos los amperajes.

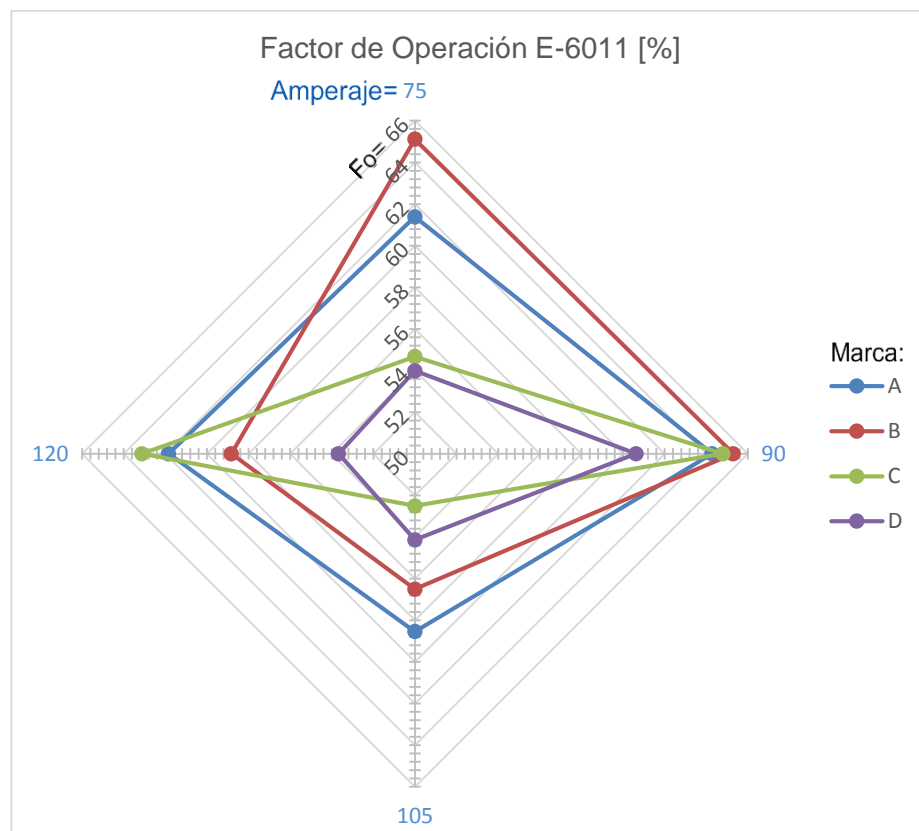


Figura 46 Factor de Operación E-6011

Tabla 39

Factor de operación - E-6011

	Unidad	Amperaje	Marca
FO_{MAX}	[%]	75	B

Observaciones:

La marca B destaca favorablemente a amperajes bajos (75 [Amp] para cordón de raíz– 90 [Amp] cordón de relleno). La marca D destaca desfavorablemente para todos los amperajes. La marca A presenta valores altos de factor de operación para todos los amperajes.

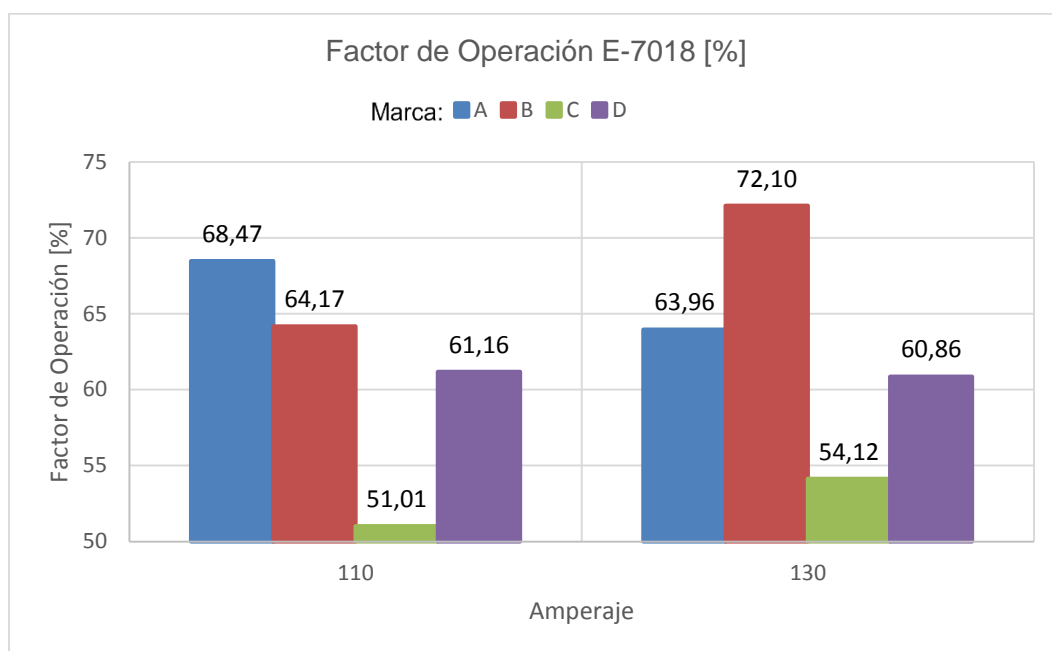


Figura 47 Factor de Operación E-7018

Tabla 40

Factor de operación - E-7018

	Unidad	Amperaje	Marca
FO_{MAX}	[%]	130	B

Observaciones:

La marca B y A destacan con picos a 130 [Amp] y 110 [Amp] respectivamente. Se observan depresiones en los dos amperajes analizados pertenecientes a la marca C.

4.5.5 Costo de 1kg de Metal Depositado

A continuación se muestran los diagramas de radar e histogramas pertenecientes al costo de 1 Kg depositado para todas las marcas analizadas.

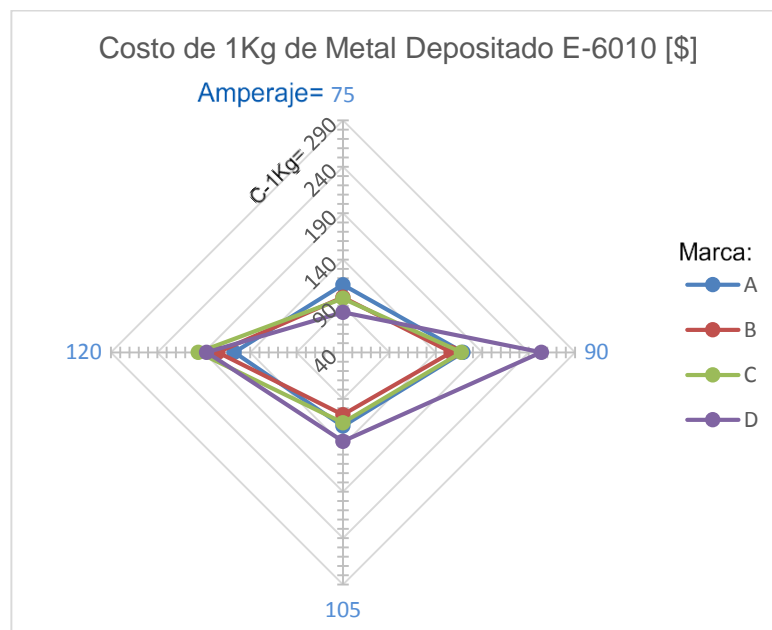


Figura 48 Costo de 1kg de Metal Depositado E-6010

Tabla 41

Costo de 1 Kg de metal depositado - E-6010

	Unidad	Amperaje	Marca
FO_{MAX}	[\$]	90	D
FO_{MIN}	[\$]	75	D

Observaciones:

A 75 [Amp] para cordones de raíz se tiene el costo más bajo por depositar 1 Kg de metal para todas las marcas. A 90 [Amp] para cordones de relleno destaca desfavorablemente la marca D con el máximo costo. Para todas las marcas se mantiene similar el costo a cada amperaje. Se observa que el costo por soldar cordones de relleno es superior a soldar cordones de raíz.

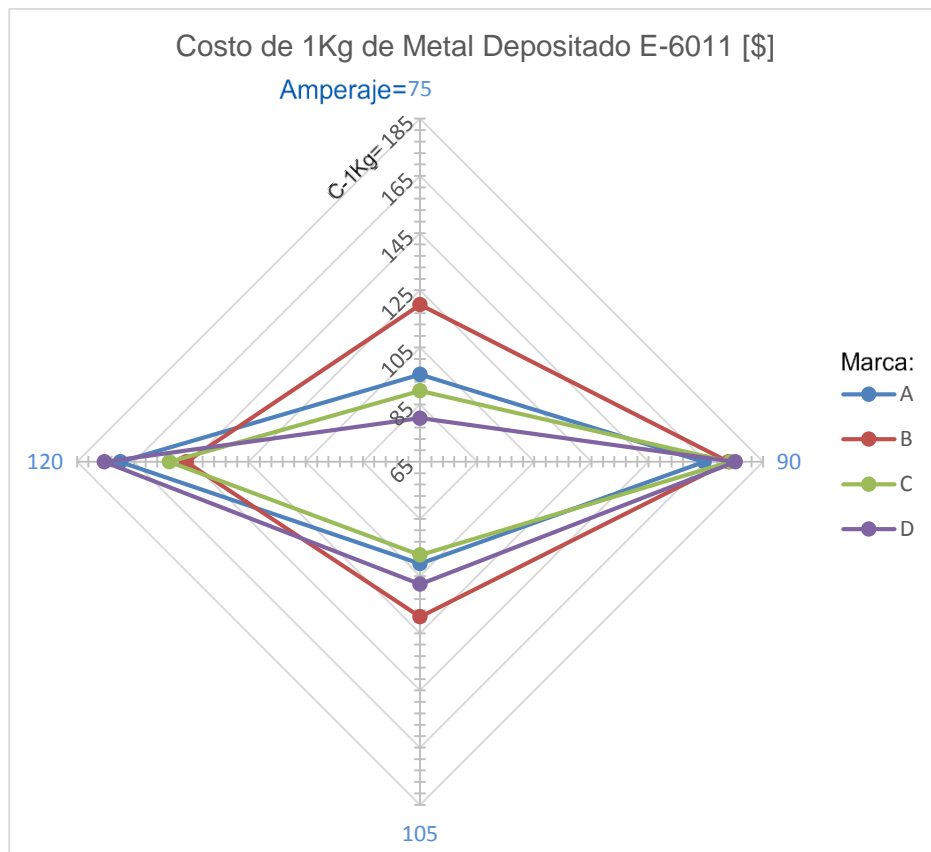


Figura 49 Costo de 1kg de Metal Depositado E-6011

Tabla 42

Costo de 1 Kg de metal depositado - E-6011

	Unidad	Amperaje	Marca
FO_{MAX}	[\$]	75	B
FO_{MIN}	[\$]	75	D

Observaciones:

Para cordones de raíz la marca B a 75 [Amp] destaca desfavorablemente con el máximo costo por depositar 1 Kg de metal. Para todas las marcas los valores de costo se mantienen similares para todos los amperajes.

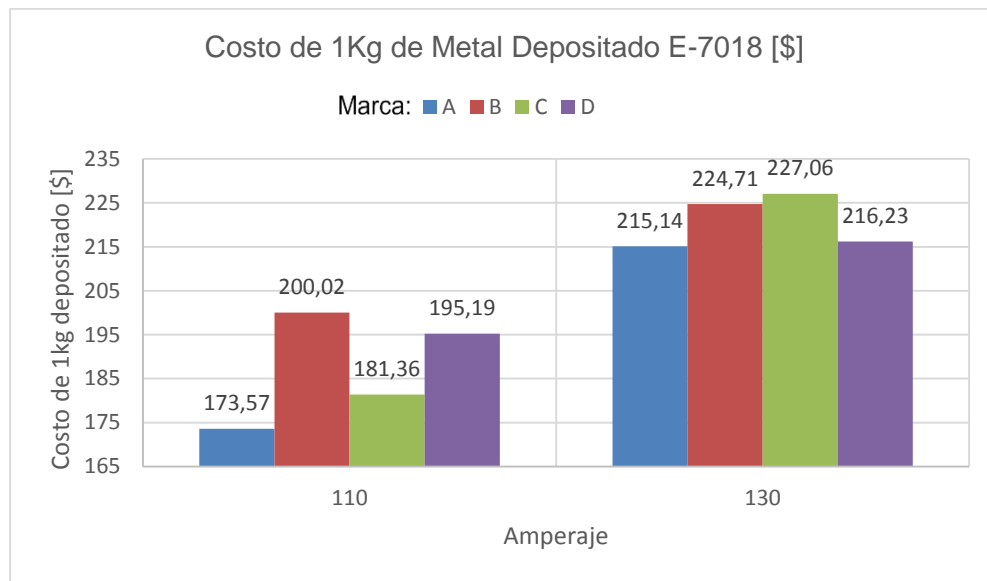


Figura 50 Costo de 1kg de Metal Depositado E-7018

Tabla 43

Costo de 1 Kg de metal depositado - E-7018

	Unidad	Amperaje	Marca
FO_{MAX}	[\$]	130	C
FO_{MIN}	[\$]	110	A

Observaciones:

Para todas las marcas el costo del Kilogramo depositado tiene una relación directa con el amperaje. La marca A a 110 [Amp] destaca favorablemente con el menor costo por depositar 1 Kg de metal.

4.5.6 Número de Electrodo por metro de soldadura

A continuación se muestran los diagramas de radar e histogramas pertenecientes al número de electrodos consumidos para todas las marcas.

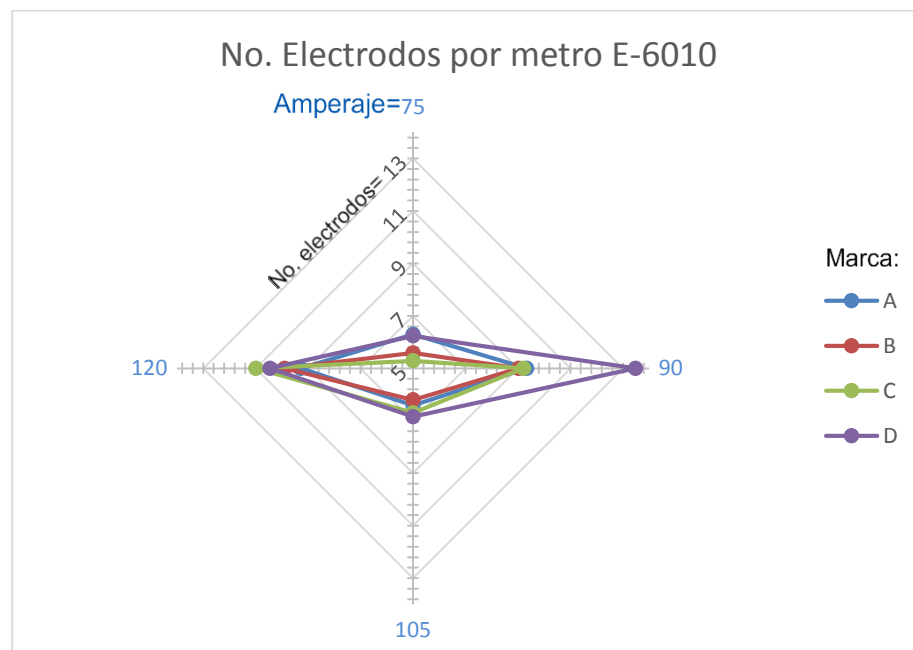


Figura 51 Costo de 1kg de Metal Depositado E-6010

Tabla 44

Número de electrodos consumidos - E-6010

	Unidad	Amperaje	Marca
FO_{MAX}	[\$]	90	D
FO_{MIN}	[\$]	75	C

Observaciones:

La marca D a 90 [Amp] para cordones de relleno destaca desfavorablemente consumiendo aproximadamente 4 electrodos más por metro que la marca que le precede. La marca C a 75 [Amp] para cordones de raíz destaca favorablemente con el mínimo número de electrodos consumidos por metro.

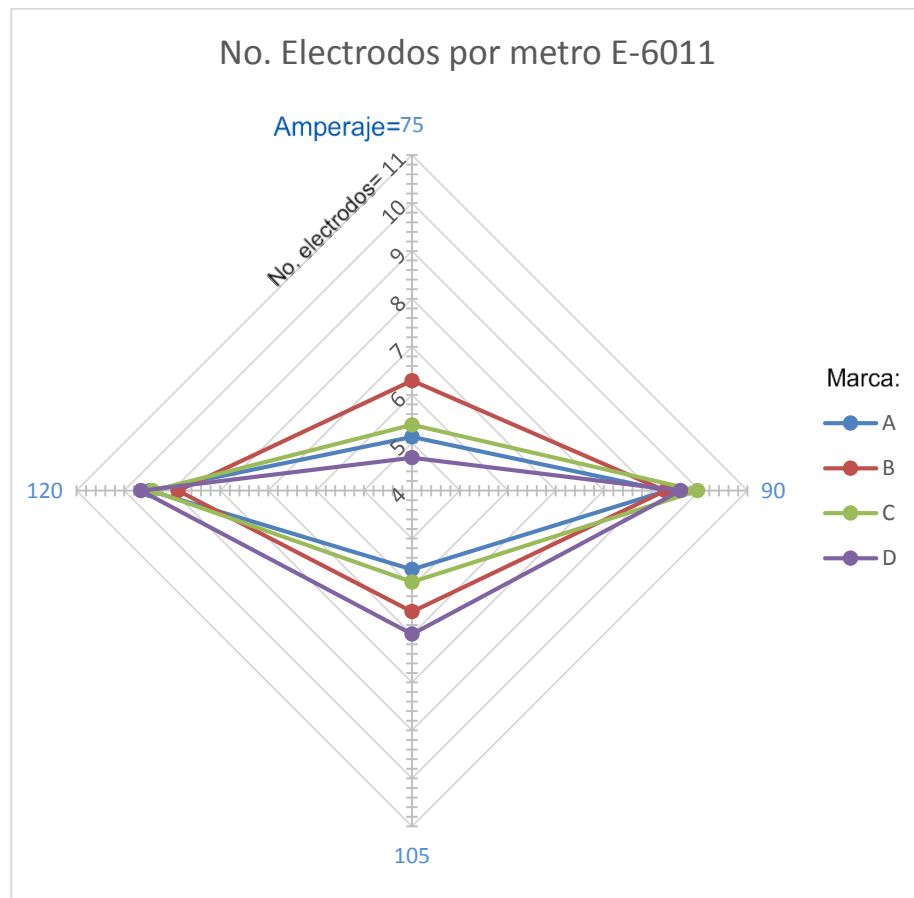


Figura 52 Costo de 1kg de Metal Depositado E-6011

Tabla 45

Número de electrodos consumidos - E-6011

	Unidad	Amperaje	Marca
FO_{MAX}	[\$]	90	C
FO_{MIN}	[\$]	75	D

Observaciones:

La marca C a 90 [Amp] para cordones de relleno destaca desfavorablemente consumiendo más electrodos más por metro que la marca que le precede. La marca D a 75 [Amp] para cordones de raíz destaca favorablemente con el mínimo número de electrodos consumidos por metro.

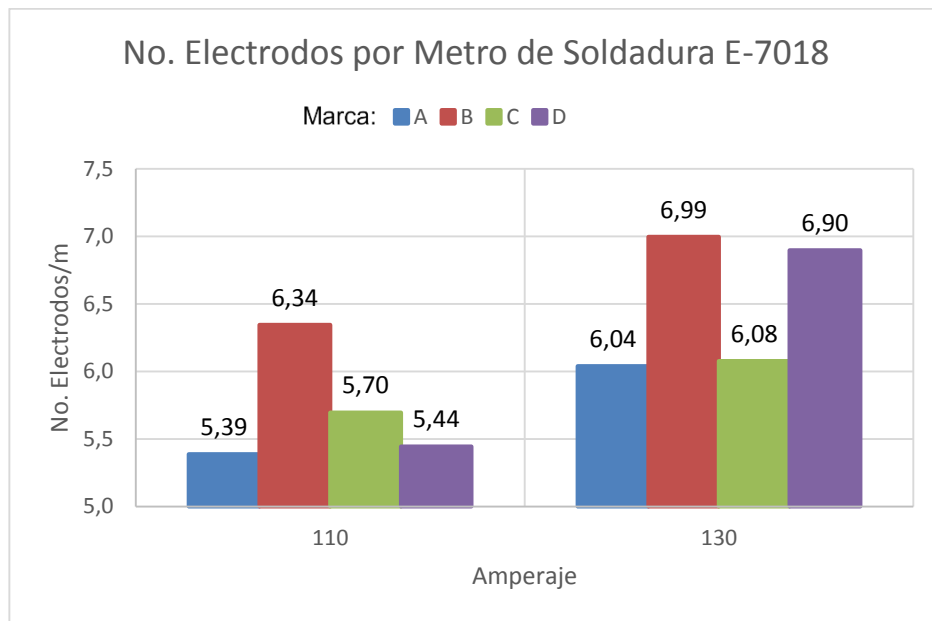


Figura 53 Costo de 1kg de Metal Depositado E-7018

Tabla 46

Número de electrodos consumidos - E-7018

	Unidad	Amperaje	Marca
<i>FO_{MAX}</i>	[\$]	130	B
<i>FO_{MIN}</i>	[\$]	110	A

Observaciones:

La marca B destaca desfavorablemente a los dos amperajes analizados con el mayor número de electrodos consumidos por metro. La marca A destaca favorablemente a los dos amperajes analizados con el menor número de electrodos consumidos por metro.

4.6 ÍNDICES GLOBALES DEL EXPERIMENTO

Los indicadores de cada marca calculados en el experimento son susceptibles de promediar para calcular un valor global del experimento, con el fin de comparar con valores bibliográficos y documentados en cuanto al proceso SMAW. Esta comparación entre los índices globales de todo el experimento y los datos bibliográficos dará una validación general de los datos obtenidos. En la Tabla 47 se muestran los valores promedio de los indicadores por marca y el índice global de cada indicador. En la Tabla 48 se indican los índices globales pertenecientes a cada tipo de electrodo.

Tabla 47

Índices Globales del Experimento

INDICADOR	MARCA				ÍNDICE GLOBAL
	A	B	C	D	
PRODUCTIVIDAD [g/\$]	45,68	47,08	42,62	44,23	44,90
RENDIMIENTO [Kg/h]	0,89	0,96	0,85	0,89	0,90
EFICIENCIA DE DEPOSICIÓN [%]	62,10	59,68	60,62	60,26	60,70
FACTOR DE OPERACIÓN [%]	62,40	62,05	55,67	58,52	59,70
COSTO 1KG DEPOSITADO [\$]	151,06	155,29	153,97	164,40	156,20
No. ELECTRODOS	7,23	7,50	7,46	8,03	7,60

Tabla 48

Índices Globales por tipo de Electrodo

INDICADOR	MARCA		
	E-6010	E-6011	E-7018
PRODUCTIVIDAD [g/\$]	47,70	44,86	39,50
RENDIMIENTO [Kg/h]	0,87	0,88	0,98
EFICIENCIA DE DEPOSICIÓN [%]	59,70	60,53	63,90
FACTOR DE OPERACIÓN [%]	58,80	59,33	62,90
COSTO 1KG DEPOSITADO [\$]	145,90	133,86	204,20
No. ELECTRODOS	8,20	7,60	6,10

Ejemplo de Cálculo:

Índice global de rendimiento del experimento

E-6010 - Marca B – 90 [Amp]

$$R = \frac{\text{Material Depositado [Kg]}}{\text{Tiempo de Arco [h]}}$$

Material depositado= 36.6 [g] = 0.0366 [Kg]

Tiempo de Arco= 2 [minutos] y 27.3 [segundos] = 0.04091 [Horas]

$$R = 0.8945 \text{ [Kg/h]}$$

Los valores de rendimiento de los electrodos E-6010, E-6011 y E-7018 de la marca B se muestran en la Tabla 49.

Tabla 49

Rendimiento – Marca B

MARCA B - RENDIMIENTO [Kg/h]						
Réplica	1		2		3	
	Pase de Raíz	Pase de Relleno	Pase de Raíz	Pase de Relleno	Pase de Raíz	Pase de Relleno
Amperaje	75	90	75	90	75	90
E-6010	0,70	0,89	0,67	0,78	0,73	0,86
E-6011	0,84	0,87	0,78	0,91	0,80	0,86
Amperaje	105	120	105	120	105	120
E-6010	1,01	1,14	0,96	1,18	0,98	1,15
E-6011	1,15	1,06	1,10	1,05	1,20	1,09
Amperaje	110	130	110	130	110	130
E-7018	0,99	1,12	0,99	0,81	0,96	1,08

Promedio de todos los valores de rendimiento = 0.9578 [Kg/h]

CAPÍTULO V

5. ELABORACIÓN DEL MANUAL DEL USUARIO

La práctica de la soldadura SMAW requiere de experiencia y habilidad de parte del soldador y también del conocimiento del diseñador del procedimiento de soldadura, son los dos factores fundamentales para lograr una buena soldadura con método SMAW. El diseño del procedimiento también debe ser realizado con recomendaciones que dan los fabricantes de los consumibles, pues cada electrodo tiene capacidades diferentes a distintos rangos de amperajes.

La manera correcta de dar valor a una variable de soldadura es consultar en los catálogos o referencias de los fabricantes y de esta manera diseñar un procedimiento de soldadura que sea de confianza, sin embargo esta soldadura podría estar generando costos excesivos.

La productividad que posee un electrodo a distintos amperajes posiblemente indique el camino para abaratar los costos de un proyecto, pues este indica que cantidad de material en gramos depositamos por dólar gastado. El rendimiento de un electrodo también varía según el amperaje utilizado, dando una medida en cuanto a material depositado que se deposita por hora.

Un rango de amperajes posee un rango de valores de productividad, rendimiento, costo de 1 Kilogramo de metal depositado y un número de electrodos por metro de soldadura, por lo cual al saber valores aproximados de estos indicadores a amperajes determinados se podría diseñar un procedimiento para abaratar costos.

Los cordones de raíz y de relleno difieren en el volumen para llenar con material de aporte y en la penetración necesaria por lo que es preciso utilizar diferentes amperajes, esto quiere decir que se tienen diferentes índices de productividad para cordones de raíz y de relleno.

5.1 INDICADORES DESTACADOS

Los indicadores más relevantes son los que permiten hacer un cálculo directo en cuanto a los costos, la productividad, el rendimiento, el costo del kilogramo de material de aporte depositado y el número de electrodos utilizados por metro son indicadores con lo que se calcularían costos directamente al conocer cuánto material requiera la unión. Al saber la distancia a soldar, y el volumen de la unión a llenar se podría calcular el costo. Otro indicador destacado es el rendimiento ya que indica cuando material se depositó por unidad de tiempo y al saber cuánto material debemos depositar sabríamos el tiempo aproximado que nos llevara soldar y por tanto el costo del soldador por hora.

5.2 OBJETIVO

Recomendar a los usuarios de la soldadura SMAW de taller y calculistas de costos de soldadura los valores más favorables de los parámetros de soldeo con los que los electrodos de 1/8" pueden trabajar para obtener un máximo aprovechamiento de sus capacidades e influir en el costo final de la soldadura.

5.3 ELABORACIÓN

Mediante curvas de los indicadores destacados a los rangos de amperaje recomendados el usuario tiene libertad de observar a simple vista los valores toman los indicadores al amperaje que está trabajando, sin embargo se muestran tablas de valores interpolados sobre estas curvas de comportamiento.

El manual de usuario fue desarrollado con datos obtenidos e indicadores calculados para la marca A.

El manual de usuario se muestra en el Anexo 6.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Se diseñó el procedimiento de soldadura en base al Código AWS D1.1 en cuanto a proceso precalificado, material base, espesor de material base y clasificación de los consumibles utilizados, además de las características dimensionales de los dos tipos de uniones utilizadas (PJP y CJP). Las soldaduras de todas las uniones fueron registradas y guiadas por Especificaciones de Procedimiento de Soldadura (WPS) obtenidas del anexo N del Código AWS D1.1.
- Se determinó la productividad, rendimiento, factor de operación, eficiencia de deposición, costo del kilogramo de metal depositado y número de electrodos utilizados por metro soldado para cordones de raíz y de relleno tomando en cuenta rangos de amperajes recomendados con corriente continua polaridad positiva. Adicionalmente se calcularon los seis indicadores antes nombrados para cordones de raíz a 85 [Amp] y de relleno a 120 [Amp] variando de tipo de corriente (DC+, DC- y AC).
- Para cordones de raíz y de relleno realizados con electrodos E-6010 de todas las marcas la productividad calculada en base a costos de soldadura tiene una relación inversa con el amperaje, es decir que a amperajes bajos (75 [Amp] – 90 [Amp]) los índices de productividad son mayores. La productividad de la marca A en amperajes bajos destaca favorablemente sobre las demás marcas.

- La productividad calculada en base a costos de soldadura de los electrodos E-6011 de las marcas B y D destacan favorablemente para cordones de raíz y de relleno respectivamente. Mientras que la marca C destaca desfavorablemente para todos los amperajes analizados. Los electrodos E-6011 de todas las marcas no muestran una tendencia general en cuanto a relación inversa o directa entre amperaje y productividad, lo que significa que la composición del revestimiento que cada marca aplica a sus electrodos brinda un comportamiento diferente a los amperajes analizados.
- Los electrodos E-7018 de todas las marcas no muestran una tendencia general en cuanto a relación directa o inversa entre amperaje y productividad calculada en base a costos de soldadura, la marca A y C tienen relación directa con el amperaje, contrario a las marcas B y D que tienen relación inversa. La marca C brinda la productividad más alta a 130 [Amp] y la marca A demuestra una depresión en la productividad a los 110 [Amp] lo que significa que la composición de su revestimiento afecta a la productividad del electrodo a amperajes bajos.
- Para todos los electrodos y marcas el rendimiento tiene una relación directa con el amperaje utilizado. El mayor rendimiento para electrodos E-6010 la tiene la marca B a 120 [Amp], para electrodos E-6011 la marca D a 120 [Amp] muy seguida de la marca B a 105 [Amp] y para electrodos E-7018 la marca C supera a las otras marcas en 110 [Amp] a 130 [Amp].
- Para electrodos E-6011 la marca A es la única que demuestra una regularidad en cuanto a la eficiencia de deposición para todos los amperajes, lo que significa que este electrodo tiene una tasa de deposición fija independientemente del amperaje utilizado. La marca

C demuestra una escasa eficiencia de deposición para todos los amperajes analizados. Para electrodos E-7018 la eficiencia de deposición más notable a 110 [Amp] demuestra la marca D y a 130 [Amp] la marca A.

- El electrodo E-6010 de la marca A demuestra tener mejores características de productividad calculada en base a costos de soldadura que las demás marcas a amperajes bajos (75 [Amp] a 90 [Amp]).
- El electrodo E-6011 de la marca C demuestra los menores valores de los indicadores para todos los amperajes analizados. La composición de su revestimiento perjudica la productividad del electrodo. El electrodo E-6011 de las marcas A y B demuestran las mejores características de productividad para todos los amperajes analizados.
- Los electrodos E-7018 de las marcas A y C demuestran ser los de mejores características de productividad.
- Para pases de raíz con electrodos E-6011 las características de productividad más beneficiosas se dan al soldar con corriente alterna y para pases de relleno con E-7018 con corriente directa polaridad positiva.
- Los cordones de relleno realizados a 130 [Amp] con E-7018 con corriente continua polaridad negativa presentan gran cantidad de picaduras en el cordón de soldadura por lo que no se recomienda esta combinación de electrodo y variables.
- Los índices globales de rendimiento y eficiencia de deposición se asemejan a los datos bibliográficos. Para un rango de amperajes

desde 75 [Amp] a 120 [Amp] el rendimiento calculado es de 0.9 [Kg/h], el rendimiento de bibliografía para el mismo rango de amperajes va desde 0.6 [Kg/h] a 1.2 [Kg/h]. La eficiencia de deposición global calculada es de 60.7 [%] y la eficiencia de deposición bibliográfica es de 60 [%] a 70 [%]. El factor de operación global calculado es de 59.7 [%] y el de bibliografía va desde 5 [%] a 30 [%], esto se debe a que la limpieza de la escoria de las soldaduras se realizaron con el método del grateado lo que disminuye tiempos muertos de soldadura.

- Para un rango de 75 [Amp] a 120 [Amp] el rendimiento global calculado de los electrodos E-6011 es 0.88 [Kg/h] y es ligeramente mayor al rendimiento global de los electrodos E-6010 con 0.87 [Kg/h] concordando con la bibliografía. El electrodo E-7018 con un rendimiento global de 0.98 [Kg/h] para rangos 110 [Amp] a 130 [Amp] se ratifica como un electrodo de gran rendimiento.
- Se elaboró un manual de usuario basado en la marca A que posee valores de los indicadores que pueden ser de utilidad para el cálculo de costos. El manual contiene tablas y graficas de las tendencias de los índices de productividad, rendimiento, costo de 1 Kg de metal depositado y el número de electrodos utilizados por metro que podrían ayudar a los usuarios de taller y calculistas de costos de soldadura a tomar una mejor decisión en cuanto al electrodo y al amperaje utilizado.

6.2 RECOMENDACIONES

- El número de posibilidades de distintos procedimientos que nacen de las variaciones de marca de electrodo, valores de amperaje, tipo de corriente y geometría de la unión es muy grande por lo que para próximos estudios se recomienda delimitar el alcance para de esta forma recortar el rango de posibilidades y así tener un análisis más enfocado a variaciones determinadas.
- Al ser el método SMAW netamente manual se recomienda dar un seguimiento minucioso a la técnica utilizada por el soldador mediante soldaduras de práctica en probetas similares antes de comenzar con el procedimiento real para que el material de aporte se deposite de la manera más homogénea para todos los ensayos.
- Como complemento a este estudio se recomienda realizar un análisis de comportamiento mecánico mediante ensayos destructivos para relacionar la productividad con el comportamiento mecánico de los electrodos.

BIBLIOGRAFÍA

Cona Guzman, J. M. (2005). *Ensayos destructivos y no destructivos de probetas de acero soldadas con electrodos revestidos*. Valdivia: Universidad Austral de Chile.

Empresa Electrica Quito. (2015). Obtenido de <http://www.eeq.com.ec:8080/documents/10180/143788/PLIEGO+TARIFARIO+SEPTIEMBRE+2015/abcb1321-6fdb-4851-a17a-e35ab2680a31>

Fox, R. (06 de Octubre de 2014). *FMA The Fabricator*. Obtenido de <http://www.thefabricator.com/article/consumables/filler-metal-facts>

Gamarra Chinchay, H. E., & Palacios Aranda, M. (2011). *Optimización de la Soldadura en Construcción Naval en el Perú*. Obtenido de <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/TECNIA-25-2-2011-03.pdf>

Gamarra Chinchay, H. E., & Yarin Achachagua, A. J. (2011). *Optimización de la Soldadura en Contrucción Naval en Perú*. Lima.

Granados, I., & Latorre, L. (2005). *Contabilidad Gerencial. Fundamentos, principios e introducción a la contabilidad*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

INDURA. (2007). *Manual de Sistemas y Materiales de Soldadura*. Buenos Aires.

Lara Frias, C. (Abril de 2015). *INDURA - Costos de Soldadura*. Obtenido de file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/3_Costos_de_Soldadura_-_Carlos_Lara.pdf

Lincoln, E. (s.f.). *Manual del Operador - Precision TIG 225*. Cleveland.

Manual de Soldadura SMAW Lincoln Electric.

Ministerio de Trabajo. (2015). *Tabla sectorial 2015 - Foros Ecuador.*

Obtenido de

<http://www.forosecuador.ec/forum/ecuador/econom%C3%ADa-y-finanzas/9105-tabla-sectorial-2015>

Quispe Montoro, A. (2013). *Métodos para determinar los costos de soldadura*. Piura: Universidad de Piura.

Reglamento para la aplicación Ley de Regimen Tributario Interno, LORTI.

Obtenido de <http://www.intelecto.com.ec/wp-content/uploads/2015/02/1-RLRTI-31-12-2014.pdf>

Rodríguez Combeller, C. (1993). *El nuevo escenario: la cultura de la calidad y la productividad en las empresas*. México: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO).

Society, A. W. (2010). *Código de Soldadura Estructural - Acero*. Miami: AWS.