

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA SOLDABILIDAD EN ACEROS
(ASTM A36, A588 Y A572) MEDIANTE EL PROCESO FCAW**

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

JIMMY FERNANDO CALDERÓN CONCHA
(jimfcalc1@hotmail.com)

DIRECTOR: ING. DIEGO MARCELO ESPINOSA CHAUVÍN
(espinosadie@gmail.com)

Quito, ABRIL 2014

DECLARACIÓN

Yo, Jimmy Fernando Calderón Concha, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación personal; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, de acuerdo a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la Normatividad Institucional Vigente.

Jimmy Fernando Calderón Concha

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el señor Jimmy Fernando Calderón Concha, bajo mi supervisión.

ING DIEGO ESPINOSA
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi mamá Blanca a mi papá Giovanni, a todos los miembros de mi núcleo familiar (Rocío, José, Joseline, María José, Oswaldo, Lourdes, Margarita, María Paz y Anhelize). Principalmente a Dios por darme la oportunidad de ser parte de esta vida y disfrutar de todas las cosas buenas y en ocasiones difíciles que esta nos regala.

Agradezco a mi hija Valeria Tahíz que se convirtió en el principal motorcito de mi vida, por ser quien con su sonrisa convierte cualquier adversidad en superable. A mis hermanas y hermano, en quienes espero ser una fuente de inspiración como su hermano mayor, y principalmente esperando que lleguen lo más lejos posible tanto en su vida familiar como profesional.

A mis profesores, personal de administración (Sra. Gloria Castellanos), personal de servicio, amigos y compañeros de la Facultad de Ingeniería Mecánica que han sido parte de mi vida estudiantil.

Al Ingeniero Diego Espinosa, director del proyecto, por su acertado apoyo y guía incondicional constante.

Y a todas las personas que directa o indirectamente fueron parte de toda mi vida estudiantil y del presente trabajo.

Jimmy Fernando Calderón Concha

DEDICATORIA

“El placer de la vida, es vivirla y el de vivirla, es vivir para servir”

Dedico este trabajo a toda mi familia por ser mi vida..!!!

Jimmy Calderón

CONTENIDO

CAPITULO 1.....	1
1. FUNDAMENTOS DEL PROCESO FCAW	1
1.1. Historia	1
1.2. Características principales.	1
1.3. Aplicaciones principales.	2
1.4. Equipos.	3
1.4.1. Equipo Semiautomático	3
1.4.2. Equipo Automático	5
1.5. Materiales.	6
1.5.1. Gases Protectores	6
1.5.1.1. Dióxido de carbono	6
1.5.2. Mezclas de gases	7
1.5.3. Metales Soldados	8
1.6. Control del proceso.	9
1.6.1. Corriente de Soldadura	9
1.6.2. Tensión del arco	9
1.6.3. Extensión del electrodo	10
1.6.4. Velocidad de trabajo.	11
1.6.5. Flujo de Gas	12
1.6.6. Velocidad de aportación y eficiencia	12
1.6.7. Angulo del electrodo	12
1.6.8. Diseños de juntas	13
1.7. Diseño y Procedimiento de Soldadura	15
1.8. Calidad de la soldadura.	16

1.9. Identificación de problemas	16
1.10. Ventajas de FCAW.....	16
1.11. Limitaciones de FCAW.....	17
CAPITULO 2.....	18
2. SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS.....	18
2.1. Estudio de los fenómenos generales.....	18
2.2. Diversos aspectos de la soldadura.....	18
2.2.1. Aspectos metalúrgicos de la soldadura.....	18
2.2.1.1. La zona fundida	19
2.2.1.2. El metal base.....	19
2.2.1.2.1. La fusión	19
2.2.1.2.2. La localización.....	19
2.3. Soldabilidad de los aceros al carbono.....	20
2.3.1. Nomenclatura de los constituyentes de los aceros.....	22
2.3.2. Aspecto físico químico de la soldadura.....	24
2.3.2.1. Influencia de los elementos del acero sobre la soldabilidad.....	24
2.3.2.2. Zona Fundida	25
2.3.2.3. Reducción por la llama oxiacetilénica.....	25
2.3.2.4. Reducción por el carbono.....	26
2.3.2.5. Reducción por el manganeso.....	27
2.3.2.6. Desoxidación por el silicio.....	27
2.3.2.7. Metal Base	28
2.4. Soldabilidad de los aceros especiales.....	29
2.4.1. Función de los principales elementos de aleación.....	29
2.4.1.1. El manganeso	29
2.4.1.2. El silicio	29
2.4.1.3. El níquel	29

2.4.1.4.	El cromo	29
2.4.1.5.	El aluminio	30
2.4.1.6.	El molibdeno	30
2.4.1.7.	El cobre	30
2.5.	Soldabilidad de las fundiciones.	30
2.6.	Soldabilidad del aluminio y sus aleaciones.	32
2.6.1.	Formación de alúmina $Al_2 O_3$	32
2.6.2.	Soldadura Oxiacetilénica	33
2.6.3.	Características de la soldadura.	34
2.7.	Soldabilidad de los metales secundarios	35
2.7.1.	Soldabilidad de las aleaciones aluminio-magnesio	35
CAPITULO 3.		36
3.	ESTUDIO DE MERCADO NACIONAL	36
3.1.	Introducción.	36
3.2.	Objetivo del estudio de mercado	37
3.3.	Características de la necesidad.	37
3.3.1.	Proceso de Soldadura.	37
3.3.2.	Material elegido para estudio.	38
3.3.2.1.	Acero ASTM A 36	38
3.3.2.2.	Acero ASTM A 572 Grado 50	38
3.3.2.3.	Acero ASTM A 588 Grado A	39
CAPITULO 4.		40
4.	ELECTRODOS PARA EL METODO FCAW	40
4.1.	Electrodos.	40
4.2.	Clasificación de los electrodos.	43
4.2.1.	Electrodos de acero dulce.	43
4.2.1.1.	EXXT-1.	45

4.2.1.2.	EXXT-2.	45
4.2.1.3.	EXXT-3.	46
4.2.1.4.	EXXT-4.	46
4.2.1.5.	EXXT-5.	46
4.2.1.6.	EXXT-6.	47
4.2.1.7.	EXXT-7.	47
4.2.1.8.	EXXT-8.	47
4.2.1.9.	EXXT- 10.	47
4.2.1.10.	EXXT-11.	48
4.2.1.11.	EXXT-G.	48
4.2.1.12.	EXXT-GS.	48
4.2.2.	Electrodos de acero de baja aleación	48
4.2.3.	Electrodos con escudo de gas	49
4.2.4.	Electrodos de Acero dulce con autoprotección	50
4.2.5.	Electrodos de acero inoxidable autoprottegidos	51
4.2.6.	Preparación de los bordes y tolerancias de embonamiento	52
4.3.	Fundente.	54
4.3.1.	Materiales del fundente.	54
4.3.2.	Clasificación del fundente.	54
4.3.3.	Características del fundente.	54
4.4.	Protección.	54
4.5.	Tasa y eficiencia de deposición	54
CAPITULO 5		55
5.	ENSAYOS DE SOLDABILIDAD	55
5.1.	Ensayos de soldabilidad.	55
5.1.1.	Soldabilidad en Fabricación	55
5.1.2.	Soldabilidad en Servicio.	56

5.1.2.1.	Ensayos de soldabilidad operatoria	56
5.1.2.2.	Ensayos de soldabilidad metalúrgica.	57
5.1.2.3.	Ensayos de soldabilidad constructiva.	58
5.1.3.	Ensayos que determinan la soldabilidad.	58
5.1.4.	Ensayos que determinan la soldabilidad.	60
5.1.4.1.	Ensayo Finger (fisuramiento en caliente).....	60
5.1.4.2.	Ensayo Battelle (fisuramiento en caliente)	60
5.1.4.3.	Ensayo de restricción de Lehigh (fisuramiento en frío y en caliente). 61	
5.1.4.4.	Ensayo Vareststraint, o de restricción variable (fisuramiento en caliente) 62	
5.1.4.5.	Ensayo Murex (fisuramiento en caliente).....	63
5.1.4.6.	Ensayo de restricción y cerradura (fisuramiento en frío y en caliente) 64	
5.1.4.7.	Ensayo de filete circular de la armada (fisuramiento en frío y en caliente) 65	
5.1.4.8.	Ensayo de ranura circular (fisuramiento en frío y en caliente)	66
5.1.4.9.	Ensayo Sigmajig (fisuramiento en caliente)	67
5.1.4.10.	Ensayo de cuña (fisuramiento en frío)	68
5.1.4.11.	Ensayo Tekken (Fisuramiento en frío)	68
5.1.4.12.	Ensayo gapped bead-on-plate, G-BOP (Fisuramiento en frío) ..	69
5.1.4.13.	Ensayo cruciforme (fisuramiento en frío)	70
5.1.4.14.	Ensayo de ranura espiral (Fisuramiento en caliente)	71
5.1.4.15.	Ensayo en cantiléver de desgarre laminar de Lehigh (Desgarre laminar) 71	
CAPITULO 6		73
6.	ENSAYOS Y PRUEBAS, ELABORACIÓN WPS	73
6.1.	Ensayos no destructivos.	73

6.1.1.	Introducción	73
6.1.2.	Definición y Alcance	73
6.1.3.	Clasificación de los Ensayos No Destructivos.	74
6.1.4.	Principales Aplicaciones de los END.	75
6.2.	Radiografía Industrial	76
6.2.1.	Introducción	76
6.2.2.	La Radiografía Industrial y los Ensayos no Destructivos (END)	77
6.2.3.	Defectos en Soldadura	78
6.2.3.1.	Fisuras	78
6.2.3.2.	Cavidades	78
6.2.3.3.	Inclusiones solidas	79
6.2.3.4.	Falta de fusión y de penetración	80
6.2.3.4.1.	<i>Falta de fusión</i>	80
6.2.3.4.2.	<i>Falta de penetración</i>	80
6.2.3.5.	Defectos de forma	80
6.2.3.5.1.	<i>Forma defectuosa</i>	80
6.2.3.6.	Defectos varios	82
6.3.	Elaboración WPS	82
6.3.1.	Elaboración WPS, Ensayo TEKKEEN	83
6.3.1.1.	Compatibilidad entre el metal de aporte en la soldadura y los metales base seleccionados.	83
6.3.1.2.	Diseños de juntas y cargas.	85
6.3.1.3.	Propiedades mecánicas deseadas.	86
6.3.1.4.	Requerimientos de servicio a que va a someterse el equipo o elemento. 87	
6.3.1.5.	Requerimientos de tratamiento térmico.	87
6.3.1.6.	Habilidad y disponibilidad de los soldadores.	87
6.3.1.7.	Disponibilidad de los equipos.	87

6.3.1.8. Economía (Costo, Tiempo).....	88
6.3.2. Elaboración WPS, Ensayo VARESTRAINT.....	89
6.3.2.1. Compatibilidad entre el metal de aporte en la soldadura y los metales base seleccionados.....	89
6.3.2.2. Diseños de juntas y cargas.	90
6.3.2.3. Propiedades mecánicas deseadas.....	90
6.3.2.4. Requerimientos de servicio a que va a someterse el equipo o elemento. 90	
6.3.2.5. Requerimientos de tratamiento térmico.....	90
6.3.2.6. Habilidad y disponibilidad de los soldadores.	90
6.3.2.7. Disponibilidad de los equipos.	90
6.3.2.8. Economía (Costo, Tiempo).....	91
CAPITULO 7.	92
7. ANÁLISIS COMPARATIVO	92
7.1. Recopilación de datos.....	92
7.1.1. Introducción.....	92
7.1.2. Materiales Utilizados para el Ensayo.....	92
7.1.2.1. Acero ASTM A-36.....	92
7.1.2.2. Acero ASTM A-572 Grado 50.....	93
7.1.2.3. Acero ASTM A-588 Grado B	94
7.1.3. Ensayos de Soldabilidad	96
7.1.3.1. Ensayo VARESTRAINT	96
7.1.3.1.1. Mecanizado de Metal Base	96
7.1.3.1.2. Cálculos.	97
7.1.3.1.2.1. Cálculos Acero A36.....	99
7.1.3.1.2.2. Cálculos Acero A-572-Grado 50	99
7.1.3.1.2.3. Cálculos Acero A-572-Grado 50	100
7.1.3.1.2.4. Cálculos Acero A-572-Grado 50	101

7.1.3.1.2.5.	<i>Cálculos Acero A-588-Grado A</i>	101
7.1.3.1.3.	<i>Preparación de Equipos y material</i>	102
7.1.3.1.4.	<i>Soldadura de Probetas</i>	104
7.1.3.1.5.	<i>Ensayos en Soldadura</i>	106
7.1.3.1.5.1.	<i>Inspección Visual</i>	106
7.1.3.1.5.1.1.	<i>Análisis Inspección Visual Probeta Acero A 36</i>	106
7.1.3.1.5.1.2.	<i>Análisis Inspección Visual Probeta Acero A 572 Grado 50</i>	107
7.1.3.1.5.1.3.	<i>Análisis Inspección Visual Probeta Acero A 588 Grado A</i>	108
7.1.3.1.5.2.	<i>Radiografía Industrial</i>	109
7.1.3.1.5.2.1.	<i>Radiografía Industrial- Proceso de Radiografía</i>	111
7.1.3.1.5.2.2.	<i>Análisis Radiografías</i>	111
7.1.3.1.5.3.	<i>Macroestructuras y Microestructuras</i>	112
7.1.3.1.5.4.	<i>Macroestructuras y Microestructus</i>	113
7.1.3.2.	Ensayo Y-GROOVE O TEKKEN	120
7.1.3.2.1.	<i>Cálculos</i>	120
7.1.3.2.1.1.	<i>Temperatura de Pre calentamiento</i>	120
7.1.3.2.1.1.1.	<i>Cálculos Temperatura de Pre calentamiento Acero A36</i>	122
7.1.3.2.1.1.2.	<i>Cálculos Temperatura de Pre calentamiento Acero A-572 Grado 50</i> 123	
7.1.3.2.1.1.3.	<i>Cálculos Temperatura de Pre calentamiento Acero A-588 Grado A</i> 124	
7.1.3.2.1.2.	<i>Preparación de placas para ensayo Y-GROOVE</i>	125
7.1.3.2.1.2.1.	<i>Importación de placas</i>	125
7.1.3.2.1.2.2.	<i>Maquinado Placas</i>	126
7.1.3.2.1.3.	<i>Soldadura de Probetas para ensayo Y-GROOVE</i>	127
7.1.3.2.1.3.1.	<i>Soldadura de Restricción en Probetas para ensayo Y-GROOVE</i>	127
7.1.3.2.1.3.2.	<i>Soldadura en Probetas para ensayo Y-GROOVE</i>	129
7.1.3.2.1.3.3.	<i>Temperaturas de enfriamiento</i>	131

7.1.3.2.2.	<i>Ensayos en Soldadura.</i>	132
7.1.3.2.2.1.	<i>Inspección Visual</i>	132
7.1.3.2.2.1.1.	<i>Inspección Visual Acero A36 ensayo Y-GROOVE</i>	132
7.1.3.2.2.1.2.	<i>Inspección Visual Acero A572 Grado 50 Ensayo Y-GROOVE</i>	133
7.1.3.2.2.1.3.	<i>Inspección Visual Acero A588 Grado A Ensayo Y-GROOVE</i>	134
7.1.3.2.2.2.	<i>Radiografía Industrial</i>	135
7.1.3.2.2.2.1.	<i>Radiografía Industrial Acero ASTM A 36 ensayo Y-GROOVE</i>	136
7.1.3.2.2.2.2.	<i>Radiografía Industrial Acero ASTM A 572 Grado 50 ensayo Y-GROOVE</i>	136
7.1.3.2.2.2.3.	<i>Radiografía Industrial Acero ASTM A 588 Grado A ensayo Y-GROOVE</i>	137
7.1.3.2.2.3.	<i>Macroestructuras y Microestructu</i>	138
7.1.3.2.2.3.1.	<i>Preparación de probetas</i>	138
7.1.3.2.2.3.2.	<i>Macrografías y Micrografías de Probetas</i>	141
7.1.3.2.2.4.	<i>Comparación Resultados de Análisis Micrográfico y Micrográfico</i>	146
7.1.3.2.2.5.	<i>Ensayos de Dureza.</i>	146
8.	CAPITULO 8	148
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	148
8.1.	Conclusiones	148
8.2.	Recomendaciones:	149
	Bibliografía	151

INDICE DE TABLAS

TABLA1: Diseños de junta recomendados por AWS para la soldadura FCAW-G para electrodos de aceros al carbono y baja aleación (EXXT-1).....	14
TABLA2: Diseños de junta recomendados por AWS para la soldadura FCAW-S para electrodos de aceros al carbono y baja aleación.....	15
TABLA3: Procedimientos típicos de soldadura por arco con núcleo de fundente con autoprotección en aceros inoxidable empleando electrodos de acero inoxidable	15
TABLA4: Posibles causales de falla y algunas soluciones	16
TABLA5: Propiedades físicas del Aluminio y sus aleaciones	33
TABLA 6: Elementos que comúnmente se incluyen en el núcleo de los electrodos con núcleo del fundente	42
TABLA 7: Requerimientos de protección y polaridad para electrodos de FCAW de acero dulce	44
TABLA 8: Procedimientos típicos de soldadura por arco con núcleo de fundente con escudo de gas para electrodos de acero al carbono y de baja aleación (tipos EXXT-1)	52
TABLA 9: Procedimientos típicos de soldadura por arco con núcleo de fundente con autoprotección para electrodos de acero al carbono y de baja aleación	54
TABLA 10: Composición Típica Química del electrodo E71T-1C	84
TABLA11: Análisis y precios unitarios para la soldadura con el método FCAW en el ensayo TEKKEN.	89
TABLA12: Análisis y precios unitarios para la soldadura con el método FCAW en el ensayo VARESTRAINT	91
TABLA 13: Resistencia a la Tracción acero ASTM A 36.	92

TABLA14:	Composición Química en función de forma y espesores Acero A 36.	93
TABLA15:	Tabla resistencia última a la tracción (Sut) acero ASTM A 572 Grado-50. En función del espesor	94
TABLA16:	Composición Química en función de forma y espesores Acero A 572 Grado-50.	94
TABLA17:	Resistencia a la Tracción acero ASTM A 588 Grado-A.	95
TABLA18:	Composición Química en función de forma y espesores Acero A 588 Grado-A.	95
TABLA 19:	TABLA Inspección Visual Acero A 36, Ensayo Varestraint.	107
TABLA 20:	TABLA Inspección Visual Acero A 572, Grado 50, Ensayo Varestraint.	108
TABLA 21:	TABLA Inspección Visual Acero A 588, Grado A, Ensayo Varestraint.	109
TABLA 22:	TABLA Parámetros para cálculo de tiempo de exposición de rayos X, ensayo VARESTRAINT.	110
TABLA 23:	TABLA de exposición a Rayos X en función del material ensayado.	111
TABLA 24:	TABLA de resultados radiografías ensayo VARESTRAINT.	112
TABLA 25:	TABLA Agrupamiento del Índice de Susceptibilidad como función del nivel de Hidrógeno.	121
TABLA26:	Temperaturas mínimas de Precalentamiento y entre pasadas para tres niveles de restricción.	121
TABLA 27:	TABLA porcentaje de Composición Química Acero A36.	122
TABLA 28:	TABLA porcentaje de Composición Química Acero A572 Grado 50.	123
TABLA 29:	TABLA porcentaje de Composición Química Acero A588 Grado A.	124
TABLA 30:	Temperaturas de enfriamiento vs tiempo	131
TABLA31:	Inspección visual ensayo Y-GROOVE Acero A36	132
TABLA 32:	TABLA Inspección Visual Acero A 572, Grado 50, Ensayo Y-GROOVE	133

TABLA 33:	TABLA Inspección Visual Acero A 588, Grado A, Ensayo Y-GROOVE	134
TABLA 34:	TABLA Parámetros para cálculo de tiempo de exposición de rayos X, ensayo Y-GROOVE.....	135
TABLA 35:	TABLA de exposición a Rayos X en función del material ensayado.	136
TABLA 36:	TABLA de análisis radiográfico en probetas ensayadas Y-GROOVE.	137
TABLA37:	ANALISIS DE MACROGRAFÍAS EN PROBETAS ENSAYADAS PROCESO Y-GROOVE.....	145
TABLA 38:	TABLA de durezas en función de la posición	147

INDICE DE FIGURAS

FIGURA.1:	Soldadura por arco con núcleo de fundente protegida con gas	
	1	
FIGURA 2:	Equipo típico para soldadura por arco con núcleo de fundente semiautomática	5
FIGURA 3:	Velocidad de alimentación del electrodo contra intervalo de corriente de soldadura para electrodos de acero E70-1 con escudo de CO₂	11
FIGURA 4:	Posiciones de torchas recomendadas	13
FIGURA 5:	Diagrama de equilibrio hierro carbono	22
FIGURA 6:	Curva de la S de un acero de 0,78% de C (segunel Research Laboratory Us Steel Corporation)	23
FIGURA7:	Diagrama de PORTFVIN	24
FIGURA 8:	izquierda Equilibrio de reducción de los óxidos de hierro por el CO y H₂ (según G CHAUDRON)	26
FIGURA 9	derecha Curva de solubilidad del FeO en el hierro puro en estado líquido	26
FIGURA 10:	Variación de las características mecánicas (microcizalladura y dureza) de un acero de 0,20% de C y 1,75%Mn unido por soplete con un metal de aportación de 1% Mn.	28
FIGURA 11:	Diagrama de Maurer	32
FIGURA 12:	Diagrama de equilibrio de las aleaciones Al-Mg	35
FIGURA 13:	Tasa de Interés devengados al exterior.	36
FIGURA 14;	Procesos de soldadura por fusión.	37
FIGURA15;	Estructuras de puentes.	39
FIGURA 16:	Sistema de identificación para electrodos de acero dulce para FCAW	43

FIGURA 17:	Sistema de identificación para electrodos de acero de baja aleación para FCAW	49
FIGURA 18	Esquema del ensayo Finger	60
FIGURA 19:	Esquema de la probeta para ensayo Battelle	61
FIGURA 20:	Esquema de la probeta para ensayo Lehigh	62
FIGURA 21:	Esquema del ensayo Varestraint	63
FIGURA 22:	Esquema del ensayo Murex	64
FIGURA 23:	Esquema del ensayo de restricción y cerradura	65
FIGURA 24:	Ensayo de filete circular de la armada.....	66
FIGURA 25;	Ensayo de ranura circular	66
FIGURA 26:	Esquema básico del funcionamiento del ensayo Sigmajig .	67
FIGURA 27:	Ensayo de cuña	68
FIGURA 28:	Ensayo Tekken	69
FIGURA 29:	Esquema del ensayo G-BOP	70
FIGURA 30	Ensayo cruciforme	70
FIGURA 31:	Ensayo de ranura espiral	71
FIGURA 32:	Ensayo en cantiléver de desgarre laminar	72
FIGURA 33:	Esquema fisuras	78
FIGURA 34:	Esquemas porosidades y rechupes	79
FIGURA 35:	Esquema inclusiones solidas	80
FIGURA 36:	Esquema falta de fusión	80
FIGURA 37:	Esquema forma defectuosa.....	81
FIGURA 38:	Esquema forma defectuosa.....	81
FIGURA 39:	Esquema Marcas, defectos varios.....	82
FIGURA 40:	Ficha Técnica del Electrodo E71T-1C Entregado por el proveedor. 85	
FIGURA 41:	Cordón de soldadura para ensayo de soldabilidad TEKKEN 86	
FIGURA 42;	Detalle de junta para ensayo de soldabilidad TEKKEN	86
FIGURA 43:	Equipo de soldadura para proceso de soldadura FCAW, Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional. 88	

FIGURA 44:	Datos de placa Equipo de soldadura para proceso de soldadura FCAW, Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional.....	88
FIGURA 45 :	Dimensiones de probetas para ensayo VARESTRAINT	96
FIGURA 46 :	Etiqueta en bobina de acero (KUBIEC Guayaquil-Ecuador)	97
FIGURA 47:	Preparación de probetas para ensayo VARESTRAINT	97
FIGURA 48:	Equipo de Soldadura para proceso FCAW existente en el Laboratorio de Soldadura Facultad de Ingeniería Mecánica EPN	102
FIGURA 49:	Masa y arreglo en probeta para el ensayo VARESTRAINT.	103
FIGURA 50:	Arreglo preparado con curvatura para ensayo VARESTRAINT.	103
FIGURA 51:	Nivelación de probeta para ajustar dado con curvatura. ...	104
FIGURA 52;	Avance de soldadura acero A 572-Grado 50.....	104
FIGURA 53;	Cordón de soldadura luego de ensayo VARESTRAINT, en acero A-572 Grado 50.	105
FIGURA 54:	Curvatura de placa luego de ensayo VARESTRAINT, en acero A-588 Grado A.	105
FIGURA 55:	Cordones de soldadura en los tres tipos de acero (Acero A.36, A 572 Grado 50 y A 588 Grado A) posteriores al ensayo VARESTRAINT ...	106
FIGURA 56:	Análisis visual cordón de soldadura ensayo VARESTRAINT Acero A 36	107
FIGURA 57:	Análisis visual cordón de soldadura ensayo VARESTRAINT Acero A 572 Grado 50	108
FIGURA 58:	Análisis visual cordón de soldadura ensayo VARESTRAINT Acero A 588 Grado A	109
FIGURA 59:	Equipo de Radiografía del Laboratorio de END de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la EPN (marca Balleau)	110
FIGURA 60;	Probeta Acero A 572 Gr 50 en mesa de Radiografía.....	111
FIGURA 61:	Radiografía cordón ensayo VARESTRAINT Acero A 36.....	112
FIGURA 62:	Radiografía cordón ensayo VARESTRAINT Acero A 572 Gr 50	112
FIGURA 63;	Esquema extracción de probetas para micrografías y macrografías ensayo VARESTRAINT	113

FIGURA 64:	Probetas cortadas para micrografías y macrografías ensayo VARESTRAINT 113	
FIGURA 65:	ENSAYO VARESTRAINT ACERO ASTM A36 PROBETA A	114
FIGURA 66:	ENSAYO VARESTRAINT ACERO ASTM A36 PROBETA B	115
FIGURA 67:	ENSAYO VARESTRAINT ACERO ASTM A572 GRADO 50 PROBETA A	116
FIGURA 68:	ENSAYO VARESTRAINT ACERO ASTM A572 GRADO 50 PROBETA B	117
FIGURA 69:	ENSAYO VARESTRAINT ACERO ASTM A588 GRADO A PROBETA A	118
FIGURA 70:	ENSAYO VARESTRAINT ACERO ASTM A588 GRADO A PROBETA B	119
FIGURA 71:	Planchas Acero ASTM A588 Grado A, planta KUBIEC Guayaquil	125
FIGURA 72:	Dimensiones de Placas metal Base para ensayo Y.GROOVE	126
FIGURA 73:	Limado de placa para ensayo Y-GROOVE	126
FIGURA 74:	Esquema tipo de junta para las dos secciones de las placas.	127
FIGURA 75:	Soldadura de Restricción en placas proceso SMAW	128
FIGURA 76:	Placas luego de la suelda de restricción.	128
FIGURA 77:	Medición de temperatura en placas.	129
FIGURA 78:	Soldadura de placas método FCAW	130
FIGURA 79:	Placas soldadas luego de proceso FCAW.	130
FIGURA 80:	Grafica curvas enfriamiento	131
FIGURA 81:	Cordón en acero ASTM A 36	132
FIGURA 82;	Cordón en acero ASTM A 572 Gr. 50	133
FIGURA 83:	Cordón en acero ASTM A 588 Gr. A	134
FIGURA 84:	Radiografía cordón de soldadura Acero A 36 Ensayo Y-GROOVE	136

FIGURA 85:	Radiografía cordón de soldadura Acero A 572 Gr. 50 Ensayo Y-GROOVE	136
FIGURA 86:	Radiografía cordón de soldadura Acero A 588 Gr. A Ensayo Y-GROOVE	137
FIGURA 87:	Disposición y numeración de probetas según la Norma AWS B4. 0 2000	138
FIGURA 88:	Identificación de Probetas	139
FIGURA 89:	Preparación del equipo de corte por Oxi Acetilénico	139
FIGURA 90;	Corte de placa para probetas ACERO A 588 Grado A	140
FIGURA 91:	Probetas acero A 572 Gr 50 preparadas para macro y micrografías	140
FIGURA 92:	Probetas acero A 588 Gr A preparadas para macro y micrografías	141
FIGURA 93:	Probetas A36-Xx, que se rompió al extraer de la junta	141
FIGURA 94:	ENSAYO Y-GROOVE, ACERO ASTM A572 GRADO 50 PROBETA A572-Xx	142
FIGURA 95:	ENSAYO Y-GROOVE, ACERO ASTM A588 GRADO A PROBETA A588-Xx	143
FIGURA 96:	ENSAYO Y-GROOVE, ACERO ASTM A36 PROBETA A36.Xx	144
FIGURA 97:	Esquema de posiciones donde se tomaron las durezas en placas	146
FIGURA 98:	Dureza Rockwell B vs Posición respecto al cordón de soldadura	147

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Norma AWS.B4.0-200 Standar Methods for Mechanical Testing of Weld, ENSAYO VAR ESTRRAINT	152
ANEXO 2 : Norma AWS.B4.0-200 Stándar Methods for Mechanical Testing of Weld, ENSAYO Y-GROOVE ó TEKKEN.	158
ANEXO 3 : WPS para soldadura de restricción ensayo Y-GROOVE O TEKKEN (ACERO ASTM A 36).....	164
ANEXO 4: WPS para soldadura de restricción ensayo Y-GROOVE O TEKKEN (ACERO ASTM A 572 Grado 50)	165
ANEXO 5 : WPS para soldadura de restricción ensayo Y-GROOVE O TEKKEN (ACERO ASTM A 588 Grado A).....	166
ANEXO 6: WPS Soldadura FCAW ensayo Y-GROOVE O TEKKEN (ACERO ASTM A 36) 167	167
ANEXO 7: WPS Soldadura FCAW ensayo Y-GROOVE O TEKKEN (ACERO ASTM A 572 Grado 50).....	168
ANEXO 8 : WPS Soldadura FCAW ensayo Y-GROOVE O TEKKEN (ACERO ASTM A 588 Grado A)	169
ANEXO 9: WPS Soldadura FCAW ensayo VARESTRAINT (ACERO ASTM A 36) 170	170
ANEXO 10: WPS Soldadura FCAW ensayo VARESTRAINT (ACERO ASTM A 572 Grado 50).....	171
ANEXO 11: WPS Soldadura FCAW ensayo VARESTRAINT (ACERO ASTM A 588 Grado A)	172
ANEXO 12 Ficha técnica entregada por el fabricante de electrodos , para el electrodo E71T-1	173

ANEXO 13 :	Certificado Original proporcionada por el proveedor con las características físicas y químicas del acero ASTM A-36.....	174
ANEXO 14 ;	Certificado Original proporcionada por el proveedor con las características físicas y químicas del acero ASTM A-572 Grado 50	176
ANEXO 15:	Certificado Original proporcionada por el proveedor con las características físicas y químicas del acero ASTM A-588- Grado A	177
ANEXO 16:	Tablas de porosidades permitidas en cordón de soldadura en función de dimensiones de la probeta. SEGÚN NORMA ASME, SECCION II PARTE C. 2007.	178
ANEXO 17:	Tablas de defectos permitidos en cordón de soldadura en función de dimensiones de la probeta. SEGÚN NORMA ASME, SECCION II PARTE C. 2007.	179
ANEXO 18:	ENSAYO VARESTRAINT ACERO ASTM A36 Ww.....	182
ANEXO 19:	ENSAYO VARESTRAINT ACERO ASTM A36-Yy	186
ANEXO 20:	ENSAYO VARESTRAINT ACERO ASTM A36-Zz.....	190
ANEXO 21:	ENSAYO Y-GRROVE ACERO ASTM A572-Ww	194
ANEXO 22:	ENSAYO Y-GRROVE ACERO ASTM A572-Yy.....	198
ANEXO 23:	ENSAYO Y-GRROVE ACERO ASTM A572-Zz	202
ANEXO 24:	ENSAYO Y-GROOVE, ACERO ASTM A588-Ww.....	206
ANEXO 25:	ENSAYO Y-GROOVE, ACERO ASTM A588-Yy	210
ANEXO 26 :	ENSAYO Y-GROOVE, ACERO ASTM A588-Zz.....	214
ANEXO 27:	HOJAS DE PROCESOS	218
ANEXO 28:	Hoja ensayo de chispa entregado por el Laboratorio de Metalurgia Extractiva Escuela Politécnica Nacional	221

RESUMEN

La presente investigación estudia la soldabilidad del acero al carbono ASTM- A36, y de los aceros (HSLA) ASTM A572 Grado 50 y ASTM A588 Grado A. Utilizando el proceso de soldadura FCAW (Flux Cored Arc Welding) Con el fin de evaluar los tres tipos de acero soldado bajo las mismas características Tomando como guía y referencia los ensayos de soldabilidad citados en la Norma AWS-B4.0M-2000.

Al comienzo de esta investigación se hace una reseña del proceso de soldadura FCAW (Soldadura por Arco con Núcleo de Fundente), enfatizando en las características principales, gases de protección y su comportamiento en los diferentes estados del proceso.

Posteriormente se estudia los diferentes aspectos de la soldabilidad, tomando criterios claves como el comportamiento del metal base, metal de aporte y las zonas alrededor del cordón de soldadura. Lo que permite determinar que ensayos de soldabilidad son los adecuados para una evaluación correcta de la soldabilidad de cada tipo de acero. En este estudio se eligieron los ensayos (Ensayo VARESTRAINT y Ensayo Y-GROOVE o TEKKEN Según Norma AWS B4.0M 2000).

Se hace los diferentes procesos mecánicos para obtener las juntas y estructuras necesarias para los dos tipos de ensayos de soldabilidad. Se elabora los WPS necesarios cumpliendo con los requerimientos especificados en normas y recomendaciones por los proveedores. Se procede a soldar conforme se especifica en el WPS.

Para evaluar los cordones de soldadura se realizan varias pruebas e inspecciones conforme a las normas especificadas en el presente estudio. Tomando como principal referencia el estudio macrográfico y micrográfico los cuales permiten evaluar de una forma más detallada la micro estructura y por ende la calidad del cordón.

Dando como resultado luego de las pruebas y ensayos al acero ASTM A572 Grado 50 como el acero de mejores características de soldabilidad.

PRESENTACIÓN

La utilización de las cualidades particulares del acero, puede obedecer tanto a parámetros establecidos por la calidad y uniformidad en diseños, necesidades básicas de infraestructura, como la disminución en los tiempos de ejecución. Razones por las cuales, se han ido desarrollando diversos tipos de aceros con propiedades mejoradas respecto a los aceros comunes.

El proceso de soldadura FCAW tiene gran acogida a nivel mundial por las excelentes características mecánicas y de fabricación que son propias de este proceso. Por lo que es necesario un estudio más profundo de este proceso en el Ecuador, Para tomarlo como herramienta y contribuir en el progreso del país.

La utilización de aceros HSLA se justifica en la necesidad de contar con aceros cuyos límites de elasticidad sean mayores a los de los aceros comunes, de modo que se obtenga una gran capacidad de carga con secciones más ligeras.

Debido a esto el fin de esta tesis es proporcionar un documento de Investigación que contribuya al progreso de la industria del país.

CAPITULO 1

1. FUNDAMENTOS DEL PROCESO FCAW

1.1.Historia

El proceso de soldadura FCAW es un proceso de soldadura por arco metálico. Este proceso de soldadura es una variante del proceso GMAW; a diferencia del aporte en alambre sólido y la protección de gas, el proceso presenta en el centro del alambre un fundente, de ahí su nombre: “soldadura con arco con núcleo de fundente”.¹ Las aplicaciones se efectúan principalmente sobre aceros al carbono, aceros inoxidable y recientemente para protección contra el desgaste (revestimientos duros). Los procesos pueden ser semiautomáticos y automáticos.

1.2.Características principales.

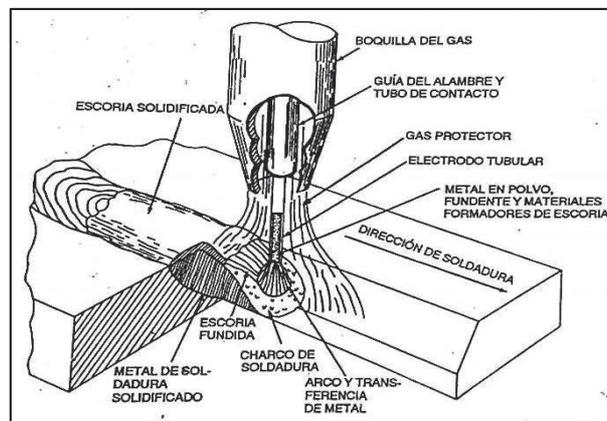


FIGURA.1: Soldadura por arco con núcleo de fundente protegida con gas²

- El electrodo es un elemento tubular, el mismo que en su interior posee un fundente capaz de crear una atmósfera en el charco de soldadura, para mejorar las características del cordón de soldadura.
- Es más funcional en la soldadura de aceros con espesores medianos, en donde el proceso GMAW no sería aplicable y donde el ajuste es tal que la soldadura por arco sumergido sería inconveniente.

¹ (SOCIETY AMERICAN WELDING, 2000, Manual de Soldadura, Tomo I, 8va edición, Cpítulo 5)

² (SOCIETY AMERICAN WELDING, 2000, Manual de Soldadura, Tomo I, 8va edición, Cpítulo 5)

- Es un proceso de soldadura que utiliza el calor de un arco eléctrico. Que se forma entre un electrodo consumible con núcleo de fundente, alimentado continuamente y el material base.
- La protección gaseosa se obtiene a partir de la desintegración de los ingredientes contenidos dentro del electrodo con núcleo de fundente. O por adición de gas protector como en GMAW.
- Los elementos en el núcleo del electrodo producen gas para protección y también proporcionan desoxidantes, ionizadores, agentes purificadores y en algunos casos elementos de aleación³.

1.3. Aplicaciones principales.

Las aplicaciones de las dos variantes del proceso FCAW se traslapan, pero las características específicas de cada una las hacen apropiadas para diferentes condiciones de operación. El proceso se emplea para soldar aceros al carbono y de baja aleación, aceros inoxidable y hierros colados. También sirve para soldar por puntos uniones traslapadas en láminas y placas, así como para revestimiento y aportación de superficies duras.

El tipo de FCAW que se use dependerá del tipo de electrodos de que se disponga, los requisitos de propiedades mecánicas de las uniones soldadas y los diseños de las uniones. En general, el método autoprotegido puede usarse en aplicaciones que normalmente se unen mediante soldadura por arco de metal protegido. El método con escudo de gas puede servir para algunas aplicaciones que se unen con el proceso de soldadura por arco de metal y gas. Es preciso comparar las ventajas y desventajas del proceso FCAW con las de esos otros procesos cuando se evalúa para una aplicación específica.

En muchas aplicaciones, el principal atractivo de la soldadura por arco con núcleo de fundente, en comparación con la de arco de metal protegido, es la mayor productividad. Esto generalmente se traduce en costos globales más bajos por kilogramo de metal depositado en uniones que permiten la soldadura continua y están fácilmente accesibles para la pistola y el equipo FCAW. Las ventajas consisten en tasas de deposiciones elevadas, factores de operación

³ (SOCIETY AMERICAN WELDING, 2000, Manual de Soldadura, Tomo I, 8va edición, Cpitulo 5)

altos y mayores eficiencias de aportación (no se desechan “colillas” de electrodo).

Factores de operación altos y mayores eficiencias de deposición Las desventajas más importantes, en comparación con el proceso SMAW, son el mayor costo del equipo, El proceso FCAW tiene amplia aplicación en trabajos de fabricación en taller, mantenimiento y construcción en el campo. Se ha usado para soldar ensambles que se ajustan al código de calderas y recipientes de presión según normas ASME, a las reglas del American Bureau of Shipping y a ANSI/AWS D1.1, Código de soldadura estructural. La FCAW tiene categoría de proceso precalificado en ANSI/AWS D1. 1.

Se han usado electrodos de acero inoxidable con núcleo de fundente, autoprotegidos y con escudo de gas, para trabajos de fabricación en general, recubrimiento, unión de metales disímiles, mantenimiento y reparación.

Otras desventajas importantes, en comparación con el proceso SMAW son, la relativa complejidad de la configuración y control de éste, y la restricción en cuanto a la distancia de operación respecto al alimentador del electrodo de alambre. El proceso puede generar grandes volúmenes de emisiones de gases que requieren equipo de escape apropiado, excepto en aplicaciones de campo.

En comparación con el proceso GMAW, libre de escoria, la necesidad de eliminar la escoria entre una pasada y otra representa un costo de mano de obra adicional. Esta eliminación es necesaria sobre todo en las pasadas de raíz⁴.

1.4.Equipos.

1.4.1. Equipo Semiautomático

El equipo básico para la soldadura por arco con núcleo de fundente autoprotegida y con escudo de gas es similar. La principal diferencia radica en el suministro y regulación del gas para el arco en la variante con escudo de gas. La fuente de potencia recomendada es la de cc de voltaje constante, similar a las que se usan para soldadura por arco de metal y gas. Esta fuente deberá ser capaz de trabajar en el nivel de corriente máximo requerido para la aplicación específica. La mayor parte de las aplicaciones semiautomáticas usa menos de

4(SOCIETY AMERICAN WELDING, 2000, Manual de Soldadura, Tomo I, 8va edición, Cpítulo 5)

500 A. El control de voltaje deberá poderse ajustar en incrementos de un voltio menos. También se usan fuentes de potencia de cc de corriente constante con la suficiente capacidad, controles y alimentadores de alambre apropiados, pero estas aplicaciones son poco comunes.

El propósito del control de alimentación del alambre es suministrar el electrodo continuo al arco de soldadura con una velocidad constante previamente establecida. La rapidez de alimentación del electrodo determina el amperaje de soldadura suministrado por una fuente de potencia de voltaje constante. Si se modifica esta rapidez, la máquina soldadora se ajustará automáticamente para mantener el voltaje de arco preestablecido. La velocidad de alimentación del electrodo se puede controlar por medios mecánicos o electrónicos.

Este proceso requiere rodillos impulsores que no aplanen ni distorsionen de alguna otra manera el electrodo tubular. Se emplean diversos rodillos con superficies ranuradas y moleteadas para adelantar el electrodo. Algunos alimentadores de alambre tienen solo un par de rodillos impulsores, mientras que **otros** cuentan con dos pares en los que por lo menos uno de los rodillos de cada par está conectado a un motor. Si todos los rodillos están motorizados, el alambre se podrá adelantar ejerciendo menos presión con los rodillos.

Las pistolas típicas para soldadura semiautomática. Están diseñadas de modo que se sostengan cómodamente, sean fáciles de manipular y duren largo tiempo. Las pistolas establecen un contacto interno con el electrodo a fin de conducir la corriente de soldadura. La corriente y la alimentación del electrodo se accionan con un interruptor montado en la pistola.

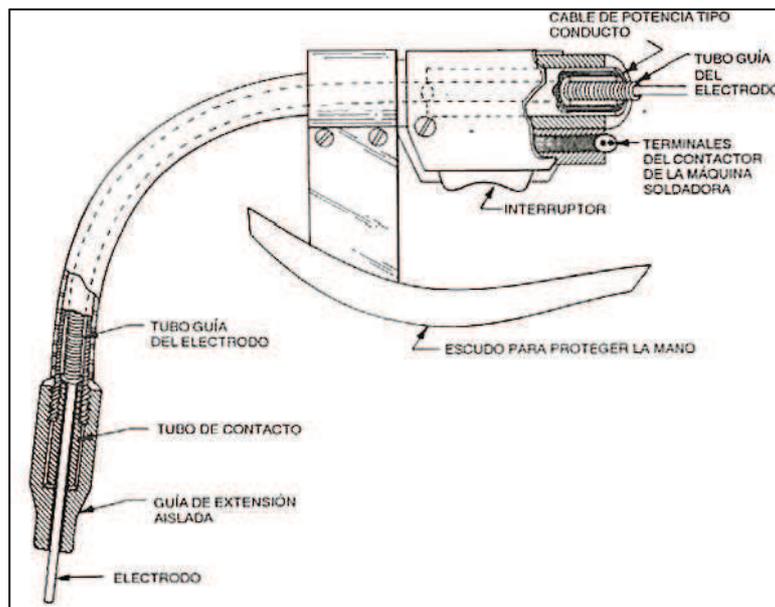


FIGURA 2: *Equipo típico para soldadura por arco con núcleo de fundente semiautomática* ⁵

- Fuente de poder
- Alimentación del alambre y sistema de control
- Torcha y cable
- Electrodo tubular
- Sistema de alimentación del gas de protección
- Sistema de extracción de humos

1.4.2. Equipo Automático

Para este tipo de operación se recomienda una fuente de potencia de cc de voltaje constante diseñada para un ciclo de trabajo del 100%. El tamaño de la fuente de potencia está determinado por la corriente que requiere el trabajo por realizar. Como pueden ser necesarios electrodos grandes, tasas de alimentación de electrodo elevadas y tiempos de soldadura prolongados, los alimentadores de electrodos por fuerza tienen motores impulsores de mayor capacidad y componentes para trabajo más pesado que en equipo similar para operación semiautomática.

En trabajos de recubrimiento a gran escala, se puede aumentar la productividad empleando equipo automático oscilante con múltiples electrodos. Estas instalaciones pueden incluir un control montado sobre rieles que contiene una

⁵ (SOCIETY AMERICAN WELDING, 2000, Manual de Soldadura, Tomo I, 8va edición, Cpítulo 5)

cabeza soldadora oscilante de múltiples electrodos con alimentadores de electrodo individuales y un rodillo giratorio motorizado también montado en rieles, además de fuente de potencia, controles electrónicos y sistema de suministro de electrodo.

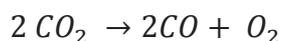
1.5.Materiales.

1.5.1. Gases Protectores

1.5.1.1. Dióxido de carbono

El dióxido de carbono (CO_2) es el gas protector más utilizado para soldadura por arco con núcleo de fundente. Dos ventajas de este gas son su bajo costo y la penetración profunda que permite lograr. Aunque habitualmente produce una transferencia de metal globular, algunas formulaciones de fundente producen una transferencia tipo rocío en CO_2 .

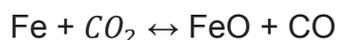
El dióxido de carbono es relativamente inactivo a temperatura ambiente. Cuando el arco de soldadura lo calienta a temperaturas elevadas, el CO_2 se disocia para formar monóxido de carbono (CO) y oxígeno (O), según la ecuación química



Así pues, la atmósfera del arco contiene una buena cantidad de oxígeno que puede reaccionar con elementos del metal fundido.

La tendencia oxidante del CO_2 como gas protector se ha reconocido al desarrollar electrodos con núcleo de fundente. Se agregan materiales desoxidantes al núcleo del electrodo a fin de compensar el efecto oxidante del CO_2 .

Además, el hierro fundido reacciona con CO_2 para producir óxido de hierro y monóxido de carbono en una reacción reversible:



A temperaturas de rojo vivo, parte del monóxido de carbono se disocia para dar carbono y oxígeno:



El efecto de la protección con CO_2 sobre el contenido de carbono de aceros dulces y de baja aleación es único. Dependiendo del contenido de carbono original del metal base y del electrodo, la atmósfera de se puede comportar como

medio carburizante o descarburizante. Que el contenido de carbono del metal de soldadura aumente o disminuya dependerá del carbono presente en el electrodo y en el metal base. Si el contenido de carbono del metal de soldadura está por debajo del 0.05%, aproximadamente, el charco de soldadura tenderá a absorber carbono de la atmósfera protectora de CO_2 . En cambio, si el contenido de carbono del metal de soldadura es mayor que el 0.10%, es posible que el charco de soldadura pierda carbono. La pérdida de carbono se atribuye a la formación de monóxido de carbono a causa de las características oxidantes del escudo de CO_2 a temperaturas elevadas. Cuando ocurre esta reacción, el monóxido de carbono puede quedar atrapado en el metal de soldadura como porosidad. Esta tendencia se minimiza incluyendo una cantidad adecuada de elementos desoxidantes en el núcleo del electrodo. El oxígeno reaccionará con los elementos desoxidantes en lugar de hacerlo con el carbono del acero. Los productos de esa reacción serán Óxidos sólidos que flotarán a la superficie del charco de soldadura, donde se incorporarán a la cubierta de escoria.

1.5.2. Mezclas de gases

Las mezclas de gases empleadas en la soldadura por arco con núcleo de fundente pueden combinar las ventajas individuales de dos o más gases. Cuanto mayor sea el porcentaje de gas inerte en las mezclas con CO, u oxígeno, mayor será la eficiencia de transferencia de los desoxidantes contenidos en el núcleo. El argón puede proteger el charco de soldadura a todas las temperaturas a las que se suelda. Su presencia en cantidades suficientes en una mezcla de gas protector da como resultado menor oxidación que con un escudo de CO_2 al 100%.

La mezcla de uso más común en FCAW con escudo de gas consiste en 75% de argón y 25% de dióxido de carbono. El metal de soldadura depositado con esta mezcla suele tener mayor resistencia a la tensión y al vencimiento que el depositado con escudo de CO_2 puro. Si se suelda con esta mezcla, se logra un arco con transferencia tipo rocío. La mezcla Ar- CO_2 se usa principalmente para soldar fuera de posición; es más atractiva para el operador y produce un arco con mejores características que el CO_2 puro.

El empleo de mezclas de gases protectores con un alto porcentaje de gas inerte junto con electrodos diseñados para usarse con escudo de CO_2 puede causar

una acumulación excesiva de manganeso, silicio y otros elementos desoxidantes en el metal de soldadura. Este alto contenido de elementos de aleación en la soldadura alterará las propiedades mecánicas del metal. Por esta razón, se recomienda consultar con los fabricantes de electrodos para averiguar qué propiedades mecánicas tiene el metal de soldadura depositado con mezclas de gas protector específicas. Si no hay información disponible, hay que realizar pruebas con el fin de determinar las propiedades mecánicas para la aplicación de que se trate.

Las mezclas de gases con alto contenido de argón, como 95% (5.3) de argón, 5% de O₂, casi nunca se usan con electrodos con núcleo de fundente porque se pierde la cubierta de escoria.

1.5.3. Metales Soldados

La mayor parte de los aceros que se puede soldar con los procesos SMAW, GMAW o SAW se sueldan fácilmente empleando el proceso FCAW. Como ejemplos se pueden mencionar los siguientes aceros:

- (1) Grados de acero dulce, estructural y de recipiente de presión, como ASTM **A36**, A515 y A516.
- (2) Grados de alta resistencia mecánica, baja aleación, como ASTM A440, A441, **A572 y A588**.
- (3) Aceros de aleación de alta resistencia mecánica, extinguidos y templados, como ASTM A514, A517 y A533.
- (4) Aceros al cromo-molibdeno, como 1.25% Cr-0.5% Mo y 2.25% Cr-1% Mo.
- (5) Aceros inoxidables forjados resistentes a la corrosión, como los tipos AISI 304, 309, 316, 347, 410, 430 y 502; también aceros inoxidables colados como los tipos ACI CF3 y CF8.
- (6) Aceros al níquel, como ASTM A203.

(7) Aceros de aleación resistentes a la abrasión, cuando se sueldan con metal de aporte que tiene una resistencia al vencimiento menor que la del acero que se suelda.⁶

1.6. Control del proceso.

1.6.1. Corriente de Soldadura

Es proporcional a la velocidad de alimentación del electrodo para un diámetro específico, composición y extensión del electrodo. Los fabricantes de consumibles suministran curvas que relacionan la velocidad de alimentación del electrodo y corriente de soldadura para distintos electrodos. Una fuente de potencia de tensión constante de adecuado tamaño es utilizada para fundir el electrodo a una velocidad que mantenga la tensión de salida seleccionada (longitud de arco). Si para un diámetro de electrodo dado las otras variables se mantienen constantes, un cambio en la corriente puede tener los siguientes efectos.

- Incremento en la corriente incrementa la velocidad de deposición del electrodo.
- Incremento en la corriente, incrementa la penetración.
- Corriente excesiva produce piletas convexas con pobre apariencia.
- Corriente insuficiente produce transferencia de grandes gotas y excesivo salpicado
- Corriente insuficiente puede resultar en contaminación con nitrógeno y también porosidad en el metal de soldadura, cuando se utilizan electrodos autoprotegidos.

1.6.2. Tensión del arco

La tensión del arco y la longitud del arco se encuentran muy relacionados. El voltaje mostrado en el medidor de la máquina de suministro de potencia es la suma de la caída de voltaje a través del circuito de soldadura. Esto incluye la caída a través de los cables, la extensión del electrodo, el arco, la pieza de

⁶ (SOCIETY AMERICAN WELDING, 2000, Manual de Soldadura, Tomo I, 8va edición, Capítulo 5)

trabajo, y el cable de masa. La apariencia, sanidad y propiedades de la soldadura realizada con FCAW pueden ser afectados por la tensión del arco. Una tensión de arco demasiado alta (un arco demasiado largo) puede resultar en un excesivo salpicado y una pileta ancha y de forma irregular. Con los electrodos autoprottegidos, un voltaje demasiado alto puede resultar en excesivo nitrógeno atrapado, el cuál deteriora la tenacidad de la junta; se ha encontrado que el contenido del mismo es linealmente proporcional a la longitud de arco. Con electrodos de acero dulce esto puede causar porosidad. Con electrodos de acero inoxidable puede disminuir el porcentaje de ferrita con lo que aumenta el riesgo a fisuras. Tensión de arco muy baja (o arco corto) puede resultar en una pileta angosta convexa con excesivo salpicado (muy inestable) y penetración reducida. En los alambres con fundentes tipo AWS T-3, T-4 y T-6 se utiliza DCEP (polaridad inversa) ya que con electrodo negativo disminuye la penetración y el contenido de nitrógeno tiende a aumentar. Para los demás alambres se recomienda usar electrodos negativos.⁷

1.6.3. Extensión del electrodo

El electrodo no fundido se extiende debajo del tubo de contacto durante la soldadura, la resistencia al calentamiento es proporcional a esta longitud asumiendo que las otras variables se mantienen constante, la Figura 10 muestra detalles de la punta de la torcha. Este calentamiento afecta la energía del arco, la velocidad de deposición del electrodo y la penetración de la soldadura, esto también puede afectar la sanidad y la estabilidad del arco.

El efecto de la extensión del electrodo es un factor operativo en FCAW que introduce nuevas variables que pueden ayudar en el balance con las condiciones de protección y las variables de soldadura. Una extensión demasiado larga produce un arco inestable con excesivo salpicado. Una extensión demasiado corta puede causar una excesiva longitud de arco para el voltaje seleccionado. Con protección gaseosa esto puede causar excesivo salpicado delante de la torcha que interfiere con el flujo de gas de protección, generando porosidad en

7 (SOCIETY AMERICAN WELDING, 2000, Manual de Soldadura, Tomo I, 8va edición, Capítulo 5)

el metal de soldadura y excesiva oxidación. Muchos fabricantes recomiendan una extensión de 19 a 38 mm para electrodos protegidos con gas y de 19 a 95 mm para autoprotegidos, dependiendo de la aplicación.

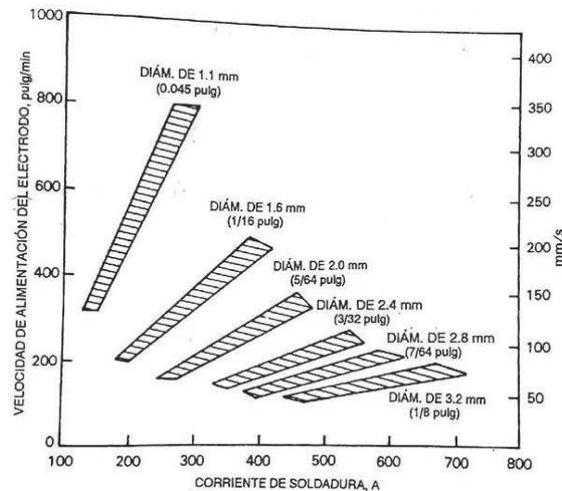


FIGURA 3: Velocidad de alimentación del electrodo contra intervalo de corriente de soldadura para electrodos de acero E70-1 con escudo de CO₂⁸

1.6.4. Velocidad de trabajo.

La velocidad de trabajo influye en la penetración de la pileta y su contorno. Si otros factores permanecen constantes, la penetración a bajas velocidades de trabajo es mayor que a altas velocidades. Bajas velocidades y altas corrientes pueden resultar en sobrecalentamiento del metal de soldadura. Esto puede resultar en una soldadura de apariencia rugosa con posibilidades de escoria atrapada, o de fusión del metal base. Altas velocidades de trabajo pueden resultar en una pileta viscosa e irregular.

Hay que recordar que en cualquiera de todos los procesos es importante tener un control en la velocidad de soldadura, que como se sabe que la velocidad de soldadura es directamente proporcional a la cantidad de material depositado en el cordón.

⁸ (SOCIETY AMERICAN WELDING, 2000, Manual de Soldadura, Tomo I, 8va edición, Cápítulo 5)

1.6.5. Flujo de Gas

En el caso de electrodos con protección gaseosa el flujo de gas es una variable que afecta la calidad de la soldadura. Su efecto es similar a otros procesos protegidos con gas. El flujo adecuado depende del tipo y diámetro de la torcha, la distancia desde el a superficie de trabajo, y el movimiento de aire en las regiones cercanas a la soldadura.

1.6.6. Velocidad de aportación y eficiencia

La velocidad de aportación es el peso de material depositado por unidad de tiempo. Depende de variables de soldadura tales como: diámetro, composición, extensión del electrodo y corriente de soldadura. Los proveedores de consumibles suministran gráficos que vinculan, la velocidad de deposición en función de la corriente de soldadura para electrodos de varios diámetros y en distintas posiciones de soldadura. Para electrodos FCAW protegidos con gas la eficiencia en la deposición está en el rango de 80 a 90%, mientras que para los autoprotegidos es de 78 a 87%. Eficiencia de deposición es la relación entre peso de metal depositado sobre peso de metal consumido.⁹

1.6.7. Angulo del electrodo

El ángulo en el cuál el electrodo es mantenido durante la soldadura determina la dirección de aplicación de la fuerza en la pileta fundida. Cuando las variables son adecuadamente ajustadas para la aplicación involucrada, la fuerza puede ser usada para oponerse a los efectos de gravedad. En los procesos FCAW y SMAW, la fuerza es utilizada no solamente para ayudar en la forma de la pileta deseada sino para prevenir escoria por delante de la pileta y que quede atrapada en la misma. Un problema que presenta la soldadura en posición plana es que la fuerza de gravedad hace que la pileta de soldadura fundida avance por delante de la soldadura. Esto debe ser contrarrestado con un adecuado ángulo entre el electrodo y la posición de trabajo, el cual se denomina ángulo de avance. Este

9 (SOCIETY AMERICAN WELDING, 2000, Manual de Soldadura, Tomo I, 8va edición, Capítulo 5)

ángulo de avance, definido como “ángulo de arrastre”, es medido desde una línea vertical en el plano axial de la soldadura, como muestra la Figura 4. El ángulo de arrastre adecuado depende de: el tipo de protección, el espesor del metal base, y la posición de soldadura. Para soldadura autoprotegida, el ángulo de arrastre deberá ser el mismo que el que se utiliza en SMAW, variando de 20 a 45 grados para posición plana, los mayores ángulos se utilizan para secciones finas. Cuando el espesor del material incrementa, el ángulo de arrastre deberá disminuir para incrementar la penetración. Para vertical descendente, el ángulo deberá ser de 5 a 10 grados.

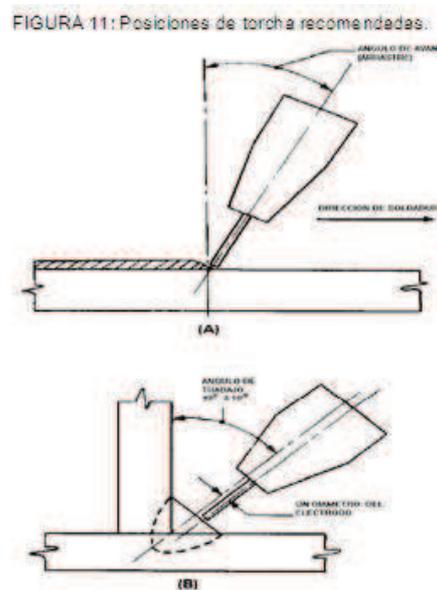


FIGURA 4: Posiciones de torchas recomendadas¹⁰

1.6.8. Diseños de juntas

El diseño de junta adecuado depende del tipo de protección que se utilice. El diseño de junta debe permitir que se pueda mantener una extensión del electrodo constante, un adecuado acceso a la raíz y que se pueda manejar fácilmente el electrodo durante la realización de la unión. La tabla 1 muestra los diseños de junta típicos para soldaduras con electrodos con protección gaseosa y la tabla 2 para electrodos autoprotegidos.

10 (SOCIETY AMERICAN WELDING, 2000, Manual de Soldadura, Tomo I, 8va edición, Cpítulo 5)

TABLA1: Diseños de junta recomendados por AWS para la soldadura FCAW-G para electrodos de aceros al carbono y baja aleación (EXXT-1)¹¹

Joint Design	Thickness, T		Root Opening, R		Total Passes	Electrode Diameter		Welding Power, dc ^{sp}		Wire Feed Speed		Electrode Extension	m/s
	in.	mm	in.	mm		in.	mm	A	V(P) ^a	in./min	mm/s			in.	mm
	0.14	3.4	5/32	4	1	3/32 ^c	2.4	300	29 ⁺	150	65	2-3/4	70
	3/8	10	3/8	10	2	1/8 ^c	3.2	500	33 ⁺	200	85	2-3/4	70
	1/2	13	3/8	10	3	1/8 ^c	3.2	500	32 ⁺	200	85	2-3/4	70
	1	25	3/8	10	6	1/8 ^c	3.2	550	36 ⁺	300	125	3-3/4	95
	1/2	13	3/32	2	2	3/32 ^c	2.4	350	29 ⁺	190	80	2-3/4	70
	3	76	3/32	2	26	1/8 ^c	3.2	550	36 ⁺	300	125	3-3/4	95
	3/8	10	3/8	10	2	1/8 ^c	3.2	500	32 ⁺	200	85	2-3/4	70
	1-1/4	32	3/8	10	7	1/8 ^c	3.2	550	36 ⁺	300	125	3-3/4	95
	0.105	2.7	1/8	3	1	5/64 ^d	2.0	250	20 ⁻	110	55	1	25
	1/4	6	7/32	5	3	5/64 ^d	2.0	350	25 ⁻	230	100	1	25
	5/16	8	3/32	2	1	1/16 ^d	1.6	150	18 ⁻	90	40	1	25
	1	25	3/32	2	1	1/16 ^d	1.8	195	21 ⁻	120	50	1	25
	3/8	10	3/16	5	2	1/16 ^d	1.8	170	19 ⁻	105	45	1	25
	1	25	3/16	5	6	5/64 ^d	2.0	190	19 ⁻	110	45	1	25
	3/8	10	1/4	6	1	1/16 ^d	1.6	170	19 ⁻	105	45	1	25
	1-1/2	38	1/4	6	4	5/64 ^d	2.0	190	19 ⁻	110	45	1	25
	1/2	13	1/4	6	1	3/32	2.4	30	30	450	195	83	83

11(SOCIETY AMERICAN WELDING, 2000, Manual de Soldadura, Tomo I, 8va edición, Cpítulo 5)

TABLA2: Diseños de junta recomendados por AWS para la soldadura FCAW-S para electrodos de aceros al carbono y baja aleación.¹²

Joint Design	Plate Thickness, T		Root Opening		Total Passes	Electrode Diameter		Welding Power, dc		Wire Feed Speed		Electrode Extension	
	in.	mm	in.	mm		in.	mm	A	VIP ^a	in./min	mm/s	in.	mm
	0.05	1.2	0	0	1	3/32 ^b	2.4	425	26 ^c	180	70	1	25
	3/16	5	0	0	1	5/32 ^b	4.0	950	27 ^c	150	65	1-1/4	32
	0.05	1.2	0	0	1	3/32 ^b	2.4	475	26 ^c	170	70	1	25
	3/16	5	0	0	1	5/32 ^b	4.0	900	26 ^c	140	60	1-1/4	32
	0.06	1.5	0	0	1	3/32 ^b	2.4	425	26 ^c	160	70	1	25
	3/16	5	0	0	1	5/32 ^b	4.0	875	27 ^c	130	55	1-1/4	32

a. (p)—Polarity: + electrode positive; - electrode negative
 b. Production rate at 100 percent operator factor
 c. E70T-4 electrode
 d. E80T-7 electrode
 e. E70T-6 electrode

1.7. Diseño y Procedimiento de Soldadura

TABLA3: Procedimientos típicos de soldadura por arco con núcleo de fundente con auto protección en aceros inoxidables empleando electrodos de acero inoxidable¹³

Diseño de la unión	Tamaño de la soldadura, T		Abertura de la raíz, R ₁		Total de pasadas	Diámetro del electrodo		Potencia de soldadura, CCEP		Velocidad de alimentación del alambre		Extensión del electrodo	
	pulg	mm	pulg	mm		pulg	mm	A	V	pulg/min	mm/s	pulg	mm
	1/4	6	1/8	3	1	3/32	2.4	300	27.5	190	70	1	25
	3/8	10	1/8	3	2	3/32	2.4	300	27.5	170	70	1	25
	1/2	13	3/16	5	2	3/32	2.4	300	27.5	170	70	1	25
	3/4	19	3/16	5	4	3/32	2.4	300	27.5	170	70	1	25
	7/8	22	3/8	10	6	3/32	2.4	300	27.5	170	70	1	25
	1-1/4	32	3/8	10	8	3/32	2.4	300	27.5	170	70	1 a 1.25	25-32
	1/2	13	1/8	3	2	3/32	2.4	300	27.5	170	70	1	25
	3/4	19	1/8	3	25	3/32	2.4	300	27.5	170	70	1 a 1.25	25-32

12 (SOCIETY AMERICAN WELDING, 2000, Manual de Soldadura, Tomo I, 8va edición, Cptulo 5)
 13 (SOCIETY AMERICAN WELDING, 2000, Manual de Soldadura, Tomo I, 8va edición, Cptulo 5)

1.8. Calidad de la soldadura.

Depende del tipo de electrodo utilizado, condición del metal base, diseño de junta y condiciones de soldadura. La Tabla 4 indica los posibles problemas que pueden aparecer en estas soldaduras y las probables soluciones

TABLA4: Posibles causales de falla y algunas soluciones¹⁴

Problema	causa posible	Solución
Porosidad	Bajo flujo de gas Alto flujo de gas Excesivo viento Gas contaminado Metal base contaminado Metal de aporte contaminado Insuficiente flux en el núcleo Voltaje excesivo Excesivo stick-out de electrodo Insuficiente stick-out del electrodo (para autoprotectidos) Excesiva velocidad de trabajo	
Incompleta fusión o penetración	Inadecuada manipulación Parámetros inadecuados	Incrementar la corriente Reducir la velocidad de trabajo Disminuir stick-out Disminuir el diámetro del alambre Incrementar la velocidad de trabajo (para autoprotectidos)
Fisuración	Impropio diseño de junta. Excesiva restricción de la junta Inadecuado electrodo Insuficientes desoxidantes Inconsistentes flux en el núcleo.	
Alimentación del electrodo	Excesivo desgaste de la punta de contacto Fusión de la punta de contacto Humedad en los alambres de conducción	

1.9. Identificación de problemas

El empleo de procedimiento o prácticas indebidos puede producir varios tipos de discontinuidades. Aunque muchas de estas son inocuas afectan adversamente el efectos de la soldadura, y por tanto afectan la reputación del proceso FCAW. En la tabla 4 se presentan estos problemas y discontinuidades junto con sus causas y remedios.¹⁵

1.10. Ventajas de FCAW

- Alta calidad del metal depositado.
- Excelente apariencia del cordón, soldadura suave.
- Excelente contorno de los cordones de filete.

¹⁴ (SOCIETY AMERICAN WELDING, 2000, Manual de Soldadura, Tomo I, 8va edición, Cpitulo 5)

¹⁵ (SOCIETY AMERICAN WELDING, 2000, Manual de Soldadura, Tomo I, 8va edición, Cpitulo 5)

- Se puede soldar una variedad de aceros con varios espesores.
- Factor de alta operatividad fácil mecanizado.
- Alta tasa de deposición densidad de alta corriente.
- Velocidades de desplazamiento relativamente altas.
- Economía en los diseños ingenieriles de las juntas.
- Arco visible fácil de usar.
- La limpieza previa es menor que la que se tiene en soldadura por arco de metal con protección gaseosa.
- Distorsión reducida comparada con la soldadura TIG.
- Alrededor de cuatro veces más velocidad, comparada con la soldadura SMAW.
- Los electrodos autoprotegidos tienen buena tolerancia y en muchas condiciones no requieren del manejo de equipos de gas.
- Mayor resistencia a los contaminantes que puede debilitar la soldadura.

1.11. Limitaciones de FCAW.

- El equipo de soldadura es de valor más elevado, complejo y menos transportable que el SMAW.
- Es difícil de utilizar en espacios restringidos, requiere conducciones de gas y de agua de refrigeración, tuberías, cilindros de gas de protección, por lo que no dificulta su empleo en lugares relativamente alejados de la fuente de energía
- El proceso produce escoria la que debe ser eliminada mediante la limpieza
- En el caso de protección gaseosa, esta puede haber o no siendo en algunos casos suficiente la protección que brinda el fundente.

CAPITULO 2.

2. SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS

2.1. Estudio de los fenómenos generales.

Se ha centrado la cuestión empezando por exponer los fenómenos generales que intervienen en la soldabilidad de los aceros, de las fundiciones y de los metales industriales más importantes: aluminio, cobre, níquel, zinc, magnesio, plomo y sus aleaciones.¹⁶

2.2. Diversos aspectos de la soldadura.

La soldabilidad operatoria, relativa a la operación de soldadura, estudia las condiciones de realización de las uniones por fusión o por cualquier otro procedimiento, por ejemplo, por presión.

La soldabilidad metalúrgica, relativa a las modificaciones físico-químicas resultado de la operación de soldadura.

La soldabilidad constructiva o global, que se dedica a definir las propiedades de conjunto de la construcción por la sensibilidad de la unión o de la deformación y a la rotura bajo el efecto de las tensiones.¹⁷

2.2.1. Aspectos metalúrgicos de la soldadura.

En una soldadura se puede apreciar macrográficamente dos partes distintas: la zona fundida, constituida por el cordón de soldadura, región adyacente, y el metal de base.

16 (SEFERIAN, D (1981); Las Soldaduras Técnico-Control; Soldabilidad de los Metales, Bilbao, URMO, Pág. 196)

17 (SEFERIAN, D (1981); Las Soldaduras Técnico-Control; Soldabilidad de los Metales, Bilbao, URMO, Pág. 197)

2.2.1.1. La zona fundida

Formada únicamente por el metal solidificado, a partir del estado líquido sufre, durante la fusión, un cierto número de transformaciones que son de tipo químico, físico o estructural.¹⁸

2.2.1.2. El metal base

Sufre un tratamiento técnico variable según el punto que se considere y, por ello, es asiento de transformaciones de tipo físico químico. La importancia de éstas transformaciones es función, por una parte del ciclo térmico, y por otra de la misma naturaleza de la aleación; aleaciones templantes (aceros), aleaciones sensibles a los cambios de fase por precipitación (aleaciones de aluminio, por ejemplo).

Como vemos los fenómenos son complejos y difieren según la aleación considerada. También nos ha parecido indispensable estudiar las modificaciones separadamente en la zona fundida y en el metal de base, que no sufre más que el efecto de un tratamiento térmico.

Desde el punto de vista metalúrgico, la soldadura autógena, según la definición del profesor PORTERVIN, presenta dos caracteres esenciales:

2.2.1.2.1. La fusión

A la que debe participar conjuntamente los bordes a soldar y el metal de aportación.

2.2.1.2.2. La localización

De la fusión, que produce una heterogeneidad térmica muy acentuada de la masa metálica.

La primera de estas características, la **fusión** nos conduce a considerar la soldadura bajo un triple aspecto:

- a) **Operación de fundición.** Ya que el metal se lleva al estado líquido para inmediatamente después de solidificarse en una cavidad de forma determinada, pero con la particularidad de que las paredes del molde

¹⁸ (SEFERIAN, D (1981); Las Soldaduras Técnico-Control; Soldabilidad de los Metales, Bilbao, URMO, Pág. 196)

representan aquí las piezas a soldar y, por consiguiente, participan en la fusión.

- b) **La operación de tratamiento térmico.** Ya que las paredes que limitan la parte fundida, es decir las zonas contiguas a la de la fusión están sometidos a un calentamiento en estado sólido seguido de un enfriamiento, varían dentro de amplios límites según el lugar del punto considerado dentro de la zona calentada.
- c) **Operación metalúrgica.** Como consecuencia de las reacciones químicas que pueden producirse entre el metal fundido y el medio circundante, ya sea atmósfera gaseosa o escorias.

La segunda característica, la **localización de la operación**, es la diferencia a la soldadura de las técnicas precedentes pues, si la fusión fuese total, equivaldría a una simple operación de fundición con intervención eventual de las reacciones metalúrgicas y si el calentamiento fuese también total sería una simple operación de calentamiento térmico.¹⁹

2.3.Soldabilidad de los aceros al carbono.

Los tres aspectos de la soldabilidad que se va a utilizar con el fin de llegar a la noción de acero soldable son;

El estudio de los equilibrios fisicoquímicos en la fase metal, proporcionara una explicación del papel que, sobre la desoxidación se tienen los diversos elementos de acero para resolver una soldadura compacta y sana. La aplicación de la fórmula del profesor Portevin permitirá establecer una calificación y clasificación de los aceros soldables .Por último, los *caracteres morfológicos* de las soldaduras de gran interés para la soldabilidad metalúrgica, dará algunos ejemplos de los aspectos micrográficos más característicos de las uniones sobre acero al carbono.

En relación al diagrama de equilibrio Hierro-Carbono se señala dos puntos que tienen gran importancia en materia de soldabilidad.

19 (SEFERIAN, 1981(SEFERIAN, D (1981); Las Soldaduras Técnico-Control; Soldabilidad de los Metales, Bilbao, URMO, Pág. 197)

1° Para las aleaciones proeutécticas, las fases en equilibrio son, a partir del estado líquido:

- El hierro δ estable por encima de los 1390°C, el equivalente cristalográfico del hierro α , es decir del sistema cúbico centrado.
- La solución sólida γ del sistema cúbico con caras centradas, pudiendo disolver el carbono.
- El hierro α o ferrita análogo al hierro δ , que es estable por debajo de A, (900 °C). La transformación $\gamma \rightarrow \alpha$ se realiza según la curva GS, dando lugar a dos fases: hierro α + Fe₃C que constituye el ectectoide o perlita para la concentración de 0,85% de carbono.

A la izquierda de este diagrama, en la región de las bajas concentraciones en carbono existe una zona de fase única o solución sólida α que corresponde a una débil solubilidad del carbono en el hierro. Esta zona, muy limitada, tiene sin embargo, su importancia en la soldadura de los hierros o aceros con contenido muy bajo en carbono (corresponde micrográficamente a la ferrita), a causa de la precipitación de la cementita terciaria.

El segundo punto se refiere a la transformación de ese diagrama de equilibrio para las condiciones de enfriamiento muy rápidas como en el caso de las soldaduras. Sabemos que con los ciclos de enfriamiento rápidos hay desplazamientos de las líneas de transformación hacia las bajas temperaturas e incluso desdoblamiento del punto eutectoide lo que explica ciertos puntos de las estructuras groseras, con precipitación de un agregado laminar más o menos fino que se asemeja a la perlita.

Así mismo, durante el periodo del calentamiento del metal, si es muy rápido debe desplazar las líneas de equilibrio del diagrama hacia altas temperaturas, dando lugar a un retraso en el equilibrio esto puede explicar, en cierta medida, los temple moderados comprobados en la soldadura de los aceros al carbono.

Estos dos puntos tienen su importancia en soldadura para explicar las estructuras observadas y su efecto sobre las características mecánicas.²⁰

²⁰ (SEFERIAN, D (1981); Las Soldaduras Técnico-Control; Soldabilidad de los Metales, Bilbao, URMO, Pág. 197)

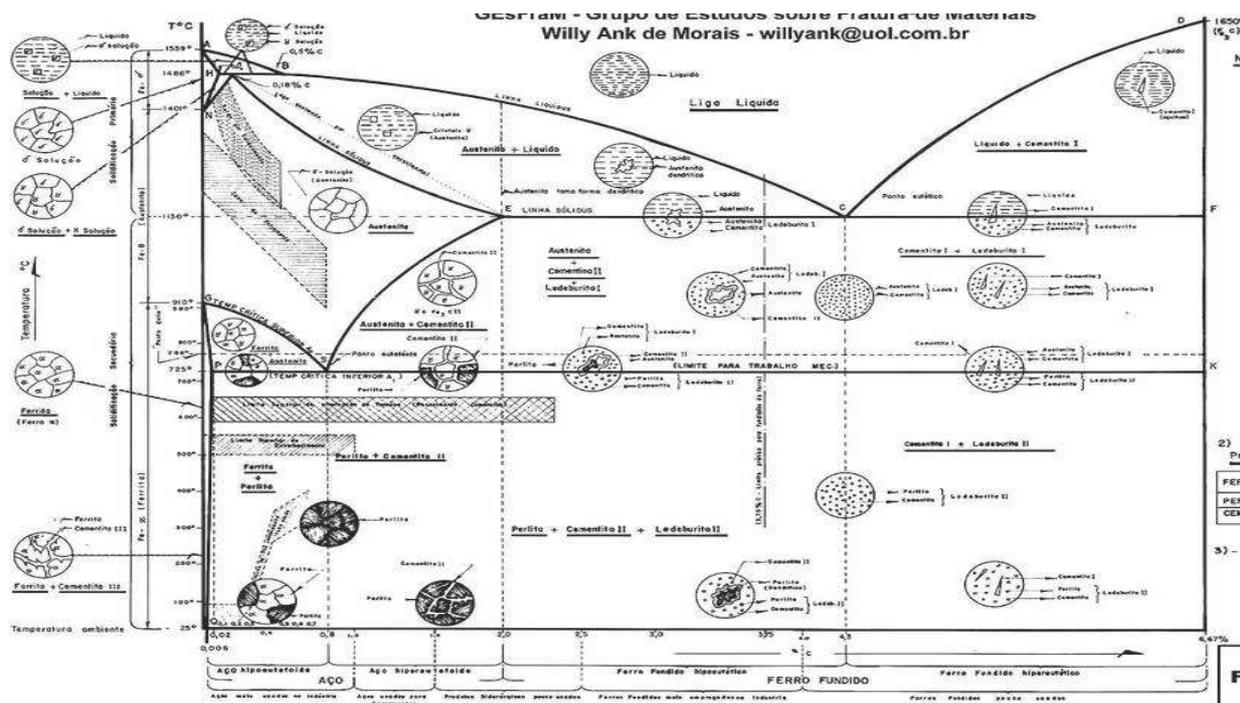


FIGURA 5: Diagrama de equilibrio hierro carbono²¹

2° El segundo punto se refiere a la transformación de este diagrama de equilibrio para las condiciones de enfriamiento muy rápidas, como en el caso de las soldaduras. Se sabe que con los ciclos de enfriamiento rápidos, hay desplazamientos de las líneas de transformación hacia las bajas temperaturas e incluso desdoblamiento del punto eutectoide S figura 5 lo que explica ciertos aspectos de las estructuras groceras, con precipitación de un agregado laminar más o menos fino que se asemeja a la perlita.

Así mismo, durante el periodo del calentamiento del metal, si es muy rápido, debe desplazar las líneas de equilibrio del diagrama hacia las altas temperaturas, dando lugar a un retraso en el equilibrio. Esto puede explicar en cierta medida, los temples moderados comprobados en las soldaduras de los aceros al carbono.

2.3.1. Nomenclatura de los constituyentes de los aceros.

Se sabe que las curvas dilatométricas revelan en el enfriamiento tres tipos de transformación designados por Ar' , Ar'' , Ar''' . A la transformación Ar corresponde el depósito de las estructuras de tipo laminar: perlita y troostita.

²¹ (<http://www.foroaviones.com/foro/off-topic/18559-sector-naval-de-foroaviones-vol-iii-5.html>)

La tercera transformación Ar''' , que aparece debajo de los 200°C , está ligada a la formación de la martensita (constituyente del temple).

La transformación Ar'' . Los trabajos de CARPENTER y ROBERTSON en Inglaterra, de Bain y sus colaboradores en América y de PORTEVIN y JOLIVET en Francia, han permitido descubrir estructuras que corresponden a esta transformación Ar'' y que se denominan: estructuras intermedias o bainíticas.

Examinando por ejemplo la curva clásica (de la S) del acero de 0,78% de carbono, vemos que la transformación perlítica a 630°C es completa al cabo de 10 s y solamente en 60 min a 700°C .

Por otra parte, a 560°C , la descomposición total de la austenita no dura más 4 segundos a temperaturas próximas a la normal, entre 0° y 100°C , la transformación de la austenita es muy rápida y no necesita más de 1 segundo aproximadamente.

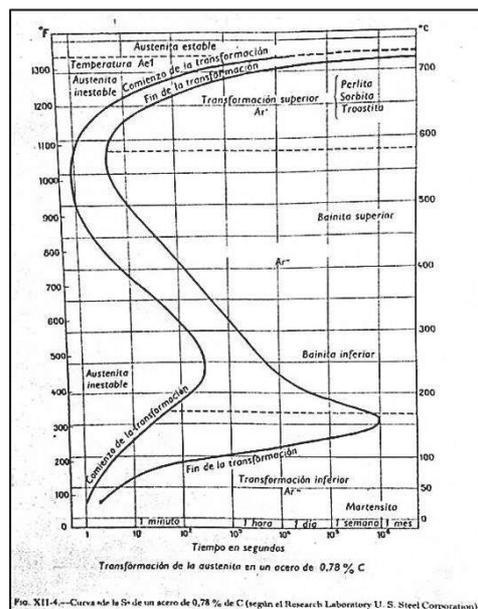


FIGURA 6: Curva de la S de un acero de 0,78% de C (según Research Laboratory Us Steel Corporation)²²

El análisis de la curva (de la S) dice que existen:

- Dos zonas de transformación rápida; una que se extiende de los 550 a los 600°C correspondiente a la transformación Ar' y la segunda por debajo de los 150°C correspondiente a la transformación Ar''' ;

- Dos zonas de estabilidad relativa de la austenita; la primera justo por debajo de A_1 , y la otra entre los 300 y 150 °C correspondiente a Ar'' .²³

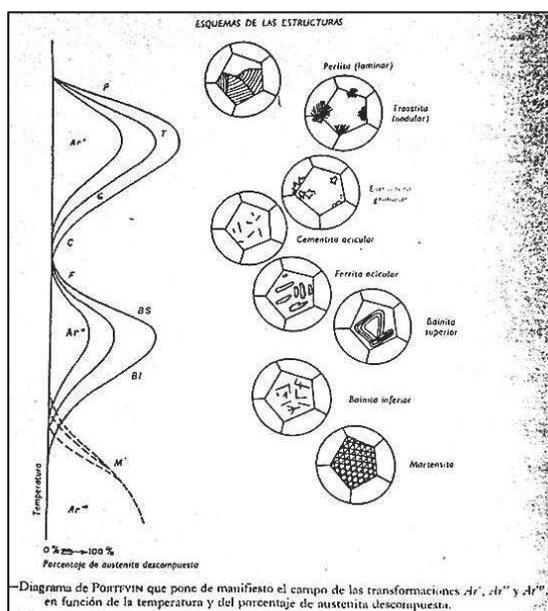


FIGURA7: Diagrama de PORTVIN²⁴

2.3.2. Aspecto físico químico de la soldadura.

2.3.2.1. Influencia de los elementos del acero sobre la soldabilidad.

Los elementos del acero ordinario: carbono manganeso y silicio juegan papeles muy diferentes según que consideremos sus reacciones en el metal fundido o en el metal de base.

Por el momento eliminamos la influencia de las impurezas del acero azufre, fósforo, nitrógeno y oxígeno suponiendo que su contenido es lo suficientemente bajo para no tener acción directa sobre la soldabilidad del metal de base.

En la zona fundida los fenómenos que intervienen en la soldabilidad son principalmente:

- *La desoxidación*, ya sea por la llama reductora oxiacetilénica o por los elementos reductores del revestimiento de los electrodos, ya por los elementos presentes en el acero utilizado como metal de aportación.

23 (SEFERIAN, Las Soldaduras Técnico-Control; Soldabilidad de los Metales, Bilbao, URMO, Pág. 238)

24 (SEFERIAN, D (1981); Las Soldaduras Técnico-Control; Soldabilidad de los Metales, Bilbao, URMO, Pág. 239)

A la temperatura de la fusión se alcanza un estado que está lejos del equilibrio debido a la velocidad de la operación de soldadura. No obstante en estado líquido siendo muy reducidas las resistencias pasivas y además estando activadas las reacciones por el aporte suplementario de elementos de afinado que se encuentra en el revestimiento de los electrodos, se puede admitir que las reacciones finales están muy próximas a las de equilibrio. En estas condiciones pueden estudiarse la reducción del óxido de hierro estable FeO por los elementos reductores del acero: carbono manganeso y silicio.

A continuación limitaremos este estudio a la fase metálica, es decir, que no consideraremos la intervención de la escoria cuya naturaleza cambia notablemente los equilibrios.

Otro fenómeno importante en la fase líquida se presenta bajo la forma de absorción de gas con formación de óxido o nitruro de hierro y también de hidrógeno.

En el metal base, el fenómeno predominante es el tratamiento térmico impuesto por el procedimiento de soldadura, problema que concierne a la soldabilidad metalúrgica del acero.

2.3.2.2. Zona Fundida

El fenómeno inicial es la formación del óxido del hierro FeO estable, que debe ser reducido por los gases reductores producidos por la combustión de la llama oxiacetilénica o los elementos introducidos en el hilo de aportación y en los revestimientos.

2.3.2.3. Reducción por la llama oxiacetilénica.

La reducción del óxido de hierro por la llama oxiacetilénica es indudable; el contenido total de oxígeno de una soldadura raras veces sobrepasa el 0,05%, o sea 0,20% de FeO, que queda muy por debajo del límite de solubilidad del FeO en el hierro líquido.

La zona reductora de la llama oxiacetilénica contiene aproximadamente:

CO= 60%

H₂ = 20%

H=20%

Las reacciones por reducción de estos gases son:

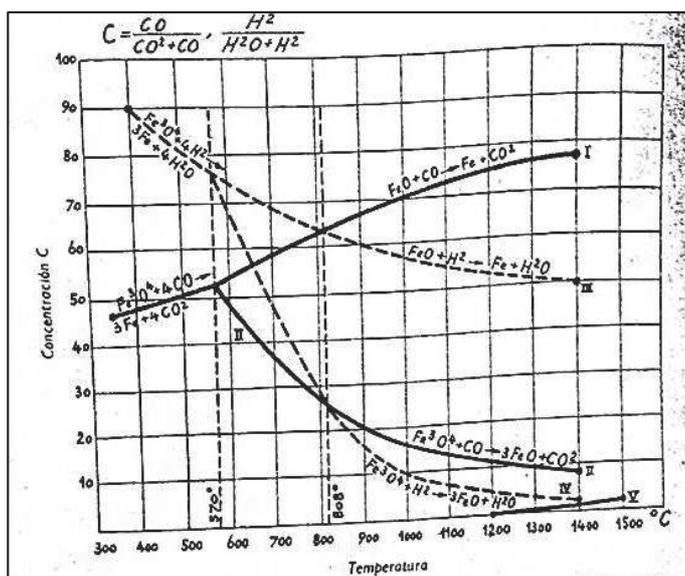
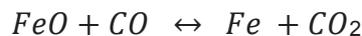


FIGURA 8: izquierda Equilibrio de reducción de los óxidos de hierro por el CO y H₂ (según G CHAUDRON)²⁵

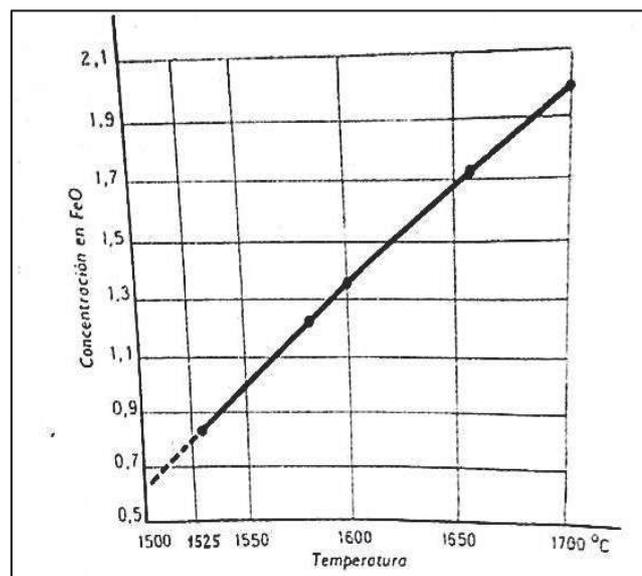


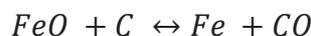
FIGURA 9 derecha Curva de solubilidad del FeO en el hierro puro en estado líquido²⁶

En la figura 8 y 9 se puede observar gráficamente como varía tanto la curva de reducción y la curva de soldabilidad del FeO.

2.3.2.4. Reducción por el carbono.

Vamos a estudiar las reacciones por los elementos reductores tales como el carbono manganeso y silicio, que son los que intervienen principalmente en la soldadura por arco.

Con el carbono la reacción del equilibrio es:



25 (SEFERIAN, D (1981); Las Soldaduras Técnico-Control; Soldabilidad de los Metales, Bilbao, URMO, Pág. 242)

26 (SEFERIAN, D (1981); Las Soldaduras Técnico-Control; Soldabilidad de los Metales, Bilbao, URMO, Pág. 243)

2.3.2.5. Reducción por el manganeso.

La reducción del óxido de hierro FeO en la fase metal se produce según la reacción:



El óxido de hierro es soluble en el acero, mientras que en el MnO prácticamente no lo es; así pues, la concentración $[MnO]$, puede ser considerada como constante e igual a la concentración de la saturación. Por otra parte siendo el contenido el hierro en igual al 100%, la constante de equilibrio vendrá expresada por:

$$K_{7=[FeO][Mn]}$$

2.3.2.6. Desoxidación por el silicio.

La reacción de equilibrio se expresa:



La constante K_{10} del equilibrio en fase metálica se escribe:

$$K_{10} = \frac{[FeO]^2 \times [Si]}{[Fe]^2 \times [SiO_2]}$$

La solución de FeO en SiO₂, de silicio y de óxido de hierro en el hierro estando muy diluida, se puede admitir que las actividades de la sílice del hierro son iguales a la unidad.

Así pues sacamos la relación:

$$K_{10} = a_{[FeO]}^2 \times [\alpha_{Si}]$$

2.3.2.7. Metal Base

El metal base experimenta en las proximidades de la soldadura una fusión parcial sobre una extensión más o menos amplia, según el procedimiento y los métodos de unión. Para las regiones más alejadas de la soldadura, el metal de base es asiento de un tratamiento térmico que varía en cada punto. Esto conduce a una doble preocupación desde el punto de vista metalúrgico; presencia de sopladura siguiendo la línea de ligazón participante en la fusión y poder templante del acero.

Para el primer defecto, hay que conformarse con lo que ya se ha dicho sobre la calidad de los metales de aportación. Por el contrario para un acero dado, el poder templante depende del ciclo térmico de la soldadura.

Este problema está esencialmente ligado a la soldabilidad metalúrgica del acero y puede ponerse de manifiesto por una exploración casi puntual de las propiedades mecánicas de la unión con la micro-máquina Chevenard. De esta forma podemos trazar la curva representativa de la variación de las características mecánicas en función de la distancia al eje de la soldadura.

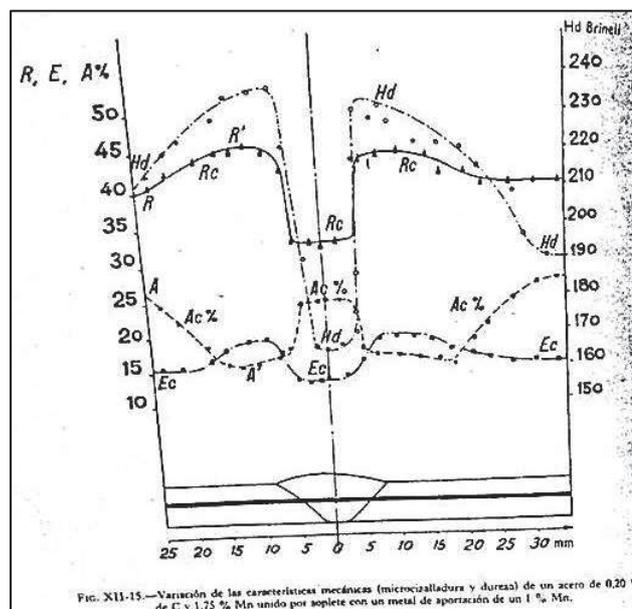


FIGURA 10: Variación de las características mecánicas (microcizalladura y dureza) de un acero de 0,20% de C y 1,75%Mn unido por soplete con un metal de aportación de 1% Mn.²⁷

2.4.Soldabilidad de los aceros especiales.

No parece difícil tratar la cuestión en conjunto ya que cada acero presenta características particulares de soldabilidad.

Esta tesis se ceñirá principalmente al estudio de los más importantes:

- Los aceros al cromo-molibdeno utilizados en aeronáutica
- Los aceros de baja aleación: al cromo, al níquel, etc.
- Los aceros austeníticos al cromo-níquel del tipo inoxidable 18/8.

Con objeto de obtener algunas nociones de tipo general, veamos la influencia que sobre la soldabilidad tienen los principales elementos que entran en la composición de estos aceros

2.4.1. Función de los principales elementos de aleación.

El carbono es siempre el elemento base para fijar soldabilidad. Interviene, sea para aumentar el poder del temple (unión frágil) sea para dar precipitados de carburos complejos (aceros inoxidables) actuando sobre la resistencia química de la unión.

2.4.1.1. El manganeso

Es un elemento que favorece el temple; hay que limitar su contenido excepto en algunos casos particulares en que se busca la dureza o la resistencia al desgaste. En general, su contenido rara vez sobrepasa el 2%; por otra parte es un desoxidante enérgico.

2.4.1.2. El silicio

Hace el papel de gran reductor como el manganeso pero, en elevada proporción, actúa sobre la fragilidad de la unión por lo que su contenido debe estar limitado.

2.4.1.3. El níquel

Es un elemento que favorece el temple; pero solo en contenidos pequeños (3 al 5%) aumenta la resistencia de la unión sin aumentar demasiado la fragilidad. Interviene sobre todo en los metales de aportación y en los aceros de cementación con contenidos bajos en carbono.

2.4.1.4. El cromo

Asociado con otros elementos (Ni,Mo) aumenta la templabilidad del acero . Da, en el momento de la fusión, un óxido de cromorefractario difícil de eliminar. La

soldadura, oxiacetilénica de los aceros al cromo exige el empleo de un flujo decapante capaz de disolver el óxido de cromo. En los aceros inoxidable el cromo da con el carbono un precipitado de carburo de cromo en la unión de los granos disminuyendo su resistencia química a los ácidos.

2.4.1.5. El aluminio

Provoca, en el momento de la fusión, la formación alúmina que reduce la soldabilidad operatoria. La intervención de un flujo disolvente de la alúmina resulta indispensable para la realización de la unión.

2.4.1.6. El molibdeno

Aumenta el poder templante del acero en el momento de la soldadura pero su contenido debe estar limitado a bajas concentraciones: 0,25-0,35% en los aceros al cromo-molibdeno de la aeronáutica.

2.4.1.7. El cobre

Es soluble en el acero hasta 0,40%; se recomienda no sobrepasar ese límite. Se le atribuye la propiedad de conferir a los aceros de construcción, una mayor resistencia a la corrosión del agua.

2.5. Soldabilidad de las fundiciones.

Recordemos que un fundición es una aleación hierro-carbono con alto contenido de carbono (C=3 a 6%) que encierra otros elementos como el manganeso y el silicio para las fundiciones ordinarias y elementos de adición para las fundiciones especiales.

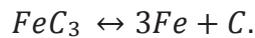
Una fundición se caracteriza principalmente por el estado físico-químico del carbono.

En las fundiciones grises, casi todo el carbono se encuentra en estado libre bajo la forma del grafito laminar (grafito de solidificación); solo una pequeña parte se encuentra en estado combinado bajo la forma de cementita Fe_3C . Estas fundiciones son dulces y la dureza aumenta proporcionalmente con la cantidad de cementita.

En las fundiciones blancas, todo el carbono se encuentra en estado combinado bajo la forma de cementita Fe_3C , que se presenta en grandes zonas.

Estas fundiciones son muy duras y frágiles.

Las fundiciones maleables resultan de un tratamiento de recocido prolongado de la fundición blanca. El carbono se separa de la cementita para dar un grafito modular (grafito recocido) rodeado de una red de ferrita:



Según el método de maleabilización, podemos distinguir dos Tipos principales: La maleable americana, tratada hasta el corazón y maleable europea, tratada superficialmente.

La fundición de grafito globular primario es similar a las fundiciones grises con la diferencia del grafito se presenta bajo forma esferoidal en vez de laminar, sobre un borde perlítico. Estas fundiciones se obtienen directamente en el horno bajo condiciones de enfriamiento perfectamente definidas; por tanto no han sufrido el tratamiento de las fundiciones maleables.

La obtención de estos tipos de fundiciones depende de un gran número de factores, principalmente de su composición química, condiciones de elaboración, tratamiento térmico, etc.

La composición química tiene una influencia preponderante sobre la naturaleza de la fundición. La presencia de los elementos grafitantes como el carbono, el silicio y el níquel, tiende a favorecer la separación del carbono grafitico dando fundiciones grises o fundiciones de grafito esferoidal.

Por el contrario, los elementos como el manganeso y el cromo, tienden a favorecer la solubilidad del carbono para dar la cementita y, por tanto fundiciones blancas.

El diagrama de MAURER (FIGURA 11) define las zonas de los distintos tipos de fundición en función de las concentraciones de carbono y silicio.

El dominio de las fundiciones blancas corresponde a bajas concentraciones en carbono y silicio. Las fundiciones atruchadas tienen un campo muy estrecho. Cuando la concentración en Silicio aumenta, la perlita de las fundiciones grises tiende a separarse para formar ferrita y este es el origen de las fundiciones grises ferríticas.

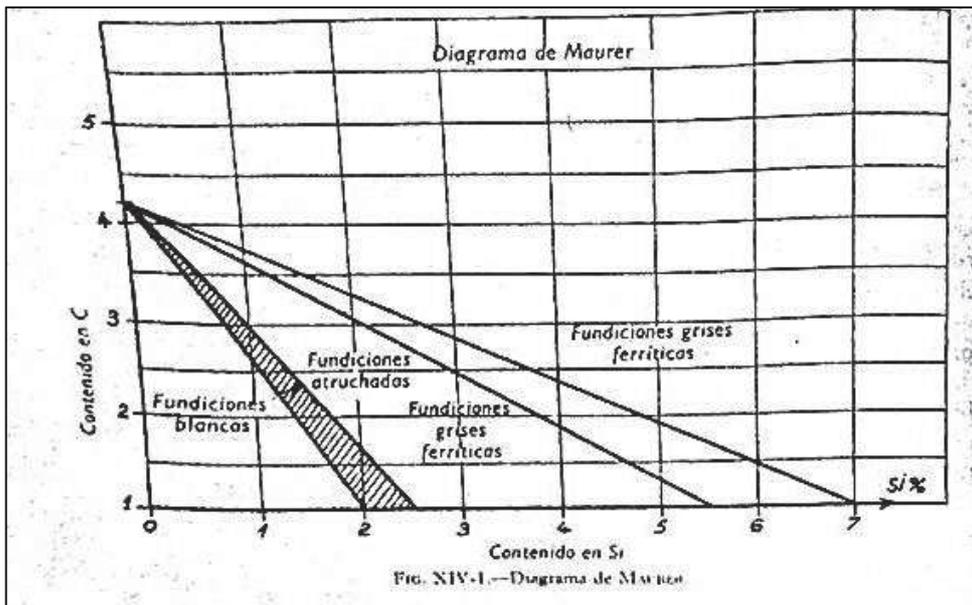


FIGURA 11: Diagrama de Maurer²⁸

2.6. Soldabilidad del aluminio y sus aleaciones.

El problema de la soldabilidad del aluminio y sus aleaciones, está regido por los dos fenómenos fundamentales siguientes:

2.6.1. Formación de alúmina Al_2O_3

Menos fusible que el aluminio ($2030^{\circ}C$ en vez de $660^{\circ}C$) y de mayor densidad. La formación de alúmina es la causa de la insoldabilidad operatoria del metal y sus aleaciones; su presencia se opone a la interpenetración de las gotas fundidas que se aseguran la continuidad del cordón de soldadura.

La dificultad desaparece utilizando un flujo especial que produce, por disolución de la alúmina, una escoria ligera fácil de eliminar.

En el caso de algunas aleaciones, el ciclo térmico de soldadura provoca, en el metal de base y zona fundida, la precipitación de compuestos definidos de la solución sólida madre, originando la disminución, por una parte de las características mecánicas y, por otra, de la resistencia a los agentes químicos.

²⁸ (SEFERIAN, D (1981); Las Soldaduras Técnico-Control; Soldabilidad de los Metales, Bilbao, URMO, Pág. 292)

Antes de examinar con detalle estos fenómenos, para las diversas aleaciones, vamos a indicar la composición química media, las características mecánicas y térmicas de las principales aleaciones de aluminio utilizadas en soldadura.

Tabla XV-I
Propiedades físicas del aluminio y sus aleaciones

Metal	Designación y tratamiento	Composición				Campo de solidificación (°C)	Propiedades mecánicas					Densidad
		Cu	Si	Mg	Mn		R (kg/mm ²)	E (kg/mm ²)	H Brinell	A %	Límite fatiga (kg/mm ²)	
Aluminio puro	no recocido de 99,97 %					660	6	3	16	60		2,56
Aluminio comercial	recocido de 99,5 %					657	9,5	3,5	23	45	3,5	2,56
Aluminio comercial	semi-duro de 99,5 %					657	12	9,8	32	20	4,9	
Aluminio comercial	3/4 duro de 99,5 %					657	16,5	12,1	45	15	6,5	2,60
Al-Mg (3 %)	A-G3 recocido	< 0,01	< 0,3	3	0,5	645 a 620	20 a 23	10 a 13		26 a 22		2,70
Al-Mg (5 %)	A-G5 recocido	< 0,01	< 0,3	5	0,5	640 a 580	30 a 34	16 a 20	65 a 75	25 a 18		2,65
Al-Mg (7 %)	laminado en frío A-G7 recocido	< 0,01	< 0,3	7	0,8	630 a 550	36	22	75 a 80	20 a 25		2,65
Al-Cu	laminado en frío						40 a 45	35 a 38	100 a 120	10 a 6		
Al-Mn	Duraluminio recocido	3,7 a 4,7	0,7	0,5	0,5	640 a 550	40 a 44	25 a 28	100 a 110	22 a 20	10,5	2,8
Al-Si (5 %)			5			657	11 a 12	4 a 5	28 a 32	35	5	2,7
Al-Si (10 %)			10									
Al-Cu-Zn	Tipo Alpax Ale. cárter colada en arena colada en coquilla	3			Zn = 12		15 a 18	10 a 12		2 a 4		2,95
							14 a 20	10 a 13	65 a 75	2 a 4		

TABLA5: Propiedades físicas del Aluminio y sus aleaciones²⁹

2.6.2. Soldadura Oxiacetilénica

Las uniones por soldadura oxiacetilénica pueden realizarse sobre chapas de espesor desde 1 a 10 mm, hasta 15 incluso 20 mm.

La preparación de los bordes varía según el espesor a soldar: para los espesores muy pequeños, hasta 0,15 mm, la soldadura se realiza preferentemente sobre bordes levantados; la altura del borde doblado no debe sobrepasar dos veces el espesor; si se sobrepasa este valor, se corre el riesgo de dejar en la base una parte sin fundir que, de hecho, es un comienzo de rotura.

29 (SEFERIAN, D (1981); Las Soldaduras Técnico-Control; Soldabilidad de los Metales, Bilbao, URMO, Pág. 269)

Para los espesores medios, 1,5 a 4 mm, las uniones se realizan generalmente, sobre bordes rectos manteniendo una ligera separación. Para algunas construcciones, el límite superior puede alcanzar los 6 mm (cisternas para bencina).

Para espesores mayores, 5 a 12mm es indispensable achaflanar los bordes en V, con un ángulo que puede variar entre los 70 y 90°. A menudo, para espesores sobrepasando los 8 a 10 mm, se facilita la ejecución del cordón en el reverso, realizando un ligero burilado en la base.

Por encima de los 12mm, es preferible preparar los bordes con chaflanes en X, simétricos respecto a la línea media o disimétrica.

El puntado es el complemento indispensable, pero hay que evitar esta operación en el caso de aleaciones tratadas térmicamente (duraluminio). Con el fin de eliminar las tensiones preliminares.

2.6.3. Características de la soldadura.

Hemos establecido relativo a los métodos de soldadura, la relación que define la potencia del soplete en función del espesor e :

$$P=12e^2+40e \quad \text{1 de acetileno por hora}$$

Así, para $e=1$ mm, habrá que utilizar un soplete de 60 a 75 1/h y, para $e=10$ mm, la potencia correspondiente será de 1600 1/h.

Algunos autores recomiendan una llama estrictamente neutra, es decir con una relación:

$$\alpha = \frac{\text{oxígeno}}{\text{acetileno}} = 1,1 \text{ a } 1,2.$$

Otros opinan que es preferible una llama ligeramente carburante $\alpha=0,9$ a 1 y aprecian la naturaleza de la llama por la longitud del dardo que debe ser igual a 2 ó 3 veces la longitud del dardo de la llama normal.

Sobre todo se debe tratar de evitar la formación de un depósito de carbono (por una llama muy carburante) que enrarece el flujo y obstruye la labor del soldador.

2.7. Soldabilidad de los metales secundarios

2.7.1. Soldabilidad de las aleaciones aluminio-magnesio

El diagrama de equilibrio de las aleaciones Al-Mg muestra, en la parte del aluminio puro, un amplio dominio de una solución sólida, siendo un límite de solubilidad a la temperatura eutéctica para un 15 por ciento de magnesio. Este límite decrece rápidamente cuando la temperatura disminuye y no es superior al 3% de magnesio a 150 °C para las concentraciones mayores se observa la aparición de dos fases $\alpha + \beta$ correspondiendo a la fase β al compuesto definido Mg_2Al_3 .

Se deduce, que para las aleaciones con 3,5 y 7% de magnesio (AG 3, AG 5, AG 7), que son las más utilizadas, la precipitación del compuesto definido Mg_2Al_3 (fase beta), se produce fácilmente en el momento del calentamiento y es tanto más acusada cuanto que mayor es la concentración en magnesio. La micrografía muestra este precipitado en la zona de recalentamiento de una aleación AG 5. Estas aleaciones llevan también silicio (0,20 % en valor medio) el cual, bajo ciertas condiciones, favorece la precipitación del compuesto Mg_2Si . Que encontraremos en las soldaduras del duraluminio.

Esta precipitación origina una heterogeneidad química (presencia de dos fases ($\alpha + \beta$)) y, como consecuencia, una disminución de las características mecánicas y de su resistencia así como de los agentes químicos (corrosión).

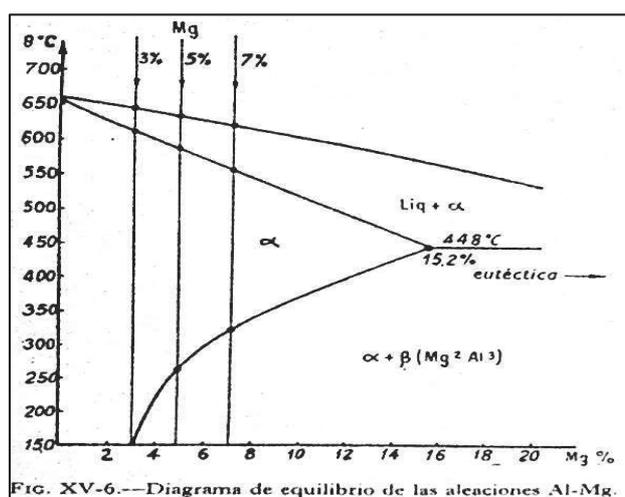


FIGURA 12: Diagrama de equilibrio de las aleaciones Al-Mg³⁰

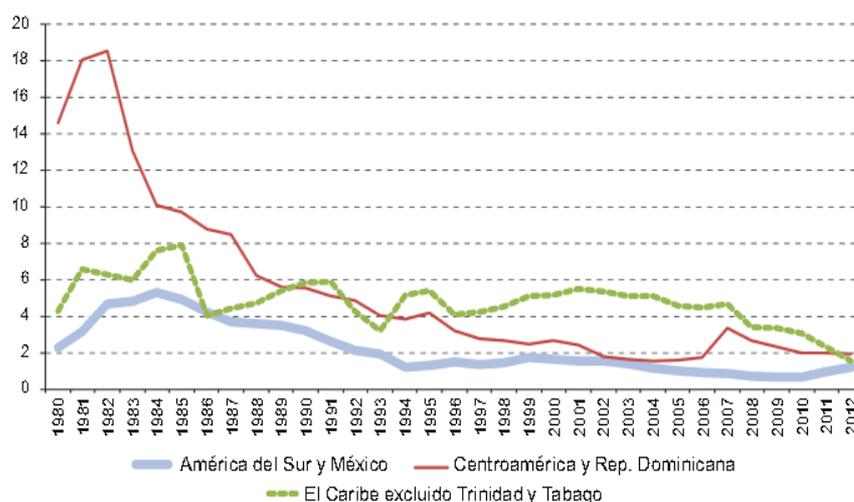
CAPITULO 3.

3. ESTUDIO DE MERCADO NACIONAL

3.1.Introducción.

Como se conoce la investigación o estudio de mercado es una evaluación sistemática de la información sobre el mercado y el entorno del mercado. La investigación de mercado consiste en obtener, analizar e interpretar esa información y determinar la base para adoptar decisiones de índole estratégica. En el caso de la presente tesis. La primera herramienta clave para un análisis eficaz, es el criterio profesional en función de las necesidades y expectativas del mercado de la construcción en el Ecuador. Otra referencia es el crecimiento del mercado a nivel de la región y la experiencia en países industrializados.

Gráfico 1.8
América Latina y el Caribe: intereses devengados al exterior, 1980-2012
 (En porcentajes del PIB)



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de cifras oficiales.

FIGURA 13: Tasa de Interés devengados al exterior.³¹

Para los analistas económicos es un factor importante la baja del interés devengado al exterior, ya que se relaciona directamente con la inversión extranjera y la inversión propia en cada país. Ecuador es uno de los países en América Latina que mejor ha respondido a estas características, dando como resultado una alta inversión a nivel nacional.

³¹ (<http://www.slideshare.net/DiegoMartinez/actividad-3-22560208>, s.f.)

3.2. Objetivo del estudio de mercado

El objetivo principal es distinguir la necesidad o la aplicabilidad de los diferentes aceros que van a ser estudiados en la presente tesis, ACERO ASTM A36, A572 Gr. 50 y A588 Gr. A. Adicionalmente se busca como optimizar la utilización de estos aceros, es decir estudiar con que proceso de soldadura me ofrece buenos resultados, aparte de los procesos tradicionalmente utilizados en el país.

3.3. Características de la necesidad.

3.3.1. Proceso de Soldadura.

La soldadura tiene muchas clasificaciones, y una de esas es la clasificación por fusión. Y que en definitiva son los tipos de soldadura más utilizados en la industria de la construcción.



Figura 4. Esquema de clasificación de los diferentes tipos de soldadura.

FIGURA 14; *Procesos de soldadura por fusión.*³²

Basándome en este concepto y a la consulta en los laboratorios, empresas dedicadas a la construcción y vialidad se establece que el proceso más utilizado en la construcción de elaboración de vigas, estructuras y puentes, es el proceso SAW, El proceso SAW es un proceso que puede trabajarse tanto con alambre tubular como con alambre macizo. Y el otro proceso que utiliza alambre tubular

³² (<http://www.slideshare.net/DiegoMartinez/actividad-3-22560208>, s.f.)

es el proceso FCAW, que en el país no se lo ha investigado ni ha utilizado como se lo hace en los países industrializados.

Es por ello que esta tesis va enfocada para este tipo de procesos que brinda muchas ventajas con respecto a muchos de los tipos de soldadura, pero que aún necesita ser investigado en nuestro país.

3.3.2. Material elegido para estudio.

Para la elección del material al igual que antes es la necesidad de la investigación de aceros que son altamente utilizados en la construcción principalmente en la construcción a gran escala.

3.3.2.1. Acero ASTM A 36

El acero A36 es una aleación de acero al carbono de propósito general muy comúnmente usado en la industria a nivel mundial, aunque existen muchos otros aceros, superiores en resistencia, cuya demanda está creciendo rápidamente. Y al ser el más común en nuestro país tenía que estar en el presente análisis y ver sus ventajas o desventajas con respecto al resto de aceros a ser analizados.

3.3.2.2. Acero ASTM A 572 Grado 50

Es un Acero estructural con denominación ASTM A 572 Grado 50 soldable y de baja aleación, aleado con Niobio y Vanadio como afinadores de grano. Como se indica es un acero del grupo de alta resistencia y baja aleación. Por sus mejores propiedades mecánicas, en comparación con el producto ASTM A 36, permiten reducir espesores y disminuir peso de estructuras remachadas, apernadas o soldadas como por ejemplo puentes, carrocerías, equipos de transporte y estructuras en general.

Por lo que se elige este tipo de acero para el estudio de la presente tesis.

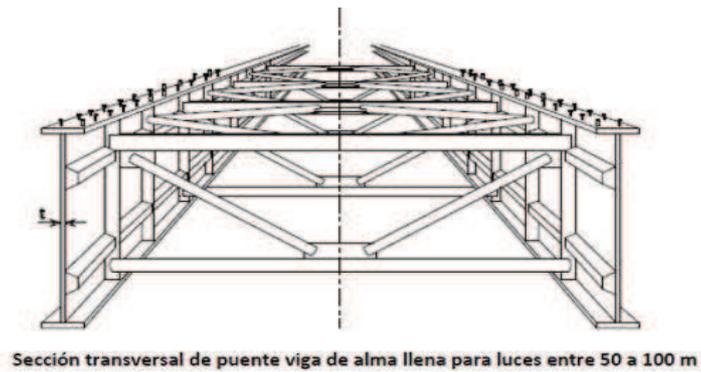


FIGURA15; Estructuras de puentes.³³

3.3.2.3. Acero ASTM A 588 Grado A

La elección de este acero tiene mucho que ver con la elección del acero A572, porque básicamente tiene las mismas propiedades mecánicas, pero el acero ASTM A 588 GR A tiene una mejor resistencia a las condiciones ambientales por su mayor contenido de cobre. Entonces para estructuras expuestas a las condiciones ambientales es una muy buena opción el uso de este tipo de acero.

33 (<http://eadic.com/blog/puentes-acero-puentes-viga-vigas-de-alma-llena-armadas/>)

CAPITULO 4.

4. ELECTRODOS PARA EL METODO FCAW

4.1. Electroodos.

La soldadura por arco con núcleo de fundente debe buena parte de su flexibilidad a la amplia variedad de ingredientes que se puede incluir en el núcleo de un electrodo tubular. El electrodo por lo regular consiste en una funda de acero de bajo carbono o de aleación que rodea un núcleo de materiales fundentes y de aleación. La composición del núcleo de fundente varía de acuerdo con la clasificación del electrodo y con el fabricante.

La mayor parte de los electrodos con núcleo de fundente se fabrica haciendo pasar una tira de acero por una serie de rodillos que la moldean hasta que adquiere una sección transversal en forma de "U". La tira moldeada se rellena con una cantidad medida de material de núcleo (aleaciones y fundente) en forma granular y posteriormente se cierra mediante rodillos que la redondean y que comprimen con fuerza el material del núcleo. A continuación, el tubo redondo se hace pasar por troqueles o rodillos de estiramiento que reducen su diámetro y comprimen todavía más el núcleo. El proceso de estiramiento continúa hasta que el electrodo alcanza su tamaño final y luego se enrolla en carretes o en bobinas, también se usan otros métodos de fabricación.

En general, los fabricantes consideran la composición precisa de sus electrodos con núcleo como un secreto industrial. Si se seleccionan los ingredientes de núcleo correctos (en combinación con la composición de la funda), es posible lograr lo siguiente:

- Producir características de soldadura que van desde altas tasas de deposición en la posición plana hasta fusión y forma de franja de soldadura apropiadas en la posición cenital.
- Producir electrodos para diversas mezclas de gases protectores y para autoprotección.
- Variar el contenido de elementos de aleación del metal de soldadura, desde acero dulce con ciertos electrodos hasta acero inoxidable de alta aleación con otros.

Las funciones primarias de los ingredientes del núcleo de fundente son las siguientes:

- Conferir al metal de soldadura ciertas propiedades mecánicas, metalúrgicas y de resistencia a la corrosión mediante un ajuste de la composición química.
- Promover la integridad del metal de soldadura protegiendo el metal fundido del oxígeno y el nitrógeno del aire.
- Extraer impurezas del metal fundido mediante reacciones con el fundente
- Producir una cubierta de escoria que proteja el metal del aire durante la solidificación y que controle la forma y el aspecto de la franja de soldadura en las diferentes posiciones para las que es apropiado el electrodo.
- Estabilizar el arco proporcionándole un camino eléctrico uniforme, para así reducir las salpicaduras y facilitar la deposición de franjas lisas, uniformes y del tamaño correcto.

En la siguiente tabla (tabla 6) se da una lista con la mayor parte de los elementos que suelen incluirse en el núcleo de fundente, sus fuentes y los fines para los que se usan.

En los aceros dulces y de baja aleación es preciso mantener una proporción correcta de desoxidantes y desnitrificantes (en el caso de los electrodos con autoprotección) a fin de obtener un depósito de soldadura íntegro con ductilidad y tenacidad suficientes. Los desoxidantes, como el silicio y el manganeso, se combinan con oxígeno para formar óxidos estables.

Esto ayuda a controlar la pérdida de elementos de aleación por oxidación, y la formación de monóxido de carbono que de permanecer causarían porosidad. Los desnitrificantes, como el aluminio, se combinan con el nitrógeno y lo fijan en forma de nitruros estables. Esto evita la porosidad por nitrógeno y la formación de otros nitruros que podrían ser perjudiciales

TABLA 6: *Elementos que comúnmente se incluyen en el núcleo de los electrodos con núcleo del fundente³⁴*

ELEMENTO	HABITUALMENTE PRESENTE COMO	PROPÓSITO AL SOLDAR
Aluminio	Polvo metálico	Desoxidar y desnitrificar
Calcio	Minerales como fluorspato (CaF ₂)	Proveer protección y formar escoria
Carbono	Elemento de ferro aleaciones	Aumentar la dureza y resistencia mecánica
Cromo	Ferro aleación o polvo metálico	Alearse a fin de mejorar la resistencia a la plasto deformación, la dureza, la resistencia mecánica y la resistencia a la corrosión
Hierro	ferro aleaciones y polvo de hierro	Matriz de aleación en depósitos con base de hierro, aleación en depósitos con base de níquel o de otro material no ferroso
Manganeso	Ferro aleación como el ferromanganeso o como polvo metálico	Desoxidar; evitar la friabilidad en caliente al combinarse con azufre para formar MnS; aumentar la dureza y resistencia mecánica; formar escoria
Molibdeno	Ferro aleación	Alearse para aumentar la dureza y resistencia mecánica, y en aceros inoxidable austeníticos para incrementar la resistencia a la corrosión del tipo de picaduras
Níquel	Polvo metálico	Alearse para mejorar la dureza, la resistencia mecánica, la tenacidad y la resistencia a la corrosión
Potasio	Minerales como feldespatos con contenido de potasio y silicatos de fritas	Estabilizar el arco y formar escoria
Silicio	Ferro aleación como ferrosilicio o silicomanganeso; silicatos y feldespato	Desoxidar y formar escoria
Sodio	Minerales como feldespato con contenido de sodio y silicatos de fritas	Estabilizar el arco y formar escoria
Titanio	Ferro aleación como ferro titanio; en mineral, rutilo	Desoxidar y desnitrificar; formar escoria; estabilizar el carbono en algunos aceros inoxidable
Zirconio	Oxido o polvo metálico	Desoxidar y desnitrificar; formar escoria
Vanadio	Oxido o polvo metálico	Aumentar la resistencia mecánica

³⁴ (SOCIETY AMERICAN WELDING, 2000, Manual de Soldadura, Tomo I, 8va edición, Cpítulo 5)

4.2. Clasificación de los electrodos.

4.2.1. Electrodos de acero dulce

La mayor parte de los electrodos de acero dulce para FCAW se clasifica de acuerdo con los requisitos de la última edición de ANSI/AWS A5.20, Especificación para electrodos de acero al carbono destinados a soldadura por arco con núcleo de fundente. El sistema de identificación sigue el patrón general de clasificación de electrodos y se ilustra en seguida.

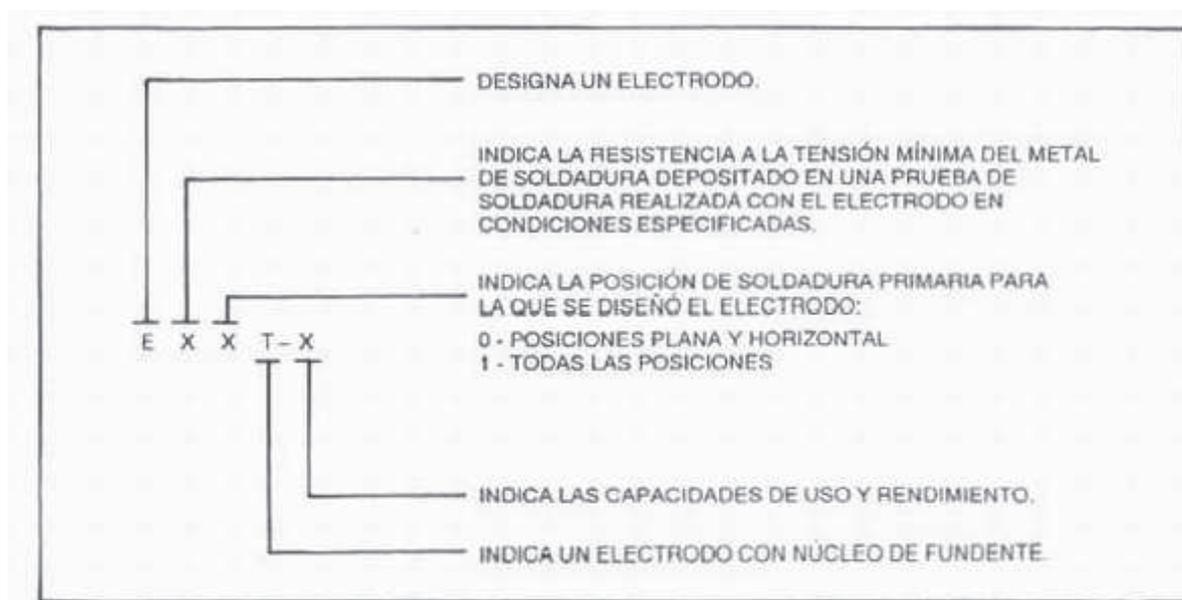


FIGURA 16: Sistema de identificación para electrodos de acero dulce para FCAW³⁵

Puede explicarse considerando una designación típica, E70T- 1. El prefijo "E" indica un electrodo, al igual que en otros sistemas de clasificación de electrodos. El primer número se refiere a la resistencia mínima a la tensión antes de cualquier tratamiento postsoldadura, en unidades de 10 000 psi. En el presente ejemplo, el número "7" indica que el electrodo tiene una resistencia a la tensión mínima de 70 000 psi. El segundo número indica las posiciones de soldadura para las que está diseñado el electrodo. En este caso el cero significa que el electrodo está diseñado para soldaduras de surco y de filete planas y en la posición horizontal.

³⁵ (SOCIETY AMERICAN WELDING, 2000, Manual de Soldadura, Tomo I, 8va edición, Cpítulo 5)

Algunas clasificaciones pueden ser apropiadas para soldar en la posición vertical o en la cenital, o en ambas. En tales casos, se usaría "1" en vez de "0" para indicar el uso en todas las posiciones. La letra "T" indica que el electrodo tiene construcción tubular (electrodo con núcleo de fundente). El número sufijo ("1" en este ejemplo) coloca al electrodo en un grupo específico de acuerdo con la composición química del metal de soldadura depositado, el método de protección y la idoneidad del electrodo para soldaduras de una o varias pasadas. La tabla que se muestra a continuación explica el significado del último dígito de las designaciones para FCAW.

TABLA 7: Requerimientos de protección y polaridad para electrodos de FCAW de acero dulce³⁶

Requerimientos de protección y polaridad para electrodos de FCAW de acero dulce		
Clasificación de la AWS	Medio protector externo	Corriente y polaridad
EXXT-1 (múltiples pasadas)	CO ₂	cc, electrodo positivo
EXXT-2 (pasada mica)	CO ₂	cc, electrodo positivo
EXXT-3 {pasada única)	Ninguno	cc, electrodo positivo
EXTT-4 (múltiples pasadas)	Ninguno	cc, electrodo positivo
EXTT-5 (pasada única)	CO ₂	cc, electrodo positivo
EXTT-6 (múltiples pasadas)	Ninguno	cc, electrodo positivo
EXTT-7 (múltiples pasadas)	Ninguno	cc, electrodo negativo
EXTT-6 (múltiples pasadas)	Ninguno	cc, electrodo negativo
EXXT-10 (pasada Única)	Ninguno	cc, electrodo negativo
EXTT-1 1 (múltiples pasadas)	Ninguno	cc, electrodo negativo
EXTT-G (múltiples pasadas) EXXT-	*	*
GS (pasada (mica)	*	*

Los electrodos de acero dulce para FCAW se clasifican teniendo en cuenta si proveen autoprotección o requieren dióxido de carbono como gas protector aparte, el tipo de corriente y si sirven o no para soldar fuera de posición. La clasificación también especifica si el electrodo se usa para aplicar una sola pasada o varias, y la composición química y las propiedades del metal de soldadura depositado antes de cualquier tratamiento. Los electrodos se diseñan de modo que produzcan metales de soldadura con ciertas composiciones químicas y propiedades mecánicas cuando la soldadura y las pruebas se realizan de acuerdo con los requisitos de la especificación.

Los electrodos se producen en tamaños estándar con diámetros desde 1.2 hasta 4.0 mm (0.045 a 5/32 pulg), aunque puede haber tamaños especiales. Las propiedades de soldadura pueden variar apreciablemente dependiendo del

³⁶ (SOCIETY AMERICAN WELDING, 2000, Manual de Soldadura, Tomo I, 8va edición, Capítulo 5)

tamaño del electrodo, el amperaje de soldadura, el espesor de las placas, la geometría de la unión, las temperaturas de precalentamiento y entre pasadas, las condiciones de las superficies, la composición del metal base y la forma de combinarse con el metal depositado, y el gas protector (si se requiere). Muchos electrodos se diseñan primordialmente para soldar en las posiciones plana y horizontal, pero pueden ser apropiados para otras posiciones si se escoge la corriente de soldadura y el tamaño de electrodo correctos. Algunos electrodos con diámetros menores que 2.4 mm (3/32 pulg) pueden servir para soldar fuera de posición si se usa una corriente de soldadura baja dentro del intervalo recomendado por el fabricante.

En ANSI/AWS A5.20 se designan 12 diferentes clasificaciones de electrodos de acero dulce para FCAW.

4.2.1.1. EXXT-1.

Los electrodos del grupo T- 1 están diseñados para usarse con CO₂ como gas protector y con corriente CCEP, pero también se emplean mezclas de argón y CO₂ a fin de ampliar su intervalo de aplicación, sobre todo al soldar fuera de posición. Si se reduce la proporción de CO₂ en la mezcla de argón-CO₂, aumentará el contenido de manganeso y silicio en el depósito y posiblemente mejorarán las propiedades de impacto. Estos electrodos se diseñan para soldadura de una o varias pasadas. Los electrodos T- 1 se caracterizan por tener transferencia por aspersion, bajas pérdidas por salpicaduras, configuración de franja plana o ligeramente convexa y volumen de escoria moderado que cubre por completo la franja de soldadura.

4.2.1.2. EXXT-2.

Los electrodos de esta clasificación se usan con CCEP. Son en esencia electrodos T-1 con mayor contenido de manganeso o de silicio, o de ambos, y se diseñan primordialmente para soldaduras de una pasada en la posición plana y para filetes horizontales. El mayor contenido de desoxidantes de estos electrodos permite soldar con una sola pasada sobre acero con incrustaciones o bordes. Los electrodos T-2 que usan manganeso como principal agente desoxidante confieren buenas propiedades mecánicas en aplicaciones tanto de

una como de varias pasadas; Sin embargo, el contenido de manganeso y la resistencia a la tensión serán más elevados en las aplicaciones de múltiples pasadas. Estos electrodos pueden servir para soldar materiales cuyas superficies tienen mayor cantidad de incrustaciones, óxido u otros materiales extraños que lo que normalmente toleran algunos electrodos de la clasificación T-1, y aun así producir soldaduras con calidad radiográfica. Las características del arco y las tasas de deposición son similares a las de los electrodos T-1.

4.2.1.3. EXXT-3.

Los electrodos de esta clasificación proveen autoprotección, se usan con CCEP y tienen transferencia por aspersion. El sistema de escoria está diseñado para producir condiciones en las que es posible soldar a muy alta velocidad. Los electrodos se usan para soldar con una sola pasada en las posiciones plana, horizontal y cuesta abajo (con pendiente de hasta 20°) en piezas laminares de hasta 4.8 mm (3/16 pulg) de espesor. No se recomiendan para soldar materiales más gruesos, ni para soldaduras de múltiples pasadas.

4.2.1.4. EXXT-4.

Los electrodos de la clasificación T-4 proveen autoprotección, trabajan con CCEP y tienen transferencia globular. El sistema de escoria está diseñado para establecer condiciones en las que la tasa de deposición sea alta y el metal de soldadura se desulfurice hasta un nivel bajo, lo que hace al depósito resistente al agrietamiento. Estos electrodos están diseñados para penetración somera, adaptables a uniones con embotamiento deficiente y soldadura de una o varias pasadas en las posiciones plana y horizontal.

4.2.1.5. EXXT-5.

Los electrodos del grupo T-S están diseñados para usarse con escudo de CO₂ (pueden usarse con mezclas de argón CO₂, al igual que los del grupo T- 1) para soldar con una o varias pasadas en la posición plana o en filetes horizontales. Estos electrodos se caracterizan por una transferencia globular, configuraciones de franja ligeramente convexas y una escoria delgada que tal vez no cubra por completo la franja de soldadura. Los depósitos producidos por electrodos de este

grupo mejoran en cuanto a su resistencia al impacto y al agrietamiento, en comparación con los tipos de rutilo (EXXT-1 y EXXT-2).

4.2.1.6. EXXT-6.

Los electrodos de la clasificación T-6 proveen autoprotección, trabajan con CCEP y tienen transferencia por aspersión. El sistema de escoria está diseñado para conferir excelentes propiedades de resistencia al impacto a bajas temperaturas, lograr penetración profunda y facilitar sobremanera la eliminación de escoria al soldar en surcos profundos. Estos electrodos sirven para soldar con una o varias pasadas en las posiciones plana y horizontal.

4.2.1.7. EXXT-7.

Los electrodos de la clasificación T-7 proveen autoprotección y trabajan con CCEN. El sistema de escoria está diseñado para crear condiciones en las que pueden usarse electrodos grandes para obtener altas tasas de aportación y electrodos pequeños para soldar en todas las posiciones. El sistema de escoria también está diseñado para desulfurizar casi por completo el metal de soldadura, lo que aumenta su resistencia al agrietamiento. Los electrodos sirven para soldar con una o varias pasadas.

4.2.1.8. EXXT-8.

Los electrodos de la clasificación T-8 proveen autoprotección y trabajan con CCEN. El sistema de escoria tiene características que permiten soldar en todas las posiciones con estos electrodos; además, confiere al metal de soldadura buenas propiedades de impacto a bajas temperaturas y lo desulfuriza hasta un nivel bajo, lo que ayuda a hacerlo resistente al agrietamiento. Estos electrodos se usan en aplicaciones tanto de una como de vanas pasadas.

4.2.1.9. EXXT- 10.

Los electrodos de la clasificación T-10 proveen autoprotección y trabajan con CCEN. El sistema de escoria tiene características que permiten soldar a alta velocidad. Los electrodos sirven para hacer soldaduras de una sola pasada en

materiales de cualquier espesor en las posiciones plana, horizontal y cuesta abajo (hasta 200).

4.2.1.10. EXXT-11.

Los electrodos de la clasificación T-11 proveen autoprotección y trabajan con CCEN, y producen un arco uniforme tipo rocío. El sistema de escoria permite soldar en todas las posiciones y con velocidades de recorrido altas. Se trata de electrodos de propósito general para soldar con una o varias pasadas en todas las posiciones.

4.2.1.11. EXXT-G.

La clasificación EXXT-G se usa para electrodos de múltiples pasadas nuevos que no están cubiertos por ninguna de las clasificaciones ya definidas. El sistema de escoria, las características del arco, el aspecto de la soldadura y la polaridad no están definidos.

4.2.1.12. EXXT-GS.

La clasificación EXXT-GS se usa para electrodos nuevos de una sola pasada que no están cubiertos por ninguna de las clasificaciones ya definidas. El sistema de escoria, las características del arco, el aspecto de la soldadura y la polaridad no están definidos.

4.2.2. Electrodo de acero de baja aleación

En el mercado están disponibles electrodos con núcleo de fundente para soldar aceros de baja aleación. Se describen y clasifican en la edición más reciente de ANSI/AWS A5.29, Especificación para electrodos de acero de baja aleación destinados a soldadura por arco con núcleo de fundente. Los electrodos están diseñados para producir metales de soldadura depositados con composición química y propiedades mecánicas similares a las que se obtienen con electrodos de SMAW de acero de baja aleación. Generalmente se usan para soldar aceros de baja aleación con composición química similar. Algunas clasificaciones de electrodos están diseñadas para soldar en todas las posiciones, pero otras están limitadas a las posiciones plana y de filete horizontal. Como en el caso de los

electrodos de acero dulce, hay un sistema de identificación que la **AWS** usa para describir Las distintas clasificaciones. En la Figura 17 se detalla el significado general para identificar a los electrodos del proceso FCAW.

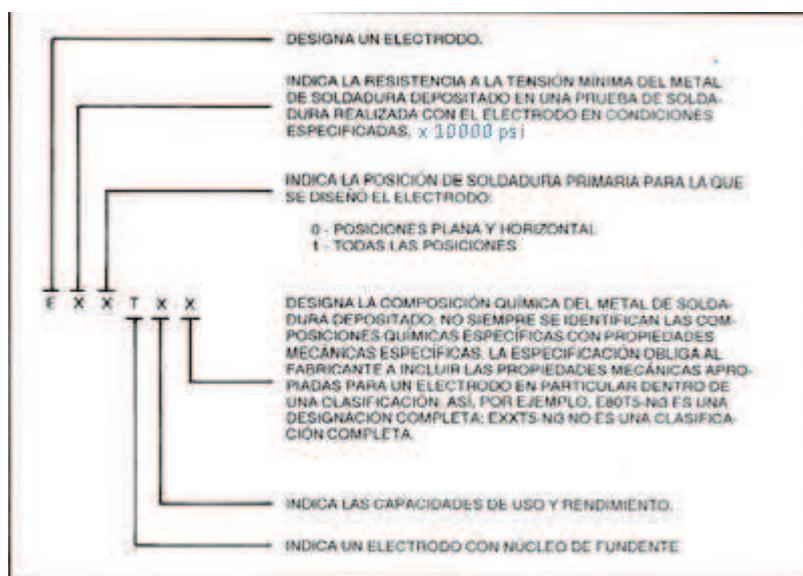


FIGURA 17: Sistema de identificación para electrodos de acero de baja aleación para FCAW³⁷
ANSI/AWS A5.29 da cinco clasificaciones diferentes de electrodos de acero de baja aleación para FCAW.

4.2.3. Electrodos con escudo de gas

En general es posible diseñar las uniones a modo de aprovechar la penetración que se logra con densidades de corriente altas. Con el método de FCAW protegidos con gas es posible usar surcos más angostos con ángulos de surco más pequeños, abertura de raíz más estrechas y caras de raíz más grande que lo que resulta práctico con SMAW.

Para los diseños de unión a tope básicos es prudente considerar los siguientes aspectos:

- La unión deberá diseñarse de modo que sea posible mantener una extensión del electrodo constante al soldar pasadas sucesivas en la unión.
- La unión deberá diseñarse de modo que la raíz este accesible y sea posible efectuar con facilidad todas las manipulaciones del electrodo que sean necesarias.

³⁷(SOCIETY AMERICAN WELDING, 2000, Manual de Soldadura, Tomo I, 8va edición, Cpitulo 5)

El ángulo de surco para un espesor de metal está bien diseñado cuando permite tener el acceso debido con la boquilla de gas y extensión del electrodo correctas. Las boquillas de escudo lateral para la soldadura automática ofrecen mejor acceso a uniones angostas y también permiten ángulos de surco más pequeños que las boquillas concéntricas. Si el procedimiento de soldadura es el apropiado es posible obtener soldaduras integras en la tabla se presentan los diseños de unión y procedimientos de soldadura típicos para soldar por FCAW acero al carbono.

La corriente de soldadura y el voltaje pueden variar dependiendo de la fuente del electrodo.

Se requiere de un escudo de gas apropiado para que las soldaduras sean integras. Las tasas de flujo requeridas dependen del tamaño de la boquilla, de la presencia de corrientes de aire y de la extensión del electrodo. La soldadura en aire estático requiere de tasas de flujo del orden de 15 a 19 litros por minuto (30 a 40 pies³/h). Si se suelda en aire en movimiento o si la extensión del electrodo es mayor que lo normal, pueden ser necesarias tasas de flujo de hasta 26L/min (55 pies³/h). Las tasas de flujo para las boquillas con escudo lateral generalmente son las mismas o un poco más altas que aquellas para las boquillas concéntricas.

Es importante mantener la abertura de las boquillas libre de salpicaduras adheridas.

Si hay movimientos bruscos del aire en el área de soldadura, como cuando se suelda exteriores conviene usar cortinas para encerrar la zona de soldadura y evitar la pérdida de protección del gas.

4.2.4. Electrodo de Acero dulce con autoprotección

Los tipos de uniones básicos apropiados para los procesos SMAW con escudo de gas son también adecuados para FCAW con autoprotección. Aunque la forma general de los surcos de soldadura es similar a la que se usa en la soldadura por arco de metal protegido, las dimensiones específicas del surco pueden diferir. Estas diferencias se deben principalmente a que en la FCAW con autoprotección las tasas de deposición son más altas y la penetración son menos profunda.

La extensión del electrodo introduce otra variable del procedimiento de soldadura que puede influir en el diseño de las uniones. Si se usa una extensión del electrodo larga para realizar soldaduras de surco en la posición plana sin respaldo, es preciso planear la forma de obtener una buena penetración en la raíz. Lo mejor puede ser soldar la primera pasada del surco con el proceso SMAW para controlar mejor la fusión y la penetración. De manera similar, en surcos con respaldo, la abertura de raíz debe ser suficiente para que pueda haber fusión completa por transferencia de metal globular. Dependiendo del espaciado de la unión y de la técnica empleada para soldar la pasada de raíz, puede ser necesario biselar y soldar por la parte posterior cuando no se usa placa de respaldo. Al efectuar soldaduras verticales en placas de 19 mm (3/4 pulg) o más de espesor, la pasada de raíz puede depositarse verticalmente hacia abajo en uniones sin respaldo, y hacia arriba en uniones con respaldo. Con algunos electrodos autoprottegidos las pasadas de raíz pueden depositarse en cualquier posición sin respaldo. Las pasadas subsecuentes se depositan en posición vertical y en dirección ascendente empleando una técnica similar a la que se usa con electrodos cubiertos bajos en hidrógeno. Como los electrodos de acero dulce y de baja aleación autoprottegidos (pero no los de acero inoxidable autoprottegidos) contienen cantidades considerables de desnitrurantes que pueden tener efectos metalúrgicos indeseables si se diluyen en depósitos protegidos con gas, tal vez no sea aconsejable usar electrodos autoprottegidos para la pasada de raíz seguidos de electrodos protegidos con gas para las pasadas de relleno. Antes de intentar un procedimiento así, se deberá consultar con el fabricante de los electrodos para conocer sus recomendaciones.

4.2.5. Electrodos de acero inoxidable autoprottegidos

Los diseños de unión y procedimientos típicos para electrodos de acero inoxidable autoprottegidos están limitados a la soldadura de uniones a tope en la posición plana, la soldadura de filetes en las posiciones plana y horizontal, y el recubrimiento en las posiciones plana y horizontal. Si es necesario soldar acero inoxidable en cualquier otra posición, se puede usar uno de los nuevos electrodos EXXT-1 con aplicabilidad a todas las posiciones. En general, la geometría de las uniones para soldaduras a tope debe ser aproximadamente la misma que se usa para soldadura por arco de metal protegido. Al aplicar

recubrimientos en aceros al carbono o de baja aleación, hay que tomar precauciones especiales para controlar la dilución durante las pasadas de recubrimiento iniciales.

4.2.6. Preparación de los bordes y tolerancias de embonamiento

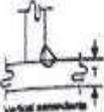
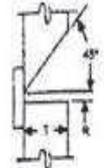
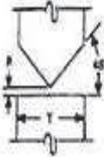
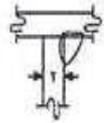
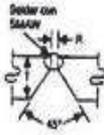
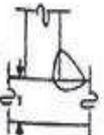
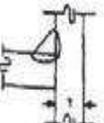
La preparación de los bordes que se van a soldar con electrodos con núcleo de fundente puede hacerse mediante corte con gas oxcombustible, corte con arco de plasma, biselado con arco de carbono y aire o maquinado, dependiendo del tipo de metal.

TABLA 8: Procedimientos típicos de soldadura por arco con núcleo de fundente con escudo de gas para electrodos de acero al carbono y de baja aleación (tipos EXXT-1)³⁸

Tabla 5.5 Procedimientos típicos de soldadura por arco con núcleo de fundente con autoprotección para electrodos de acero al carbono y de baja aleación													
Diseño de la unión	Espesor de las piezas, T		Abertura de la raíz		Total de pasadas	Diámetro del electrodo		Potencia de soldadura, cc		Velocidad de alimentación del alambre		Extensión del electrodo	
	pulg	mm	pulg	mm		pulg	mm	A	V(P) ^a	pulg./min	mm/s	pulg	mm
	Soldaduras de surco en posición plana (semiautomática)												
	0.14	3.4	5/32	4	1	3/32 ^d	2.4	300	29+	150	65	2-3/4	70
	3/8	10	3/8	10	2	1/8 ^d	3.2	500	33+	200	85	2-3/4	70
	1/2	13	3/8	10	3	1/8 ^d	3.2	500	32+	200	85	2-3/4	70
	1	25	3/8	10	6	1/8 ^d	3.2	550	36+	300	125	3-3/4	95
	1/2	13	3/32	2	2	3/32 ^d	2.4	350	29+	190	80	2-3/4	70
	3	76	3/32	2	26	1/8 ^d	3.2	550	36+	300	125	3-3/4	95
	3/8	10	3/8	10	2	1/8 ^d	3.2	500	32+	200	85	2-3/4	70
	1-1/4	32	3/8	10	7	1/8 ^d	3.2	550	36+	300	125	3-3/4	95
	Soldaduras de surco en posición vertical (semiautomática)												
	0.105 ^b	2.7	1/8	3	1	5/64 ^d	2.0	250	20-	110	55	1	25
	1/4	6	7/32	5	3	5/64 ^d	2.0	350	25-	230	100	1	25
	5/16	8	3/32	2	1	1/16 ^d	1.6	150	18-	90	40	1	25
	1	25	3/32	2	1	1/16 ^d	1.6	195	21-	120	50	1	25
	3/8	10	3/16	5	2	1/16 ^d	1.6	170	19-	105	45	1	25
	1	25	3/16	5	6	5/64 ^d	2.0	190	19-	110	45	1	25
	3/8	10	1/4	6	1	1/16 ^d	1.6	170	19-	105	45	1	25
	1-1/2	38	1/4	6	4	5/64 ^d	2.0	190	19-	110	45	1	25

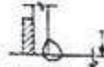
³⁸ (SOCIETY AMERICAN WELDING, 2000, Manual de Soldadura, Tomo I, 8va edición, Capítulo 5)

Tabla 8. Continuación.³⁹

Tabla 5.5 (Continúa)													
Diseño de la unión	Espesor de las placas, T		Abertura de la raíz		Total de pesadas	Diámetro del electrodo		Potencia de soldadura, cc		Velocidad de alimentación del alambre		Extensión del electrodo	
	pulg	mm	pulg	mm		pulg	mm	A	V(P) ^a	pulg/min	mm/s	pulg	mm
	Soldadura de filete en posición vertical (semiautomática)												
	1/4	6	0	0	1	1/16 ^d	1.6	130	18	80	35	1	25
	5/8	16	0	0	1	1/16 ^d	1.6	185	21	108	45	1	25
	1-1/2	38	0	0	4	1/16 ^d	1.6	190	21	110	45	1	25
	Soldaduras de surco en posición horizontal (semiautomática)												
	5/16	8	3/16	5	3	3/32 ^e	2.4	300	28+	150	65	2-3/4	70
	1-1/4	32	3/16	5	16	1/8 ^e	3.2	400	29+	160	70	2-3/4	70
	Soldaduras de surco en posición horizontal (semiautomática)												
	3/4	19	3/32	2	6	3/32 ^e	2.4	300	28+	140	60	2-3/4	70
	1-1/2	38	3/32	2	12	1/8 ^e	3.2	400	29+	160	70	2-3/4	70
	Soldaduras de surco y de filete en posición cenital (semiautomática)												
	0.105	2.7	0	0	1	1/16 ^d	1.6	150	18-	100	40	1	25
	3/4	19	0	0	6	1/16 ^d	1.6	180	19-	115	50	1	25
	Soldaduras de surco y de filete en posición cenital (semiautomática)												
	5/16	8	1/16	1.6	2	1/16 ^d	1.6	150	18-	90	40	1	25
	1	25	1/16	1.6	8	1/16 ^d	1.6	170	19-	105	45	1	25
	Soldaduras de filete en posición horizontal (semiautomática)												
	0.105	2.7	0	0	1	5/64 ^d	2.0	235	20-	105	45	1	25
	3/16	5	0	0	1	3/32 ^e	2.4	335	21-	110	45	1	25
	Soldaduras de filete en posición horizontal (semiautomática)												
	1/4	6	0	0	1	3/32 ^e	2.4	325	29+	150	65	1	25
	1	25	0	0	5	1/8 ^e	3.2	450	29+	175	75	2-3/4	70
	Soldaduras en posición plana (semiautomática)												
	5/16	8	0	0	1	3/32 ^e	2.4	350	30+	190	80	2-3/4	70
	1	25	0	0	4	1/8 ^e	3.2	580	27+	330	140	3-3/4	95

³⁹ (SOCIETY AMERICAN WELDING, 2000, Manual de Soldadura, Tomo I, 8va edición, Capítulo 5)

Tabla 5.5
(Continúa)

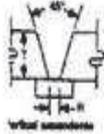
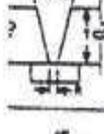
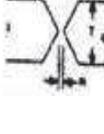
Diseño de la unión	Espesor de las placas, T		Abertura de la raíz		Total de pasadas	Diámetro del electrodo		Potencia de soldadura, cc		Velocidad de alimentación del alambre		Extensión del electrodo	
	pulg	mm	pulg	mm		pulg	mm	A	V(P) ^a	pulg/min	mm/s	pulg	mm
	0.05	1.2	0	0	1	3/32 ^e	2.4	425	26+	160	70	1	25
	3/16	5	0	0	1	5/32 ^e	4.0	950	27+	150	65	1-1/4	32
	0.05	1.2	0	0	1	3/32 ^e	2.4	475	26+	170	70	1	25
	3/16	5	0	0	1	5/32 ^e	4.0	900	26+	140	60	1-1/4	32
	0.06	1.5	0	0	1	3/32 ^e	2.4	425	26+	160	70	1	25
	3/16	5	0	0	1	5/32 ^e	4.0	875	27+	130	55	1-1/4	32

(p) Polaridad: ⁺ electrodo positivo; ⁻ electrodo negativo
 Tasa de producción con factor de operador del 100%
 Electrodo E70T-4

d. Electrodo E60T-7
 e. Electrodo E70T-G

TABLA 9: Procedimientos típicos de soldadura por arco con núcleo de fundente con autoprotección para electrodos de acero al carbono y de baja aleación ⁴⁰

Tabla 5.6
Procedimientos típicos de soldadura por arco con núcleo de fundente con autoprotección en aceros inoxidables empleando electrodos de acero inoxidable

Diseño de la unión	Tamaño de la soldadura, T		Abertura de la raíz, R		Total de pasadas	Diámetro del electrodo		Potencia de soldadura, CCEP		Velocidad de alimentación del alambre		Extensión del electrodo	
	pulg	mm	pulg	mm		pulg	mm	A	V	pulg/min	mm/s	pulg	mm
	1/4	6	1/8	3	1	3/32	2.4	300	27.5	190	70	1	25
	3/8	10	1/8	3	2	3/32	2.4	300	27.5	170	70	1	25
	1/2	13	3/16	5	2	3/32	2.4	300	27.5	170	70	1	25
	3/4	19	3/16	5	4	3/32	2.4	300	27.5	170	70	1	25
	7/8	22	3/8	10	6	3/32	2.4	300	27.5	170	70	1	25
	1-1/4	32	3/8	10	8	3/32	2.4	300	27.5	170	70	1 a 1.25	25-32
	1/2	13	1/8	3	2	3/32	2.4	300	27.5	170	70	1	25
	3/4	19	1/8	3	25	3/32	2.4	300	27.5	170	70	1 a 1.25	25-32

⁴⁰ (SOCIETY AMERICAN WELDING, 2000, Manual de Soldadura, Tomo I, 8va edición, Capítulo 5)

CAPITULO 5

5. ENSAYOS DE SOLDABILIDAD

5.1. Ensayos de soldabilidad.

Según la American Welding Society (AWS), la soldabilidad es la capacidad de un material para ser soldado bajo condiciones impuestas de fabricación en una estructura específica, apropiadamente diseñada y que cumple su función satisfactoriamente en el servicio propuesto.

Por esta definición, algunos materiales base o aleaciones pueden presentar buena soldabilidad bajo algunas condiciones, pero mala soldabilidad bajo otras condiciones.

Mientras que la soldabilidad depende del proceso de soldadura, los parámetros de operación, los procedimientos, el grado de restricción, y el ambiente. El factor más importante del cual depende la soldabilidad es la composición química del material base.

La soldabilidad se puede clasificar en dos grupos generales:

1. Soldabilidad de fabricación
2. Soldabilidad de Servicio

5.1.1. Soldabilidad en Fabricación

Responde a la capacidad del metal para ser unido mediante soldadura sin que se produzcan discontinuidades perjudiciales. La aceptabilidad de estas discontinuidades depende de los requerimientos aplicables para el proceso particular de soldadura. La soldabilidad en fabricación trata principalmente con discontinuidades tales como fisuras originada por hidrógeno, fisuras en caliente, fisuras de recalentamiento, desgarre laminar, así como porosidades. El cumplimiento de esta soldabilidad en un acero puede resultar adecuado cuando

se trata de aplicaciones críticas, en las que resultarían necesarias precauciones especiales como el precalentamiento.

5.1.2. Soldabilidad en Servicio.

Envuelve el efecto del ciclo térmico en las propiedades de la zona afectada por el calor (HAZ o ZAC). Esta soldabilidad a menudo incluye la entrega de calor (Head Input) permisible para un acero en particular. Bajas entregas de calor pueden introducir microestructuras inaceptables de baja tenacidad, así como problemas de soldabilidad asociadas con el fisuramiento en frío. Altos valores de entrega de calor pueden introducir bastas microestructuras con baja tenacidad y baja resistencia. La entrega de calor por sí sola no controla la microestructura resultante y las propiedades de la zona afectada por el calor, pero el ciclo térmico inducido controla la microestructura y las propiedades. Por lo consiguiente, tanto la entrega de calor como el espesor deben ser considerados.⁴¹

1. Soldabilidad Operativa
2. Soldabilidad Metalúrgica
3. Soldabilidad Constructiva

5.1.2.1. Ensayos de soldabilidad operatoria

También llamada operacional u operatoria. Este tipo de soldabilidad caracteriza las posibilidades de utilización de un procedimiento (fusión, presión, etc.) para lograr el ensamble de un metal dado en las condiciones impuestas (forma y dimensiones de las juntas, posiciones de soldadura, voltaje, corriente, protección del arco, etc.) Del mismo modo, está relacionada con las dificultades que puede encontrar el soldador para obtener la continuidad de los elementos a ser ensamblados. Dificultades que disminuyen, o inclusive anulan la soldabilidad, como el apareamiento y formación de óxidos con elevadas temperaturas de

⁴¹ (NORMA AISI 314, 1998)

fusión, o la utilización de metales refractarios. Sin embargo, se puede mejorar la soldabilidad operativa mediante la aplicación de métodos que logren atenuar los efectos de estas dificultades.

Así por ejemplo. Si no se logran obtener la unión en un metal "X" al intentar soldarlo mediante un proceso determinado. (SMAW, GMAW, FCAW, etc.) Entonces dicho metal no es soldable operativamente.

5.1.2.2. Ensayos de soldabilidad metalúrgica.

Local, o física. Son dos nombres con los que se conoce a este tipo de soldabilidad que es relativa a las transformaciones que ciertamente generarán cambios en las propiedades mecánicas o químicas. Así, la soldabilidad metalúrgica, trata de obtener desde el punto de vista metalúrgico un ensamble tan homogéneo como sea posible, libre de transformaciones microestructuras, o variaciones en las propiedades químicas en las zonas de la unión soldada que dan como resultado variaciones indeseables en las propiedades químicas en las zonas de la unión soldada que dan como resultado variaciones indeseables en las propiedades mecánicas deseadas. Situación que está estrechamente relacionado con:

- La composición química del metal base.
- Las condiciones de enfriamiento que pueden modificar las propiedades de las zonas afectadas térmicamente.
- La selección del material de aporte.

En relación al ejemplo anterior. Se ha logrado soldar el metal "X" mediante un proceso determinado, lo que asegura su soldabilidad operativa pero las propiedades mecánicas obtenidas no satisfacen los requerimientos exigidos, entonces se asegura que existen problemas de soldabilidad metalúrgica.

5.1.2.3. Ensayos de soldabilidad constructiva.

La soldabilidad constructiva también es conocida como global o funcional. Define las propiedades de conjunto en la construcción en base a la sensibilidad de la unión, o la deformación y rotura bajo el efecto de esfuerzos. Determina la aptitud del conjunto soldado para adaptarse y resistir sin daño las sollicitaciones particulares que ocurren en la construcción soldada durante la soldadura, y en servicio o prueba. Consecuentemente la soldabilidad constructiva, es entonces función también de los efectos de posibles dilataciones y construcciones que pudiesen provocar deformaciones y esfuerzos que dan origen a fisuramientos que inicien en la unión soldada.

Así, para el ejemplo inicialmente planteado se puede afirmar que existe un problema de soldabilidad constructiva cuando se ha soldado el metal "X" asignando adecuadas soldabilidades operativa y metalúrgica pero al aplicar el procedimiento en la construcción de cierta estructura, se produce el apareamiento de serias deformaciones, y/o esfuerzos residuales que ponen en riesgo la integridad de dicha estructura.⁴²

5.1.3. Ensayos que determinan la soldabilidad.

Queda establecido que factores como la composición química, parámetros operacionales, procedimientos, grado de restricción, y ambiente (especialmente la presencia de hidrógeno), son factores que determinan la soldabilidad. De ellos, quizás el factor más importante es la composición química del metal. Pues, es un factor que a priori puede determinar si un metal es inherentemente soldable, difícil de soldar, o completamente no soldable.

Para evaluar la soldabilidad de un metal base o material de relleno, es primordial emplear una técnica que simule lo más cercano posible las condiciones que podrían estar presentes durante la fabricación, y en servicio. Esto significa, simular la configuración de la junta, el grado de restricción impuesto por el espesor del metal base, o la masa en general, y el grado de restricción impuesto por otras estructuras del conjunto soldado.

⁴² (NORMA AISI;314, 1998)

Debido a que los ensayos de soldabilidad son usados para evaluar las características de los metales base, varios de estos ensayos, más que destinados a la producción, son realizados como ensayos de laboratorio o con fines investigativos, es por esto que no necesariamente todos se encuentran cubiertos bajo reglamentos de instituciones oficiales de normalización. Aunque en gran cantidad estos ensayos son usados durante el desarrollo de nuevas aleaciones, muchos también son usados en investigaciones de soldadura con el fin de asegurar la soldabilidad de metales base, todo esto previo a la etapa de producción. Cada ensayo está diseñado para evaluar la susceptibilidad a un problema específico de soldabilidad.

Estos ensayos evalúan varias respuestas del metal base a diferentes condiciones reales o simuladas de soldadura, además proveen información sobre las aleaciones, procesos y procedimientos de soldadura. Los datos generados pueden ser comparados con los datos producidos bajo las mismas condiciones de ensayo pero en otras condiciones térmicas de material, o con datos producidos con otros procesos o procedimientos de soldadura.

Todos estos ensayos proveen información cualitativa que es usada para clasificar diferentes materiales, o condiciones térmicas de los mismos materiales, procesos, procedimientos, y ciclos térmicos. Ninguno de los ensayos de soldabilidad arroja información cuantitativa como límites de fluencia de una aleación específica cuando es ensayada bajo tracción.

Generalmente, los ensayos de soldabilidad pueden ser clasificados en dos amplias categorías:^{43; 44}

1. Ensayos directos de soldabilidad.- También llamados ensayos reales, hacen uso de una muestra de soldadura real o una zona entera de metal soldado realizado en el material previsto, reproduciendo lo más estrictamente posible procesos, parámetros operacionales, y condiciones

⁴³ (ASM International)

⁴⁴ (ROBERT MESSIER, Principles of Welding Processes , P.C.; Physics, Chemistry and Metallurgy, Pág. 102)

de operación, así como las condiciones del metal base, geometría y dimensiones, y restricción.

2. Ensayos indirectos de soldabilidad.- Se los conoce también como ensayos simulados, pues, se los realiza simulando el ciclo térmico de una soldadura de modo que se crea una zona de soldadura simulada en términos de microestructura, de este modo se utilizan principios metalúrgicos básicos para examinar los parámetros de soldadura en la muestra.

5.1.4. Ensayos que determinan la soldabilidad.

5.1.4.1. Ensayo Finger (fisuramiento en caliente)

Este ensayo (Figura. 18) que evalúa la susceptibilidad al fisuramiento, se lo realiza depositando un cordón de soldadura a través de barras (dedos) estrechamente comprimidas de modo que las interrupciones de continuidad simulan fisuras transversales de metal base. Los diversos grados de severidad de tensión inducida son dados variando el espesor de los dedos. La evaluación está basada en el porcentaje del ancho del cordón que contiene fisuras.

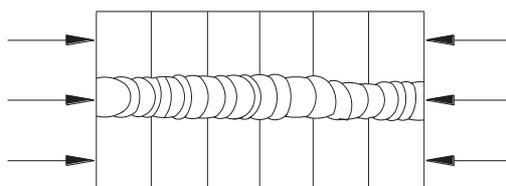


FIGURA 18 Esquema del ensayo Finger ⁴⁵

5.1.4.2. Ensayo Battelle (fisuramiento en caliente)

El ensayo battelle; consiste en una variación al ensayo Houldcroft, para placas. Busca evaluar la tendencia al fisuramiento del relleno depositado bajo condiciones de alta restricción, y utiliza una soldadura de ranura que inicia en el

⁴⁵ (ASM, International (s.f.) ASM HANDBOOK, VOLUME 6; Pág. 184)

extremo de menor restricción. La sensibilidad al fisuramiento es determinada de forma similar al ensayo de Lehigh en base a la sección sin ranuras correspondiente al cese de propagación de las fisuras.^{46; 47}

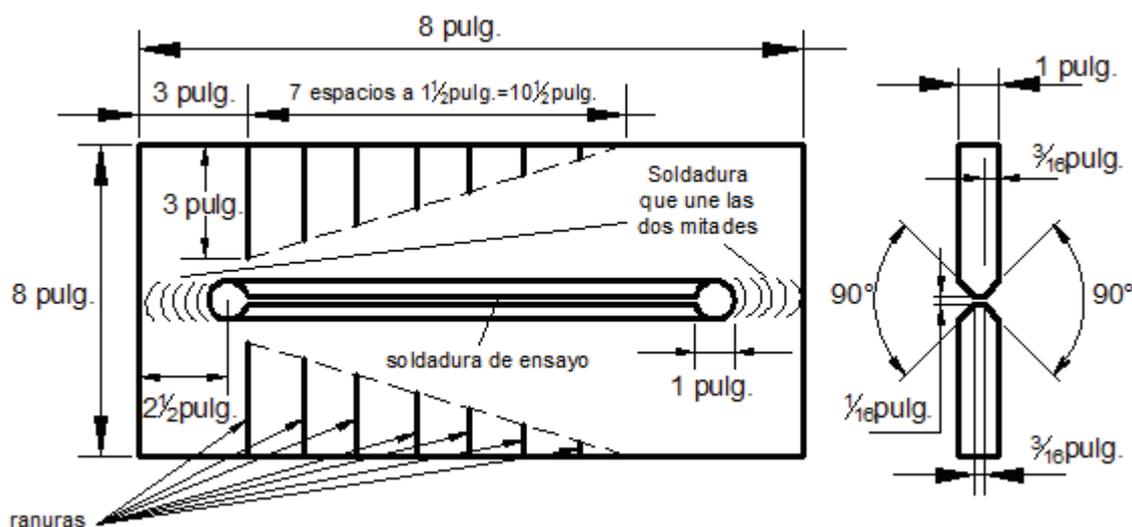


FIGURA 19: Esquema de la probeta para ensayo Battelle⁴⁸

5.1.4.3. Ensayo de restricción de Lehigh (fisuramiento en frío y en caliente).

Desarrollado en la universidad de Lehigh, este ensayo provee información del grado de restricción necesario para producir fisuramiento en la zona de fusión y en la zona afectada por el calor. El grado de restricción es modificado conforma se varíe la longitud de los surcos que se extienden desde los costados hacia la ranura de soldadura de la placa de ensayo (Figura. 20), surcos más largos, imponen mayor restricción; cada nivel de restricción requiere una placa diferente de ensayo. El fisuramiento es detectado examinando la sección transversal a la soldadura. La evaluación se basa en distancia mínima entre los extremos de ranuras opuestas en donde ha ocurrido el fisuramiento.

⁴⁶ (ROBERT MESSIER, Principles of Wwelding Processes , P.C.; Physics, Cchemistry and Metallurgy, Pág. 116)

⁴⁷ (ASM, International (s.f.) ASM HANDBOOK, VOLUME 6; Pág. 186)

⁴⁸ PALMAY, LLUGSI, CL (2010); Estudio de la Soldabilidad en Aceros de Alta Resistencia y Baja Aleación ASTM A572; Quito; EPN; Pág. 113)

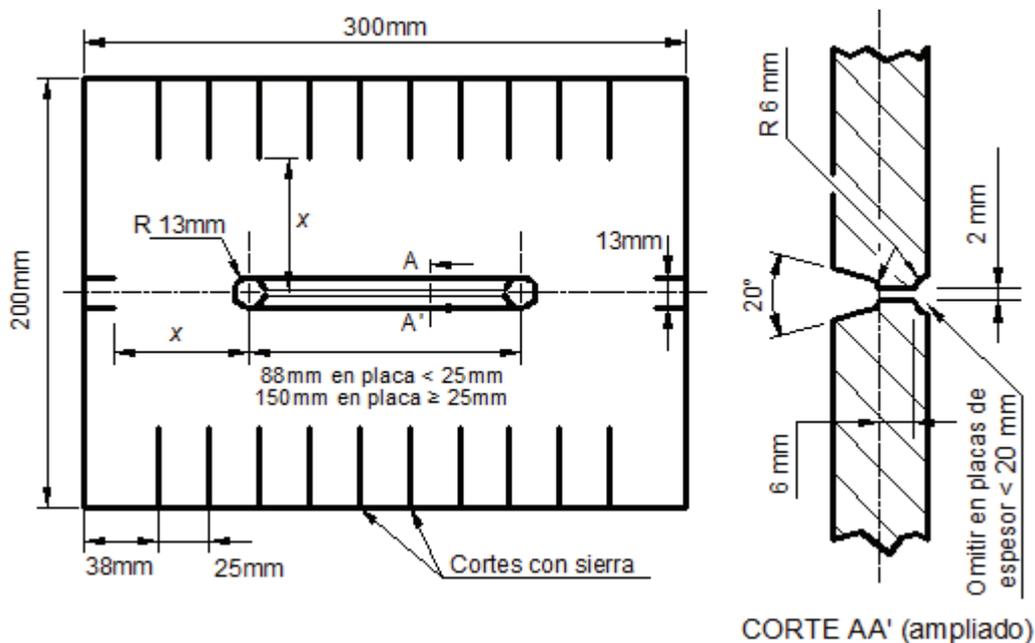


FIGURA 20: Esquema de la probeta para ensayo Lehigh ⁴⁹

5.1.4.4. Ensayo Vareststraint, o de restricción variable (fisuramiento en caliente)

Desarrollado en el Instituto politécnico Renssealer, es el ensayo más comúnmente utilizado para evaluar la sensibilidad al fisuramiento en caliente. El ensayo (comúnmente utilizado para el proceso FCAW y para los procesos donde se tenga alimentación continua del material de aporte. es llevado a cabo mediante el depósito de una suelda en una probeta montada en voladizo, la soldadura inicia desde el borde libre (izquierda en la figura), y continúa hasta que el arco alcanza un punto cercano al punto de tangencia entre la parte en voladizo y un dado con determinado radio de curvatura ubicado debajo del voladizo (punto "A" en la figura). La sección en cantiléver es entonces curvada mediante aplicación de fuerza neumática adoptando la forma del dado, entonces el arco continúa desplazándose hasta el punto "C" de la figura, en donde es apagado.

La evaluación de este ensayo se basa en uno o más de los siguientes puntos:

⁴⁹ PALMAY, LLUGSI, CL (2010); Estudio de la Soldabilidad en Aceros de Alta Resistencia y Baja Aleación ASTM A572; Quito; EPN; Pág. 114)

- A. La mínima deformación aplicada (determinada a partir del espesor de la probeta, y del dado utilizado) capaz de provocar el fisuramiento.
- B. La fisura de mayor longitud como indicativo de la susceptibilidad de la zona de fusión al fisuramiento en caliente.
- C. La longitud total de fisura, obtenida por la suma de las fisuras observadas en la zona de fusión y en la ZAC.

Existen también variaciones a este ensayo conocidas como: el ensayo TIG-A-MA-JIG (llamado también Spot vareststraint test); y el ensayo Transvareststraint.^{50;}

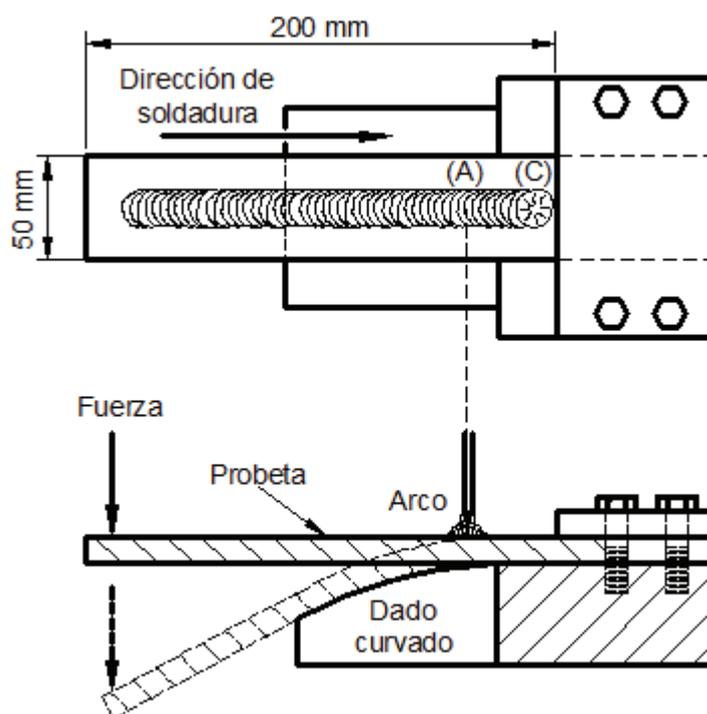


FIGURA 21: Esquema del ensayo Vareststraint⁵¹

5.1.4.5. Ensayo Murex (fisuramiento en caliente)

El ensayo es usado para obtener información comparativa de similares (o diferentes) materiales de aporte. El ensayo es llevado a cabo depositando soldadura en una ranura en "V" debida a la disposición del equipo formada entre

⁵⁰ (ASM, International (s.f.) ASM HANDBOOK, VOLUME 6; Pág. 188)

⁵¹ PALMAY, LLUGSI, CL (2010); Estudio de la Soldabilidad en Aceros de Alta Resistencia y Baja Aleación ASTM A572; Quito; EPN; Pág. 115)

dos placas de media pulgada de espesor. Cinco segundos después de que la soldadura ha comenzado, una de las placas es rotada aproximadamente 30°. La velocidad de rotación es ajustada para controlar deformaciones del metal soldado. La eficacia de este ensayo es evaluada en función de las longitudes de las fisuras que aparecen como resultado de la deformación.⁵²

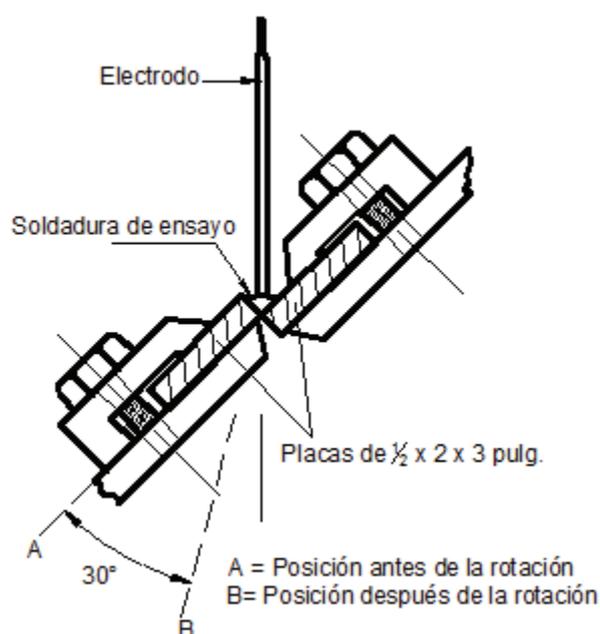


FIGURA 22: Esquema del ensayo Murex⁵³

5.1.4.6. Ensayo de restricción y cerradura (fisuramiento en frío y en caliente)

Desarrollado por The Naval Research Laboratory, en este ensayo (Figura. 23), la probeta es soldada a lo largo de la ranura, iniciando desde el extremo abierto avanzando hacia el agujero. Esta situación impone un variable grado de restricción a lo largo de la soldadura, siendo máximo en el agujero, y mínimo en el extremo donde inició la soldadura. Las fisuras se forman en el agujero, y se extienden hacia el exterior donde la restricción es lo suficientemente pequeña para que se detenga el crecimiento de las fisuras. La evaluación del ensayo se

⁵² (ROBERT MESSIER, Principles of Wwelding Processes , P.C.; Physics, Cchemistry and Metallurgy, Pág. 120)

⁵³ PALMAY, LLUGSI, CL (2010); Estudio de la Soldabilidad en Aceros de Alta Resistencia y Baja Aleación ASTM A572; Quito; EPN; Pág. 116)

basa en la longitud de las fisuras, tiempo de fisuramiento, y ubicación de las fisuras.

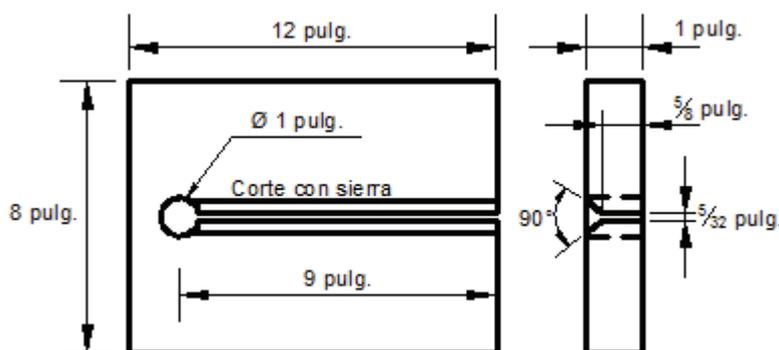


FIGURA 23: Esquema del ensayo de restricción y cerradura ⁵⁴

5.1.4.7. Ensayo de filete circular de la armada (fisuramiento en frío y en caliente)

NCFW.- Navy Circular-Fillet-Weldability Test; mostrado en la (Figura 24) también emplea una muestra que desarrolla autorestricción, y es usada para evaluar la susceptibilidad al fisuramiento en caliente en la zona de fusión y en la ZAC. En este ensayo, los esfuerzos incrementan conforme se incrementa el número de pases depositados. La capa en la cual se origina por primera vez el fisuramiento, junto con el tipo, cantidad y tamaño de las fisuras son tomadas en cuenta en la evaluación de resultados que se comparan con los resultados obtenidos del ensayo con otros materiales. ⁵⁵

⁵⁴ PALMAY, LLUGSI, CL (2010); Estudio de la Soldabilidad en Aceros de Alta Resistencia y Baja Aleación ASTM A572; Quito; EPN; Pág. 117)

⁵⁵ (ROBERT MESSIER, Principles of Wwelding Processes , P.C.; Physics, Cchemistry and Metallurgy, Pág. 121)

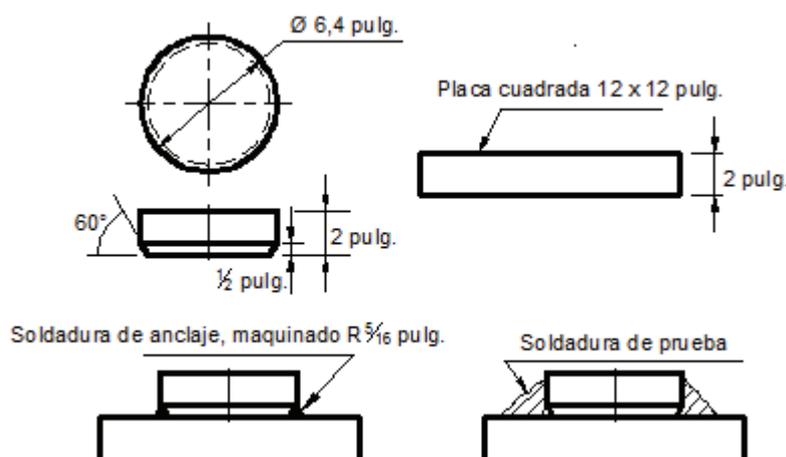


FIGURA 24: Ensayo de filete circular de la armada⁵⁶

5.1.4.8. Ensayo de ranura circular (fisuramiento en frío y en caliente)

El ensayo de ranura circular (Figura. 25) es un ensayo de tipo “aprueba / no aprueba” (go/no-go) diseñado por “The Arcos Corporation” para evaluar el fisuramiento en la zona fundida y ZAC con varias combinaciones de material de aporte. La soldadura es depositada en una ranura circular maquinada en una placa cuadrada y la extensión del fisuramiento es expresada como un porcentaje de la longitud total de la soldadura. El ensayo puede ser evaluado mediante variación del diámetro de la ranura maquinada o variando las dimensiones de la placa.

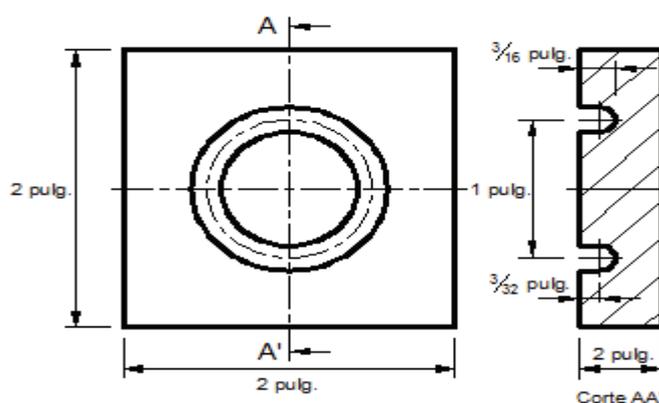


FIGURA 25; Ensayo de ranura circular⁵⁷

⁵⁶ PALMAY, LLUGSI, CL (2010); Estudio de la Soldabilidad en Aceros de Alta Resistencia y Baja Aleación ASTM A572; Quito; EPN; Pág. 118)

⁵⁷ PALMAY, LLUGSI, CL (2010); Estudio de la Soldabilidad en Aceros de Alta Resistencia y Baja Aleación ASTM A572; Quito; EPN; Pág. 118)

5.1.4.9. Ensayo Sigmajig (fisuramiento en caliente)

Desarrollado en “The Oak Ridge National Laboratory”, el ensayo consiste en aplicar un esfuerzo normal (σ) a una placa cuadrada de 50 mm de lado sujeta por mordazas de acero ubicadas en la configuración mostrada por la Figura. 26. La carga es aplicada y mantenida por un par de pernos que mediante arandelas Belleville aplican precarga a la probeta previamente a la soldadura. Varias muestras son soldadas (una después de otra), a lo largo de su centro usando el proceso GTAW. El esfuerzo aplicado es incrementado entre ensayos hasta que ocurre el fisuramiento. La medida del esfuerzo umbral necesario para producir el 100% de fisuramiento es usado como medida de la susceptibilidad al fisuramiento.⁵⁸

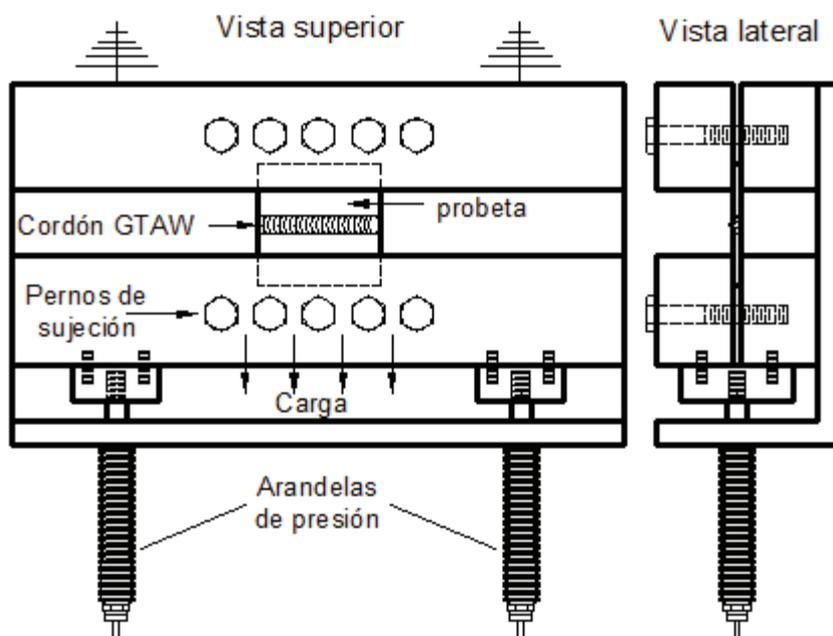


FIGURA 26: Esquema básico del funcionamiento del ensayo Sigmajig⁵⁹

⁵⁸ (ASM, International (s.f.) ASM HANDBOOK, VOLUME 6; Pág. 190)

⁵⁹ PALMAY, LLUGSI, CL (2010); Estudio de la Soldabilidad en Aceros de Alta Resistencia y Baja Aleación ASTM A572; Quito; EPN; Pág. 119)

5.1.4.10. Ensayo de cuña (fisuramiento en frío)

Análogamente al ensayo CTS, evalúa la susceptibilidad al fisuramiento por hidrógeno como función de la tasa de enfriamiento, con la diferencia de que este utiliza una muestra en forma de cuña. Siguiendo la deposición de un cordón desde el borde más delgado hasta el más ancho, este es seccionado longitudinalmente a lo largo de su línea central para revelar la ZAC. Las fisuras son medidas y equiparadas a tasas de enfriamiento basadas en el espesor.

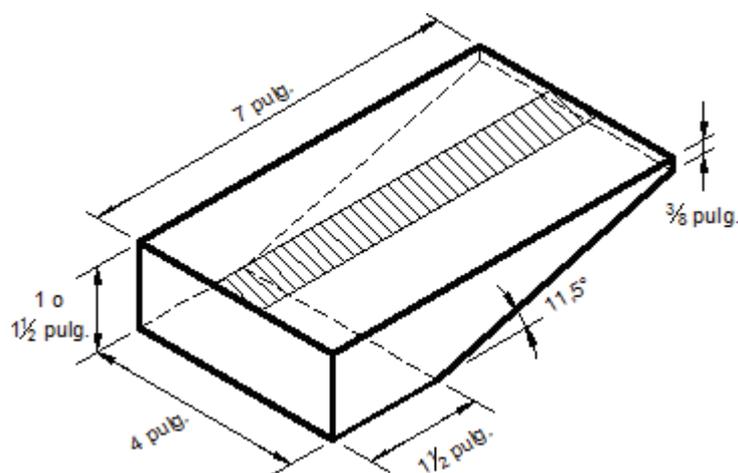


FIGURA 27: Ensayo de cuña⁶⁰

5.1.4.11. Ensayo Tekken (Fisuramiento en frío)

Este ensayo se encuentra estandarizado por la norma japonesa JIS Z 3158, Se extiende sobre el ensayo de restricción de Lehigh. Una junta en “Y” genera más restricción que juntas “U” o “doble U”. En este ensayo, se varía principalmente precalentamientos para alterar el estado de esfuerzos y evaluar la severidad de fisuramiento.⁶¹

⁶⁰ PALMAY, LLUGSI, CL (2010); Estudio de la Soldabilidad en Aceros de Alta Resistencia y Baja Aleación ASTM A572; Quito; EPN; Pág. 126)

⁶¹ PALMAY, LLUGSI, CL (2010); Estudio de la Soldabilidad en Aceros de Alta Resistencia y Baja Aleación ASTM A572; Quito; EPN; Pág. 126)

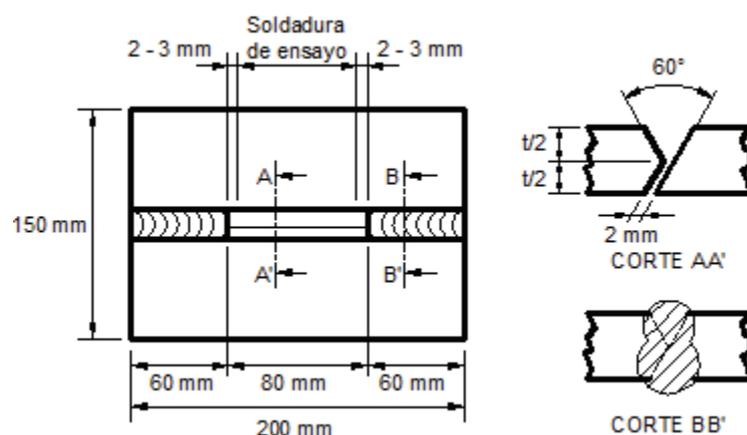


FIGURA 28: Ensayo Tekken ⁶²

5.1.4.12. Ensayo gapped bead-on-plate, G-BOP (Fisuramiento en frío)

La susceptibilidad al fisuramiento del metal soldado como función de la composición química, precalentamiento, tasa de enfriamiento, y nivel de hidrógeno medido, pueden ser estudiados mediante el ensayo G-BOP. En este ensayo, sobre dos placas con una ranura maquinada se deposita un cordón de soldadura que atraviesa transversalmente las placas y la ranura, el cordón es realizado mientras las placas son prensadas entre sí como se observa en la (Figura 29), las placas soldadas son mantenidas en este arreglo durante 24 horas, posteriormente son removidas y dejadas otras 24 horas en espera de posible formación de fisuras. Posteriormente, en las cercanías a la ranura son calentadas mediante flama hasta alcanzar la coloración rojiza (dull-red heat). Después de permitir el enfriamiento a temperatura ambiente, el cordón es abierto para revelar algún fisuramiento en frío por la termocoloración debida al calentamiento con flama. Los Resultados son analizados estadísticamente para determinar los parámetros adecuados para minimizar el fisuramiento en frío.

⁶² (AWS B4.0M 2000; An American National Standards; Stándar Methods for Mechanical Testing of Welds, Miami; Pág. 43).

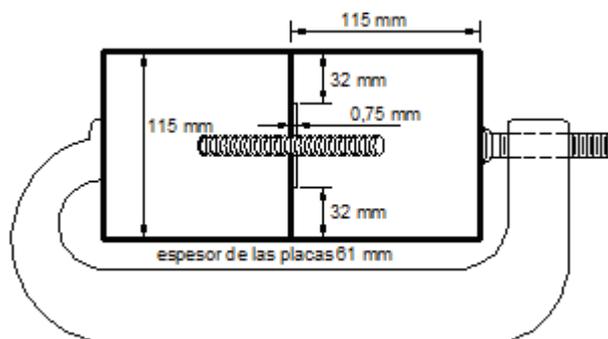


FIGURA 29: Esquema del ensayo G-BOP ⁶³

5.1.4.13. Ensayo cruciforme (fisuramiento en frío)

Este ensayo usa tres placas dispuestas en la configuración de doble “T” mostrada en la (Figura 30) sujetas en sus extremos por dos cordones de anclaje. Se depositan cuatro cordones de ensayo con enfriamiento completo entre pases en el orden mostrado en la figura, la muestra es mantenida a temperatura ambiente por un lapso no menor a 48 horas antes de recibir un tratamiento de alivio de esfuerzos a aproximadamente 620°C durante dos horas. El fisuramiento es evaluado de muestras metalográficas tomadas de secciones transversales de los cuatro pases. Debido a la sensibilidad en la preparación de las probetas, se realizan de cinco a diez ensayos. ⁶⁴

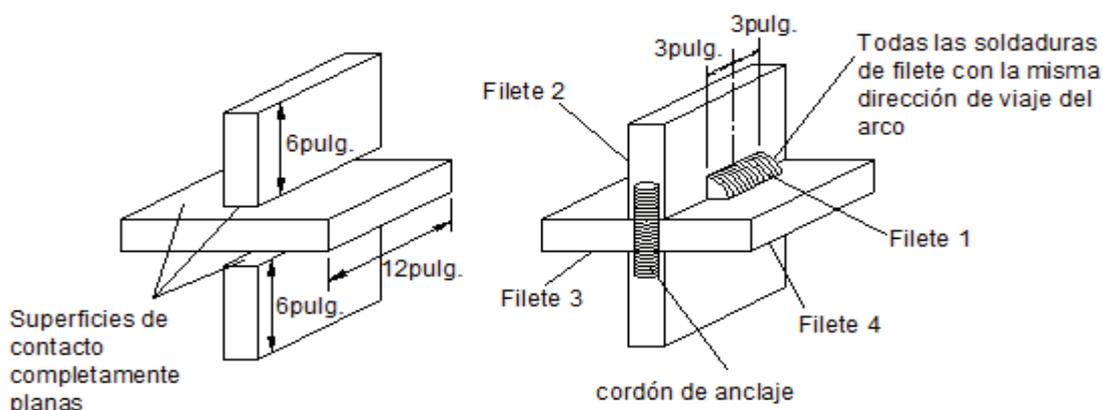


FIGURA 30 Ensayo cruciforme⁶⁵

⁶³ PALMAY, LLUGSI, CL (2010); Estudio de la Soldabilidad en Aceros de Alta Resistencia y Baja Aleación ASTM A572; Quito; EPN; Pág. 127)

⁶⁴ (ASM, International (s.f.) ASM HANDBOOK, VOLUME 6; Pág. 191)

⁶⁵ PALMAY, LLUGSI, CL (2010); Estudio de la Soldabilidad en Aceros de Alta Resistencia y Baja Aleación ASTM A572; Quito; EPN; Pág. 129)

5.1.4.14. Ensayo de ranura espiral (Fisuramiento en caliente)

En la probeta (Figura 40) maquinada con una ranura espiral que atraviesa completamente la ZAC de una soldadura (real o simulada), este ensayo puede evaluar simultáneamente la susceptibilidad al fisuramiento por recalentamiento en todas las regiones afectadas térmicamente. La muestra es sometida bajo carga de tracción a 625°C por una hora y mantenida a esta temperatura hasta que se produzca la ruptura. Se registra el tiempo de ruptura, y la longitud total de la muestra, también la superficie de fractura se examina para determinar el modo de fractura. Normalmente, la muestra es seccionada longitudinalmente para determinar la ubicación precisa de la fractura dentro de la ZAC.⁶⁶

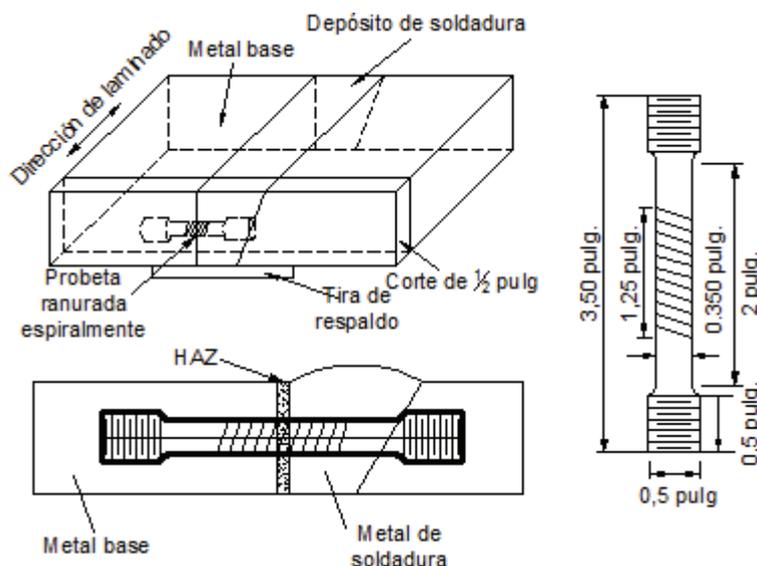


FIGURA 31: Ensayo de ranura espiral⁶⁷

5.1.4.15. Ensayo en cantiléver de desgarre laminar de Lehigh (Desgarre laminar)

Este ensayo, emplea varios pases de soldadura en una ranura en “V” entre la placa vertical de prueba y una viga horizontal sujeta estrictamente. El extremo

⁶⁶ PALMAY, LLUGSI, CL (2010); Estudio de la Soldabilidad en Aceros de Alta Resistencia y Baja Aleación ASTM A572; Quito; EPN; Pág. 129)

⁶⁷ (PALMAY, LLUGSI, CL (2010); Estudio de la Soldabilidad en Aceros de Alta Resistencia y Baja Aleación ASTM A572; Quito; EPN; Pág. 129)

libre del elemento horizontal es sometido a una carga vertical aplicada sobre este, de modo que la región recientemente soldada tensiona la placa de prueba que tiende a abrir cualquier incipiente fisuramiento. Esquema de ensayo en (Figura 32).

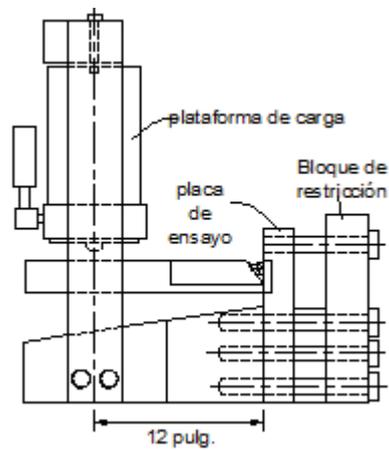


FIGURA 32: *Ensayo en cantiléver de desgarre laminar* ⁶⁸

⁶⁸ (PALMAY, LLUGSI, CL (2010); Estudio de la Soldabilidad en Aceros de Alta Resistencia y Baja Aleación ASTM A572; Quito; EPN; Pág. 129)

CAPITULO 6

6. ENSAYOS Y PRUEBAS, ELABORACIÓN WPS

6.1. Ensayos no destructivos.

6.1.1. Introducción

Los Ensayos No Destructivos (END) es un disciplina tecnológica importante y necesaria en la actividad diaria de los Ingenieros y Técnicos, que estén involucrados en la producción y/o en el mantenimiento de la industria Metalmeccánica especialmente; aunque en las otras ramas de la producción industrial (Textil, automotriz, etc) también estos métodos de END pueden eventualmente, ser de suma utilidad. En general las personas que estén relacionadas con la responsabilidad de la calidad de la producción industrial y de la seguridad de equipo y materiales deben tener conocimientos de END.

Es fundamental entonces que los END sean aprendidos en los Colegios Técnicos y en la Universidades Técnicas, de la forma sistemática y formal para conocer las aplicaciones y limitaciones de cada uno de los diferentes métodos de inspección que a lo largo del tiempo se han ido desarrollando (más o menos en forma anárquica) de acuerdo a las necesidades que se fueron presentando por el desarrollo industrial y tecnológico del mundo. Los directivos empresariales deben tener conocer de los alcances, posibilidades y limitaciones de los END, pues estos alteran el valor de los productos o de los servicios que se realizan.

6.1.2. Definición y Alcance

Los Ensayos No Destructivos (END), son métodos de ensayo que permiten detectar y evaluar discontinuidades, que influyen en la estructura o propiedades de los materiales, componentes o piezas sin modificar sus condiciones de uso o aptitud de servicio. Esta disciplina tecnológica tiene por objeto:

- Asegurar calidad y confiabilidad
- Prevenir accidentes

- Producir beneficios económicos
- Contribuir al buen desarrollo de la ciencia de los materiales

Los END son ampliamente usados en la industria, y son completamente aplicable al control de la calidad industrial en donde se debe cuidar que los productos se mantengan dentro de los patrones de calidad. Adicionalmente estos ensayos permiten la realimentación de la información en el mismo proceso productivo para efectuar las correcciones necesarias y asegurar así la calidad del producto, esta idea abre futuras y amplias perspectivas para los END. En la construcción de las plantas industriales (montaje) estos procedimientos de evaluación son de gran aplicación, pues permiten ir evaluando continuamente la obra y realizando las reparaciones pertinentes (soldadura por ejemplo) para garantizar un buen desempeño y evitar futuras fallas catastróficos.

6.1.3. Clasificación de los Ensayos No Destructivos.

Los END son la aplicación práctica del conocimiento técnico científico logrados en el campo de la física y de las demás ciencias naturales, para la detección y evaluación de discontinuidad y fallas de los materiales pero también se pueden llegar a estudiar la composición y las variaciones mismas de la estructura de los materiales usados en ingeniería.

Los END pueden ser agrupados en función del campo de energía o medios de prueba utilizada de la siguiente manera:

1. Métodos basados en la aplicación de Radiaciones Penetrantes
 - 1.1. Radiografía (Rayos X)
 - 1.2. Xerografía (Copias)
 - 1.3. Gammagrafía (Rayos Gamma)
 - 1.4. Neurografía (Humano)
2. Métodos basados en vibraciones mecánicas
 - 2.1. Ultrasonidos
 - 2.2. Emisión Acuática
 - 2.3. Análisis de vibraciones
3. Métodos basados en electricidad y magnetismo
 - 3.1. Partículas magnetizables
 - 3.2. Corrientes parasitas de Eddy

- 3.3. Ensayos eléctricos
- 3.4. Magnetoscopia
- 4. Métodos Ópticos
 - 4.1. Examen visual (lente, espejos, endoscopios)
 - 4.2. Transmisión de imágenes
 - 4.3. Replicas
- 5. Métodos basados en energía térmica
 - 5.1. Termología (lápices térmicos)
 - 5.2. Métodos infrarrojos
- 6. Métodos basados en transporte de materia
 - 6.1. Líquidos penetrantes
 - 6.2. Exudación de gases
 - 6.3. Partículas filtradas
- 7. Métodos basados en energía mecánica
 - 7.1. Dureza mecánica (resistencia)
 - 7.2. Rugo simetría
 - 7.3. Extensómetros eléctricos (medidores de deformación)
 - 7.4. Lacas frágiles
 - 7.5. Fotoelasticidad

6.1.4. Principales Aplicaciones de los END.

Fundamentalmente estos ensayos se usan para detectar:

- a) Discontinuidades:
 - 1. Según su forma
 - 1.1. Planares
 - 1.2. Volumétricas
 - 2. Según su posición
 - 2.1. Superficiales
 - 2.2. Internas
 - 2.3. Sub-superficiales
- b) Composición de los materiales
 - Inhomogeneidades y segregación
 - Clasificación de materiales

- c) Propiedades físicas y mecánicas
 - Conductividad eléctrica
 - Conductividad térmica
 - Constantes elásticas
 - Dureza (Resistencia de ciertos materiales)

- d) Estructura interna
 - Estructura metalografía
 - Tamaños de grano
 - Acabado superficial
 - Detección de transformación de fase
 - Textura
 - Tensiones residuales

- e) Dimensiones y ubicación
 - Metrología
 - Espesores
 - Diámetros
 - Perfiles
 - Posición de componentes
 - Ubicación de Inserciones
 - Identificación dimensional

6.2. Radiografía Industrial

6.2.1. Introducción

“Dentro del desarrollo de los Ensayos No Destructivos en el País, es necesario de algunas forma definir una metodología de aprendizaje de la técnica, pues si bien es cierto que a nivel mundial se puede hallar las más diversa información sobre el tema, también se ve necesario que la enseñanza de la técnica se la realice de forma sencilla y sobre todo con la unificación de criterios , ya que de acuerdo a la procedencia de la información se puede apreciar ciertas tendencias sobre todo en el tratamiento de las normas y en último caso en la discusión de

los criterios de la aceptación o rechazo, sobre lo que existen escuelas claramente definidas. Se ha visto necesario la escritura de este texto por lo anotado, además de que en la Escuela Politécnica Nacional se ha dado un desarrollo de estas técnicas es precisamente en la Institución el sitio idóneo en donde se podrá apreciar su beneficio”.⁶⁹

6.2.2. La Radiografía Industrial y los Ensayos no Destructivos (END)

En el contexto global de los Ensayos No Destructivos, la Radiografía Industrial constituye tal vez el método de análisis idóneo para determinar un examen de tipo volumétrico de componentes, en lo referente a si es el más seguro de los exámenes volumétricos, es algo que no se ha definido completamente, ya que de acuerdo a sitio en el que se lo trate se establece su aplicación.

Existen dos tendencias definidas: la escuela europea que en cierta forma da gran importancia al examen por ultrasonido sin descartar el examen radiográfico, y la escuela americana que presenta una marcada tendencia hacia la Radiografía Industrial. Evidentemente tanto la Radiografía Industrial como el Ultrasonido Industrial, tienen sus ventajas y limitaciones que a la final podrían ser Determinantes en su selección.

La aplicación de los Ensayos No Destructivos y en particular de la Radiografía Industrial no se realiza de una manera independiente, sino que constituye parte de un contexto global que involucra una serie de especialidades y conocimientos básicos sobre los materiales y sobre la afectación de características y condición de los mismos, así por ejemplo los procesos de fabricación involucran necesariamente un cambio en las propiedades físicas, eléctricas, magnéticas, mecánicas, etc., además de la posibilidad de formación de defectos en el mismo proceso, o en servicio de las piezas o componentes que a la final constituyen la etapa final de los materiales. Dentro de los procesos de fabricación entre otros Podemos mencionar los siguientes: Soldadura, Fundición y Colado, Laminación, Trefilación, Forja, Tratamiento térmico, Maquinado y acabado superficial o volumétricos en el proceso o en servicio. En el caso del ensayo radiográfico, la aplicación importante va hacia la detección de defectos de tipo volumétrico en el

⁶⁹ (Escuela Politécnica Nacional Laboratorio de END , 2013; Pág. 25)

interior del material, ocasionados preferentemente por dos procesos soldadura y fundición.

6.2.3. Defectos en Soldadura.

De acuerdo a la clasificación hecha por el Instituto Internacional de Soldadura, los defectos se han dividido en seis grupos:

- Fisuras
- Cavidades
- Inclusiones sólidas
- Falta de fusión y de penetración
- Defectos de forma
- Defectos varios no incluidos en los grupos anteriores.

6.2.3.1. Fisuras

Discontinuidades producidas por roturas locales, que pueden ser provocadas por enfriamiento o tensiones. Cuando la fisura tiene dimensiones microscópicas, recibe el nombre de microfisura.

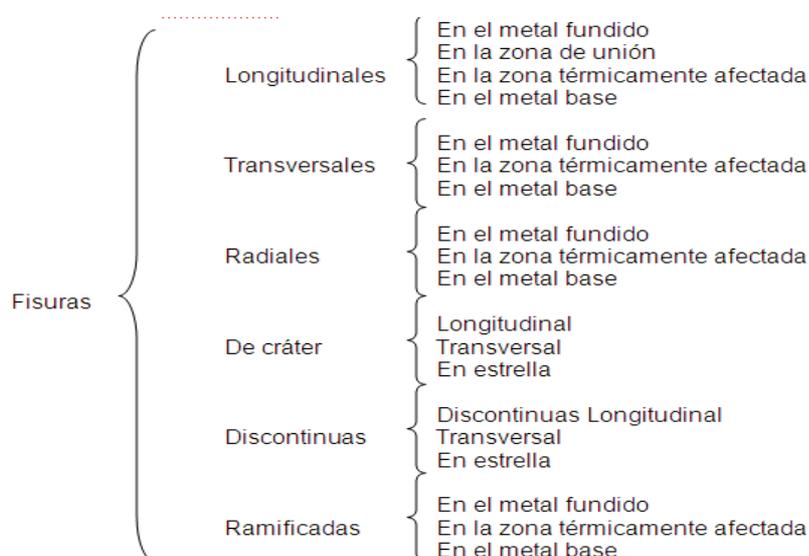


FIGURA 33: Esquema fisuras⁷⁰

6.2.3.2. Cavidades

⁷⁰ (Escuela Politécnica Nacional Laboratorio de END , 2013; Pág. 26)

Son discontinuidades conocidas también como sopladuras, ya que son inclusiones gaseosas, en otras palabras carencia de material.

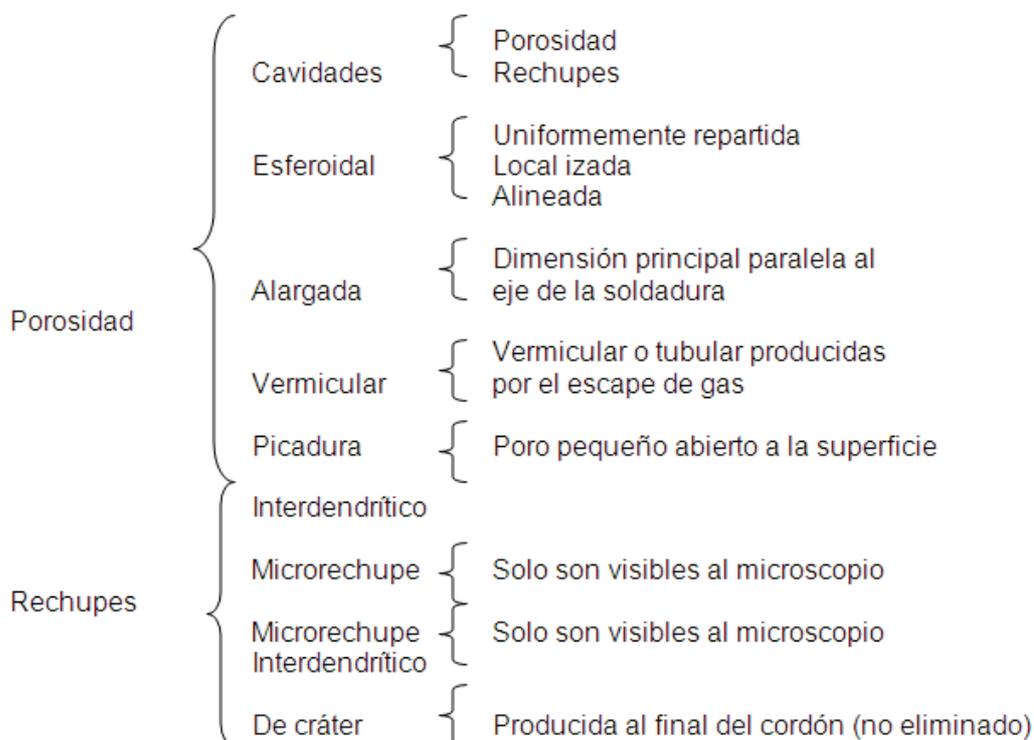


FIGURA 34: Esquemas porosidades y rechupes⁷¹

6.2.3.3. Inclusiones solidas

Son materias solidas extrañas aprisionadas en el metal fundido.



⁷¹ (Escuela Politécnica Nacional Laboratorio de END , 2013; Pág. 27)

Mordeduras	{	De borde superior De borde entre pasadas De raíz
Sobre espesor	{	Exceso de material en las pasadas finales
Convexidad Excesiva	{	En soldadura en ángulo con perfil exageradamente convexo
Exceso de Penetración	{	Exceso de metal en la raíz (des coladura)
Goterón	{	Exceso de penetración localizada
Angulo de Sobre espesor	{	Bordes del cordón con ángulo muy acantilado o muy vertical
Desbordamiento (Solape)	{	Exceso de metal depositado que se solapa
Mala alineación	{	Diferencia de nivel entre 2 piezas

FIGURA 37: Esquema forma defectuosa⁷²

Deformación Angular	{	Angulo diferente al previsto
Hundimiento	{	Hundimiento de cornisa vertical Hundimiento en posición plana o en techo Hundimiento en rincón Hundimiento en solape
Hueco	{	Perforación en el baño de fusión
Falta de espesor	{	Insuficiencia de material
Mala simetría	{	Desigualdad en los catetos del triángulo que forma la soldadura
Ancho irregular del cordón	{	Superficie irregular
Rechupe de Raíz	{	Contracción inferior del metal fundido
Quemado	{	Formación esponjosa en la raíz de la soldadura
Empalme defectuoso	{	Entre dos cordones terminal y comienzo

FIGURA 38: Esquema forma defectuosa⁷³

⁷² (Escuela Politécnica Nacional Laboratorio de END , 2013; Pág. 130)

⁷³ (Escuela Politécnica Nacional Laboratorio de END , 2013; Pág. 131)

6.2.3.6. Defectos varios

- Corte del arco
- Mordedura accidental
- Proyección
- Salpicaduras
- Proyección de W
- Depósito de W
- Desgarre local
- Daño del metal base al retirar las sujeciones
- Marcas

$$\text{Marcas} \left\{ \begin{array}{l} \text{De amolado} \\ \text{Burilado} \\ \text{Amolado excesivo (bajo espesor)} \end{array} \right.$$

FIGURA 39: Esquema Marcas, defectos varios.

6.3.Elaboración WPS

Es un documento que relaciona las variables a considerar en la realización de una soldadura específica, determina la ejecución de las pruebas de calificación tanto de proceso y procedimiento como del operario de soldadura.

Se debe considerar los siguientes elementos para seleccionar y elaborar un WPS:

- Compatibilidad entre el metal de aporte en la soldadura y los metales base seleccionados.
- Diseños de juntas y cargas.
- Propiedades mecánicas deseadas.
- Requerimientos de servicio a que va a someterse el equipo o elemento.
- Requerimientos de tratamiento térmico.
- Habilidad y disponibilidad de los soldadores.
- Disponibilidad de los equipos.
- Economía (Costo, Tiempo)⁷⁴

⁷⁴ (<http://www.slideshare.net/DiegoMartinez/actividad-3-22560208>, s.f.)

Entonces para la presente tesis se tomará como referencia los factores citados previamente.

6.3.1. Elaboración WPS, Ensayo TEKKEN

Para la elaboración del WPS primero se debe de identificar de forma clara, los elementos que componen este documento. Y como se los ubica según los parámetros citados en la sección (6.3)

6.3.1.1. Compatibilidad entre el metal de aporte en la soldadura y los metales base seleccionados.

En este aspecto se considera que los aceros dulces como los que se van a ensayar (Aceros ASTM A36, A 588 Gr-B y A 572 Gr 50) deben tener afinidad para combinarse con materiales de aporte especificados para el proceso FCAW. Y esto se cumple con todos los electrodos dispuestos para este tipo de soldadura. Por lo que a continuación se cita los electrodos más comunes y se evaluarán sus características en función del presente estudio.

AWS E71T-1

AWS E70T-5M

AWS E70T-1M

AWS E71T-GS

AWS E71T-10

AWS E71T-11

AWS E71T-1/1M

AWS E70T-1

AWS E70C-3C

AWS E80T1-Ni1

AWS E81T1-Ni1

AWS E81T1-Ni2

AWS E81T1-W2

AWS E71T-1/9J

AWS E80T1-K2

AWS E81T1-K2

CRITERIOS:

1. Tomando como referencia de que se va a tener una resistencia máxima de 70000 psi que vendría siendo una resistencia común en la fabricación de estructuras metálicas . Entonces los de la serie de 80000 psi no se les utilizarían.
2. Se quiere evaluar un electrodo funcional que sea capaz de funcionar en todas las posiciones de soldadura por lo que se utilizará un electrodo cuyo tercer sufijo sea el número 1 que indica que sirve para soldar en todas las posiciones, por lo que se reducen las opciones de entre los electrodos más comunes utilizados en el método FCAW.
3. En el caso de esta tesis se quiere tener acabados de buena calidad, y como se conoce esto se podría obtener dando una protección adicional que se la daría con un gas de protección para el presente estudio se utilizaría CO₂. El electrodo que se debe utilizar es de la serie *T-1*, este electrodo es para utilizar gas de protección además de ser bueno en soldaduras que se van a realizar varias pasadas como es el caso del presente estudio.

Dando como resultado que el electrodo E71T-1C sea la mejor elección en el presente estudio.

TABLA 10: Composición Típica Química del electrodo E71T-1C⁷⁵

Típica Composición Química del Metal de Aporte (E71T-1C)					
Escudo de Gas	C	Si	Mn	P	S
CO ₂	0.04	0.45	1.3	0.015	0.012

Es importante el punto de haber escogido el electrodo, porque el fabricante en base a la experiencia recomienda; polaridad, corriente, voltaje, etc. Que sirve como referencia y puede ser utilizado en el WPS. (Figura 40, detalle de electrodo)

El producto EXATUB E71T-1 es un alambre tubular para aplicarse en toda posición, diseñada para trabajar con CO₂ como gas protector. El EXATUB E71T-1 en comparación con alambres tubulares auto protegidos genera un menor nivel de humos y brinda buenas propiedades frente a la resistencia al impacto a bajas temperaturas. El cordón de soldadura presenta una buena apariencia y la remoción de escoria es fácil.

Clasificación	
AWS A5.20 / ASME SFA-5.20	E71T-1C

Análisis Químico de Metal Depositado (valores típicos) [%]

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0,05	1,4	0,52	0,013	0,011	-	-	-	-	-

Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

Resistencia a la Tracción [MPa {psi}]	Limite de Fluencia [MPa {psi}]	Elongación en 2" [%]	Energía Absorbida (50-V {-20°C}) [J]
min. 579 (83 900)	min. 529 (76 700)	min. 30	100

Conservación del Producto	Posiciones de Soldadura
<ul style="list-style-type: none"> Mantenerse seco y evitar humedad. 	P, H, Sc, Va.

Parámetros de Soldado Recomendados

Díámetro [mm]	1,20	1,60
Polaridad	Corriente continua electrodo al positivo {DCEP}	
Amperaje [A]	140 - 320	200 - 390
Voltaje [V]	22 - 35	25 - 36
Stick out [mm]	15 - 25	
Flujo de Gas [l/min]	15 - 25	

Aplicaciones

- El alambre EXATUB E71T-1 es ideal para realizar soldadura en un solo pase y/o multipase sobre aceros de media carbono y aceros de baja aleación.
- Dentro de sus aplicaciones es muy usada para la soldadura de fabricación y reparación en astilleros, tanques de almacenamiento, fabricaciones estructurales (vigas, torres, tubos, tanques, etc.), tendidos de tuberías (piping), mineras y equipos de movimiento de tierra en general, etc.

FIGURA 40: Ficha Técnica del Electrodo E71T-1C Entregado por el proveedor.⁷⁶

6.3.1.2. Diseños de juntas y cargas.

Previamente ya se había elegido un proceso de soldabilidad, (ENSAYO TEKKEN, Según Norma AWS B4.0M-2000). El mismo que indica cómo se deben hacer las juntas para el ensayo con dimensiones y características por tramos.

⁷⁶ (LINCOLN; Catálogo de Electrodo; Pág 16)

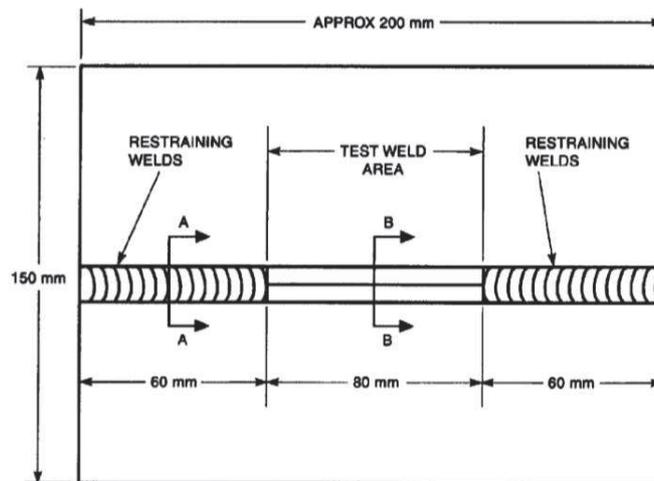


FIGURA 41: Cordón de soldadura para ensayo de soldabilidad TEKKEW⁷⁷

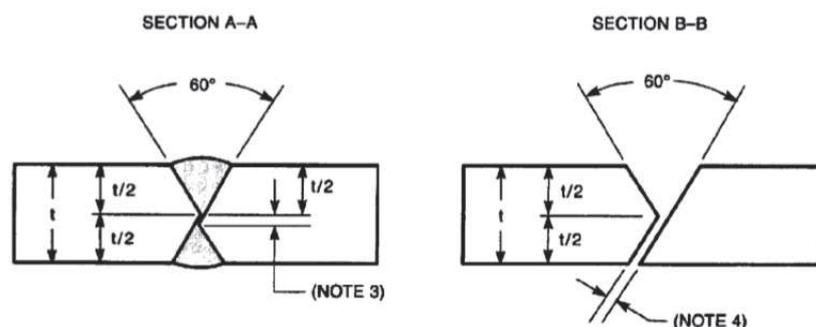


FIGURA 42; Detalle de junta para ensayo de soldabilidad TEKKEW⁷⁸

6.3.1.3. Propiedades mecánicas deseadas.

En la presente tesis la propiedad que se tomará como referencia es la resistencia a la tensión. Y para seleccionar el valor de resistencia a la tensión se toma un valor promedio de los tres tipos de acero que se van a estudiar. Y el metal de aporte se considera que debe tener una resistencia similar o mayor.

Resistencia a la tensión Acero ASTM A36= (58 a 80) Ksi

Resistencia a la tensión Acero ASTM A572 Grado 50= 50 Ksi

Resistencia a la tensión Acero ASTM A588 Grado B= 70 Ksi

Resistencia a la tensión elegida = 70 Ksi

77 (AWS B4.0M 2000; An American National Standards; Standard Methods for Mechanical Testing of Welds, Miami; Pág 92).

78 (AWS B4.0M 2000; An American National Standards; Standard Methods for Mechanical Testing of Welds, Miami; Pág 92).

6.3.1.4. Requerimientos de servicio a que va a someterse el equipo o elemento.

El requerimiento de servicio en este caso es la investigación, por lo que no se toma en cuenta las solicitudes ni esfuerzos que se le pudiera someter a la junta soldada.

6.3.1.5. Requerimientos de tratamiento térmico.

El proceso de precalentamiento se hace en función de los cálculos y tablas detalladas en la **sección: 7.1.3.2.1.1**

6.3.1.6. Habilidad y disponibilidad de los soldadores.

Criterios de elección de soldador:

- Experiencia
- Disponibilidad
- Habilidad
- Calificación (Soldador API)

En la Escuela Politécnica Nacional una de las personas que cumple con las características antes citadas es el *Sr. César Arguello*, ayudante del laboratorio de soldadura de la Facultad de Ingeniería Mecánica.

Entonces se pide al *Sr. César Arguello* que preste sus servicios y aporte con su experiencia en el presente estudio.

6.3.1.7. Disponibilidad de los equipos.

En la Escuela Politécnica Nacional el laboratorio de soldadura de la Facultad de Ingeniería Mecánica. Posee un equipo para el proceso FCAW de marca ESAB Modelo Smashweld 316 Topifex. El mismo que es utilizado en las prácticas de laboratorio.

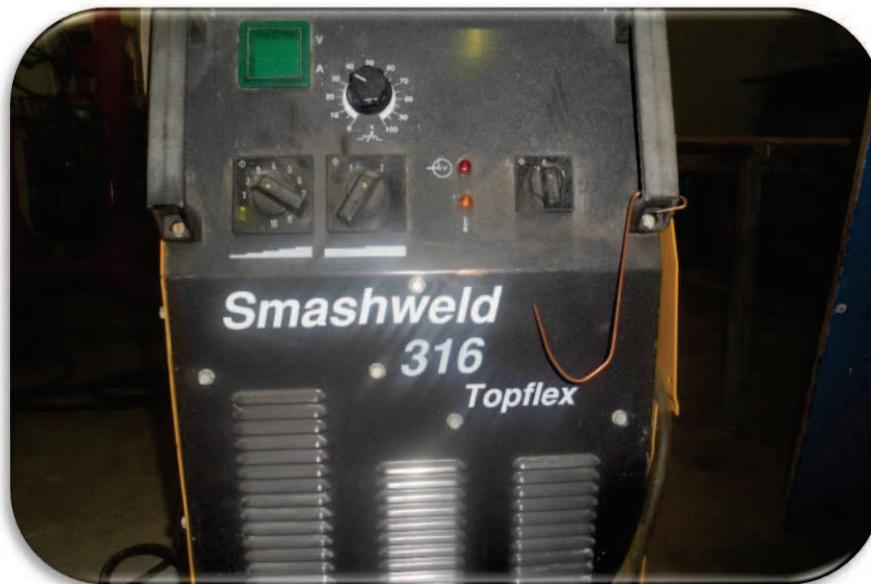


FIGURA 43: Equipo de soldadura para proceso de soldadura FCAW, Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional.

Los datos de placa son los que indican valores en los cuales funciona la máquina y que se podría usar. En este caso utilizando factores de eficiencia, de seguridad y recomendaciones del fabricante se elige datos para los respectivos WPS.

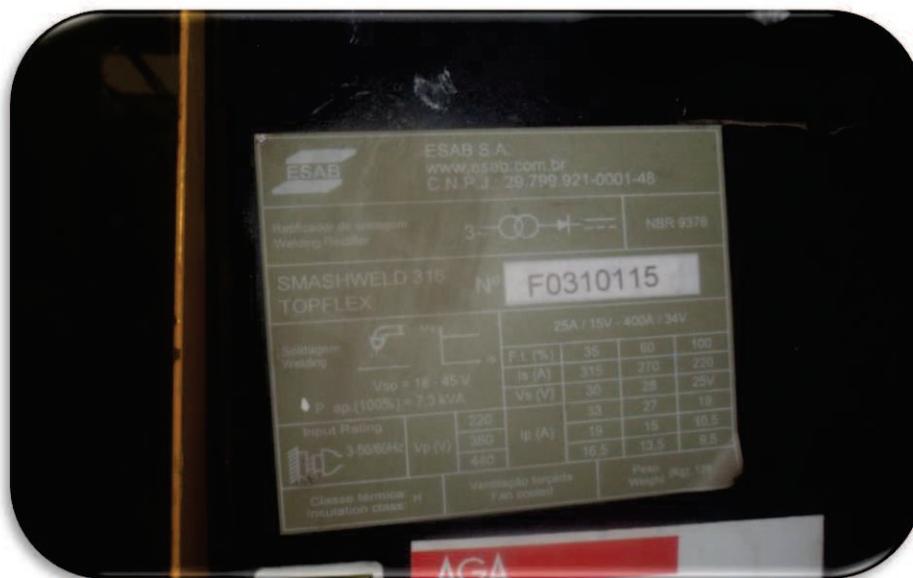


FIGURA 44: Datos de placa Equipo de soldadura para proceso de soldadura FCAW, Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional.

6.3.1.8. Economía (Costo, Tiempo).

A continuación se hace un desglose de actividades y precios unitarios para la soldadura y ensayo de soldabilidad TEKKEN.

TABLA11: Análisis y precios unitarios para la soldadura con el método FCAW en el ensayo TEKKEN.

ANALISIS DE COSTOS PARA FABRICACIÓN DE JUNTAS SOLDADAS SEGÚN PROCESO					ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
FCAW ENSAYO TEKKEN									
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total	Equipo	Material	Mano de Obra	Indirectos	Total
Preparación de equipos para ensayo TEKKEN	Global	1	25,3	25,3	10	5	8	2,3	25,3
Pre calentamiento de placas	Global	3	27,5	82,5	15	2	8	2,5	27,5
Soldadura de restricción	Global	3	71,5	214,5	25	20	20	6,5	71,5
Soldadura FCAW	Global	3	111,1	333,3	35	30	36	10,1	111,1
			TOTAL	655,6					

Una vez hecho el estudio y el análisis se procede hacer los respectivos WPS para cada tipo de acero, y en este caso el WPS para ensayo TEKKEN o Y.GROOVE (ANEXO 3, ANEXO 4, ANEXO 5, ANEXO 6, ANEXO 7 Y ANEXO 8).

6.3.2. Elaboración WPS, Ensayo VARESTRAINT.

La elaboración del WPS para el ensayo VARESTRAINT es diferente al preparado en el ensayo TEKKEN, ya que en este proceso:

- No se necesita juntas ya que se suelda una viga en voladizo aplicando una fuerza tangencial al extremo de la viga.
- No es necesario proceso de pre calentamiento en las placas porque haciendo cálculos y revisando tablas se concluye que ninguna de las placas necesita tener una temperatura de pre calentamiento.
- La norma pide hacer una sola pasada para el cordón de soldadura por lo que no es necesario hacer varios pases de soldadura.

En función de lo anteriormente citado se establece los parámetros a seguir en la soldadura con el proceso FCAW para el ensayo de soldabilidad VARESTRAINT.

6.3.2.1. Compatibilidad entre el metal de aporte en la soldadura y los metales base seleccionados.

Aplica mismo **criterio 6.3.1.1** con la variable de que los porcentajes de carbono varían en pequeños porcentajes, de acuerdo a la colada de fundición de la que provenga.

6.3.2.2. Diseños de juntas y cargas.

No aplica

6.3.2.3. Propiedades mecánicas deseadas.

Las propiedades mecánicas al igual que en el ensayo TEKKEN se asume una resistencia similar a la resistencia de las propiedades mecánicas del acero a ser ensayado.

6.3.2.4. Requerimientos de servicio a que va a someterse el equipo o elemento.

El requerimiento de servicio en este caso es la investigación, por lo que no se toma en cuenta las solicitudes ni esfuerzos que se le pudiera someter al cordón de soldadura.

6.3.2.5. Requerimientos de tratamiento térmico.

El espesor de la probeta es relativamente bajo por lo que en función de los cálculos y revisión en tablas, no es necesario utilizar una temperatura de precalentamiento.

6.3.2.6. Habilidad y disponibilidad de los soldadores.

Criterios de elección de soldador:

- Experiencia
- Disponibilidad
- Habilidad
- Calificación (Soldador API)

En la Escuela Politécnica Nacional una de las personas que cumple con las características antes citadas es el *Sr. César Arguello*, ayudante del laboratorio de soldadura de la Facultad de Ingeniería Mecánica.

Entonces se pide al *Sr. César Arguello* que preste sus servicios y aporte con su experiencia en el presente estudio.

6.3.2.7. Disponibilidad de los equipos.

Aplica el mismo criterio del (**Punto 6.3.1.7**) por ser el mismo equipo que se va a utilizar.

6.3.2.8. Economía (Costo, Tiempo).

TABLA12: *Análisis y precios unitarios para la soldadura con el método FCAW en el ensayo VARESTRAINT*

ANALISIS DE COSTOS PARA FABRICACIÓN DE JUNTAS SOLDADAS SEGÚN PROCESO					ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
FCAW ENSAYO VARESTRAINT									
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total	Equipo	Material	Mano de Obra	Indirectos	Total
Preparación de equipos para ensayo VARESTRAINT	Global	1	55	55	15	20	15	5	55
Pre calentamiento de placas	Global	0	27,5	0	15	2	8	2,5	27,5
Soldadura de restricción	Global	0	71,5	0	25	20	20	6,5	71,5
Soldadura FCAW	Global	3	111,1	333,3	35	30	36	10,1	111,1
			TOTAL	388,3					

En función del análisis hecho se hace los WPS para cada acero y el ensayo VARESTRAINT (ANEXO 9, ANEXO 10 y ANEXO 11).

CAPITULO 7.

7. ANÁLISIS COMPARATIVO

7.1. Recopilación de datos.

7.1.1. Introducción

El análisis de este capítulo empieza con el detalle de las soldaduras en cada uno de los materiales propuestos, y tipos de soldabilidad que se utilizarán para poder hacer un análisis y comparar la junta soldada.

7.1.2. Materiales Utilizados para el Ensayo

7.1.2.1. Acero ASTM A-36

El acero suave es el tipo más común de acero utilizado en la construcción, la manufactura y muchas otras industrias. De los aceros al carbono, el acero **ASTM A36** es una de las variedades más comunes en parte debido a su bajo costo. Ofrece una excelente resistencia y fuerza para un acero bajo en carbono y aleación. Las propiedades mecánicas en función de la forma material base y composición química son proporcionadas por la organización ASTM INTERNATIONAL.

TABLA 13: Resistencia a la Tracción acero ASTM A 36.⁷⁹

Plates, Shapes, ^B and Bars:	
Tensile strength, ksi [MPa]	58–80 [400–550]
Yield point, min, ksi [MPa]	36 [250] ^C
Plates and Bars: ^{D,E}	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	23
Shapes:	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	21 ^B

⁷⁹ (AMERICAN WELDING SOCIETY A.W.S., 6ta Edición, sección 2)

TABLA14: Composición Química en función de forma y espesores Acero A 36.⁸⁰

Product	Shapes ^A	Plates ^B					Bars ^B			
Thickness, in. [mm]	All	To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 2½ [40 to 65], incl	Over 2½ to 4 [65 to 100], incl	Over 4 [100]	To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 4 [100], incl	Over 4 [100]
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
Manganese, %	...	...	0.80-1.20	0.80-1.20	0.85-1.20	0.85-1.20	...	0.60-0.90	0.60-0.90	0.60-0.90
Phosphorus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15-0.40	0.15-0.40	0.15-0.40	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.40 max
Copper, min, % when copper steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

7.1.2.2. Acero ASTM A-572 Grado 50

Las placas de acero de alta resistencia / baja aleación poseen mayor resistencia que las placas tradicionales de acero al carbón, además de contar con gran ductilidad, facilidad de rolado y soldado, dureza y resistencia a la fatiga. Estas placas de acero pueden reducir sustancialmente los costos de producción al dotar la resistencia requerida con un peso mucho menor.

El acero A572 GR 50 es una Especificación Normalizada para Acero Estructural de Alta Resistencia de Baja Aleación de Columbio-Vanadio. Este acero es utilizado en aplicaciones, tales como construcción electrosoldada de estructuras en general o puentes, donde la tenacidad en las entalladuras es importante, los requisitos asociados con esta propiedad debido a la variedad de grados que contempla este tipo de acero se debe aplicar el grado de acero según la necesidad.

⁸⁰ (AMERICAN WELDING SOCIETY A.W.S., 6ta Edición, sección 2)

TABLA15: Tabla resistencia última a la tracción (*S_{ut}*) acero ASTM A 572 Grado-50. En función del espesor⁸¹

Grade	Yield Point, min		Maximum Thickness or Size					
	ksi	[MPa]	Plates and Bars		Structural Shape Flange or Leg Thickness		Sheet Piling	Zees and Rolled Tees
			in.	[mm]	in.	[mm]		
42 [290] ^A	42	[290]	6	[150]	all	all	all	all
50 [345] ^A	50	[345]	4 ^B	[100] ^D	all	all	all	all
55 [380]	55	[380]	2	[50]	all	all	all	all
60 [415] ^A	60	[415]	1¼ ^C	[32] ^C	2	[50]	all	all
65 [450]	65	[450]	1¼	[32]	2	[50]	not available	all

TABLA16: Composición Química en función de forma y espesores Acero A 572 Grado-50.⁸²

Diameter, Thickness, or Distance Between Parallel Faces, in. [mm] Plates and Bars	Structural Shape Flange or Leg Thickness, in. [mm]	Grade	Carbon, max. %	Manganese, ^B max. %	Phosphorus, max. %	Sulfur, max. %	Silicon	
							Plates to 1½ in. [40 mm] Thick, Shapes with Flange or Leg Thickness to 3 in. [75 mm] inclusive, Sheet Piling, Bars, Zees, and Rolled Tees ^C	Plates Over 1½ in. [40 mm] Thick and Shapes with Flange Thickness Over 3 in. [75 mm]
6 [150]	all	42 [290]	0.21	1.35 ^D	0.04	0.05	0.40	0.15-0.40
4 [100] ^E	all	50 [345]	0.23	1.35 ^D	0.04	0.05	0.40	0.15-0.40
2 [50] ^F	all	55 [380]	0.25	1.35 ^D	0.04	0.05	0.40	0.15-0.40
1¼ [32] ^F	≤2 [50]	60 [415]	0.26	1.35 ^D	0.04	0.05	0.40	G
>½ - 1¼ [13-32]	>1-2 [25-50]	65 [450]	0.23	1.65	0.04	0.05	0.40	G
≤½ [13] ^H	≤ 1 ^H	65 [450]	0.26	1.35	0.04	0.05	0.40	G

7.1.2.3. Acero ASTM A-588 Grado B

El acero A 588. Grado B es un acero de alta resistencia y baja aleación. Este acero es utilizado en aplicaciones, tales como construcción electrosoldada de estructuras en general o puentes, la diferencia más importante entre este tipo de acero A 588 Grado B y el acero A572-Grado 50, es que el acero A 588 tiene una mejor resistencia a la corrosión, lo que lo vuelve un acero de gran utilidad en estructuras que están expuestas al medio ambiente y por ende a ambientes corrosivos.

⁸¹ (AMERICAN WELDING SOCIETY A.W.S., 6ta Edición, sección 2)

⁸² (AMERICAN WELDING SOCIETY A.W.S., 6ta Edición, sección 2)

TABLA17: Resistencia a la Tracción acero ASTM A 588 Grado-A.⁸³

NOTE 1—Where “. . .” appears in this table, there is no requirement.

	Plates and Bars			Structural Shapes
	For Thick- nesses 4 in. [100 mm] and Under	For Thick- nesses Over 4 in. [100 mm]	For Thick- nesses Over 5 in. [125 mm]	All
		to 5 in. [125 mm] incl	to 8 in. [200 mm] incl	
Tensile strength, min, ksi [MPa]	70 [485]	67 [460]	63 [435]	70 [485]
Yield point, min, ksi [MPa]	50 [345]	46 [315]	42 [290]	50 [345]
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	18 ^{B,C}	...	...	18 ^C
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	21 ^{B,C}	21 ^{B,C}	21 ^{B,C}	21 ^D

Nota: Como se observa en la tabla las propiedades mecánicas no son función del grado del acero sino de la forma y el **espesor**.

TABLA18: Composición Química en función de forma y espesores Acero A 588 Grado-A.⁸⁴

NOTE 1—Where “. . .” appears in this table, there is no requirement.

Element	Composition, %		
	Grade A	Grade B	Grade K
Carbon ^A	0.19 max	0.20 max	0.17 max
Manganese ^A	0.80–1.25	0.75–1.35	0.50–1.20
Phosphorus	0.04 max	0.04 max	0.04 max
Sulfur	0.05 max	0.05 max	0.05 max
Silicon	0.30–0.65	0.15–0.50	0.25–0.50
Nickel	0.40 max	0.50 max	0.40 max
Chromium	0.40–0.65	0.40–0.70	0.40–0.70
Molybdenum	...	...	0.10 max
Copper	0.25–0.40	0.20–0.40	0.30–0.50
Vanadium	0.02–0.10	0.01–0.10	...
Columbium	...	...	0.005–0.05 ^B

⁸³ (AMERICAN WELDING SOCIETY A.W.S., 6ta Edición, sección 2)

⁸⁴ (AMERICAN WELDING SOCIETY A.W.S., 6ta Edición, sección 2)

7.1.3. Ensayos de Soldabilidad

7.1.3.1. Ensayo VARESTRAINT

7.1.3.1.1. Mecanizado de Metal Base

En el caso del ensayo VARESTRAINT se tiene las probetas de la medida como pide la norma AWS_B4.0M-2000_Standard_Methods_for_Mechanical_Testing_of_Welds (adjunto). Por lo que al metal base se lo solicita al proveedor con medidas exactas con las probetas listas para ensayar,



FIGURA 45 : Dimensiones de probetas para ensayo VARESTRAINT

Para garantizar las propiedades mecánicas, composición química y funcionalidad de las bobinas de acero, el proveedor envía una certificación formal al cliente (ANEXO 12), y una etiqueta en cada bobina, con los siguientes datos:

- Peso de bobina.
- Tipo de acero.
- Código de colada de fabricación.
- Nombre de proveedor.
- Dirección de destino, etc.

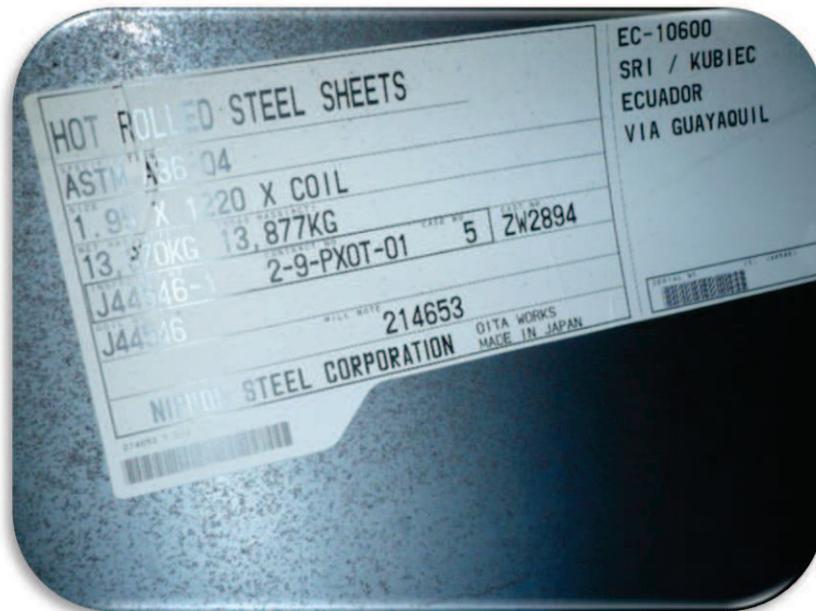


FIGURA 46 : Etiqueta en bobina de acero (KUBIEC Guayaquil-Ecuador)



FIGURA 47: Preparación de probetas para ensayo VARESTRAINT

7.1.3.1.2. Cálculos.

El ensayo VARESTRAINT consiste en poner una viga (probeta) en voladizo, la misma que está sometida a una fuerza en su extremo libre, por lo que según la Norma AWS.B4.0-200 Standar Methods for Mechanical Testing of Weld, indica la siguiente fórmula que es en función de la geometría del acero y del dado donde se asienta. Para calcular el porcentaje de elongación y posteriormente la fuerza necesaria para deformar el acero.

$$e = \frac{t}{(2R + t)} \times 100$$

Ecuación 1 Ecuación cálculo de porcentaje elongación ensayo VARESTRAINT⁸⁵

e = Porcentaje de elongación

t = Espesor de probeta.

R = Radio dado de apoyo en ensayo Varestraint

El cálculo de la fuerza necesaria para que el material fluya (sin tomar en cuenta la ductilidad por el calentamiento de la soldadura) se parte de la ecuación de HOOKE para esfuerzo uniaxial en vigas.

$$\sigma_x = E\epsilon_x = -\frac{Ey}{\rho} = -Eky$$

Ecuación 2; Ecuación Ley de Hooke para esfuerzo uniaxial en vigas⁸⁶

σ = Esfuerzo

E = Módulo de Elasticidad

e = Porcentaje de elongación

Una vez calculado el esfuerzo se procede con el cálculo de la fuerza con la teoría básica de mecánica de materiales.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Ecuación 3; Ecuación Intensidad del esfuerzo en una barra en un área determinada.⁸⁷

σ = Intensidad de Esfuerzo

F = Fuerza

A = Area

⁸⁵ (AWS B4.0M 2000; An American National Standards; Stándar Methods for Mechanical Testing of Welds, Miami; Pág 85).

⁸⁶ (GERE, J.M. (2010), Mecánica de Mmateriales (THOMSON), Pág. 84)

⁸⁷ (GERE, J.M. (2010), Mecánica de Mmateriales (THOMSON), Pág. 84)

7.1.3.1.2.1. Cálculos Acero A36

Porcentaje de elongación:

$$e = \frac{t}{(2R + t)} * 100$$

$$e = \frac{6}{(2(100) + 6)} * 100$$

$$\boxed{e = 2,91 \%}$$

Cálculo intensidad de esfuerzo:

$$\sigma = E * e = 450 \text{ Mpa} * 0,0291 = 13,095 \text{ Mpa}$$

Cálculo Fuerza (carga en extremo):

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\rightarrow F = \sigma * A = 13,095 \text{ Mpa} * 0,0004 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow F = 6,548 \text{ KNewtons}$$

Peso al extremo de la probeta:

$$\rightarrow F = 6,548 \text{ Kg}$$

7.1.3.1.2.2. Cálculos Acero A-572-Grado 50

Porcentaje de elongación:

$$e = \frac{t}{(2R + t)} * 100$$

$$e = \frac{8}{(2(100) + 8)} * 100$$

$$\boxed{e = 3,85 \%}$$

Cálculo intensidad de esfuerzo:

$$\sigma = E * e = 450 \text{ Mpa} * 0,0385 = 173,25 \text{ Mpa}$$

Nota: Se utiliza un único módulo de elasticidad $E=450$ Mpa, primero por ser un valor alto y porque no tiene una variación considerable entre los tipos de acero estructurales al carbono.

Cálculo Fuerza (carga en extremo):

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\rightarrow F = \sigma * A = 17,325 \text{ Mpa} * 0,0004 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow F = 8,663 \text{ KNewtons}$$

Peso al extremo de la probeta:

$$\rightarrow F = 8,663 \text{ Kg}$$

7.1.3.1.2.3. Cálculos Acero A-572-Grado 50

Porcentaje de elongación:

$$e = \frac{t}{(2R + t)} * 100$$

$$e = \frac{8}{(2(100) + 8)} * 100$$

$$\boxed{e = 3,85 \%}$$

Cálculo intensidad de esfuerzo:

$$\sigma = E * e = 450 \text{ Mpa} * 0,0385 = 17,325 \text{ Mpa}$$

Nota: Se utiliza un único módulo de elasticidad $E=450$ Mpa, primero por ser un valor alto y porque no tiene una variación considerable entre los tipos de acero estructurales al carbono.

Cálculo Fuerza (carga en extremo):

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\rightarrow F = \sigma * A = 17,325 \text{ Mpa} * 0,0004 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow F = 8,663 \text{ KNewtons}$$

Peso al extremo de la probeta:

$$\rightarrow F = 8,663 \text{ Kg}$$

7.1.3.1.2.4. Cálculos Acero A-572-Grado 50

Porcentaje de elongación:

$$e = \frac{t}{(2R + t)} * 100$$

$$e = \frac{8}{(2(100) + 8)} * 100$$

$$\boxed{e = 3,85 \%}$$

Cálculo intensidad de esfuerzo:

$$\sigma = E * e = 450 \text{ Mpa} * 0,0385 = 17,325 \text{ Mpa}$$

Nota: Se utiliza un único módulo de elasticidad $E=450$ Mpa, primero por ser un valor alto y porque no tiene una variación considerable entre los tipos de acero estructurales al carbono.

Cálculo Fuerza (carga en extremo):

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\rightarrow F = \sigma * A = 17,325 \text{ Mpa} * 0,0004 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow F = 8,663 \text{ KNewtons}$$

Peso al extremo de la probeta:

$$\rightarrow F = 8,663 \text{ Kg}$$

7.1.3.1.2.5. Cálculos Acero A-588-Grado A

Porcentaje de elongación:

$$e = \frac{t}{(2R + t)} * 100$$

$$e = \frac{8}{(2(100) + 8)} * 100$$

$$\boxed{e = 3,85 \%}$$

Cálculo intensidad de esfuerzo:

$$\sigma = E * e = 450 \text{ Mpa} * 0,0385 = 17,325 \text{ Mpa}$$

Nota: Se utiliza un único módulo de elasticidad $E=450$ Mpa, primero por ser un valor alto y porque no tiene una variación considerable entre los tipos de acero estructurales al carbono.

Cálculo Fuerza (carga en extremo):

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\rightarrow F = \sigma * A = 173,25 \text{ Mpa} * 0,0004 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow F = 86,63 \text{ KNewtons}$$

Peso al extremo de la probeta:

$$\rightarrow F = 86,63 \text{ Kg}$$

7.1.3.1.3. Preparación de Equipos y material.

Procedimiento:

- I. Preparación de equipo de soldadura, se utiliza materiales y programa al equipo según WPS; (ANEXOS WPS/EPN-TIM-FCAW-36-003/ EPN-TIM-FCAW-572-GR50-003/ EPN-TIM-FCAW-588-GRA-003). Función de cada uno de los tipos de aceros.

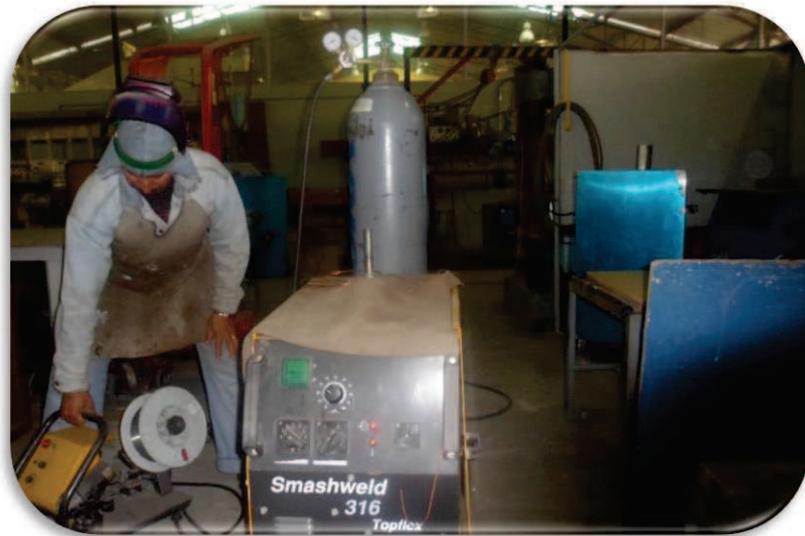


FIGURA 48: Equipo de Soldadura para proceso FCAW existente en el Laboratorio de Soldadura Facultad de Ingeniería Mecánica EPN

- II. Calculado ya el peso necesario para que el acero fleje se procede a preparar la carga en este caso se necesita; recopilar chatarra de acero, soldar a un gancho para colgar, soldar pestaña en el extremo de la probeta para enganchar a la masa.



FIGURA 49: Masa y arreglo en probeta para el ensayo VARESTRAINT.

- III. Se utiliza un dado con radio de curvatura de 100mm como indica la Norma AWS.B4.0-200 Standar Methods for Mechanical Testing of Weld.



FIGURA 50: Arreglo preparado con curvatura para ensayo VARESTRAINT.

7.1.3.1.4. Soldadura de Probetas.



FIGURA 51: Nivelación de probeta para ajustar dado con curvatura.

Una vez preparado el equipo y los materiales, se procede hacer la soldadura conforme al WPS que corresponda.



FIGURA 52; Avance de soldadura acero A 572-Grado 50.



FIGURA 53: *Cordón de soldadura luego de ensayo VARESTRAINT, en acero A-572 Grado 50.*

Como se esperaba al momento de la soldadura la placa se dobla conforme al radio del dado de apoyo.

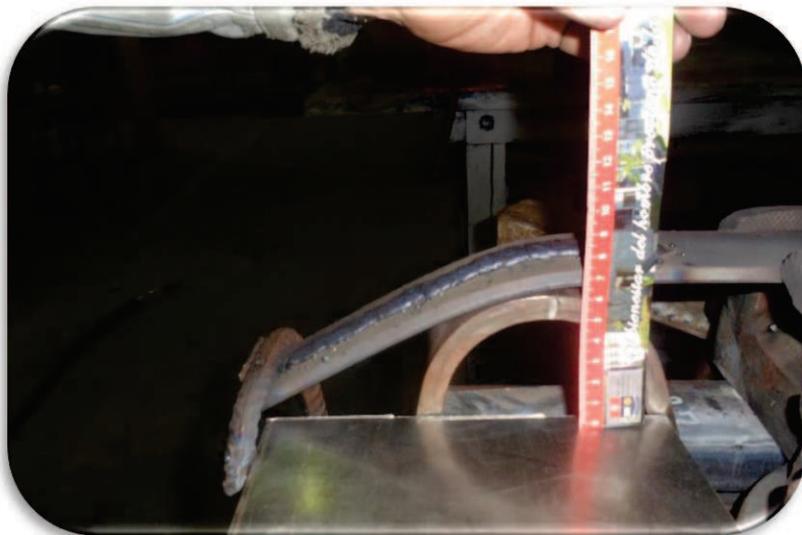


FIGURA 54: *Curvatura de placa luego de ensayo VARESTRAINT, en acero A-588 Grado A.*



FIGURA 55: Cordones de soldadura en los tres tipos de acero (Acero A.36, A 572 Grado 50 y A 588 Grado A) posteriores al ensayo VARESTRAINT

El ensayo se hizo bajo los requerimientos y condiciones especificadas en los WPS, y bajo las mismas condiciones para tener un punto de partida y poder comparar los resultados en la soldadura.

7.1.3.1.5. Ensayos en Soldadura.

7.1.3.1.5.1. Inspección Visual

El proceso de inspección visual es uno de los métodos ópticos en los ensayos no destructivos. El cual ofrece una perspectiva inicial, que es muy importante ya que si en esta inspección se evidencia que existen problemas, en muchos de los casos sería el único ensayo necesario para descartar o no la soldadura.

7.1.3.1.5.1.1. Análisis Inspección Visual Probeta Acero A 36

Se limpia la escoria y salpicados alrededor del cordón, y se procede a revisar los defectos de soldadura visibles al ojo humano.



FIGURA 56: *Análisis visual cordón de soldadura ensayo VARESTRAINT Acero A 36*

TABLA 19: *TABLA Inspección Visual Acero A 36, Ensayo Varestraint.*

INSPECCIÓN VISUAL				
Tipo de Ensayo:	VARESTRAINT			
Tipo de Acero:	Acero ASTM A 36			
Características de Cordón				
Longitud de cordón:	218 mm			
Ancho de cordón:	13 mm			
Tamaño sobre monta:	2,5 mm			
DEFECTOS DE SOLDADURA				
	SI	NO	N/A	OBSERVACIONES
Fisuras		X		
Cavidades		X		
Inclusiones Sólidas		X		
Falta de Fusión		X		
Falta de penetración			X	
Defectos de Forma	X			Ancho del cordón menor al inicio.
Defectos Varios no Incluidos en los grupos anteriores.		X		

Como se cita en la tabla se observa que la medida del cordón no es uniforme en toda su longitud. Al comienzo del cordón se observa que su ancho es menor que el resto del cordón, esto se debe a que la velocidad inicial de soldadura es mayor que, la velocidad del resto del cordón, por lo que genera una menor tasa de depósito al inicio de la soldadura. Que sin embargo no es un defecto que descarte a la soldadura. Por ser una diferencia pequeña de espesores.

*7.1.3.1.5.1.2. Análisis Inspección Visual Probeta Acero A 572
Grado 50.*

Se limpia la escoria y salpicados alrededor del cordón, y se procede a revisar los defectos de soldadura visibles al ojo humano.



FIGURA 57: Análisis visual cordón de soldadura ensayo VARESTRAINT Acero A 572 Grado 50

TABLA 20: TABLA Inspección Visual Acero A 572, Grado 50, Ensayo Varestraint.

INSPECCIÓN VISUAL				
Tipo de Ensayo:	VARESTRAINT			
Tipo de Acero:	Acero ASTM A 572 Grado 50			
Características de Cordón				
Longitud de cordón:	197 mm			
Ancho de cordón:	18 mm			
Tamaño sobre monta:	3 mm			
DEFECTOS DE SOLDADURA				
	SI	NO	N/A	OBSERVACIONES
Fisuras		X		
Cavidades		X		
Inclusiones Sólidas		X		
Falta de Fusión		X		
Falta de penetración			X	
Defectos de Forma		X		
Defectos Varios no Incluidos en los grupos anteriores.		X		

Al igual que el caso anterior se presenta baja tasa de depósito de material de aporte al comienzo de la soldadura. Es importante recordar que para el ensayo VARESTRAINT, se sacan probetas de estudio de la parte final del cordón, por lo que para el presente estudio el hecho de no tener simetría en el cordón tanto en el inicio como al final. No es un defecto que influya en el análisis.

7.1.3.1.5.1.3. Análisis Inspección Visual Probeta Acero A 588 Grado A.

Se limpia la escoria y salpicados alrededor del cordón, y se procede a revisar los defectos de soldadura visibles al ojo humano.



FIGURA 58: Análisis visual cordón de soldadura ensayo VARESTRAINT Acero A 588 Grado A

TABLA 21: TABLA Inspección Visual Acero A 588, Grado A, Ensayo Varestraint.

INSPECCIÓN VISUAL				
Tipo de Ensayo:	VARESTRAINT			
Tipo de Acero:	Acero ASTM A 588 Grado A			
Características de Cordón				
Longitud de cordón:	218 mm			
Ancho de cordón:	17 mm			
Tamaño sobre monta:	3,5 mm			
DEFECTOS DE SOLDADURA				
	SI	NO	N/A	OBSERVACIONES
Fisuras		X		
Cavidades		X		
Inclusiones Sólidas		X		
Falta de Fusión		X		
Falta de penetración			X	
Defectos de Forma	X			Ancho del cordón menor al inicio.
Defectos Varios no Incluidos en los grupos anteriores.		X		

Se observa un cordón bastante uniforme que evidencia que el soldador tuvo mejor técnica al momento de hacer esta soldadura. Y los resultados se reflejan en la tabla...

7.1.3.1.5.2. Radiografía Industrial

Al ser la radiografía uno de los métodos más idóneos para realizar un examen volumétrico, se procede a analizar radiográficamente cada una de las probetas.



FIGURA 59: Equipo de Radiografía del Laboratorio de END de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la EPN (marca Balleau)

Para poder hacer el ensayo con el equipo de radiografía, se debe calcular el tiempo de exposición a los Rayos X de cada placa. El tiempo de exposición es función de las propiedades geométricas del espécimen a ser expuesto, y las características de cada equipo.

TABLA 22: TABLA Parámetros para cálculo de tiempo de exposición de rayos X, ensayo VARESTRAINT

TABLA PARA CALCULO TIEMPO DE EXPOSICIÓN A RAYOS X				
ENSAYO	VARESTRAINT			
MATERIAL		Acero ASTM A 36	Acero ASTM A 572 Gr50	Acero ASTM A 588 Gr. A
Longitud	mm	200	200	200
Longitud Película	mm	220	220	220
Espesor placa	mm	6	8	8
Sobremonta	mm	2,5	3	3,5
Kx	1/!	140	140	140
Tc	seg	60	105	110
Intensidad de Corriente	mA	5	5	5

Una vez establecido los parámetros, utilizando la ecuación de tiempo de exposición versus los factores de exposición se calcula el tiempo necesario para tener una película que sea visible sin inconvenientes.

$$t_{exp} = tc * f_n * f_p * f_d * f_v$$

Ecuación 4; Tiempo de exposición Rayos X

$$f_v = 2,2$$

$$f_p = 2,5$$

$$f_d = 0,5$$

$$f_a = 1$$

Factores hallados en función de tabla y gráficos proporcionados por los proveedores del equipo radiográfico.

TABLA 23: *TABLA de exposición a Rayos X en función del material ensayado.*

MATERIAL	Texp (min)
Acero ASTM A 36	1,76
Acero ASTM A 572 Gr50	3,078
Acero ASTM A 588 Gr. A	3,23

7.1.3.1.5.2.1. Radiografía Industrial- Proceso de Radiografía

Luego del cálculo de la temperatura de exposición a los Rayos X, se procede a cortar película radiográfica con una longitud 2 cm mayor a la longitud del cordón, Se pone números con plantillas de plomo en cada placa para identificar a la radiografía, y finalmente se pone en la mesa del cuarto de radiografías.



FIGURA 60; *Probeta Acero A 572 Gr 50 en mesa de Radiografía*

7.1.3.1.5.2.2. Análisis Radiografías

Las radiografías son evaluadas y estudiadas en función de la norma ASME (ANEXO).



FIGURA 61: Radiografía cordón ensayo VARESTRAINT Acero A 36

La tabla que se utiliza, es tomando en cuenta los posibles defectos que pueden ser detectados con el ensayo de radiografía.

TABLA 24: TABLA de resultados radiografías ensayo VARESTRAINT

DISCONTINUIDADES EN RADIOGRAFÍAS									
DEFECTOS DE SOLDADURA	Fisuras	Cavidades	Inclusiones Sólidas	Falta de Fusión	Falta de penetración	Defectos de Forma	Característca	Criterio	Aprueba
MATERIAL									
ACERO ASTM A 36	SI	SI	SI	SI	SI	SI	0,9 mm	<6mm	Aprueba
	NO	NO	NO	NO	NO	NO			
ACERO ASTM A 572 Gr 50	SI	SI	SI	SI	SI	SI	1,2 mm	<6mm	Aprueba
	NO	NO	NO	NO	NO	NO			
ACERO ASTM A 588 Gr A	SI	SI	SI	SI	SI	SI	0,7 mm	<6mm	Aprueba
	NO	NO	NO	NO	NO	NO			



FIGURA 62: Radiografía cordón ensayo VARESTRAINT Acero A 572 Gr 50

7.1.3.1.5.3. Macroestructuras y Microestructuras

Antes de comenzar con el análisis microscópico, se identifica cada una de las probetas con su respectiva denominación, para cada uno de los aceros ensayados. En el caso del ensayo VARESTRAINT se identificará a las probetas como A Y B, empezando desde el final del cordón que vendrá a ser la probeta A y la probeta siguiente será la probeta B como indica la figura.

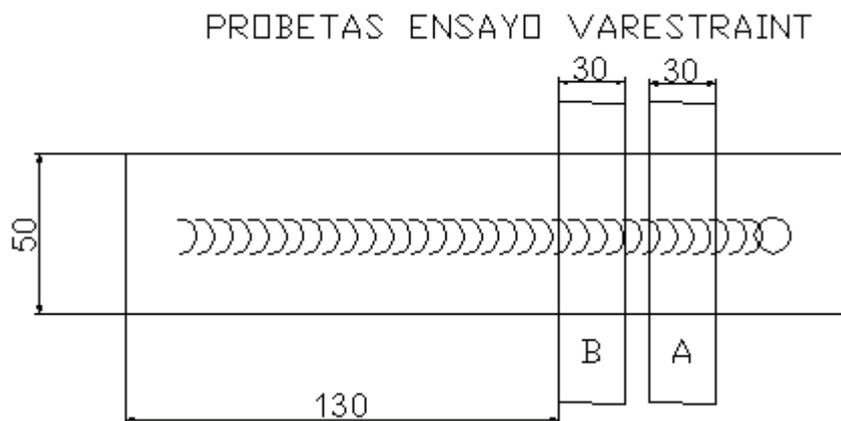


FIGURA 63; *Esquema extracción de probetas para micrografías y macrografías ensayo VARESTRAINT*

Se identifica las probetas de los diferentes tipos de acero, y se corta con la medida señalada.

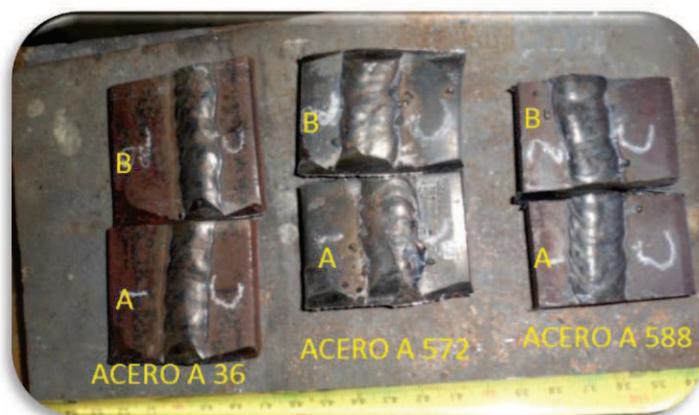


FIGURA 64: *Probetas cortadas para micrografías y macrografías ensayo VARESTRAINT*

7.1.3.1.5.4. Macroestructuras y Microestructuras

ENSAYO VARESTRAINT ACERO ASTM A36 PROBETA A

FIGURA 65:

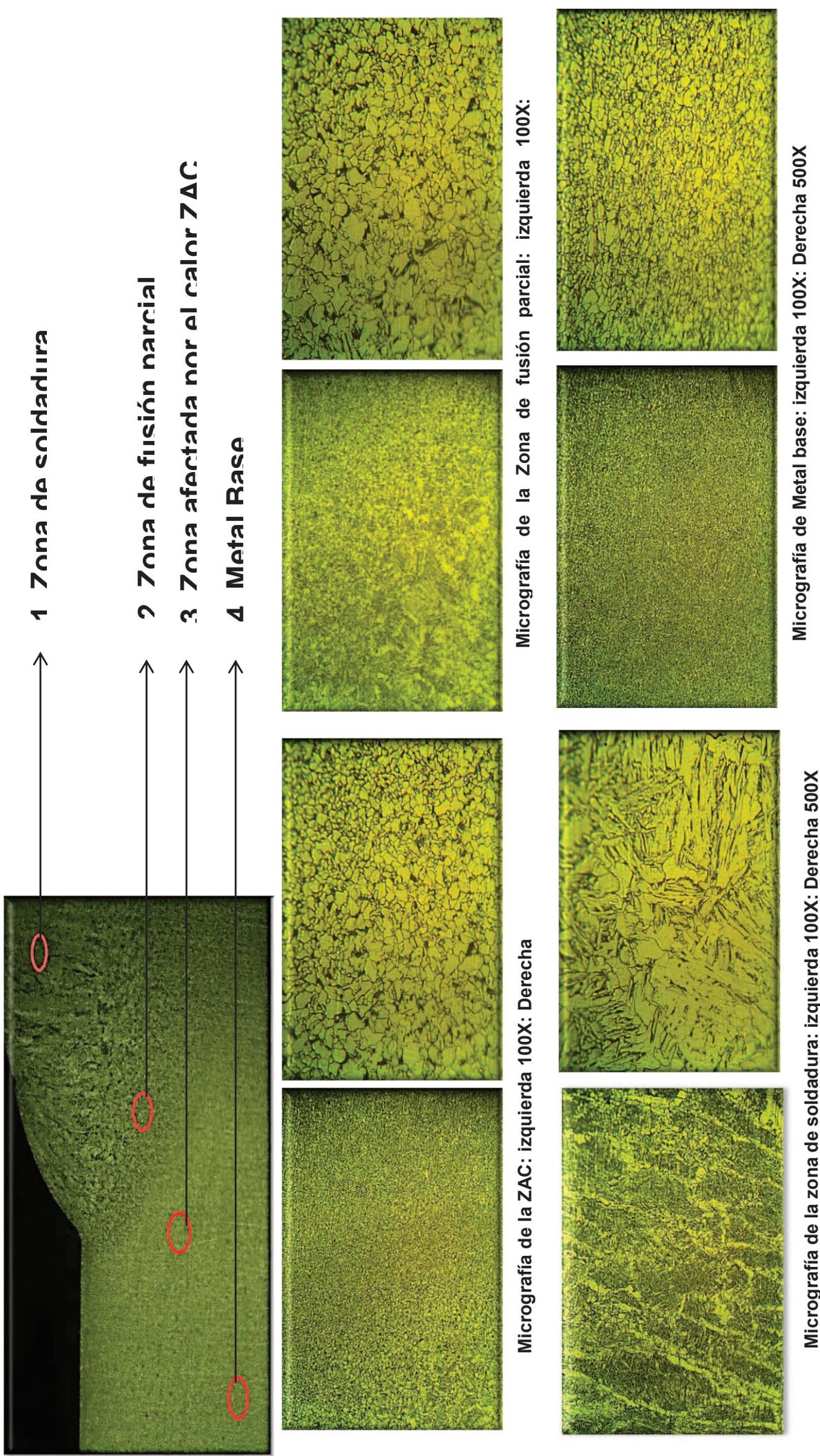
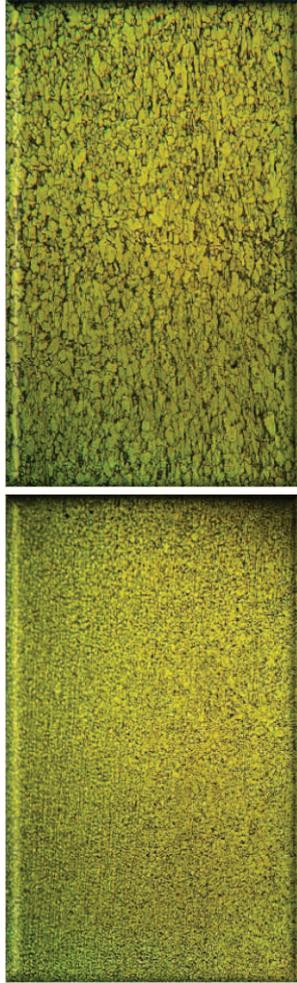
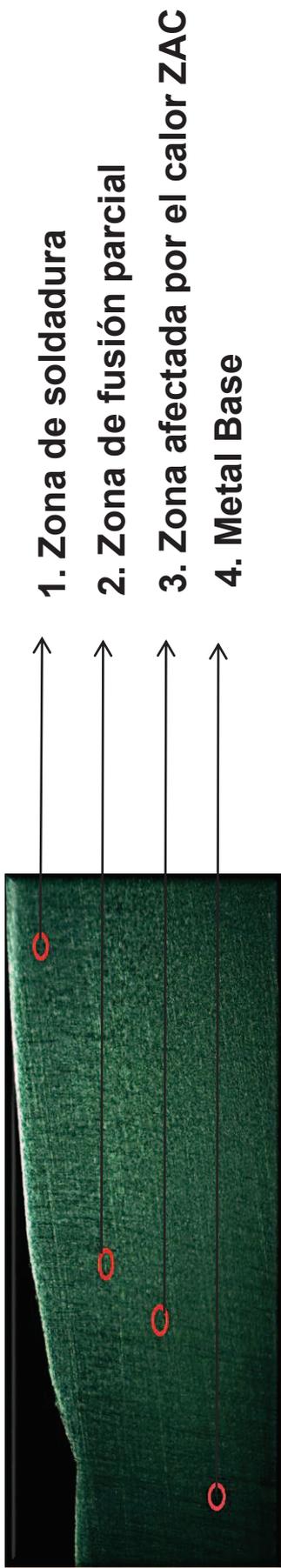
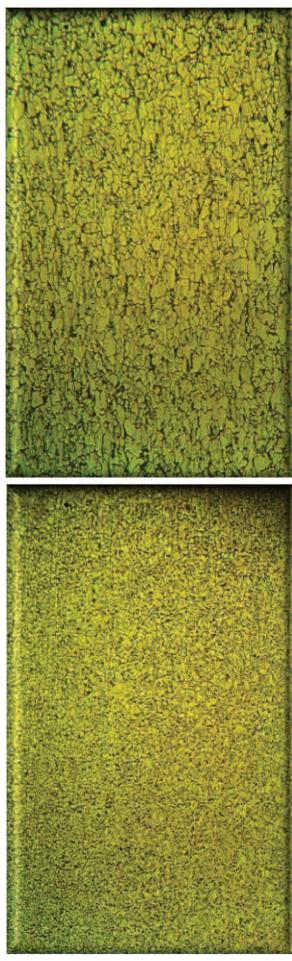


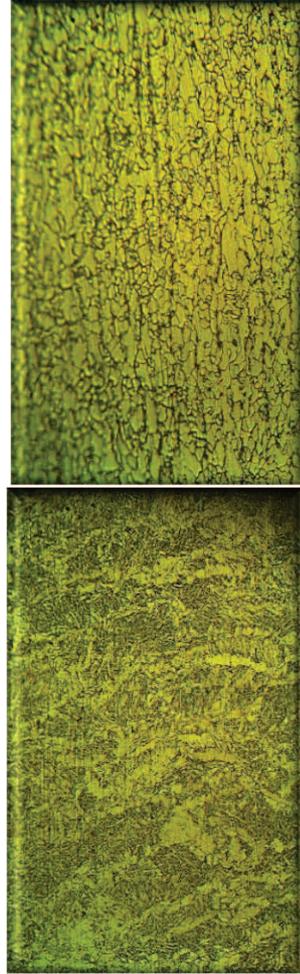
FIGURA 66: ENSAYO VARESTRAINT ACERO ASTM A36 PROBETA B



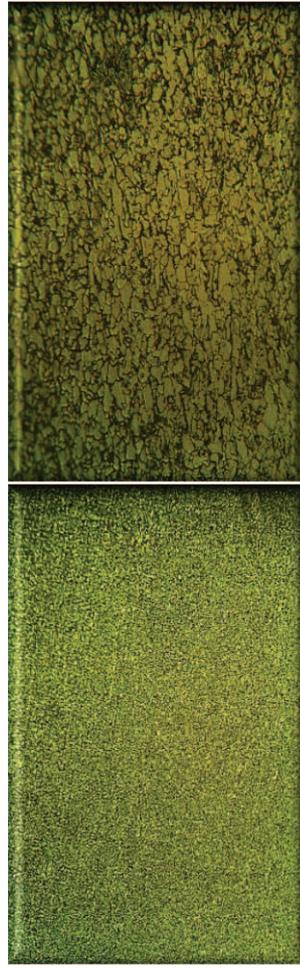
Micrografía de la ZAC: izquierda 100X: Derecha



Micrografía de la Zona de fusión parcial: izquierda 100X:



Micrografía de la zona de soldadura: izquierda 100X: Derecha 500X



Micrografía de Metal base: izquierda 100X: Derecha 500X

FIGURA 67: ENSAYO VARESTRAINT ACERO ASTM A572 GRADO 50 PROBETA A

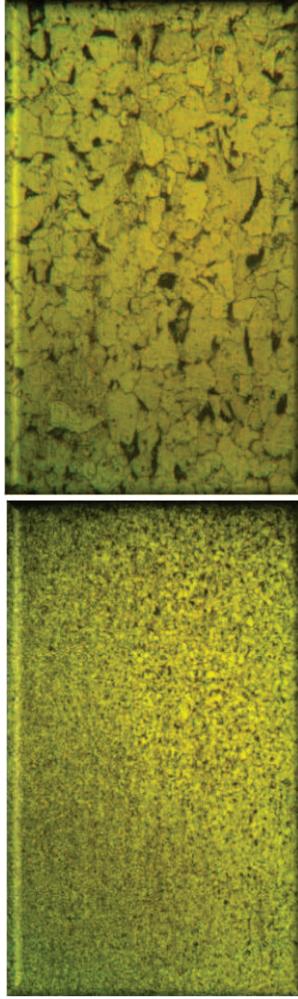


1. Zona de soldadura

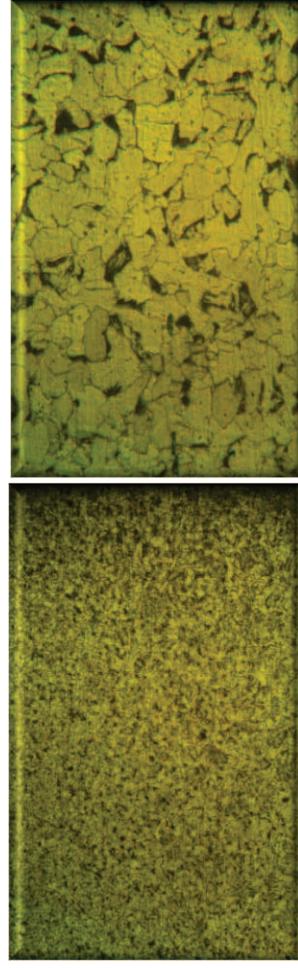
2. Zona de fusión parcial

3. Zona afectada por el calor ZAC

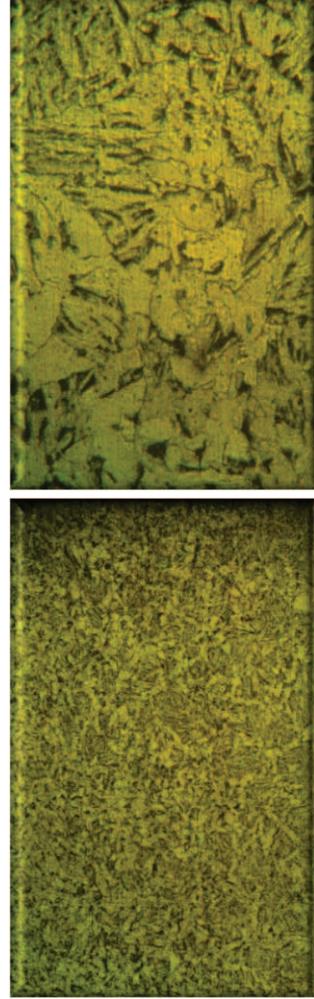
4. Metal base



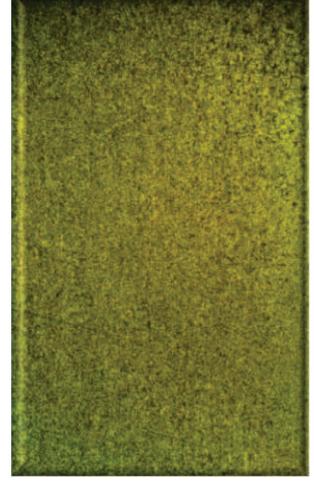
Micrografía de la ZAC: izquierda 100X: Derecha



Micrografía de la Zona de fusión parcial: izquierda 100X:

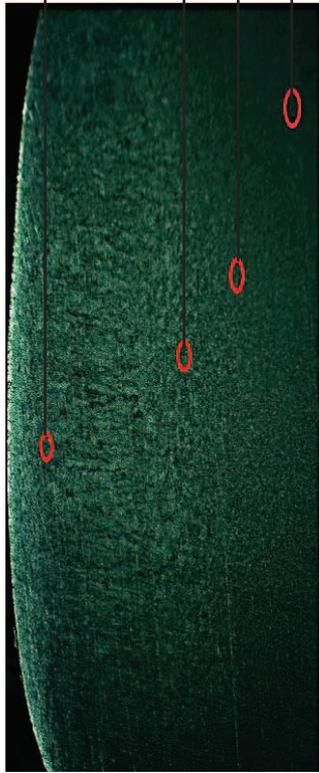


Micrografía de la zona de soldadura: izquierda 100X: Derecha 500X



Micrografía de Metal base: izquierda 100X: Derecha 500X

FIGURA 68: ENSAYO VARESTRAINT ACERO ASTM A572 GRADO 50 PROBETA B

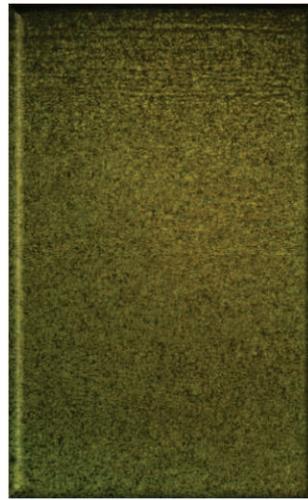


1. Zona de soldadura

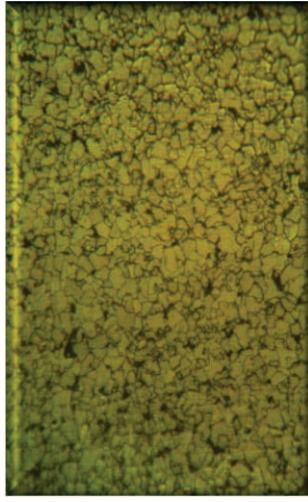
2. Zona de fusión parcial

3. Zona afectada por el calor ZAC

4. Metal base



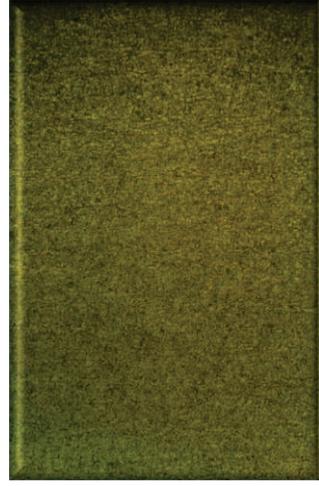
Micrografía de la ZAC: izquierda 100X: Derecha



Micrografía de la zona de soldadura: izquierda 100X: Derecha 500X

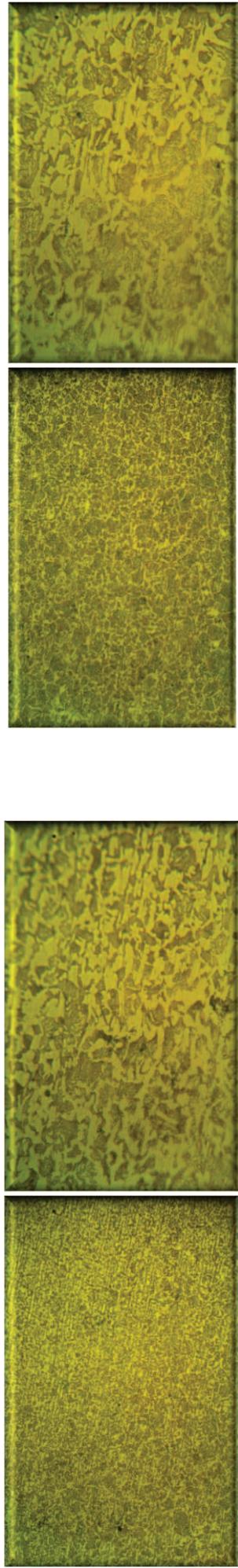
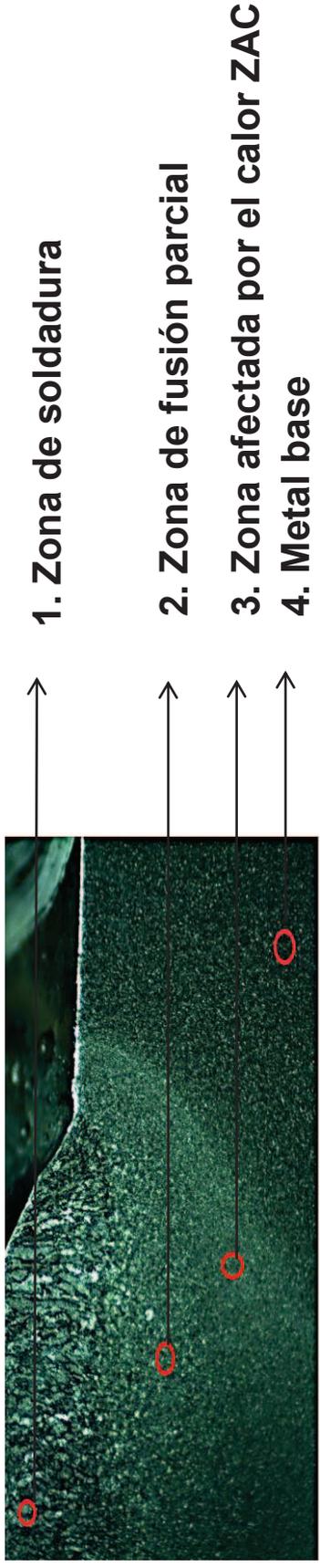


Micrografía de la Zona de fusión parcial: izquierda 100X: Derecha 500X

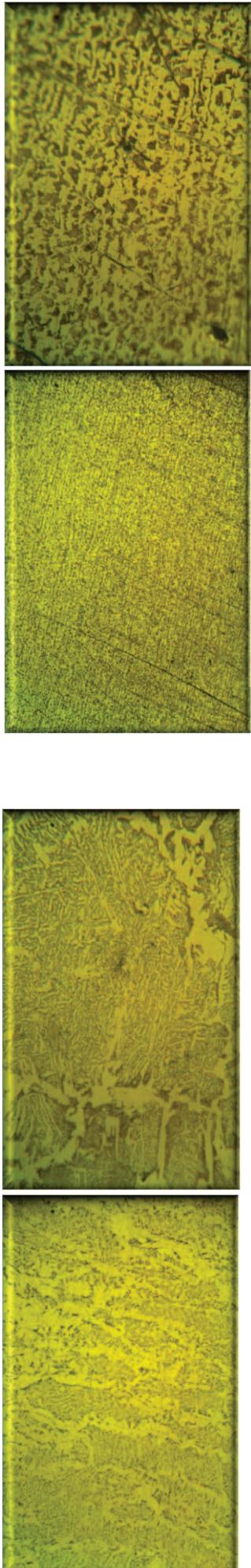


Micrografía de Metal base: izquierda 100X: Derecha 500X

FIGURA 69: ENSAYO VARESTRAINT ACERO ASTM A588 GRADO A PROBETA A

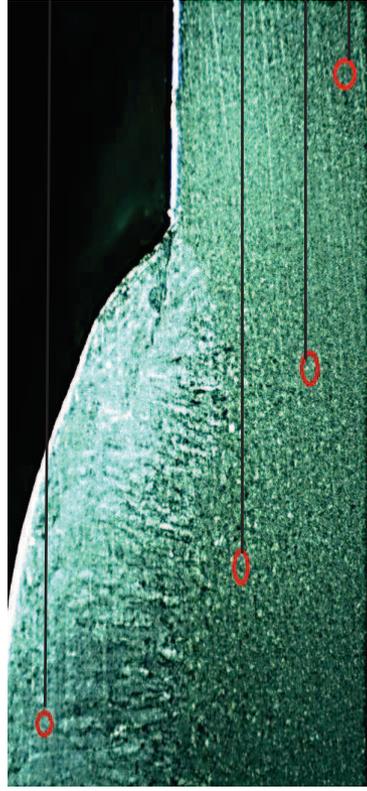


Micrografía de la Zona de fusión parcial: izquierda 100X:



Micrografía de Metal base: izquierda 100X: Derecha 500X

FIGURA 70: ENSAYO VARESTRAINT ACERO ASTM A588 GRADO A PROBETA B

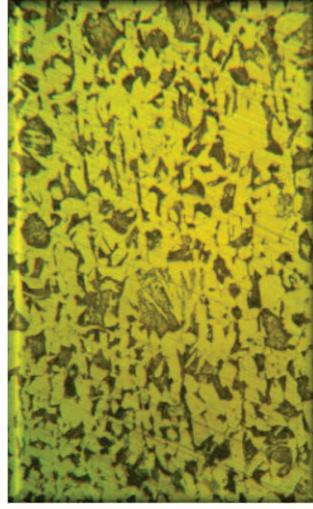


1. Zona de soldadura

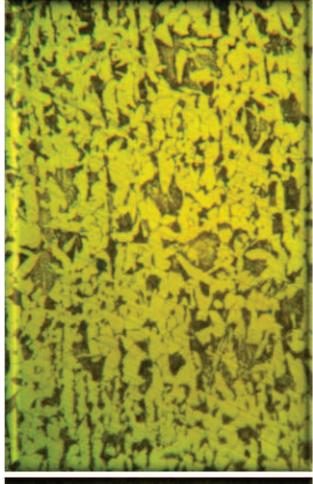
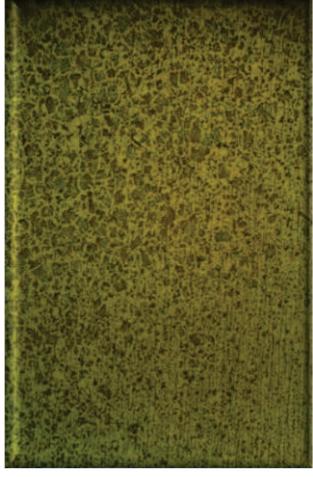
2. Zona de fusión parcial

3. Zona afectada por el calor ZAC

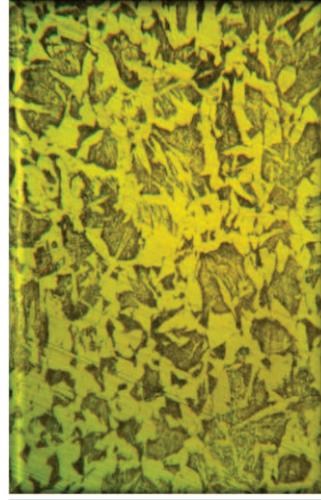
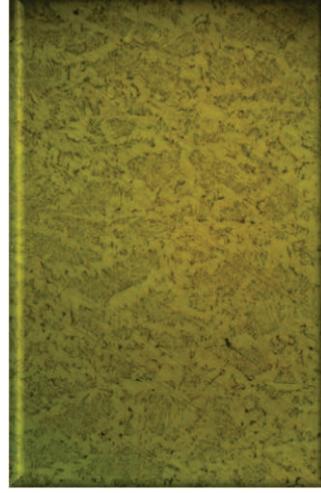
4. Metal base



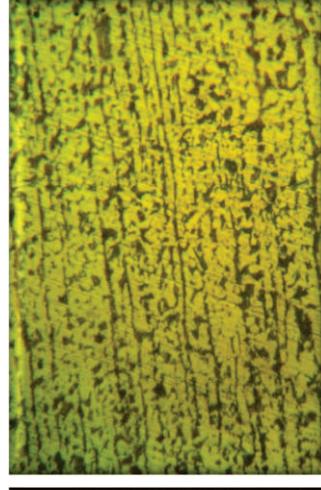
Micrografía de la ZAC: izquierda 100X: Derecha



Micrografía de la Zona de fusión parcial: izquierda 100X: Derecha



Micrografía de la zona de soldadura: izquierda 100X: Derecha 500X



Micrografía de Metal base: izquierda 100X: Derecha 500X

7.1.3.2. Ensayo Y-GROOVE O TEKKEN

7.1.3.2.1. Cálculos.

7.1.3.2.1.1. Temperatura de Precalementamiento.

Una soldadura exitosa de aceros HSLA requiere consideración de precalementamiento, y además el control de hidrógeno en los procesos de soldadura. El precalementamiento consiste en calentar el metal base a una temperatura relativamente baja antes de comenzar la soldadura. Su finalidad principal es la de reducir la velocidad de enfriamiento de la zona soldada. El precalementamiento reduce la diferencia de temperatura entre la zona de soldadura y el resto de la pieza. Como consecuencia la evacuación de calor es más lenta y disminuye la tendencia a la formación de martensita en la zona de soldadura. Cuando se suelda con precalementamiento hay menos probabilidad de que se desarrollen zonas duras en las inmediaciones del cordón, que cuando se suelda en frío.

El primer paso para encontrar el valor de Temperatura de Precalementamiento es calcular el carbono equivalente, hay varios métodos para encontrar el valor del carbono equivalente que es propiedad de cada uno de los metales. Hay métodos matemáticos y tablas preestablecidas.

Para determinar el carbono equivalente, en esta tesis se utilizará el método del Instituto Internacional de Soldadura (IIW).

$$CE = C + \frac{(Mn + Si)}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15}$$

Ecuación 5; Cálculo Carbono equivalente según Instituto Internacional de Soldadura (IIW).⁸⁸

El siguiente paso según Instituto Internacional de Soldadura (IIW), es identificar el nivel de susceptibilidad como función del nivel de hidrógeno, para ello se utiliza la tabla...

⁸⁸ (Instituto Internacional de Soldadura (IIW), 2008)

TABLA 25: TABLA Agrupamiento del Índice de Susceptibilidad como función del nivel de Hidrógeno.⁸⁹

Tabla IV-1					
Agrupamiento del Índice de Susceptibilidad como Función del Nivel de Hidrógeno “H” y Parámetro de Composición (Carbono Equivalente) P _{cm}					
Nivel de Hidrógeno, H	Agrupamiento por Índice ² de Susceptibilidad Carbono Equivalente = P _{cm} ¹				
	<0.18	<0.23	<0.28	<0.33	<0.38
H1	A	B	C	D	E
H2	B	C	D	E	F
H3	C	D	E	F	G

El Índice de susceptibilidad es la directriz para encontrar en la tabla de las temperaturas mínimas de precalentamiento y entre pasadas para tres niveles de restricción.

TABLA26: Temperaturas mínimas de Precalentamiento y entre pasadas para tres niveles de restricción.⁹⁰

Tabla IV-2								
Temperaturas Mínimas de Precalentamiento y Entre Pasadas para Tres Niveles de Restricción								
Nivel de Restricción	Espesor * mm	Temperatura Mínima de Precalentamiento y Entre Pasada (°C)						
		Agrupamiento del Índice de Susceptibilidad						
		A	B	C	D	E	F	G
Bajo	<10	<20	<20	<20	<20	60	140	159
	10-20	<20	<20	20	60	100	140	150
	20-38	<20	<20	20	80	110	140	150
	38-75	20	20	40	95	120	140	150
	>75	20	20	40	95	120	140	150
Medio	<10	<20	<20	<20	<20	70	140	160
	10-20	<20	<20	20	80	115	140	160
	20-38	20	20	75	110	140	150	160
	38-75	20	80	110	130	150	150	160
	>75	95	120	140	150	160	160	160
Alto	<10	<20	<20	20	40	110	159	160
	10-20	<20	20	65	105	140	160	160
	20-38	20	85	115	140	150	160	160
	38-75	115	130	150	150	160	160	160
	>75	115	130	150	150	160	160	160

*El espesor es aquel de la parte más gruesa a ser soldada.

Luego de este cálculo y análisis, se puede hacer el precalentamiento de las placas preferiblemente con la utilización de un horno, porque calienta las placas de forma uniforme.

⁸⁹ (Instituto Internacional de Soldadura (IIW), 2008)

⁹⁰ (Instituto Internacional de Soldadura (IIW), 2008)

7.1.3.2.1.1.1. Cálculos Temperatura de Pre calentamiento Acero A36

Para comenzar el cálculo de la temperatura de pre calentamiento se utiliza los valores de la composición química en el caso del acero A 36, se utiliza los valores del ANEXO 6.

TABLA 27: TABLA porcentaje de Composición Química Acero A36.

ACERO ASTM A36								
	C	Mn	Si	Cr	V	Mo	Ni	Cu
	0,41	0,41	0,227	0,03			0,01	0,06

$$CE = C + \frac{(Mn + Si)}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15}$$

$$CE = 0,042 + \frac{(0,41 + 0,227)}{6} + \frac{(0,003)}{5} + \frac{(0,02 + 0,06)}{15}$$

$$CE = 0,158$$

Entonces una vez calculado el CE carbono equivalente se utiliza la tabla para ver el nivel de susceptibilidad en función del nivel de hidrógeno.

Se elige un bajo nivel de hidrógeno (**H2 según tabla**). Dando como resultado:
Nivel de susceptibilidad en función del nivel de hidrógeno Acero A 36= B

En función del nivel de susceptibilidad, nos ubicamos en la tabla de temperaturas mínimas de pre calentamiento y para este caso se asume un nivel de restricción ALTO, el espesor de la placa que es 20mm, teniendo ubicadas ya estas dos variables se tiene como resultado;

$$Temperatura de Pre calentamiento_{ACERO A 36 @ B, 20mm} = 185^{\circ}F = 20^{\circ}C$$

7.1.3.2.1.1.2. *Cálculos Temperatura de Pre calentamiento Acero A-572 Grado 50*

Para comenzar el cálculo de la temperatura de pre calentamiento se utiliza los valores de la composición química en el caso del acero A 572 Grado 50, se utiliza los valores del ANEXO 7.

TABLA 28: TABLA porcentaje de Composición Química Acero A572 Grado 50.

ACERO ASTM A572 Grado 50								
C	Mn	Si	Cr	V	Mo	Ni	Cu	
0,16	1,46	0,24	0,06	0,03	0,008	0,02	0,03	

$$CE = C + \frac{(Mn + Si)}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15}$$

$$CE = 0,16 + \frac{(1,46 + 0,24)}{6} + \frac{(0,06 + 0,008 + 0,03)}{5} + \frac{(0,02 + 0,06)}{15}$$

$$CE = 0,47$$

Entonces una vez calculado el CE carbono equivalente se utiliza la tabla para ver el nivel de susceptibilidad en función del nivel de hidrógeno.

Se elige un bajo nivel de hidrógeno (**H2 según tabla**). Dando como resultado:

Nivel de susceptibilidad en función del nivel de hidrógeno Acero A 572 Grado 50 = F

En función del nivel de susceptibilidad, nos ubicamos en la tabla de temperaturas mínimas de pre calentamiento y para este caso se asume un nivel de restricción ALTO, el espesor de la placa que es 20mm, teniendo ubicadas ya estas dos variables se tiene como resultado;

$$Temperatura de Pre calentamiento_{ACERO A 572 @ F, 20mm} = 320^{\circ}F = 160^{\circ}C$$

7.1.3.2.1.1.3. *Cálculos Temperatura de Pre calentamiento Acero A-588 Grado A*

Para comenzar el cálculo de la temperatura de pre calentamiento se utiliza los valores de la composición química en el caso del acero A 588 Grado A, se utiliza los valores del ANEXO 8.

TABLA 29: TABLA porcentaje de Composición Química Acero A588 Grado A.

ACERO ASTM A588 Grado A								
C	Mn	Si	Cr	V	Mo	Ni	Cu	
0,16	1,05	0,39	0,48	0,029	0,003	0,2	0,29	

$$CE = C + \frac{(Mn + Si)}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15}$$

$$CE = 0,16 + \frac{(1,05 + 0,39)}{6} + \frac{(0,48 + 0,003 + 0,029)}{5} + \frac{(0,2 + 0,29)}{15}$$

$$CE = 0,535$$

Entonces una vez calculado el CE carbono equivalente se utiliza la tabla para ver el nivel de susceptibilidad en función del nivel de hidrógeno.

Se elige un bajo nivel de hidrógeno (**H2 según tabla**). Dando como resultado:
Nivel de susceptibilidad en función del nivel de hidrógeno Acero A 588 Grado A = F

En función del nivel de susceptibilidad, nos ubicamos en la tabla de temperaturas mínimas de pre calentamiento y para este caso se asume un nivel de restricción ALTO, el espesor de la placa que es 20mm, teniendo ubicadas ya estas dos variables se tiene como resultado;

$$Temperatura de Pre calentamiento_{ACERO A 588 @ F, 20mm} = 320^{\circ}F = 160^{\circ}C$$

7.1.3.2.1.2. *Preparación de placas para ensayo Y-GROOVE*

7.1.3.2.1.2.1. *Importación de placas.*

Es importante mencionar este punto ya que pesar de ser aceros estructurales de gran uso a nivel mundial, en el país no es muy sencillo la obtención de este tipo de aceros. Por lo que debo agradecer la ayuda del Ing. César Villavicencio (Gerente de AVS INGENIERÍA) y del Ing. Ramón Roca (Gerente de KUBIEC Guayaquil), los que hicieron posible que pueda obtener todo el material necesario para la presente tesis.



FIGURA 71: *Planchas Acero ASTM A588 Grado A, planta KUBIEC Guayaquil*

Las propiedades tanto físicas como químicas de este acero, están especificadas en el certificado original (ANEXO 17) enviado por el proveedor en este caso NANJINGSTEEL. Una vez ya con el material, el siguiente paso es maquinarlo para dejar en las dimensiones indicadas en la Norma AWS B4.0 2000 para el ensayo Y-GROOVE.

7.1.3.2.1.2.2. Maquinado Placas.

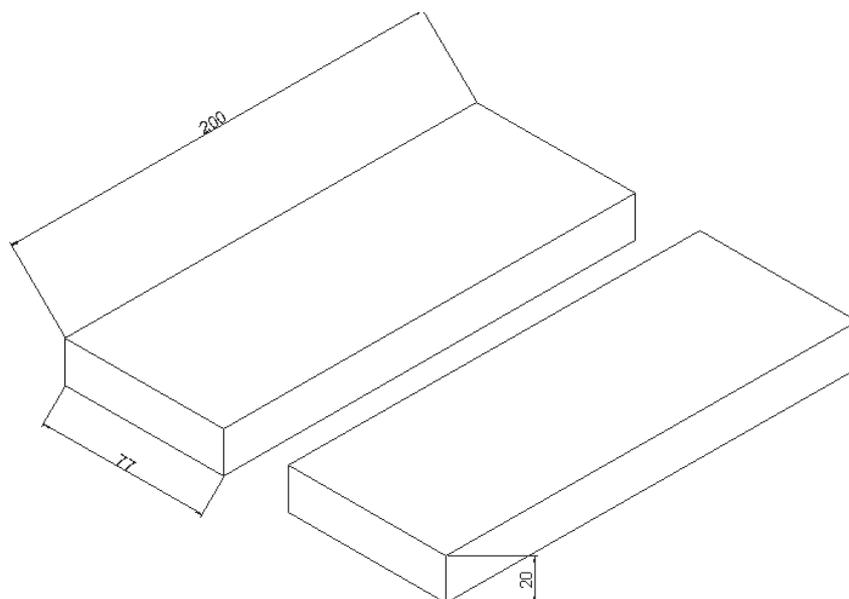


FIGURA 72: Dimensiones de Placas metal Base para ensayo Y-GROOVE

El maquinado de las placas se detalla en la hoja de procesos en el ANEXO... , al ser placas de un espesor considerable, se las debe trabajar con la utilización de máquinas herramientas con un grado de precisión no menor a N7, y así poder obtener los arreglos de juntas requeridas.



FIGURA 73: Limado de placa para ensayo Y-GROOVE

7.1.3.2.1.3. Soldadura de Probetas para ensayo Y-GROOVE

7.1.3.2.1.3.1. Soldadura de Restricción en Probetas para ensayo Y-GROOVE

Esta soldadura tiene como objetivo, restringir en dos sectores a las placas, por lo que tiene un arreglo diferente o junta diferente, en la zona de restricción y en la zona del ensayo.

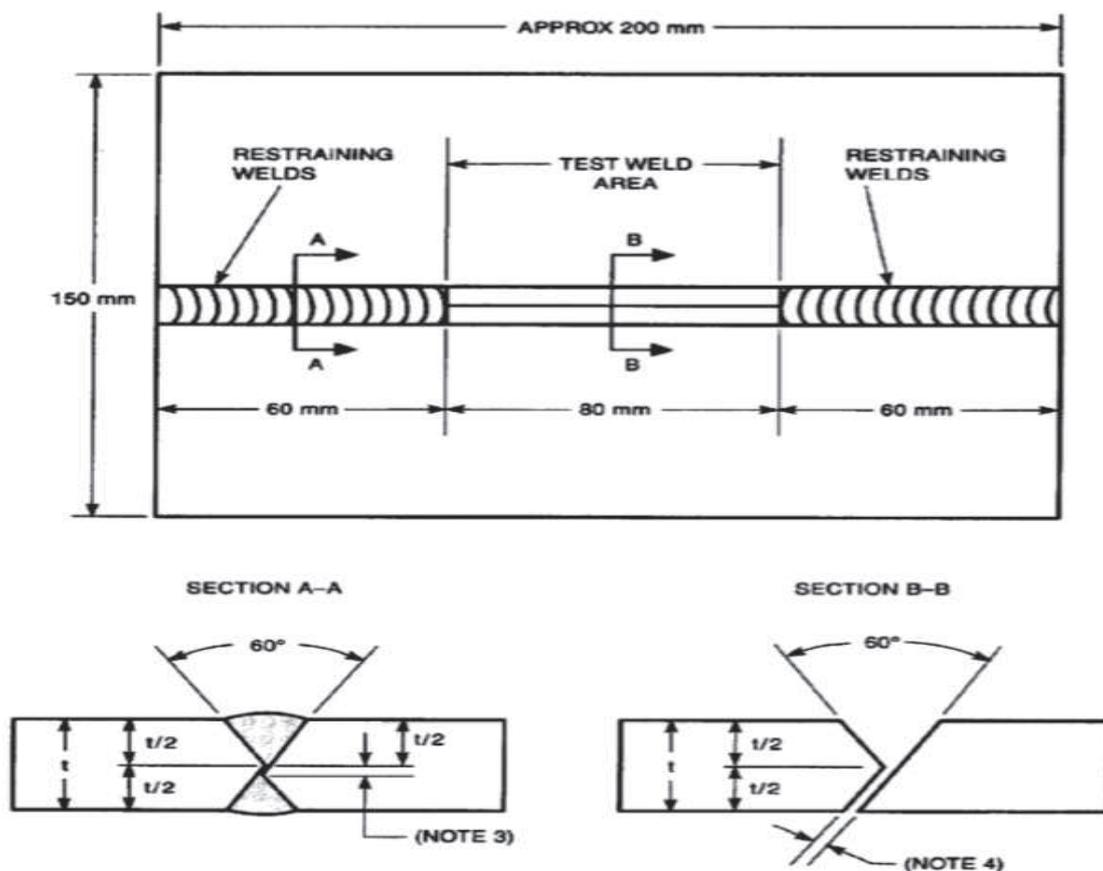


FIGURA 74: Esquema tipo de junta para las dos secciones de las placas.

Sección A-A

La sección A-A es el tipo de junta que se va a utilizar en el cordón de restricción, es una junta tipo X, este tipo de junta permite tener una buena penetración en el cordón de soldadura, con lo que se restringe en todas las direcciones a las placas a ser soldadas con el ensayo Y-GROOVE.

Para esta soldadura se utiliza el WPS (EPN-TIM-FCAW-METAL-001) en el anexo son los WPS de numeración serie uno según corresponda el material. Es importante anotar que para la soldadura de restricción no es necesario soldar

mediante el método FCAW. En este caso se hará la soldadura con el método SMAW, igualmente detallado en el WPS correspondiente.



FIGURA 75: Soldadura de Restricción en placas proceso SMAW



FIGURA 76: Placas luego de la suelda de restricción.

Luego del proceso de suelda de restricción se tienen placas unidas por sus dos extremos, se enfriaron a temperatura ambiente para no provocar ningún tipo de temple que pueda cambiar las propiedades,

Una vez que las placas se han enfriado se hace una perforación pasante de $d=1/2$ " en el extremo inferior de las soldadura en cada acero. Esto permitirá comenzar y terminar de forma uniforme la soldadura FCAW para el ensayo Y-GOOVE.

7.1.3.2.1.3.2. Soldadura en Probetas para ensayo Y-GROOVE

Para iniciar propiamente el ensayo de soldadura se sigue el proceso (WPS; EPM-TIM-FCAW-ACERO (A36/A572 Y A588)-002).

El proceso empieza con el precalentamiento de las placas, para este paso se utilizó un soplete que se mueve uniformemente alrededor de las placas, y la temperatura se controla con un medidor de temperatura digital tipo laser. Para dos de las placas se lleva este proceso, la placa de acero ASTM A 36 según el cálculo no necesita el proceso de precalentado. Por lo que se hará la soldadura a temperatura ambiente.



FIGURA 77: *Medición de temperatura en placas.*

Una vez terminado el precalentamiento en las placas A-572-Gr. 50, y A-588-Gr. A, y la placa de acero A 36 a temperatura ambiente. Se suelda haciendo 4 pasadas para rellenar toda la cavidad en la junta tipo Y. Posteriormente se podrá observar en las micrografías claramente cada uno de los pases y su forma en función de su posición.

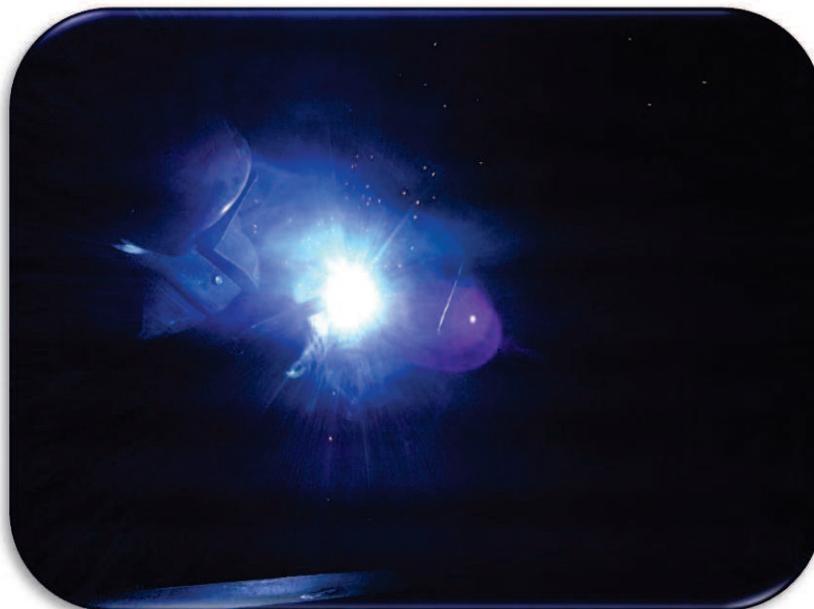


FIGURA 78: Soldadura de placas método FCAW

La soldadura procede sin inconvenientes, se observa cordones de buenas características y uniformes. Como se había previsto la soldadura empieza y termina en los huecos pasantes que se maquinaron. La escoria es removida con un martillo pequeño, la misma que se desprende sin problemas como es característica de este proceso.



FIGURA 79: Placas soldadas luego de proceso FCAW.

7.1.3.2.1.3.3. Temperaturas de enfriamiento.

Posterior a la soldadura se toma la temperatura de enfriamiento (temperatura vs tiempo). Y con esto se complementa el estudio porque al saber las curvas de enfriamiento se identifica como se comporta cada material para enfriarse y bajo las mismas condiciones.

TABLA 30: *Temperaturas de enfriamiento vs tiempo*

TEMPERATURAS DE ENFRIAMIENTO			
Condiciones			
Instrumento de medida	Pirómetro marca FLUKE		
Posición de muestra	A 20mm del eje del cordón de soldadura		
Unidad de medida	T. °C		
Material	Acero ASTM A 36	Acero ASTM A 572 Gr. 50	Acero ASTM A 588 Gr. A
Tiempo (min)			
0	341	301	310
10	297	250	264
15	264	230	247
20	236	204	214
25	203	180	190
30	185	155	157
35	163	135	147
40	144	123	131
45	121	115	116
50	105	103	108
55	94	89	92
60	76	75	80
65	69	64	71
70	51	50	59
80	20	18	18

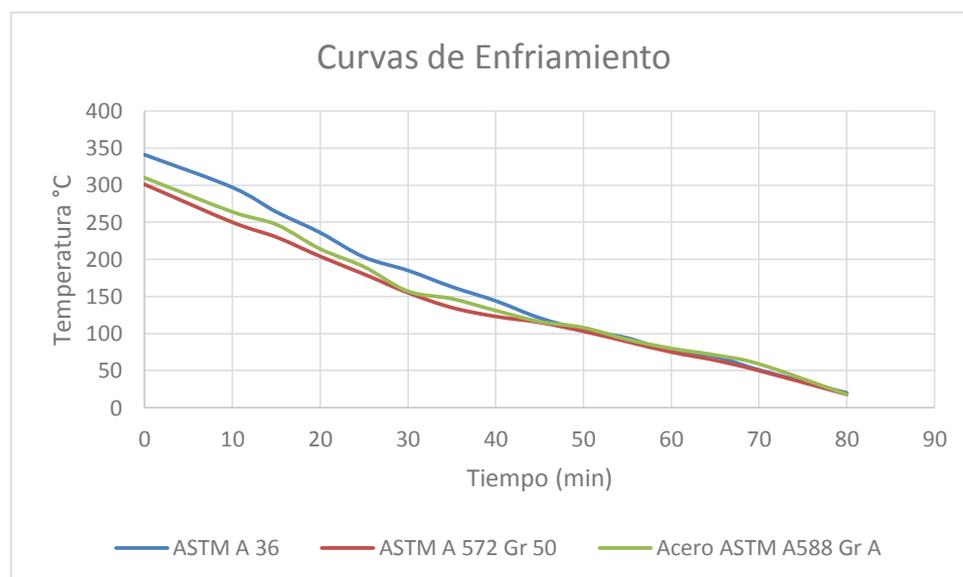


FIGURA 80: *Grafica curvas enfriamiento*

7.1.3.2.2. Ensayos en Soldadura.

7.1.3.2.2.1. Inspección Visual

Una vez ya hecha la soldadura se procede con los primeros análisis, el análisis visual permite establecer los defectos en soldadura visibles al ojo humano, y que en muchas de las ocasiones al ser identificados a simple vista, indicaría defectos que no son aceptados por la norma que corresponda. Se utiliza una lupa con un aumento aproximado de 10 x.

7.1.3.2.2.1.1. Inspección Visual Acero A36 ensayo Y-GROOVE



FIGURA 81: Cordón en acero ASTM A 36

TABLA31: Inspección visual ensayo Y-GROOVE Acero A36

INSPECCIÓN VISUAL				
Tipo de Ensayo:	Y.GROOVE			
Tipo de Acero:	Acero ASTM A 36			
Características de Cordón				
Longitud de cordón:	70 mm			
Ancho de cordón:	14,4 mm			
Tamaño sobre monta:	0,1 mm			
DEFECTOS DE SOLDADURA				
	SI	NO	N/A	OBSERVACIONES
Fisuras		X		
Cavidades		X		
Inclusiones Sólidas		X		
Falta de Fusión		X		
Falta de penetración			X	
Defectos de Forma	X			Se ve un cordón de un acabado superficial irregular
Defectos Varios no Incluidos en los grupos anteriores.		X		

Como se indica en la tabla... se ve un cordón con una apariencia irregular, lo que hace pensar que tal vez una mala práctica del soldador, provocó esta irregularidad en el cordón.

7.1.3.2.2.1.2. *Inspección Visual Acero A572 Grado 50 Ensayo Y-GROOVE*



FIGURA 82; Cordón en acero ASTM A 572 Gr. 50

TABLA 32: TABLA Inspección Visual Acero A 572, Grado 50, Ensayo Y-GROOVE

INSPECCIÓN VISUAL				
Tipo de Ensayo:		VARESTRAINT		
Tipo de Acero:		Acero ASTM A 572 Grado 50		
Características de Cordón				
Longitud de cordón:	72 mm			
Ancho de cordón:	17 mm			
Tamaño sobre monta:	0,1 mm			
DEFECTOS DE SOLDADURA				
	SI	NO	N/A	OBSERVACIONES
Fisuras		X		
Cavidades		X		
Inclusiones Sólidas		X		
Falta de Fusión		X		
Falta de penetración			X	
Defectos de Forma		X		
Defectos Varios no Incluidos en los grupos anteriores.		X		

El cordón de soldadura del acero A572 tiene muy buenas características que a simple vista no se puede detectar algún tipo de discontinuidad, cavidad o algún otro defecto de soldadura.

7.1.3.2.2.1.3. *Inspección Visual Acero A588 Grado A Ensayo Y-GROOVE*

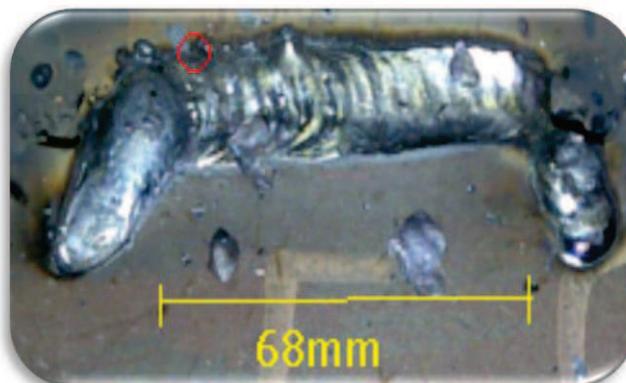


FIGURA 83: Cordón en acero ASTM A 588 Gr. A

TABLA 33: TABLA Inspección Visual Acero A 588, Grado A, Ensayo Y-GROOVE

INSPECCIÓN VISUAL				
Tipo de Ensayo:	VARESTRAINT			
Tipo de Acero:	Acero ASTM A 588 Grado A			
Características de Cordón				
Longitud de cordón:	68 mm			
Ancho de cordón:	17 mm			
Tamaño sobre monta:	0,2 mm			
DEFECTOS DE SOLDADURA				
	SI	NO	N/A	OBSERVACIONES
Fisuras		X		
Cavidades	X			Al parecer hay una cavidad en un costado del cordón
Inclusiones Sólidas		X		
Falta de Fusión		X		
Falta de penetración			X	
Defectos de Forma		X		
Defectos Varios no Incluidos en los grupos anteriores.		X		

Es un cordón de buenas características con apariencia uniforme, en la figura se observa que hay una cavidad que se puede pensar que es un poro, lo que se confirmará o descartará con el ensayo de radiografía.

7.1.3.2.2.2. *Radiografía Industrial*

Para poder hacer el ensayo con el equipo de radiografía, se debe calcular el tiempo de exposición a los Rayos X de cada placa. El tiempo de exposición es función de las propiedades geométricas del espécimen a ser expuesto, y las características de cada equipo.

TABLA 34: *TABLA Parámetros para cálculo de tiempo de exposición de rayos X, ensayo Y-GROOVE*

TABLA PARA CALCULO TIEMPO DE EXPOSICIÓN A RAYOS X			
ENSAYO			
MATERIAL	Acero ASTM A 36	Acero ASTM A 572 Gr50	Acero ASTM A 588 Gr. A
Longitud	70	72	68
Longitud Película	200	200	200
Espesor placa	20	20	20
Sobremonta	0,1	0,1	0,2
Kx	140	140	140
Tc	60	105	110
Intensidad de Corriente	5	5	5

Una vez establecido los parámetros, utilizando la ecuación de tiempo de exposición versus los factores de exposición se calcula el tiempo necesario para tener una película que sea visible sin inconvenientes.

$$t_{exp} = tc * f_n * f_p * f_d * f_v$$

Ecuación 6; *Tiempo de exposición Rayos X*

$$f_v = 2,2$$

$$f_p = 2,5$$

$$f_d = 0,5$$

$$f_d = 1$$

Factores hallados en función de tabla y gráficos proporcionados por los proveedores del equipo radiográfico.

TABLA 35: *TABLA de exposición a Rayos X en función del material ensayado.*

MATERIAL	T exp. (min)
Acero ASTM A 36	4,1
Acero ASTM A 572 Gr50	4,95
Acero ASTM A 588 Gr. A	4,82

7.1.3.2.2.2.1. Radiografía Industrial Acero ASTM A 36 ensayo Y-GROOVE



FIGURA 84: *Radiografía cordón de soldadura Acero A 36 Ensayo Y-GROOVE*

En esta placa se observa falta de penetración en la soldadura, a parte se observa pequeñas porosidades que finalmente están aceptadas por la norma, el principal problema según mi punto de vista es la falta de penetración de la soldadura.

7.1.3.2.2.2.2. Radiografía Industrial Acero ASTM A 572 Grado 50 ensayo Y-GROOVE



FIGURA 85: *Radiografía cordón de soldadura Acero A 572 Gr. 50 Ensayo Y-GROOVE*

Como ha sido característica en este acero, el cordón de soldadura tiene muy buenas características y las pequeñas porosidades que se observan en el cordón, son completamente manejables y no son un factor que podría descartar a esta soldadura.

7.1.3.2.2.3. *Radiografía Industrial Acero ASTM A 588 Grado A ensayo Y-GROOVE*



FIGURA 86: *Radiografía cordón de soldadura Acero A 588 Gr. A Ensayo Y-GROOVE*

En esta película se observa un cordón uniforme, de buenas características y buena penetración. Sin embargo se observa una pequeña porosidad en uno de los extremos del cordón que comparando con la norma (ASME, Sección II, Parte C) es un cordón que aprueba.

TABLA 36: *TABLA de análisis radiográfico en probetas ensayadas Y-GROOVE.*

DISCONTINUIDADES EN RADIOGRAFÍAS									
DEFECTOS DE SOLDADURA	Fisuras	Cavidades	Inclusiones Sólidas	Falta de Fusión	Falta de penetración	Defectos de Forma	Característica	Criterio	Aprueba
MATERIAL									
ACERO ASTM A 36	SI	SI	SI	SI	SI	SI	2,2 mm	<6mm	Aprueba
	NO	NO	NO	NO	NO	NO			
ACERO ASTM A 572 Gr 50	SI	SI	SI	SI	SI	SI	1,1 mm	<6mm	Aprueba
	NO	NO	NO	NO	NO	NO			
ACERO ASTM A 588 Gr A	SI	SI	SI	SI	SI	SI	1,6 mm	<6mm	Aprueba
	NO	NO	NO	NO	NO	NO			

7.1.3.2.2.3. *Macroestructuras y Microestructu*

7.1.3.2.2.3.1. *Preparación de probetas.*

Para comenzar con este análisis se va a cortar probetas según manda la norma AWS B4.0 2000, que indica de donde y como numerar las probetas. Esto permite evaluar macro y micrográficamente la soldadura según su posición.

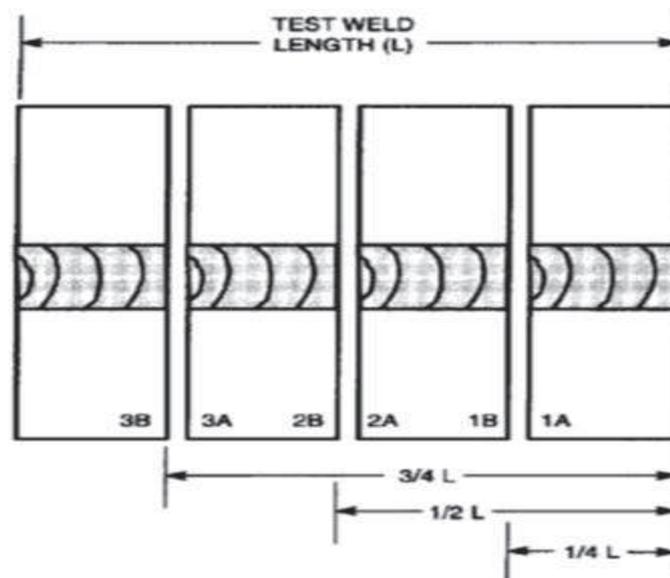


FIGURA 87: *Disposición y numeración de probetas según la Norma AWS B4. 0 2000*

Se procede a marcar las probetas de forma particular, se marcará cada probeta con las últimas letras del alfabeto antecediendo la numeración del acero que pertenezca.

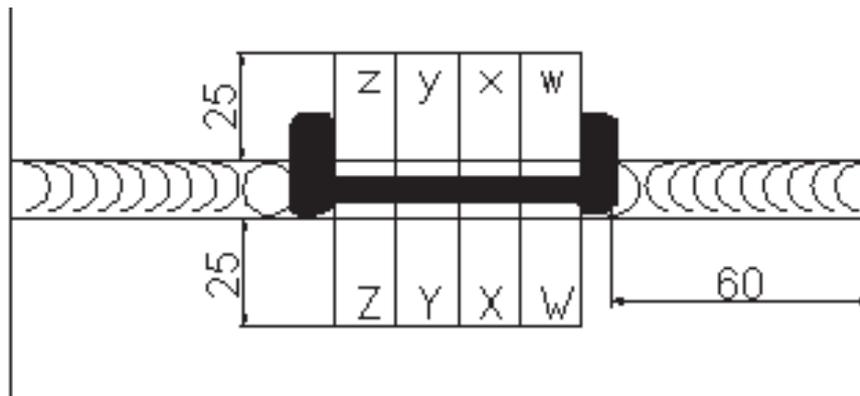


FIGURA 88: *Identificación de Probetas*

Posteriormente a la identificación de las probetas se procede con el corte en cada placa. Se corta primero longitudinalmente con corte por Oxi Acetilénico, se corta con plasma a una distancia de 25mm del cordón esta distancia garantiza que el calor que provoca el corte por plasma no modifique las propiedades físicas ni químicas del cordón de soldadura que van a ser analizado.

El equipo de corte por plasma es semiautomático, por lo tanto se deben regular varios de los factores para el corte como; posición de la placa, caudal de gas de corte, velocidad de avance, voltaje y amperaje en la máquina.



FIGURA 89: *Preparación del equipo de corte por Oxi Acetilénico.*

Con el proceso semi-automático se puede tener una mayor aproximación a condiciones similares en los tres tipos de acero, esto es debido a que el soldador interviene en menor proporción.

El corte se hace en los dos costados de la probeta dejando únicamente para cortar de forma manual con sierra para no afectar con el calor del uso de instrumentos que generen calor que puedan modificar las propiedades del metal.



FIGURA 90; Corte de placa para probetas ACERO A 588 Grado A.

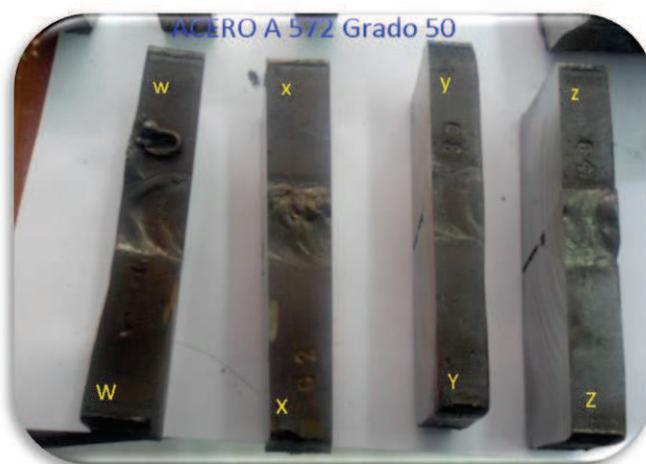


FIGURA 91: Probetas acero A 572 Gr 50 preparadas para macro y micrografías



FIGURA 92: *Probetas acero A 588 Gr A preparadas para macro y micrografías*

Las probetas se identifican sin problema, la probeta que empieza a presentar problemas es la de acero A 36, se identifica que existe falta de penetración en la soldadura. Y esto se evidencia al extraer la probeta A36-Xx se rompe en la junta soldada. Por lo que es un factor determinante para establecer cual resultó la peor junta soldada.

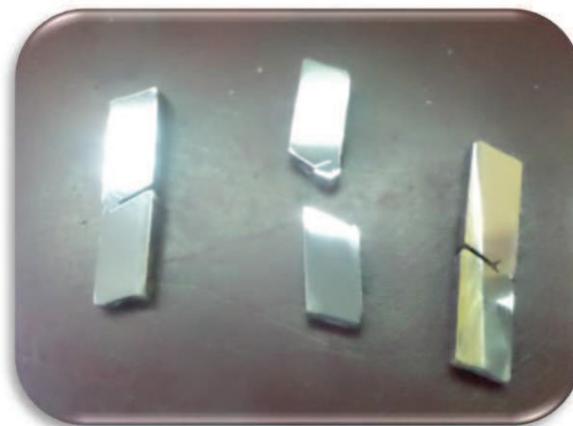


FIGURA 93: *Probetas A36-Xx, que se rompió al extraer de la junta.*

7.1.3.2.2.3.2. *Macrografías y Micrografías de Probetas.*

FIGURA 94: ENSAYO Y-GROOVE, ACERO ASTM A572 GRADO 50 PROBETA A572-Xx

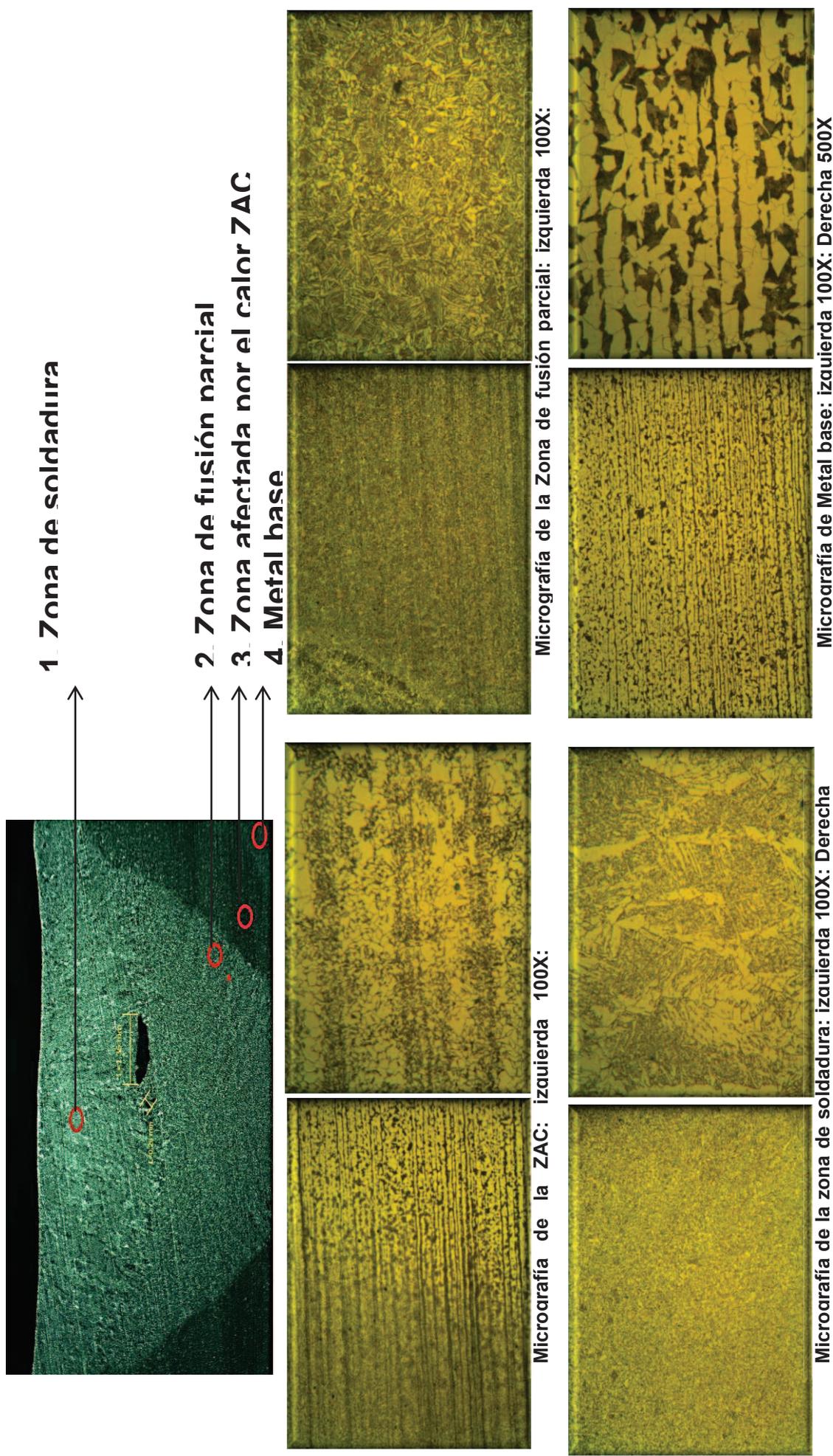


FIGURA 95: ENSAYO Y-GROOVE, ACERO ASTM A588 GRADO A PROBETA A588-Xx

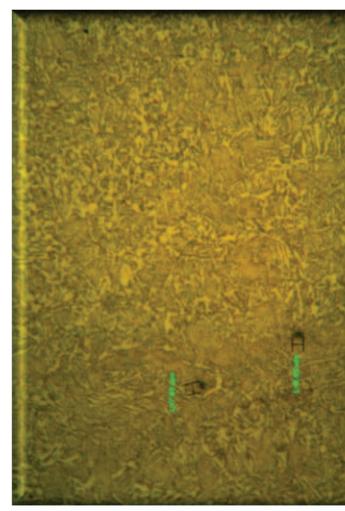
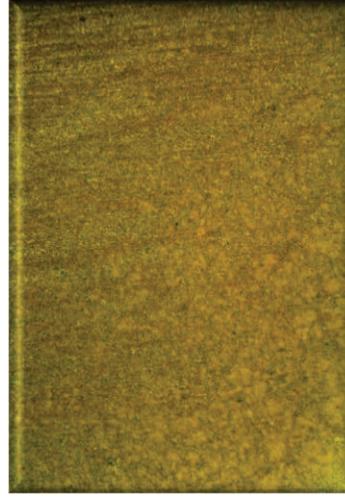
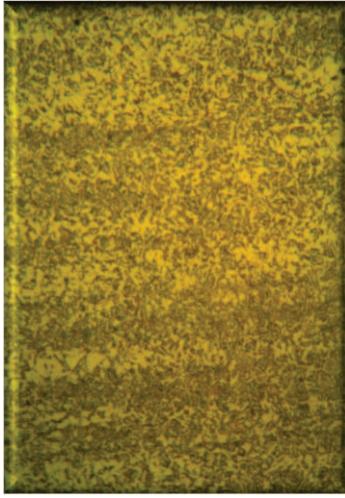
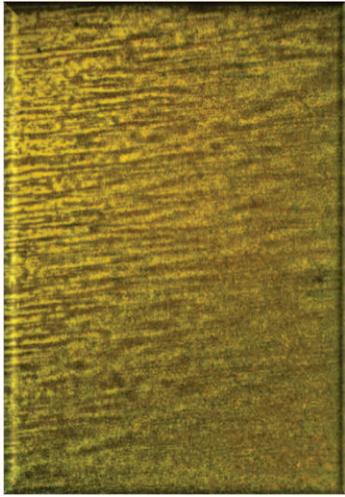


1. Zona de soldadura

2. Zona de fusión parcial

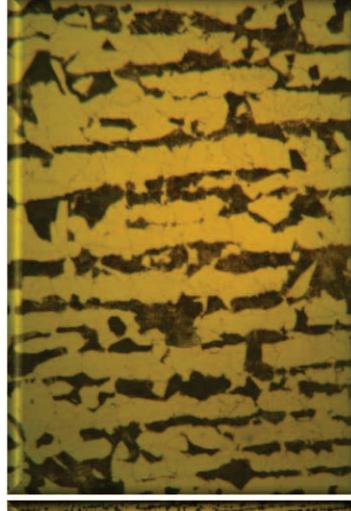
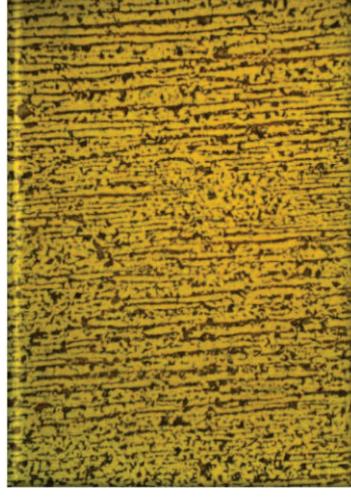
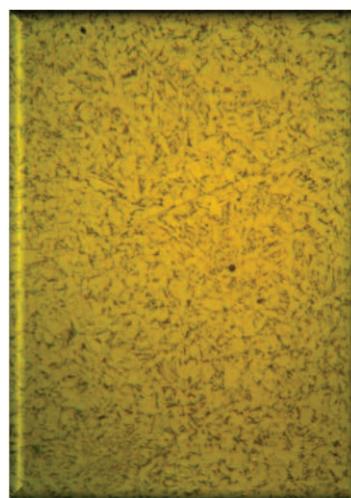
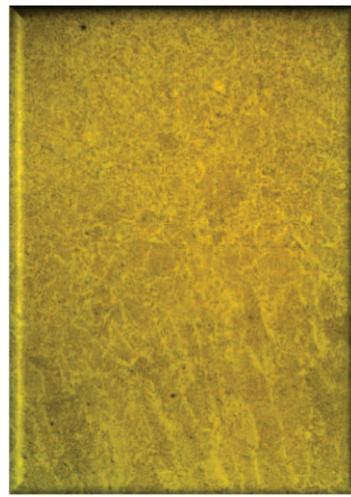
3. Zona afectada por el calor ZAC

4. Metal base



Micrografía de la ZAC: izquierda 100X: Derecha

Micrografía de la Zona de fusión parcial: izquierda 100X:



Micrografía de la zona de soldadura: izquierda 100X: Derecha 500X

Micrografía de Metal base: izquierda 100X: Derecha 500X

ENSAYO Y-GROOVE, ACERO ASTM A36 PROBETA A36.Xx

FIGURA 96:

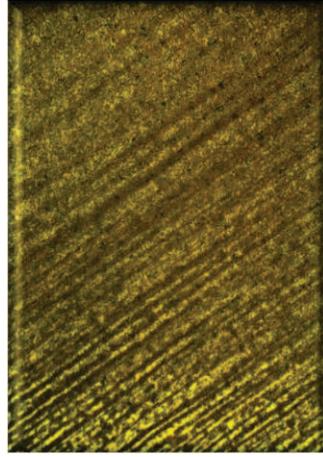


1. Zona de soldadura

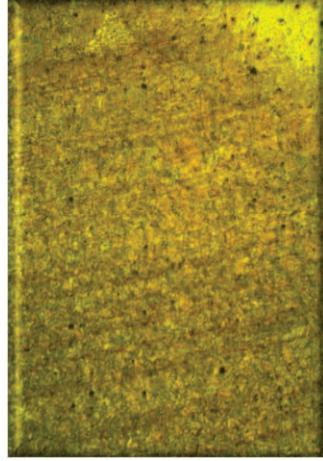
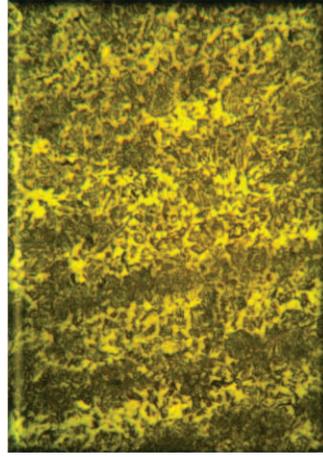
2. Zona de fusión parcial

3. Zona afectada por el calor ZAC

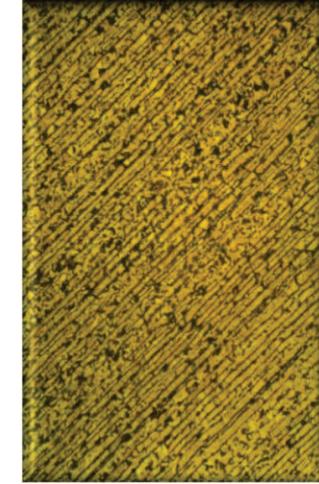
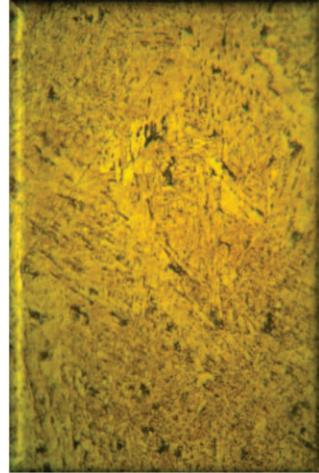
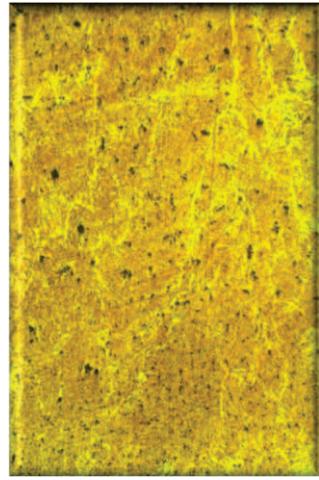
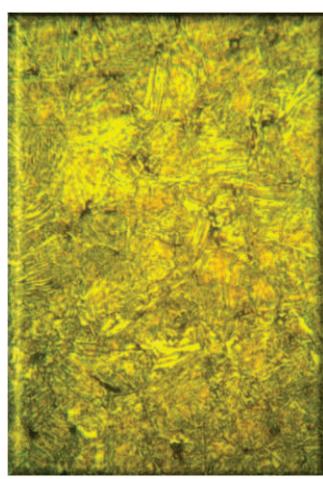
4. Metal base



Micrografía de la ZAC: izquierda 100X: Derecha



Micrografía de la Zona de fusión parcial: izquierda 100X:



Micrografía de la zona de soldadura: izquierda 100X: Derecha 500X

Micrografía de Metal base: izquierda 100X: Derecha 500X

TABLA37: ANALISIS DE MACROGRAFÍAS EN PROBETAS ENSAYADAS PROCESO Y-GROOVE

ANALISIS DE MACROGRAFÍAS EN PROBETAS ENSAYADAS PROCESO Y-GROOVE											
PROBETA	MUESTRA	SECCION	POROSIDAD		OTRAS DISCONTINUIDADES		Defectos Soldadura		OBSERVACIONES		
									DISCONTINUIDADES	DEF. DE SOLDADURAS	
A36	Ww	1A	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO	No hay porosidad ni discontinuidades	Falta de penetración
	Xx	1B	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO	La probeta esta rota y tiene una fisura interna de L=2,16mm	Falta de penetración
	Xx	2A	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO	Probeta rota	Falta de penetración
	Yy	2B	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO	Inclusión de escoria	Falta de penetración
	Yy	3A	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO	No hay porosidad ni discontinuidades	Falta de penetración
	Zz	3B	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO	No hay porosidad ni discontinuidades	Falta de penetración
	Ww	1A	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO	No hay porosidad ni discontinuidades	No hay defectos
	Xx	1B	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO	Poros de d=0,2 mm e inclusión de escoria de l=1,35mm	No hay defectos
	Xx	2A	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO	Poros d=0,35mm	No hay defectos
A572	Yy	2B	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO	No hay porosidad ni discontinuidades	No hay defectos
	Yy	3A	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO	No hay porosidad ni discontinuidades	No hay defectos
	Zz	3B	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO	No hay porosidad ni discontinuidades	No hay defectos
	Ww	1A	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO	No hay porosidad ni discontinuidades	No hay defectos
	Xx	1B	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO	Poros con d=0,85mm	No hay defectos
	Xx	2A	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO	No hay porosidad ni discontinuidades	No hay defectos
	Yy	2B	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO	No hay porosidad ni discontinuidades	No hay defectos
	Yy	3A	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO	No hay porosidad ni discontinuidades	No hay defectos
	Zz	3B	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO	Inclusión de escoria L=4,35mm	No hay defectos
A588	Ww	1A	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO	No hay porosidad ni discontinuidades	No hay defectos
	Xx	1B	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO	No hay porosidad ni discontinuidades	No hay defectos
	Xx	2A	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO	No hay porosidad ni discontinuidades	No hay defectos
	Yy	2B	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO	No hay porosidad ni discontinuidades	No hay defectos
	Yy	3A	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO	No hay porosidad ni discontinuidades	No hay defectos
	Zz	3B	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO	No hay porosidad ni discontinuidades	No hay defectos
	Ww	1A	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO	No hay porosidad ni discontinuidades	No hay defectos
	Xx	1B	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO	No hay porosidad ni discontinuidades	No hay defectos
	Xx	2A	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO	No hay porosidad ni discontinuidades	No hay defectos

7.1.3.2.2.4. *Comparación Resultados de Análisis Micrográfico y Micrográfico*

ACERO A36: En los dos ensayos tanto el TEKKEN como en el VARESTRAINT resultó ser la junta o el cordón de soldadura de menor calidad o de características más deficientes.

ACERO A572 Grado 50 En contraste con el **ACERO A36** el acero A572 Grado 50, presentó tener las mejores características tanto en el cordón de soldadura para el ensayo VARESTRAINT y la junta soldada en el ensayo TEKKEN o Y.GROOVE.

ACERO A588 Grado A En función del análisis macrográfico y micrográfico, resultó ser un acero que presenta buenas características en su junta soldada, hecha con el procedimiento FCAW. Pero sin embargo presenta menores características positivas que el ACERO A572 GRADO 50 convirtiéndolo a este último como la mejor opción para soldar con el método FCAW bajo características similares a las citadas en el presente trabajo.

7.1.3.2.2.5. *Ensayos de Dureza.*

Se hace el ensayo de dureza para verificar como varía la dureza en función de la posición con el cordón de soldadura. Hay que recordar que por los diversos aspectos de la soldadura como las altas temperaturas que se presentan, pueden cambiar sus propiedades físicas y entre ellas la dureza del material.

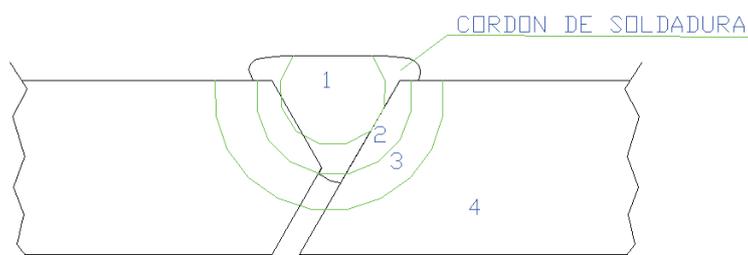


FIGURA 97: Esquema de posiciones donde se tomaron las durezas en placas.

La dureza se mide con el equipo de medición de dureza del laboratorio de metalografías de la facultad de Ingeniería Mecánica. El equipo es de marca HARDROCKER, se utiliza la escala de dureza Rockwell B con un indentador punta redonda, el ensayo se lo realiza a tres probetas una por cada material ensayado.

TABLA 38: TABLA de durezas en función de la posición

DUREZA ROCKWELL B EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DE LA PROBETA					
MATERIAL	PROBETA	POSICION			
		1	2	3	4
ACERO A 36	A36-Yy	87	91	92	80
ACERO A 572 Gr. 50	A572-Yy	88	86	97	79
ACERO A 588 Gr. A	A588Yy	89	88	99	82

Se puede observar que la dureza es similar en los tres tipos de acero, esto evidencia que la dureza Rockwell B, no podría ser un parámetro de comparación y para ello se refleja en el gráfico dureza vs posición de ensayo.

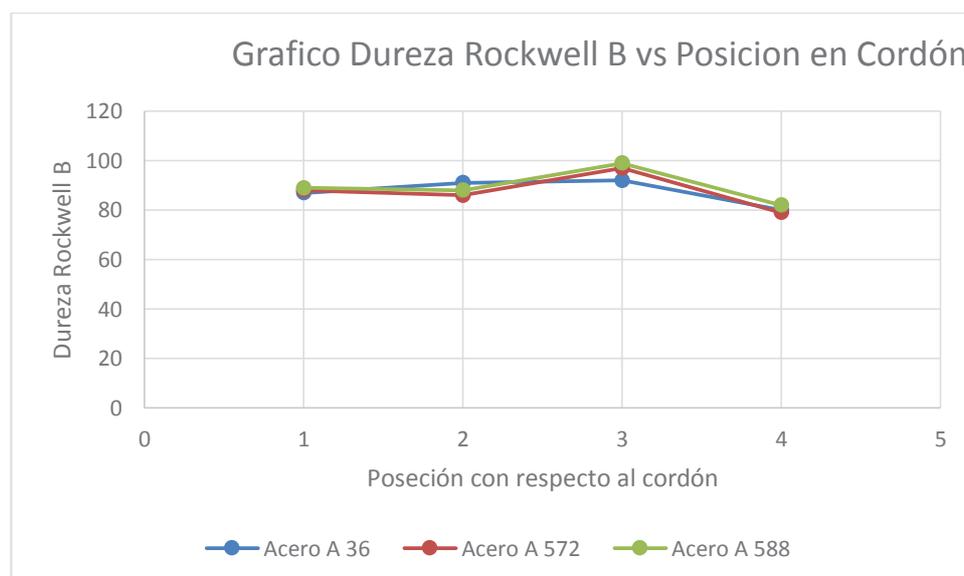


FIGURA 98: Dureza Rockwell B vs Posición respecto al cordón de soldadura

CAPITULO 8

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

8.1. Conclusiones

- Se evidenció que en el uso del equipo de soldadura FCAW, a pesar de establecer los mismos parámetros de soldadura de la máquina como (voltaje, amperaje, velocidad de alimentación, material de aporte, etc.) y un mismo soldador calificado. No se puede obtener cordones o juntas soldadas de iguales características. El factor humano es fundamental, a pesar de que este proceso sea semiautomático. Se hace esta aseveración por la baja calidad del cordón de soldadura obtenido en la junta del acero ASTM A36 en el ensayo de soldabilidad Y-GROOVE.
- Mediante el análisis macrográfico y posteriormente micrográfico, de las probetas sometidas al ensayo VARESTRAINT, se observa que el hecho de someter al material a un esfuerzo de doblado mientras se hace la soldadura, Provoca que en la región donde empieza el doblado (Probeta A Ensayo VARESTRAINT), el cordón tiende a tomar una estructura cristalina que podría afectar sus propiedades mecánicas. Siendo el Acero ASTM A-572 Gr. 50 el que menor variación presenta o en otras palabras el menos afectado por el doblado.
- El hecho de tener una protección propia por el núcleo de fundente y en este estudio adicionalmente una protección con CO₂, ofrecen cordones que visiblemente tienen buen acabado superficial y a simple vista no parecerían tener falla. Con este estudio se ve que cuando se suelda juntas la única manera de comprobar de forma verídica el buen estado de un cordón, es haciendo pruebas adicionales a las Pruebas Ópticas como Radiaciones Penetrantes, vibraciones mecánicas u otras detalladas en los ensayos no destructivos.
- El no hacer un proceso de precalentamiento en placas con espesores relativamente grandes, a pesar de que en su cálculo no sea necesario este precalentamiento, en un análisis comparativo deja en desventaja con respecto a otras placas que se comparan y han sometido al

precalentamiento, como sucede en este estudio con las probetas que no fueron sometidas al precalentamiento (ACERO A36 ENSAYO Y-GROOVE), que presenta características evidentemente más deficientes que las probetas que fueron sometidas al proceso de precalentado.

- Analizando las micrografías se observa que en el proceso FCAW a pesar de tener cordones con buenas características, siempre va a haber porosidades e inclusiones pequeñas, que no serán un factor determinante con el análisis de una norma que descarte o no el cordón de soldadura.
- Se puede observar con la micrografía a 100x en el cordón de soldadura, que en todas las probetas ocurre un enfriamiento sucesivo en cada pase del cordón, siendo el cordón que se encuentra más en el interior (en este caso el primer pase de soldadura) el cordón que presenta mejores características y mayor uniformidad en su forma por ser el que se enfría a menor velocidad que el resto. Y en el caso opuesto el pase que está más alejado del interior (cuarto pase) presenta una estructura de características inferiores por ser la parte que se enfría a mayor velocidad.
- En este estudio se concluye que el acero de mejor soldabilidad con el proceso FCAW en placas de acero ASTM A36, ASTM A572 Grado 50 y acero ASTM A588 Grado A, soldadas bajo las mismas condiciones es el **ACERO ASTM A 572 Grado 50** ya que en ponderación su cordón de soldadura resultó tener las mejores características.

8.2.Recomendaciones:

- Se recomienda establecer parámetros adecuados basados en; tablas, recomendaciones del proveedor, cálculos previos y la experiencia, para programar el equipo de FCAW y tener cordones de soldadura de buenas características.
- Es recomendable hacer un proceso de precalentamiento en todas las placas cuyo espesor sea mayor a los 20mm (por ser el espesor estudiado en este trabajo), ya que en las probetas que se tiene espesores menores (ensayo vareststraint) no fue un factor determinante la temperatura de precalentamiento.

- En trabajos de grandes cantidades, se recomienda hacer un muestreo para ensayar probetas soldadas, y garantizar el trabajo realizado ya que en este trabajo se evidenció que la inspección visual no es suficiente para calificar de una forma correcta a un determinado cordón.

Bibliografía

1. 314, N. A. (1998). *ESTUDIO DE LA SOLDABILIDAD DEL ACERO RESISTENTE A ALTA TEMPERATURA*.
2. A.W.S., A. W. (2008). *AWS B4.0M 2000 An American National Standard*. MIAMI.
3. AMERICAN WELDING SOCIETY A.W.S. (6ta Edición, sección 2). *Welding Handbook* .
4. ASM International. (s.f.). *ASM HANDBOOK Volume 6*.
5. ASME. (2007). *Radiografías Sección II, Parte C*.
6. Gere, J. M. (2010). *Mecánica de Materiales*. THOMSON.
7. GUY, M. (s.f.). *Soudage et Soudabilite Metallurgique Des Metaux*.
8. <http://eadic.com/blog/puentes-acero-puentes-viga-vigas-de-alma-llena-armadas/>. (s.f.).
9. <http://es.scribd.com/doc/56847041/Proceso-fcaw>. (s.f.).
10. <http://es.scribd.com/doc/58891971/CUADERNO-FCAW> . (s.f.).
11. <http://www.foroaviones.com/foro/off-topic/18559-sector-naval-de-foroaviones-vol-iii-5.html>. (s.f.).
12. <http://www.slideshare.net/DiegoMartinez/actividad-3-22560208>. (s.f.).
13. *Instituto Internacional de Soldadura (IIW)*. (2008).
14. LINCOLN. (s.f.). *Ctálogo de Electrodo*s.
15. MONICA SALAZAR, U. N. (2009). *Soldadura por Arco de Fundente*. COMAHUE.
16. Nacional, D. d. (2013). *ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS*. Quito.
17. PALMAY, C., & LLUGSI, M. (2010). *Estudio de la Soldabilidad en Aceros de Alta Resistencia y Baja Aleación (astm a572)*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
18. ROBERT MESSIER Principles of Welding Processes, P. C. (s.f.). *Principles of Welding Processes, Physics, Chemistry, and Metallurgy*.
19. SEFERIAN, D. (1981). *LAS SOLDADURAS Técnica-Control, Soldabilidad de los Metales*. BILBAO: URMO.
20. SOCIETY, AMERICAN WELDING. (2000). *Manual de Soldadura; Tomo I, 8va Edición*. MEXICO: PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA, S.A.

ANEXOS

ANEXO 1: Norma AWS.B4.0-200 Standar Methods for Mechanical Testing of Weld, ENSAYO VAR ESTRASINT

E5. Varestraint Test

1. Scope

1.1 The varestraint test is used to evaluate base-metal weldability and determine the influence of the welding variables on hot cracking of the base metal. A means is provided for augmenting conventional shrinkage strains to simulate the large shrinkage strains found in highly restrained production weldments.

1.2 This standard is applicable to the following:

- (1) Qualification of materials and welding procedures
- (2) Manufacturing quality control
- (3) Research and development

1.3 The use of this test is restricted as follows:

(1) This test is used for base metal in the thickness range of 6 mm to 13 mm. A variation of this test, called the *mini-varestraint* test, is used for base metal in the thickness range of 3 mm to 6 mm.

(2) Specialized equipment for testing (see Figure E15) and specimen examination is required.

(3) Welding usually is done by the mechanized gas tungsten arc welding (GTAW) process to minimize variables in the welding parameters and testing results.

(4) Specimens are tested under laboratory conditions. Shop floor or field examination of specimens may not be practical.

1.4 The following information shall be furnished:

- (1) All welding parameters
- (2) Number of specimens to be tested
- (3) Orientation of specimens relative to the rolling direction of the base metal, if known
- (4) Base-metal chemical composition
- (5) Base-metal thickness
- (6) Desired weld bead surface geometry (weld bead profile)
- (7) Specimen surface finish
- (8) Value of augmented tangential strain (see 3.1) (optional, depending on the purpose of the test)
- (9) Magnification to be used in examination for cracks.

1.5 **Safety Precautions.** Safety precautions shall conform to the latest edition of ANSI Z49.1, *Safety in Welding, Cutting, and Allied Processes*, published by the American Welding Society.

Note: This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. The standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of the user to establish appropriate safety and health practices. The user should determine the applicability of any regulatory limitations prior to use.

2. Applicable Documents

Reference should be made to the latest edition of the following documents:

AWS A2.4	Standard Symbols for Welding, Brazing, and Nondestructive Examination
AWS A3.0	Standard Welding Terms and Definitions

The source for these documents is the following:

American Welding Society (AWS)
550 N.W. LeJeune Road
Miami, FL 33126

3. Summary of Method

3.1 The test is conducted by depositing a weld on a cantilevered specimen beginning at one end of the specimen (Figure E15). When the weld progresses along the centerline of the specimen to a predetermined point (A), the specimen is bent to conform to a curved die (B) as the arc continues to a location (C) near the end of the specimen. A series of decreasing radius dies is used to provide various magnitudes of strain, i.e., augmented tangential strain, to the solidifying weld in a corresponding series of test specimens. The strain that results in solidification cracking is an index of the crack susceptibility of the base metal.

3.2 After cooling, the surface of the weld is examined for the presence of cracks. Examination is done at a magnification of 40X to 80X, and the length and location of each crack is noted and recorded. The specimen may be sectioned and polished for a more accurate determination of the presence of cracks.

3.3 A smaller scale test, called the *mini-varestraint* test, is used to study the hot-crack susceptibility of expensive base metals or more common base metals in sheet thicknesses. This test utilizes a smaller test specimen (25 mm wide x 150 mm long) and correspondingly smaller test equipment. The mini-varestraint test may not be practical for thicker material since its testing apparatus may not have the loading capacity to bend the thicker material.

4. Significance

The varestraint test is used for the analytic investigation of the hot-crack sensitivity of weld deposits, the effect of specific alloying elements on this sensitivity and the basic mechanisms of hot cracking. This test combines a direct correlation with actual fabrication behavior, re-

producibility of results, an ability to differentiate between small differences in test and welding variables, and uses relatively small test plates.

5. Definitions and Symbols

The welding terms used in this standard are in accordance with the latest edition of AWS A3.0, *Standard Welding Terms and Definitions*. Unless otherwise noted, the following designations are used:

- A = point of arc progression at which bending force is applied
- B = a series of decreasing radius die blocks
- C = location of termination of test weld

6. Apparatus

6.1 The equipment required for conducting the vareststraint test clamps one end of the flat specimen and provides a method for bending the specimen around a fixed curved die during welding. This concept is illustrated in Figure E15. Curved dies having different radii are used while conducting a series of tests with each specimen of the series being bent around a die having a smaller radius than the die used with the previous specimen of the series until the die radius is small enough to cause cracking.

6.2 Localized bending in the vicinity of the molten weld puddle is avoided by using auxiliary bending plates to force the test specimen to conform to the die contour. These plates are clamped onto the edges of the specimen and are bent along with the specimen. The plates are made from rolled steel; their size is 13 mm thick by 50 mm wide by 300 mm long. These auxiliary plates are illustrated in Figure E16. Auxiliary plates used with the mini-vareststraint test are 6 mm thick.

6.3 The bending force may be applied either hydraulically or pneumatically. The design of the equipment and method for bending depends on the individual equipment builder.

6.4 The augmented tangential strain for a given radius of curvature of the die block can be calculated from the following formula:

$$\epsilon = \frac{t}{(2R + t)} \times 100$$

where

- ϵ = percent augmented tangential strain
- t = specimen thickness
- R = die block radius

The typical range of augmented tangential strain is 0 to 4 percent. The required die radius for a given value of augmented tangential strain can be calculated using the same equation.

6.5 Die block radii for the mini-vareststraint test are calculated in the same manner as for the vareststraint test. The overall size of the mini-vareststraint die block may be smaller as the test specimen is smaller.

7. Specimens

The Vareststraint test specimens are rough sawed and machined to size. The specimen size is 50 mm wide by 300 mm long. The specimen thickness is 6 mm or 13 mm. The mini-vareststraint specimen is 25 mm wide by 150 mm long. Typical mini-vareststraint specimen thicknesses are in the range of 3 mm to 6 mm. The specimen surface on which the test weld will be deposited should be machined in the longitudinal direction to a finish no rougher than 4 micrometers R_a , unless it is desired to simulate a surface condition used in service.

8. Procedure

8.1 The vareststraint specimen is clamped in the test fixture. Auxiliary bending plates, when needed to facilitate bending, are clamped in the fixture with the specimen. The removable die block of the desired radius is fastened in the position shown in Figure E15. The arc is initiated on the centerline of the specimen, approximately 50 mm from the specimen's unclamped end. The bending force (F) is suddenly applied as the center of the arc passes Point A, which is near the point of tangency between the curved surface of the die block and the fixed end of the specimen. The specimen and auxiliary bending plates are bent downward until the specimen conforms to the radius of curvature of the top surface of the die block. The rate of arc travel is constant from its point of initiation to its point of termination in the runoff area at location C.

8.2 The bending load and the shielding gas flow (if used) are maintained for five minutes after termination of the weld pass. The specimen then is removed from the fixture for examination.

8.3 The following test parameters shall be maintained:

8.3.1 Number of Specimens. A minimum of three specimens shall be tested under the same conditions at each selected or required value of augmented tangential strain.

8.3.2 Specimen Orientation. The specimen shall be taken from the base metal so that the 300 mm dimension

is parallel to the final direction of rolling or major working unless the specimen used is a casting or if service conditions in which a different orientation of rolling direction are to be simulated.

8.3.3 Weld Geometry. The weld puddle geometry is kept constant when using the maximum crack length criterion (see 9.3.2) for screening of materials.

9. Report

9.1 The as-welded surface near Point A is examined for visual evidence of cracks at a magnification of 40X, 60X or 80X. The locations of any HAZ or fusion-zone cracks are shown schematically in Figure E17. The length of each crack shall be measured to the nearest 0.02 mm with a low-power microscope (40X, 60X, or 80X) containing a calibrated reticule in the eyepiece. The following data normally are recorded:

- (1) Length of each crack (subsequently to be totaled)
- (2) Maximum crack length
- (3) Location of cracks (weld metal or HAZ)
- (4) Number of cracks
- (5) Augmented tangential strain
- (6) Base metal and filler metal (if used) composition
- (7) Base-metal thickness
- (8) Metallurgical and surface conditions
- (9) Welding variables, including:
 - (a) Welding process
 - (b) Electrode type and size
 - (c) Arc length
 - (d) Gas type and flow (if used)
 - (e) Arc current and voltage
 - (f) Arc travel speed

9.2 The test results that are reported shall include the following:

- (1) The base-metal type, composition, thickness and condition
- (2) The percent augmented tangential strain
- (3) The total crack length of the three specimens tested under the same conditions that were found on the as-welded surface at the specified magnification (40X, 60X, or 80X) and the location of the cracks (weld metal or HAZ)
- (4) The maximum crack length of each of the three specimens tested under the same conditions that were

found on the as-welded surface at the specified magnification (40X, 60X, or 80X) and the location of the cracks (weld metal or HAZ)

- (5) The welding process and variables.

9.3 The following criteria can be used to evaluate the test results:

9.3.1 Cracking Threshold. The cracking threshold is the minimum augmented tangential strain required to cause cracking in a particular base metal with a given set of welding variables. This criterion provides a quantitative method for comparing welding procedures.

9.3.2 Maximum Crack Length. The maximum crack length that is measured in a given specimen can be used as a quantitative index for preliminary screening of base metal, filler metal, or both, at comparable levels of augmented tangential strain, provided constant puddle geometry is maintained. This criterion is useful when searching for metals with low crack sensitivity.

9.3.3 Total Combined Crack Length. The total combined crack length is obtained by adding the lengths of cracks found in the weld metal and in the HAZ of each specimen. The total combined crack length produced in the weld metal and HAZ will give the best quantitative index of the hot-crack sensitivity of the weld metal and HAZ, respectively, for a given welding procedure. This criterion also may be used to examine the effects of welding procedure changes.

9.4 Test data should be recorded on a Test Results Sheet similar to Figure E18.

10. Commentary

The technology of the Varestraint test is undergoing further refinement. The test specimen size and geometry, test apparatus, interpretation of results, and understanding of the effect of test variables on cracking susceptibility are being examined in detail. It is expected that significant changes in the test procedure and interpretation of results will occur within the next few years. Two recent articles describing these investigations are included in the Bibliography of this document. The classical aspects of the Varestraint test have been presented herein; the next edition of this document should include changes resulting from current investigations.

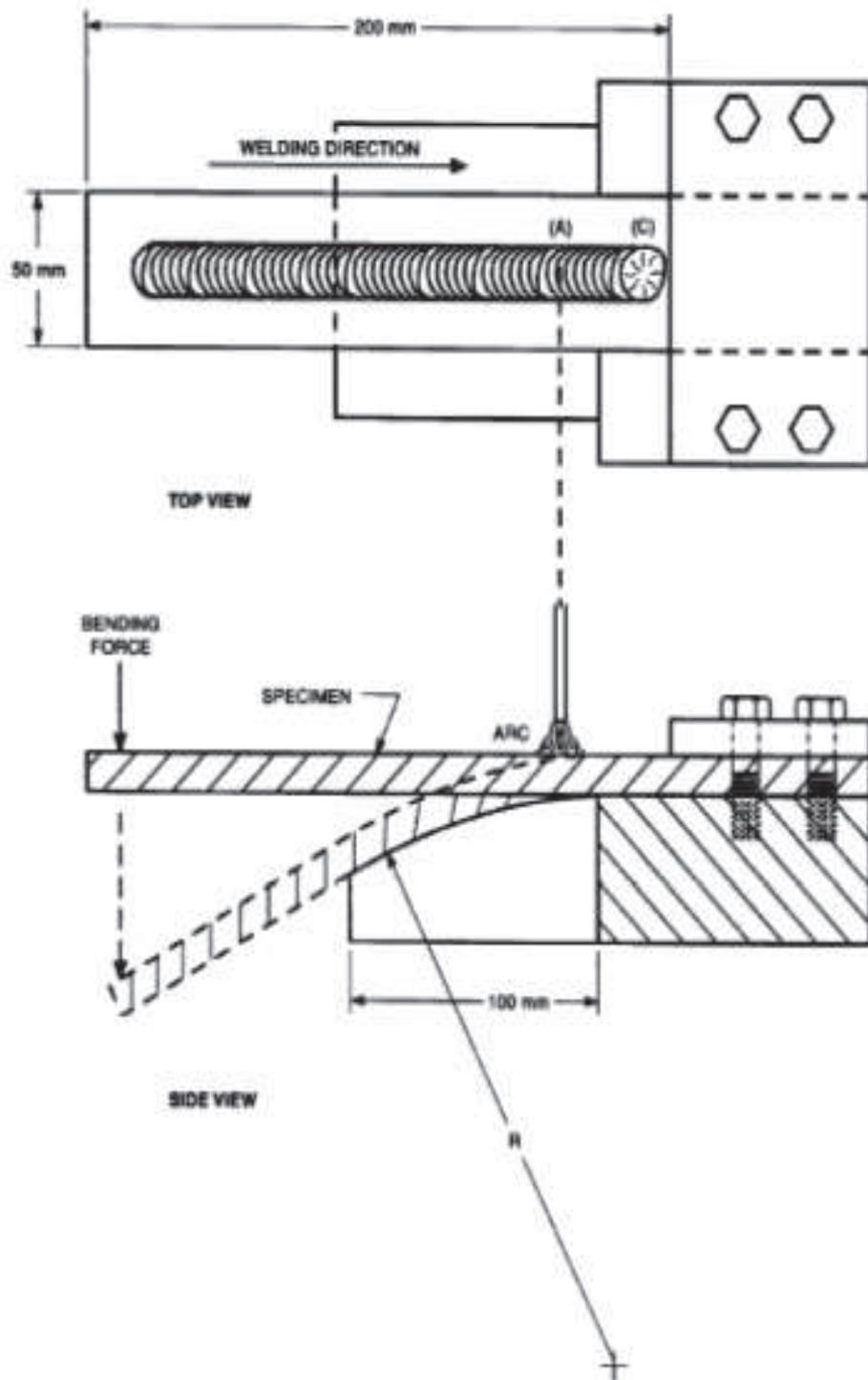


Figure E15—V-restraint Test Fixture and Specimen

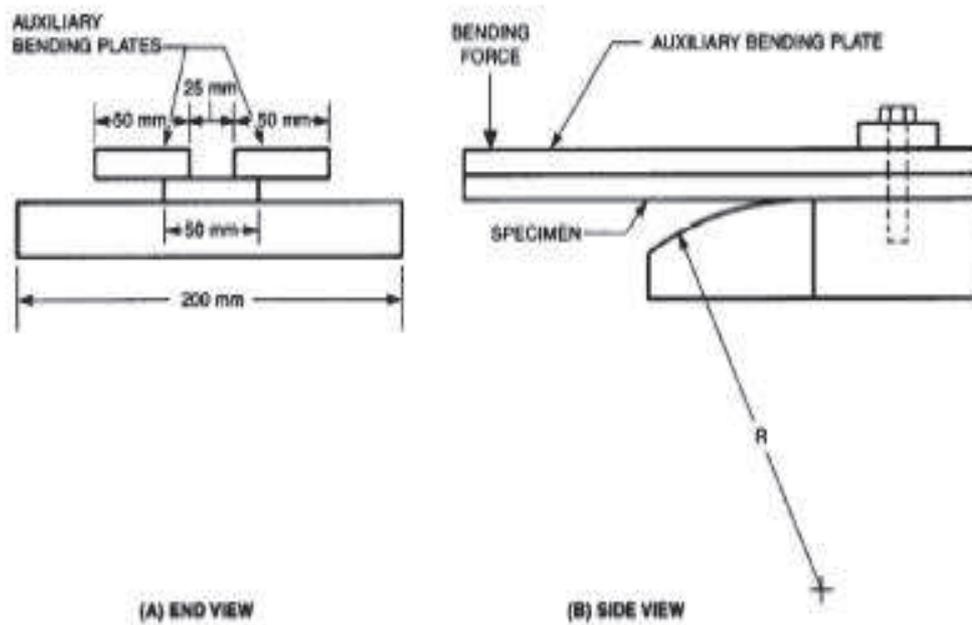
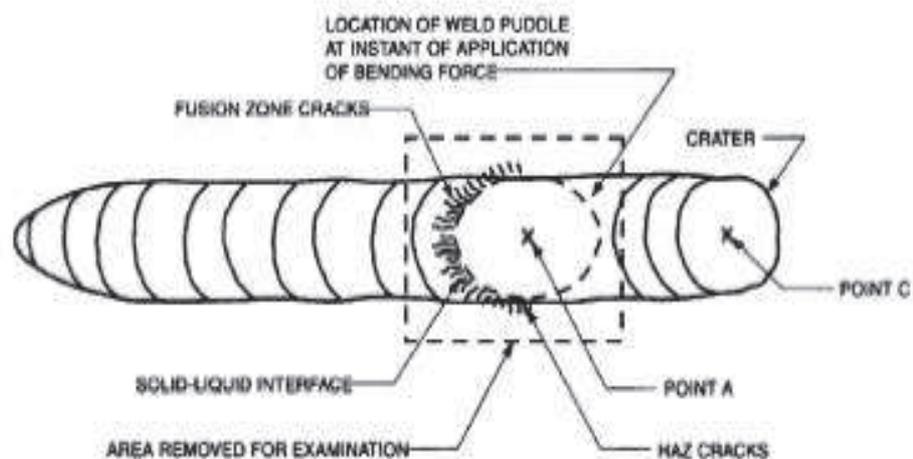


Figure E16—Auxiliary Bending Plates



TOP SURFACE OF TEST WELD SHOWING LOCATION OF ARC, WELD PUDDLE, SOLID-LIQUID INTERFACE AT INSTANT OF APPLICATION OF BENDING FORCE AND WELD METAL AND HEAT-AFFECTED ZONE HOT CRACKS.

Figure E17—Typical Indications on Top Surface of Test Weld

ANEXO 2 : Norma AWS.B4.0-200 Stándar Methods for Mechanical Testing of Weld, ENSAYO Y-GROOVE ó TEKKEN.

E6. Oblique Y-Groove Test

1. Scope

1.1 The Oblique Y-groove test (Tekken Test) is a single-pass, restrained groove weld test used to evaluate susceptibility to hydrogen and weld metal solidification cracking of steel weldments.

1.2 This standard is applicable to the following, when specified:

- (1) Qualification of materials and welding procedures
- (2) Information, basis for acceptance and manufacturing quality control
- (3) Research and development

1.3 The use of this test is restricted as follows:

- (1) Base-metal thickness limited to 13 mm or greater.
- (2) Test results are applicable only to the base-material thickness tested.

1.4 When this standard is used, the following information shall be furnished:

- (1) Test number
- (2) Welding procedure specification and procedure qualification record numbers (if applicable)
- (3) Base-metal identification: specification, heat number, mill test chemistry and heat treatment
- (4) Base-metal thickness
- (5) Welding process
- (6) Filler metal identification, specification and diameter
- (7) Filler metal preweld conditioning (e.g., baking)
- (8) Shielding gas identification: type, dew point, and flow rate
- (9) All welding parameters
- (10) Weld preheat temperature
- (11) Maximum interpass temperature
- (12) Acceptance criteria, if any

1.5 **Safety Precautions.** Safety precautions shall conform to the latest edition of ANSI Z49.1, *Safety in Welding, Cutting, and Allied Processes*, published by the American Welding Society.

Note: This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. The standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of the user to establish appropriate safety and health practices. The user should determine the applicability of any regulatory limitations prior to use.

2. Applicable Documents

Reference should be made to the latest edition of the following documents:

AWS A2.4	Standard Symbols for Welding, Brazing, and Nondestructive Examination
AWS A3.0	Standard Welding Terms and Definitions
AWS A4.3	Standard Methods for Determination of the Diffusible Hydrogen Content of Martensitic, Bainitic, and Ferritic Steel Weld Metal Produced by Arc Welding

The source for these documents is the following:

American Welding Society (AWS)
550 N.W. LeJeune Road
Miami, FL 33126

3. Summary of Method

3.1 The test is performed using a set of three flat plate test assemblies welded under identical conditions. Welds are deposited on each side of the test area to provide restraint. A single test weld is deposited in the restrained, machined groove of each assembly.

3.2 The combination of welding amperage, voltage and travel speed shall be such that the specified heat input range is obtained.

3.3 Each test weld is examined for the presence of hydrogen-assisted cracks, not less than 48 hours after depositing the test weld. Test welds are sectioned as required for internal examination.

3.4 Testing is usually conducted using several test sets welded identically over a range of preheat temperatures so that 100 percent cracking occurs at the lowest temperature tested and 0 percent cracking occurs at the highest temperature tested. Resulting data is useful as a comparative measure of the susceptibility of the material to cracking.

4. Significance

This test is used as a comparative measure to assess the susceptibility to hydrogen and weld metal solidification cracking of steel weldments.

5. Definitions and Symbols

The welding terms used in this section are in accordance with the latest edition of AWS A3.0, *Standard Welding Terms and Definitions*.

6. Apparatus

6.1 A simple fixture is used to hold the test plates so the restraining welds can be deposited. Water-cooled mechanical means are used to section completed test assemblies for internal examination for the presence of cracks. Metallographic equipment is required for polishing, etching, and examining specimens.

7. Specimens

7.1 Test assembly configuration is shown in Figure E19. All weld joint surfaces shall be machined to 4 micrometers R_a minimum. When it is possible to identify the rolling direction of the material being tested, the parts should be cut and assembled with the rolling direction perpendicular to the weld groove, unless otherwise specified.

7.2 The test assembly is fabricated by depositing welds on each end of the weld groove to provide the necessary restraint, as shown in Figure E19, Section A-A. Low-hydrogen-type mild steel filler metal is normally used. Welds shall be deposited by a suitable welding process, using a deep penetrating arc and a weave-bead technique to fill the joints with a minimum number of weld beads. Care shall be taken to minimize angular distortion during welding. Weld reinforcement should be approximately 2 mm. Maximum interpass temperature should be in accordance with steel manufacturers recommendations as applicable to the steel type being joined.

7.3 Each test assembly shall be dimensionally inspected after cooling to ensure the proper configuration as shown in Figure E19, Section B-B. The groove root opening dimension shall be within tolerance.

7.4 Fabricate a minimum of three test assemblies per set.

8. Procedure

8.1 All welding shall be performed in the flat position (1G).

8.2 Test assemblies shall be uniformly heated in an oven, to a temperature slightly higher than the desired preheat temperature. The test assembly is removed from the oven and the surface temperature near the bevel area shall be monitored. Welding shall begin when the desired preheat temperature is reached.

8.3 The single-pass test weld shall be deposited as shown in Figure E20. Welding techniques which promote good

fusion and crater fill shall be employed. Following welding, the assembly shall be allowed to cool in still air. It shall be left at ambient temperature for a minimum period of 48 hours before examination for cracks.

8.4 The test weld area shall be examined for surface cracks. If surface cracks are visible, no further examination is required. If cracking is not visible, the weld shall be sectioned and examined microscopically.

8.5 When sectioning is required, the test weld should be sectioned at the one-fourth, one-half, and three-fourth length positions. Water-cooled mechanical means shall be used to section the test welds. Assemblies shall be securely clamped in such a manner that the cutting process does not contribute to weld root cracking. Sectioned specimens shall be polished, etched and examined at 20X for cracks.

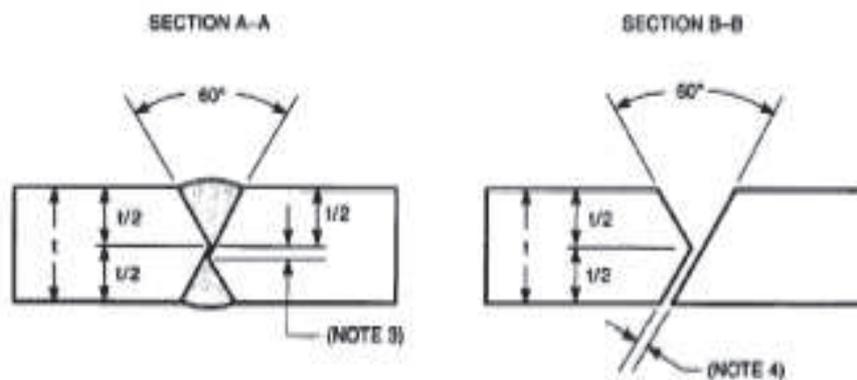
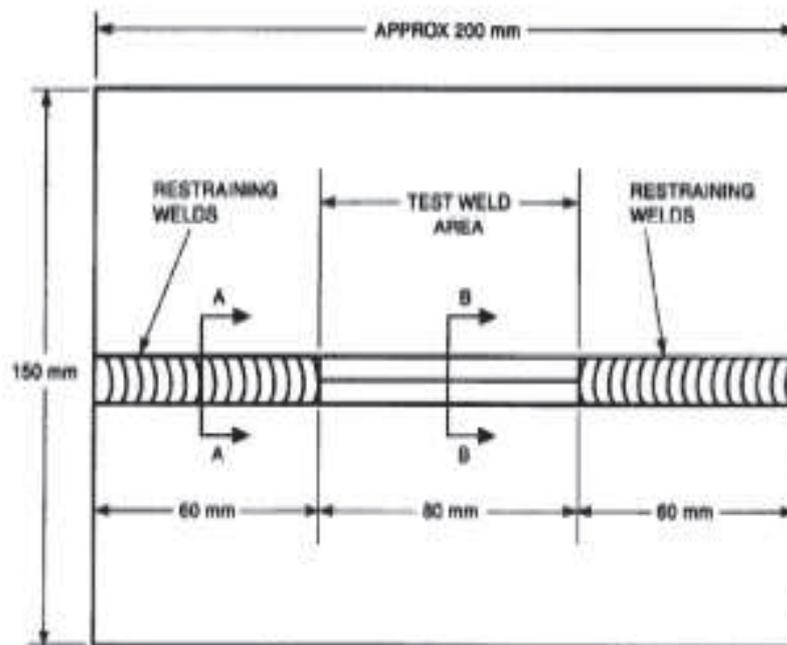
8.6 When the test is used to evaluate susceptibility to hydrogen cracking, a diffusible hydrogen determination shall be performed for each welding process and consumable in accordance with AWS A4.3. The diffusible hydrogen determination shall be performed under the same conditions as the test weld.

9. Report

9.1 The test results that typically are reported include:

- (1) Test number
- (2) Welding procedure specification and procedure qualification record numbers (if applicable)
- (3) Base metal identification
- (4) Base metal thickness
- (5) Filler metal identification
- (6) Filler metal diameter
- (7) Shielding gas identification
- (8) All welding parameters necessary to completely define the procedure and heat input
- (9) Weld preheat temperature
- (10) Ambient temperature and relative humidity at time of welding
- (11) Maximum interpass temperature allowed during welding of restraining welds (if applicable)
- (12) Any observation of unusual characteristics of the test specimen, weld profile, section surface or procedure
- (13) Results of Diffusible Hydrogen tests.

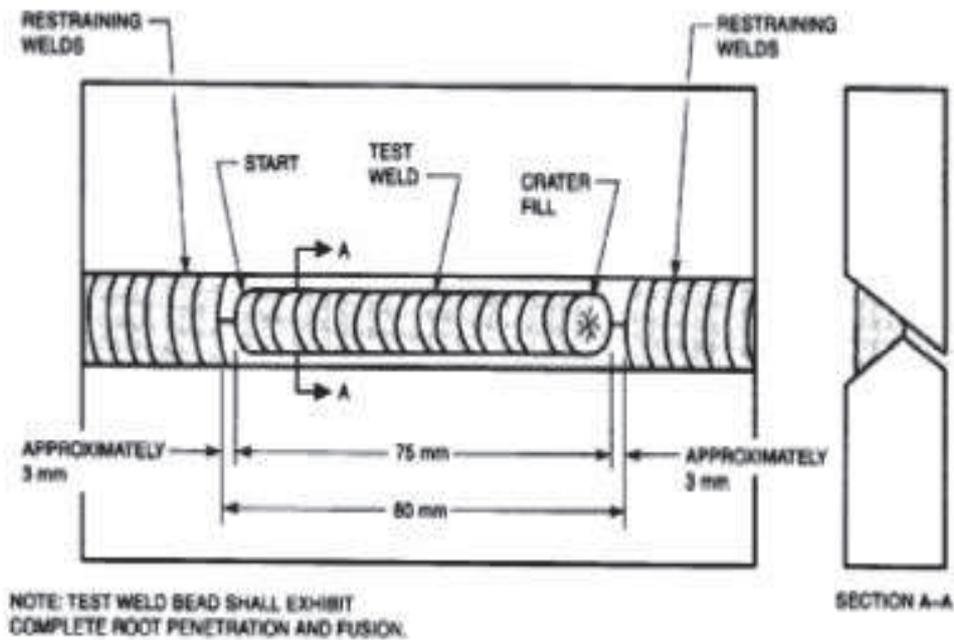
9.2 Test data should be recorded on a Test Results Sheet similar to Figure E21.



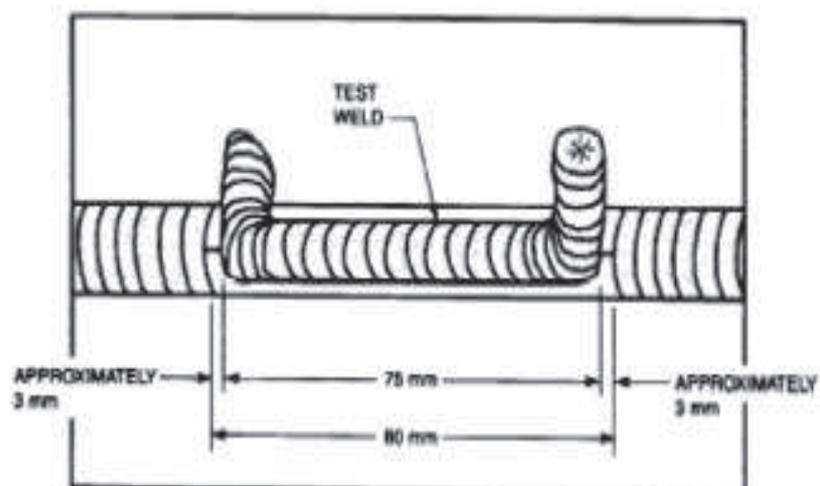
Notes:

1. Base metal outer edges may be thermally cut (not required to be machined).
2. Joint groove preparation shall be made by machine cutting. Surfaces should be no rougher than 4 micrometers R_a . It is recommended that the lay of the surface roughness be oriented parallel with the longitudinal axis of the specimen.
3. Dimension shall be 3 mm prior to depositing restraining welds.
4. Final dimension shall be 2 ± 0.2 mm after restraining welds are deposited. However, contraction caused during anchor welding must be considered prior to machining and assembly, typically approximately 0.3 mm shrinkage.

Figure E19—Oblique Y-Groove Test Assembly

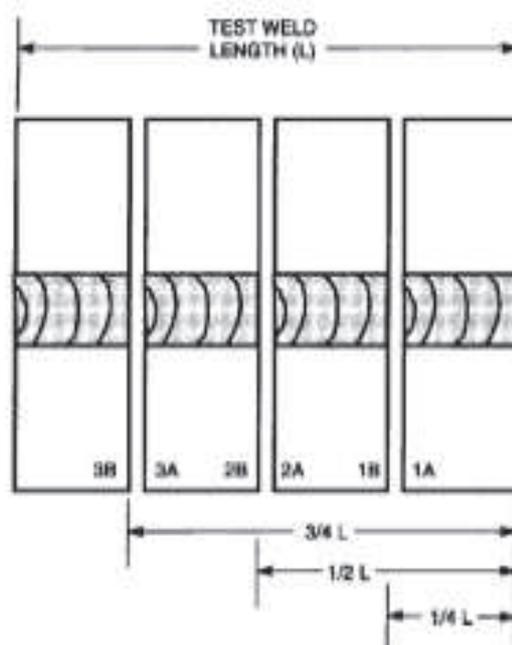


(A) TEST PLATE FOR MECHANIZED WELDING



(B) TEST PLATE FOR MANUAL WELDING

Figure E20—Oblique Y-Groove Test Weld Configuration



(C) SECTIONING OF TEST PLATE

Figure E20 (Continued)—Oblique Y-Groove Test Weld Configuration

OBLIQUE Y-GROOVE TEST RESULTS

Company Name _____ Date _____

Job/Test No. _____ Sheet _____ of _____

Description of Investigation _____

Material Identification _____

Material Thickness _____ Rolling Direction Indicated Y / N

Material Heat Treatment _____

Applicable Welding Procedure No. _____

Welding Details _____ Process _____

Date of Welding _____ Time Lapse—Welding to Testing (hrs) _____

Parameters	Test Weld	Parameters	Anchor Weld	Test Weld
Electrode/Wire Dia.		Welding Consumable ID		
Amperage		Specification		
Voltage		Classification		
Polarity		Baking Treatment		
Travel Speed		Shielding Gas Type, Medium		
Preheat Temperature		Shielding Gas Dew Point		
Heat Input		Max. Interpass Temp.		
Humidity (RH)		Measuring Method		
Ambient Temp.				
Hydrogen Determination Method		Date	Result	
EXAMINATION				
	Surface		Section	
Assembly No.	Inspection Method	Results (C or NC)	Inspection Method	Results (C or NC)

No. of Test Assemblies Inspected _____ Total % Cracking _____

Remarks _____

Tested By _____

Signature _____ Date _____

Figure E21—Suggested Data Sheet for Oblique Y-Groove Test

ANEXO 3 : WPS para soldadura de restricción ensayo Y-GROOVE O TEKKEN (ACERO ASTM A 36)

ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS								
Nombre Compañía: EPN PQR N° : Según Norma: AWS_B4.0-200				N° Identificación: EPN-TIM-FCAW-36-001 Fecha: 27/02/2013 Realizado: Jimmy Calderón Organización: Escuela Politécnica Nacional				
ARTÍCULO 1 JUNTA UTILIZADA				ARTÍCULO 2 TÉCNICA DE SOLDADURA				
Tipo de junta: Ranura Oblicua en Y Abertura de raíz: 2mm (+0.2;-0.2)mm Talón: 2mm (+0.5;-0.5)mm Ángulo de ranura: 60° (+5°;-5°) Placa de respaldo: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> Preparar bisel: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Método: Maquinado				Proceso de Soldadura: SMAW Tipo de Soldadura: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomático <input type="checkbox"/> Soldadura a: Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/> Cordón de respaldo: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> Limpieza: • Pase raíz: Amoladora • Pase siguiente: Cepillo metálico (grata)				
ARTÍCULO 3 METAL BASE				ARTÍCULO 4 POSICIÓN DE SOLDADURA				
Especificación: ASTM A-36 Espesor: 20mm				Posición de soldadura: 2G Progresión: Izquierda a derecha Técnica: Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/> Precalentamiento N/A Tiempo entre pases: N/A				
ARTÍCULO 5 METAL APORTE				ARTÍCULO 6 NOTAS				
• Diámetro		3.175mm (1/8in)	3.175mm (1/8in)		• Verificar alineación de la junta			
• Denominación AWS		E8010	E7018		• Asegurar limpieza de las partes			
• Casa Comercial		AGA	AGA					
• Denominación Comercial		C-10	B-10					
N° de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de Trabajo (voltios)	Velocidad de avance (mm/min)	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo de Polaridad	Intensidad (Amperios)			Oscilado	Recto
1	E7018	3.18	DC +	120-140				X
2	E7018	3.18	DC +	120-140			X	
3	E7018	3.18	DC +	120-140			X	
4	E7018	3.18	DC +	120-140			X	
POSTERIOR	E8010	3.18	DC +	120-140				X

ANEXO 4: WPS para soldadura de restricción ensayo Y-GROOVE O TEKKEN (ACERO ASTM A 572 Grado 50)

ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS								
Nombre Compañía: EPN PQR N° : Según Norma: AWS_B4.0-2000				N° Identificación: EPN-TIM-FCAW-A572-50-001 Fecha: 27/02/2013 Realizado: Jimmy Calderón Organización: Escuela Politécnica Nacional				
ARTÍCULO 1 JUNTA UTILIZADA				ARTÍCULO 2 TÉCNICA DE SOLDADURA				
Tipo de junta: Ranura Oblicua en Y Abertura de raíz: 2mm (+0.2;-0.2)mm Talón: 2mm (+0.5;-0.5)mm Ángulo de ranura: 60° (+5°;-5°) Placa de respaldo: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> Preparar bisel: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Método: Maquinsado				Proceso de Soldadura: SMAW Tipo de Soldadura: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomático <input type="checkbox"/> Soldadura a: Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/> Cordón de respaldo: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> Limpieza: <ul style="list-style-type: none"> Pase raíz: Amoladora Pase siguiente: Cepillo metálico (grata) 				
ARTÍCULO 3 METAL BASE				ARTÍCULO 4 POSICIÓN DE SOLDADURA				
Especificación: ASTM A-572-GR50 Espesor: 20mm				Posición de soldadura: 2G Progresión: Izquierda a derecha Técnica: Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/> Precalentamiento N/A Tiempo entre pases: N/A				
ARTÍCULO 5 METAL APORTE				ARTÍCULO 6 NOTAS				
<ul style="list-style-type: none"> Diámetro Denominación AWS Casa Comercial Denominación Comercial 		3.175mm (1/8in) E6010 AGA C-10		3.175mm (1/8in) E7018 AGA B-10		<ul style="list-style-type: none"> Verificar alineación de la junta Asegurar limpieza de las partes 		
N° de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de Trabajo (voltios)	Velocidad de avance (mm/min)	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo de Polaridad	Intensidad (Amperios)			Oscilado	Recto
1	E7018	3.18	DC +	120-140				X
2	E7018	3.18	DC +	120-140			X	
3	E7018	3.18	DC +	120-140			X	
4	E7018	3.18	DC +	120-140			X	
POSTERIOR	E6010	3.18	DC +	120-140				X

ANEXO 5 : WPS para soldadura de restricción ensayo Y-GROOVE O TEKKEN (ACERO ASTM A 588 Grado A)

ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS								
Nombre Compañía: EPN PQR N° : Según Norma: AWS_B4.0-2000				N° Identificación: EPN-TIM-FCAW-A588-A-001 Fecha: 27/02/2013 Realizado: Jimmy Calderón Organización: Escuela Politécnica Nacional				
ARTICULO 1 JUNTA UTILIZADA				ARTICULO 2 TÉCNICA DE SOLDADURA				
Tipo de junta: Ranura Oblicua en Y Abertura de raíz: 2mm (+0.2;-0.2)mm Talón: 2mm (+0.5;-0.5)mm Ángulo de ranura: 60° (+5°;-5°) Placa de respaldo: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> Preparar bisel: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Método: Maquinado				Proceso de Soldadura: SMAW Tipo de Soldadura: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomático <input type="checkbox"/> Soldadura a: Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/> Cordón de respaldo: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> Limpieza: • Pase raíz: Amoladora • Pase siguiente: Cepillo metálico (grata)				
ARTICULO 3 METAL BASE				ARTICULO 4 POSICION DE SOLDADURA				
Especificación: ASTM A-588-GRA Espesor: 20mm				Posición de soldadura: 2G Progresión: Izquierda a derecha Técnica: Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/> Precalentamiento N/A Tiempo entre pases: N/A				
ARTICULO 5 METAL APORTE				ARTICULO 6 NOTAS				
• Diámetro		3.175mm (1/8in)	3.175mm (1/8in)		• Verificar alineación de la junta			
• Denominación AWS		E6010	E7018		• Asegurar limpieza de las partes			
• Casa Comercial		AGA	AGA					
• Denominación Comercial		C-10	B-10					
N° de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de Trabajo (voltios)	Velocidad de avance (mm/min)	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo de Polaridad	Intensidad (Amperios)			Oscilado	Recto
1	E7018	3.18	DC +	120-140				X
2	E7018	3.18	DC +	120-140			X	
3	E7018	3.18	DC +	120-140			X	
4	E7018	3.18	DC +	120-140			X	
POSTERIOR	E6010	3.18	DC +	120-140				X

ANEXO 6: WPS Soldadura FCAW ensayo Y-GROOVE O TEKKEN (ACERO ASTM A 36)

ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS								
Nombre Compañía: EPN PQR N° : Según Norma: AWS_B4.0-2000				N° Identificación: EPN-TIM-FCAW-36-002 Fecha:05/03/2013 Realizado: Jimmy Calderón Organización: Escuela Politécnica Nacional				
ARTICULO 1 JUNTA UTILIZADA				ARTICULO 2 TÉCNICA DE SOLDADURA				
Tipo de junta: Ranura Oblicua en Y Abertura de raíz: 2mm (+0.2;-0.2)mm Talón: 2mm (+0.5;-0.5)mm Ángulo de ranura: 60° (+5°;-5°) Placa de respaldo: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> Preparar bisel: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Método: Maquinado <input type="checkbox"/>				Proceso de Soldadura: FCAW Tipo de Soldadura: Manual <input type="checkbox"/> Semiautomático <input checked="" type="checkbox"/> Soldadura a: Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/> Cordón de respaldo: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> Limpieza: • Pase raíz: Amoladora • Pase siguiente: Cepillo metálico (grata)				
ARTICULO 3 METAL BASE				ARTICULO 4 POSICIÓN DE SOLDADURA				
Especificación: ASTM A-36 Espesor: 20mm PRECALENTAMIENTO Temperatura de Pre calentamiento: N/A Temperatura entre pases: Min. 70 °C Max 130 °C				Posición de soldadura: 2G Progresión: Izquierda a derecha Técnica: Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/> GAS DE PROTECCION Tipo de Gas: CO2 Composición de la mezcla: CO2-100% Flujo: 25 LPM Sin gas de respaldo				
ARTICULO 5 METAL APORTE				ARTICULO 6 NOTAS				
• Diámetro		1.2 mm		<ul style="list-style-type: none"> • Verificar alineación de la junta • Asegurar limpieza de las partes 				
• Denominación AWS		E 71 T-1C						
• Casa Comercial		LINCOLN						
• Denominación Comercial		E 71 T-1C						
• Flujo Alimentación		3,5 m/min						
N° de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de Trabajo (voltios)	Velocidad de avance (mm/min)	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo de Polaridad	Intensidad (Amperios)			Oscilado	Recto
1	E71T1C	1.2	DC +	120-140				X
2	E71T1C	1.2	DC +	120-140			X	
3	E71T1C	1.2	DC +	120-140			X	
4	E71T1C	1.2	DC +	120-140			X	

ANEXO 7: WPS Soldadura FCAW ensayo Y-GROOVE O TEKKEN (ACERO ASTM A 572 Grado 50)

ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS								
Nombre Compañía: EPN PQR N°: Según Norma: AWS_B4.0-2000				N° Identificación: EPN-TIM-FCAW-572-GR50-002 Fecha: 05/03/2013 Realizado: Jimmy Calderón Organización: Escuela Politécnica Nacional				
ARTICULO 1 JUNTA UTILIZADA				ARTICULO 2 TÉCNICA DE SOLDADURA				
Tipo de junta: Ranura Oblicua en Y Abertura de raíz: 2mm (+0.2;-0.2)mm Talón: 2mm (+0.5;-0.5)mm Ángulo de ranura: 60° (+5°;-5°) Placa de respaldo: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> Preparar bisel: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Método: Maquinado <input type="checkbox"/>				Proceso de Soldadura: FCAW Tipo de Soldadura: Manual <input type="checkbox"/> Semiautomático <input checked="" type="checkbox"/> Soldadura a: Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/> Cordón de respaldo: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> Limpieza: • Pase raíz: Amoladora • Pase siguiente: Cepillo metálico (grata)				
ARTICULO 3 METAL BASE				ARTICULO 4 POSICIÓN DE SOLDADURA				
Especificación: ASTM A-572-GR50 Espesor: 20mm PRECALENTAMIENTO Temperatura de Pre calentamiento: 180 °C Temperatura entre pases: Min. 70 °C Max 130 °C				Posición de soldadura: 2G Progresión: Izquierda a derecha Técnica: Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/> GAS DE PROTECCION Tipo de Gas: CO2 Composición de la mezcla: CO2-100% Flujo: 25 LPM Sin gas de respaldo				
ARTICULO 5 METAL APORTE				ARTICULO 6 NOTAS				
• Diámetro		1.2 mm		<ul style="list-style-type: none"> • Verificar alineación de la junta • Asegurar limpieza de las partes 				
• Denominación AWS		E 71 T-1C						
• Casa Comercial		LINCOLN						
• Denominación Comercial		E 71 T-1C						
• Flujo Alimentación		3.5 m/min						
N° de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de Trabajo (voltios)	Velocidad de avance (mm/min)	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo de Polaridad	Intensidad (Amperios)			Oscilado	Recto
1	E71T1C	1.2	DC +	120-140				X
2	E71T1C	1.2	DC +	120-140			X	
3	E71T1C	1.2	DC +	120-140			X	
4	E71T1C	1.2	DC +	120-140			X	

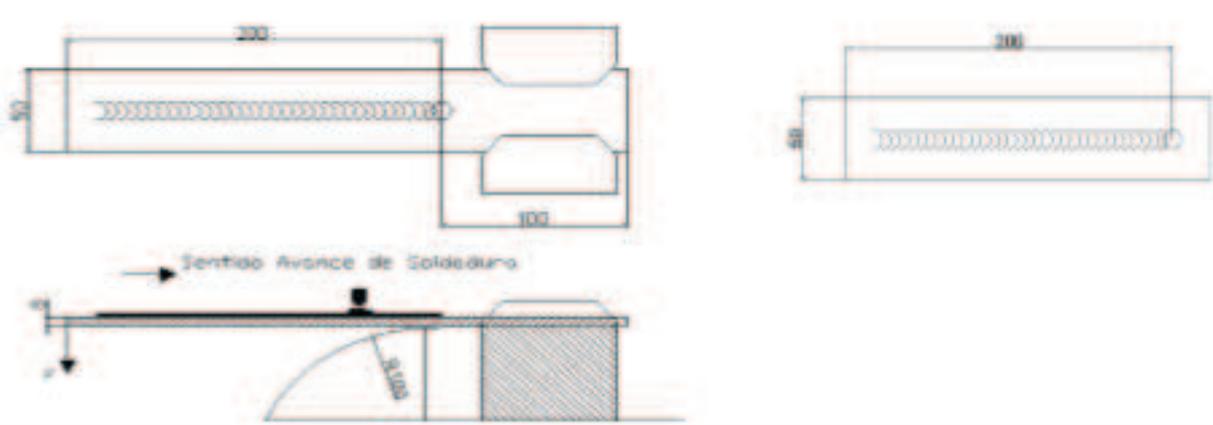
ANEXO 8 : WPS Soldadura FCAW ensayo Y-GROOVE O TEKKEN (ACERO ASTM A 588 Grado A)

ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS								
Nombre Compañía: EPN PQR N° : Según Norma: AWS_B4.0-2000				N° Identificación: EPN-TIM-FCAW-588-GRA-002 Fecha:05/03/2013 Realizado: Jimmy Calderón Organización: Escuela Politécnica Nacional				
ARTICULO 1 JUNTA UTILIZADA				ARTICULO 2 TÉCNICA DE SOLDADURA				
Tipo de junta: Ranura Oblicua en Y Abertura de raíz: 2mm (+0.2;-0.2)mm Talón: 2mm (+0.5;-0.5)mm Ángulo de ranura: 60° (+5°;-5°) Placa de respaldo: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> Preparar bisel: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Método: Maquinado <input type="checkbox"/>				Proceso de Soldadura: FCAW Tipo de Soldadura: Manual <input type="checkbox"/> Semiautomático <input checked="" type="checkbox"/> Soldadura a: Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/> Cordón de respaldo: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> Limpieza: • Pase raíz: Amoladora • Pase siguiente: Cepillo metálico (grata)				
ARTICULO 3 METAL BASE				ARTICULO 4 POSICIÓN DE SOLDADURA				
Especificación: ASTM A-588-GRA Espesor: 20mm PRECALENTAMIENTO Temperatura de Precalentamiento: 180 °C Temperatura entre pases: Min. 70 °C Max 130 °C				Posición de soldadura: 2G Progresión: Izquierda a derecha Técnica: Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/> GAS DE PROTECCION Tipo de Gas: CO2 Composición de la mezcla: CO2-100% Flujo: 25 LPM Sin gas de respaldo				
ARTICULO 5 METAL APORTE				ARTICULO 6 NOTAS				
• Diámetro		1.2 mm		<ul style="list-style-type: none"> • Verificar alineación de la junta • Asegurar limpieza de las partes 				
• Denominación AWS		E 71 T-1C						
• Casa Comercial		LINCOLN						
• Denominación Comercial		E 71 T-1C						
• Flujo Alimentación		3,5 m/min						
N° de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de Trabajo (voltios)	Velocidad de avance (mm/min)	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo de Polaridad	Intensidad (Amperios)			Oscilado	Recto
1	E71T1C	1.2	DC +	120-140				X
2	E71T1C	1.2	DC +	120-140			X	
3	E71T1C	1.2	DC +	120-140			X	
4	E71T1C	1.2	DC +	120-140			X	

ANEXO 9: WPS Soldadura FCAW ensayo VARESTRAINT (ACERO ASTM A 36)

ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS								
Nombre Compañía: EPN PQR N° : Según Norma: AWS_B4.0-2000				N° Identificación: EPN-TIM-FCAW-36-003 Fecha: 28/02/2013 Realizado: Jimmy Calderón Organización: Escuela Politécnica Nacional				
ARTICULO 1 JUNTA UTILIZADA				ARTICULO 2 TÉCNICA DE SOLDADURA				
Tipo de junta: N/A Abertura de raíz: N/A Talón: N/A Ángulo de ranura: N/A Placa de respaldo: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Preparar bisel: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Método: Maquinado <input type="checkbox"/>				Proceso de Soldadura: FCAW Tipo de Soldadura: Manual <input type="checkbox"/> Semiautomático <input checked="" type="checkbox"/> Soldadura a: Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/> Cordón de respaldo: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> Limpieza: • Pase raíz: Amoladora • Pase siguiente: N/A				
ARTICULO 3 METAL BASE				ARTICULO 4 POSICIÓN DE SOLDADURA				
Especificación: ASTM A-36 Espesor: 6 mm PRECALENTAMIENTO Temperatura de Pre calentamiento: N/A Temperatura entre pases: Min. N/A Max N/A				Posición de soldadura: 2G Progresión: Izquierda a derecha Técnica: Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/> GAS DE PROTECCION Tipo de Gas: CO2 Composición de la mezcla: CO2-100% Flujo: 25 LPM Sin gas de respaldo				
ARTICULO 5 METAL APORTE				ARTICULO 6 NOTAS				
• Diámetro		1.2 mm		<ul style="list-style-type: none"> • Verificar alineación de la junta • Asegurar limpieza de las partes 				
• Denominación AWS		E 71 T-1C						
• Casa Comercial		LINCOLN						
• Denominación Comercial		E 71 T-1C						
• Flujo Alimentación		6 m/min						
N° de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de Trabajo (voltios)	Velocidad de avance (mm/min)	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo de Polaridad	Intensidad (Amperios)			Oscilado	Recto
1	E71T1C	1.2	DC +	120-140			X	

ANEXO 10: WPS Soldadura FCAW ensayo VARESTRAINT (ACERO ASTM A 572 Grado 50)

ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS								
Nombre Compañía: EPN PQR N° : Según Norma: AWS_B4.0-2000				N° Identificación: EPN-TIM-FCAW-572-GR50-003 Fecha: 28/02/2013 Realizado: Jimmy Calderón Organización: Escuela Politécnica Nacional				
ARTICULO 1 JUNTA UTILIZADA				ARTICULO 2 TÉCNICA DE SOLDADURA				
Tipo de junta: N/A Abertura de raíz: N/A Talón: N/A Ángulo de ranura: N/A Placa de respaldo: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Preparar bisel: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Método: Maquinado <input type="checkbox"/>				Proceso de Soldadura: FCAW Tipo de Soldadura: Manual <input type="checkbox"/> Semiautomático <input checked="" type="checkbox"/> Soldadura a: Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/> Cordón de respaldo: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> Limpieza: • Pase raíz: Amoladora • Pase siguiente: N/A				
ARTICULO 3 METAL BASE				ARTICULO 4 POSICIÓN DE SOLDADURA				
Especificación: ASTM A-572-GR50 Espesor: 8 mm PRECALENTAMIENTO Temperatura de Precalentamiento: N/A Temperatura entre pases: Min. N/A Max N/A				Posición de soldadura: 2G Progresión: Izquierda a derecha Técnica: Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/> GAS DE PROTECCION Tipo de Gas: CO2 Composición de la mezcla: CO2-100% Flujo: 25 LPM Sin gas de respaldo				
ARTICULO 5 METAL APORTE				ARTICULO 6 NOTAS				
• Diámetro		1.2 mm				• Verificar alineación de la junta		
• Denominación AWS		E 71 T-1C				• Asegurar limpieza de las partes		
• Casa Comercial		LINCOLN						
• Denominación Comercial		E 71 T-1C						
• Flujo Alimentación		8 m/min						
								
N° de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de Trabajo (voltios)	Velocidad de avance (mm/min)	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo de Polaridad	Intensidad (Amperios)			Oscilado	Recto
1	E71T1C	1.2	DC +	120-140			X	

ANEXO 11: WPS Soldadura FCAW ensayo VARESTRAINT (ACERO ASTM A 588 Grado A)

ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS								
Nombre Compañía: EPN PQR N° : Según Norma: AWS_E4.0-2000				N° Identificación: EPN-TIM-FCAW-588-GRA-003 Fecha:28/02/2013 Realizado: Jimmy Calderón Organización: Escuela Politécnica Nacional				
ARTICULO 1 JUNTA UTILIZADA				ARTICULO 2 TÉCNICA DE SOLDADURA				
Tipo de junta: N/A Abertura de raíz: N/A Talón: N/A Ángulo de ranura: N/A Placa de respaldo: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Preparar bisel: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Método: Maquinado <input type="checkbox"/>				Proceso de Soldadura: FCAW Tipo de Soldadura: Manual <input type="checkbox"/> Semiautomático <input checked="" type="checkbox"/> Soldadura a: Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/> Cordón de respaldo: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> Limpieza: • Pase raíz: Amoladora • Pase siguiente: N/A				
ARTICULO 3 METAL BASE				ARTICULO 4 POSICION DE SOLDADURA				
Especificación: ASTM A-588-GRA Espesor: 8 mm PRECALENTAMIENTO Temperatura de Pre calentamiento: N/A Temperatura entre pases: Min. N/A Max N/A				Posición de soldadura: 2G Progresión: Izquierda a derecha Técnica: Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/> GAS DE PROTECCION Tipo de Gas: CO2 Composición de la mezcla: CO2-100% Flujo: 25 LPM Sin gas de respaldo				
ARTICULO 5 METAL APORTE				ARTICULO 6 NOTAS				
• Diámetro		1.2 mm		<ul style="list-style-type: none"> • Verificar alineación de la junta • Asegurar limpieza de las partes 				
• Denominación AWS		E 71 T-1C						
• Casa Comercial		LINCOLN						
• Denominación Comercial		E 71 T-1C						
• Flujo Alimentación		8 m/min						
N° de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de Trabajo (voltios)	Velocidad de avance (mm/min)	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo de Polaridad	Intensidad (Amperios)			Oscilado	Recto
1.	E71T1C	1.2	DC +	120-140			X	

ANEXO 12 Ficha técnica entregada por el fabricante de electrodos , para el electrodo E71T-1

El producto EXATUB E71T-1 es un alambre tubular para aplicarse en toda posición, diseñado para trabajar con CO₂ como gas protector. El EXATUB E71T-1 en comparación con alambres tubulares auto protegidos genera un menor nivel de humas y brinda buenas propiedades frente a la resistencia al impacto a bajas temperaturas.

El cordón de soldadura presenta una buena apariencia y la remoción de escoria es fácil.

Clasificación	
AWS A5.20 / ASME SFA-5.20	E71T-1C

Análisis Químico de Metal Depositado (valores típicos) (%)

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0,05	1,4	0,52	0,013	0,011	-	-	-	-	-

Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

Resistencia a la Tracción (MPa {psi})	Límite de Fluencia (MPa {psi})	Elongación en 2'' (%)	Energía Absorbida (90-V (-20°C)) (J)
min. 578 (83 800)	min. 529 (76 700)	min. 30	100

Conservación del Producto
<ul style="list-style-type: none"> Mantener seco y evitar humedad.

Posiciones de Soldadura	
P, H, Sc, Va.	

Parámetros de Soldado Recomendados

Díámetro (mm)	1,20	1,60
Polaridad	Corriente continua electrodos al positivo (DCEP)	
Amperaje (A)	140 - 320	200 - 390
Voltaje (V)	22 - 35	25 - 36
Stick out (mm)	15 - 25	
Flujo de Gas (l/min)	15 - 25	

Aplicaciones

- El alambre EXATUB E71T-1 es ideal para realizar soldadura en un solo pase y/o multipase sobre aceros de mediana carbono y aceros de baja aleación.
- Dentro de sus aplicaciones es muy usada para la soldadura de fabricación y reparación en astilleros, tanques de almacenamiento, fabricaciones estructurales (vigas, talvas, tubos, tanques, etc.), tendidos de tuberías (piping), minería y equipos de movimiento de tierra en general, etc.

ANEXO 13 : Certificado Original proporcionada por el proveedor con las características físicas y químicas del acero ASTM A-36

1004-00

ORIGINAL

MILL TEST CERTIFICATE



HUNAN YALIN IRON AND STEEL CO., LTD.
(MANUFACTURER)
ADDRESS: LUDU, HENAN, CHINA

COMMODITY: H08B 807 R01L01
E00L 0007'S

CERTIFICATE NO.: L08H2608-01

SPEC: A36-B

CONSIGNEE: STEEL FORCE FAR EAST LTD

DESTINATION: QUAYANGBUJ, CAMBODGE

DATE OF ISSUE: 2016.04.13

NO	SPECIFICATION	HEAT NO.	CMBL NUMBER	QUANTITY MT	ROBTS	CHEMICAL COMPOSITION										MECHANICAL PROPERTIES			TENSILE TEST		IMPACT TEST	
						C	Si	Mn	AL	B	P	S	IN	Cy	TS	YS	EL	A	B	N	TS	YS	EL
1	1.8K121902438	21431	007017190A	4.602	110	0.036	0.202	0.38	0.03	0.0022	0.011	0.003	0.01	0.03	0.06	345	405	45				
2	1.8K121902438	21431	007017190B	4.064	110	0.036	0.202	0.38	0.03	0.0022	0.011	0.003	0.01	0.03	0.06	345	405	45				
3	1.8K121902438	21431	007017190C	5.099	114	0.036	0.202	0.38	0.03	0.0022	0.011	0.003	0.01	0.03	0.06	345	405	45				
4	1.8K121902438	21431	007017190D	3.623	65	0.036	0.202	0.38	0.03	0.0022	0.011	0.003	0.01	0.03	0.06	345	405	45				
5	1.8K121902438	341488	007017070A	3.674	82	0.04	0.231	0.43	0.07	0.0022	0.011	0.003	0.01	0.03	0.06	335	405	45				
6	1.8K121902438	341488	007017070B	4.346	110	0.04	0.231	0.43	0.07	0.0022	0.011	0.003	0.01	0.03	0.06	335	405	45				
7	1.8K121902438	341488	007017070C	5.066	110	0.04	0.231	0.43	0.07	0.0022	0.011	0.003	0.01	0.03	0.06	335	405	45				
8	1.8K121902438	341488	007017070D	4.794	107	0.04	0.231	0.43	0.07	0.0022	0.011	0.003	0.01	0.03	0.06	335	405	45				
9	1.8K121902438	341488	007017060A	4.782	108	0.04	0.231	0.43	0.07	0.0022	0.011	0.003	0.01	0.03	0.06	335	405	45				
10	1.8K121902438	341488	007017060B	5.078	114	0.04	0.231	0.43	0.07	0.0022	0.011	0.003	0.01	0.03	0.06	335	405	45				
11	1.8K121902438	341488	007017060C	5.072	114	0.04	0.231	0.43	0.07	0.0022	0.011	0.003	0.01	0.03	0.06	335	405	45				
12	1.8K121902438	341488	007017060D	3.328	74	0.04	0.231	0.43	0.07	0.0022	0.011	0.003	0.01	0.03	0.06	335	405	45				
13	1.8K121902438	21428	007016580A	4.814	17	0.055	0.224	0.43	0.038	0.0023	0.007	0.003	0.01	0.03	0.06	330	415	35				
14	1.8K121902438	21428	007016580B	4.796	17	0.055	0.224	0.43	0.038	0.0023	0.007	0.003	0.01	0.03	0.06	330	415	35				
15	1.8K121902438	21428	007016580C	4.8	17	0.055	0.224	0.43	0.038	0.0023	0.007	0.003	0.01	0.03	0.06	330	415	35				
16	1.8K121902438	21428	007016580D	3.886	15	0.055	0.224	0.43	0.038	0.0023	0.007	0.003	0.01	0.03	0.06	330	415	35				
17	1.8K121902438	101959	010000220A	4.809	17	0.055	0.244	0.57	0.033	0.0023	0.01	0.003	0.01	0.03	0.06	320	415	35				
18	1.8K121902438	101959	010000220B	4.804	17	0.055	0.244	0.57	0.033	0.0023	0.01	0.003	0.01	0.03	0.06	320	415	35				
19	1.8K121902438	101959	010000220C	4.854	17	0.055	0.244	0.57	0.033	0.0023	0.01	0.003	0.01	0.03	0.06	320	415	35				
20	1.8K121902438	101959	010000220D	4.862	17	0.055	0.244	0.57	0.033	0.0023	0.01	0.003	0.01	0.03	0.06	320	415	35				
21	2.0K121902438	21428	007016910A	4.974	72	0.051	0.222	0.42	0.033	0.0024	0.011	0.003	0.01	0.03	0.05	315	405	42				
22	2.0K121902438	21428	007016910B	4.97	72	0.051	0.222	0.42	0.033	0.0024	0.011	0.003	0.01	0.03	0.05	315	405	42				
23	2.0K121902438	21428	007016910C	4.942	72	0.051	0.222	0.42	0.033	0.0024	0.011	0.003	0.01	0.03	0.05	315	405	42				
24	2.0K121902438	21428	007016910D	3.618	52	0.051	0.222	0.42	0.033	0.0024	0.011	0.003	0.01	0.03	0.05	315	405	42				
25	2.0K121902438	21484	010002510A	4.655	70	0.041	0.24	0.5	0.036	0.0019	0.009	0.003	0.01	0.03	0.05	345	425	40				
26	2.0K121902438	21484	010002510B	4.758	70	0.041	0.24	0.5	0.036	0.0019	0.009	0.003	0.01	0.03	0.05	345	425	40				

20-2001-001

27	2.9K1218Q2438	221084	010002519C	4,702	70	0.041	0.24	0.6	0.026	0.0019	0.008	0.003	0.01	0.03	0.06	345	425	40
28	2.9K1218Q2438	221084	010002519C	4,82	70	0.041	0.24	0.6	0.026	0.0019	0.008	0.003	0.01	0.03	0.06	345	425	40
29	2.9K1218Q2438	221084	010002510E	3,054	44	0.041	0.24	0.6	0.026	0.0019	0.009	0.003	0.01	0.03	0.06	345	425	40
30	3.9K1218Q2438	341485	007016000A	4,84	54	0.027	0.221	0.41	0.028	0.0018	0.011	0.004	0.01	0.02	0.05	320	405	33
31	3.9K1218Q2438	341485	007016000B	4,327	54	0.027	0.221	0.41	0.028	0.0018	0.011	0.004	0.01	0.02	0.05	320	405	33
32	3.9K1218Q2438	341486	007016000C	4,9	54	0.027	0.221	0.41	0.028	0.0018	0.011	0.004	0.01	0.02	0.05	320	405	33
33	3.9K1218Q2438	341486	007016000D	3,67	54	0.044	0.243	0.42	0.029	0.0015	0.011	0.004	0.01	0.02	0.05	320	405	33
34	3.9K1218Q2438	101402	007016000E	4,214	54	0.044	0.243	0.42	0.029	0.0015	0.011	0.004	0.01	0.02	0.05	320	405	33
35	3.9K1218Q2438	101402	007016000F	4,868	53	0.044	0.243	0.42	0.029	0.0015	0.011	0.004	0.01	0.02	0.05	320	405	33
36	3.9K1218Q2438	101402	007016000G	4,9	53	0.044	0.243	0.42	0.029	0.0015	0.011	0.004	0.01	0.02	0.05	320	405	33
37	3.9K1218Q2438	101402	007016000H	3,962	43	0.044	0.243	0.42	0.029	0.0015	0.011	0.004	0.01	0.02	0.05	320	405	33
38	4.9K1218Q2438	341466	007016000A	5,096	44	0.037	0.221	0.41	0.028	0.0018	0.011	0.004	0.01	0.02	0.05	320	405	33
39	4.9K1218Q2438	341466	007016000B	5,074	42	0.037	0.221	0.41	0.028	0.0018	0.011	0.004	0.01	0.02	0.05	320	405	33
40	4.9K1218Q2438	341466	007016000C	4,20	42	0.037	0.221	0.41	0.028	0.0018	0.011	0.004	0.01	0.02	0.05	320	405	33
41	4.9K1218Q2438	341466	007016000D	3,282	29	0.037	0.221	0.41	0.028	0.0018	0.011	0.004	0.01	0.02	0.05	320	405	33
42	4.9K1218Q2438	342081	010001590A	5,182	45	0.05	0.023	0.71	0.025	0.0044	0.009	0.003	0.01	0.03	0.05	320	410	31
43	4.9K1218Q2438	342081	010001590B	5,168	45	0.05	0.023	0.71	0.025	0.0044	0.009	0.003	0.01	0.03	0.05	320	410	31
44	4.9K1218Q2438	342081	010001590C	5,136	45	0.05	0.023	0.71	0.025	0.0044	0.009	0.003	0.01	0.03	0.05	320	410	31
45	4.9K1218Q2438	342081	010001590D	4,208	36	0.05	0.023	0.71	0.025	0.0044	0.009	0.003	0.01	0.03	0.05	320	410	31
46	4.9K1218Q2438	341466	007016070A	5,128	44	0.037	0.221	0.41	0.028	0.0018	0.011	0.004	0.01	0.02	0.05	320	405	33
47	4.9K1218Q2438	341466	007016070B	5,1	44	0.037	0.221	0.41	0.028	0.0018	0.011	0.004	0.01	0.02	0.05	320	405	33
48	4.9K1218Q2438	341466	007016070C	4,622	40	0.037	0.221	0.41	0.028	0.0018	0.011	0.004	0.01	0.02	0.05	320	405	33
49	4.9K1218Q2438	341466	007016070D	3,146	37	0.037	0.221	0.41	0.028	0.0018	0.011	0.004	0.01	0.02	0.05	320	405	33
50	5.9K1218Q2438	101950	010000180A	4,994	35	0.206	0.23	0.63	0.034	0.0019	0.015	0.003	0.01	0.03	0.05	315	415	34
51	5.9K1218Q2438	101950	010000180B	4,89	35	0.206	0.23	0.63	0.034	0.0019	0.015	0.003	0.01	0.03	0.05	315	415	34
52	5.9K1218Q2438	101950	010000180C	4,30	35	0.206	0.23	0.63	0.034	0.0019	0.015	0.003	0.01	0.03	0.05	315	415	34
53	5.9K1218Q2438	101950	010000180D	5,076	35	0.206	0.23	0.63	0.034	0.0019	0.015	0.003	0.01	0.03	0.05	315	415	34
54	5.9K1218Q2438	101957	010000080A	4,996	35	0.241	0.257	0.6	0.034	0.0022	0.013	0.003	0.01	0.03	0.05	310	410	36
55	5.9K1218Q2438	101957	010000080B	4,502	35	0.241	0.257	0.6	0.034	0.0022	0.013	0.003	0.01	0.03	0.05	310	410	36
56	5.9K1218Q2438	101957	010000080C	4,89	35	0.241	0.257	0.6	0.034	0.0022	0.013	0.003	0.01	0.03	0.05	310	410	36
57	5.9K1218Q2438	101957	010000080D	5,023	35	0.241	0.257	0.6	0.034	0.0022	0.013	0.003	0.01	0.03	0.05	310	410	36
58	5.9K1218Q2438	101204	0070160128	4,842	35	0.242	0.227	0.41	0.03	0.0023	0.02	0.003	0.01	0.03	0.06	315	400	41
59	5.9K1218Q2438	101204	007016019C	4,828	35	0.242	0.227	0.41	0.03	0.0023	0.02	0.003	0.01	0.03	0.06	315	400	41
60	5.9K1218Q2438	101204	007016019D	3,222	24	0.242	0.227	0.41	0.03	0.0023	0.02	0.003	0.01	0.03	0.06	315	400	41
TOTAL				279,688	322													

WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL HAS BEEN MADE AND TESTED, ISSUED IN ACCORDANCE WITH YOUR SPECIFICATION

ANEXO 15: Certificado Original proporcionada por el proveedor con las características físicas y químicas del acero ASTM A-588- Grado A

标准号: JB/T 8018-2011
SERIAL NO.: 2000000001
收货单位: 济南工业北路21号(2000000001)
PURCHASER:
合同号: JG108130AN1 车号: 鲁N13820
CONTRACT NO.: VEHICLE NO.
到站: 天津港二公司26、27场/天津港宏发代理有
DESTINATION: 贵公司/李康恩 15822845950
品种名称: 低合金板
COMMODITY:
牌号: GRAD: A588GrA

技术条件: JG108130AN1的技术条款
STANDARD:
交货状态: 热轧 AS ROLLED
DELIVERY CONDITION:
质量证明书编号: TS2011-04-0970
QUALITY CERTIFICATE NO.:
册: 2011-04-25
售后服务电话/传真: 0531-8966274
SERVICE TELEPHONE/FAX:
网址: www.jigang.com.cn



济南钢铁股份有限公司
JINAN IRON AND STEEL COMPANY, LTD.

钢板质量证明书
QUALITY SPECIFICATION OF STEEL PLATE

Page: 1 / 1

炉罐号 HEAT NO.	规格 SIZE (mm)	批号 BATCH NO.	产品数量 QUANTITY	化学成分 (TABLE ANALYSIS %)											屈服 强度 Y.S. MPa	抗拉 强度 T.S. MPa	伸长 率 E.L. % (50mm)	备注 REMARKS	
				CHEMICAL COMPOSITION (TABLE ANALYSIS %)															
				C	Si	Mn	P	S	Cr	Nb	Ni	Cu	V	Ti					Mo
1155-02616	8*2000*12000	019723	2 4.522	17	60	103	19	5	496	1	200	305	28	5	7	400	605	52	
1155-02616	8*2000*12000	019723	7 15.827	17	40	103	19	5	456	1	200	300	28	5	7	415	595	51	
1155-02616	8*2000*12000	019724	14 31.664	17	40	103	19	6	456	1	200	300	28	5	7	440	595	50	
合计 (GRD-TOTAL)			23	52.003															

审核: 王峰
EXAMINER: WANG WEN

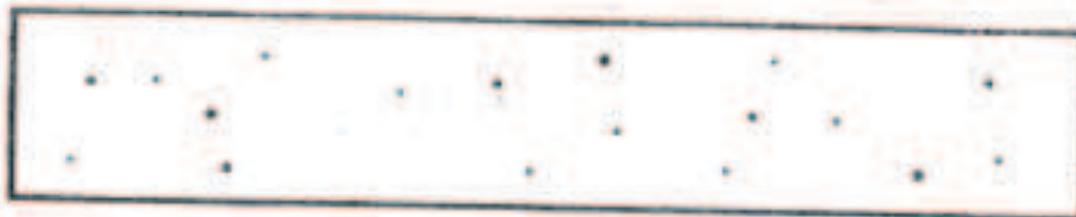
复核: 王峰
CONSIGNED: WANG WEN

制表: 王峰
TABULATOR: WANG WEN

说明: 我方若提供产品质量情况, 请向产品牌号、炉号、证书编号、发货日期、车号、合同号等写入函内。
 NOTE: IF THERE IS ANY QUESTION WITH QUALITY, PLEASE OFFER THE RELEVANT GRADE, HEAT NO., BATCH NO., CERTIFICATE NO., CONTRACT NO., ETC.

ANEXO 16: Tablas de porosidades permitidas en cordón de soldadura en función de dimensiones de la probeta. SEGÚN NORMA ASME, SECCION II PARTE C. 2007.

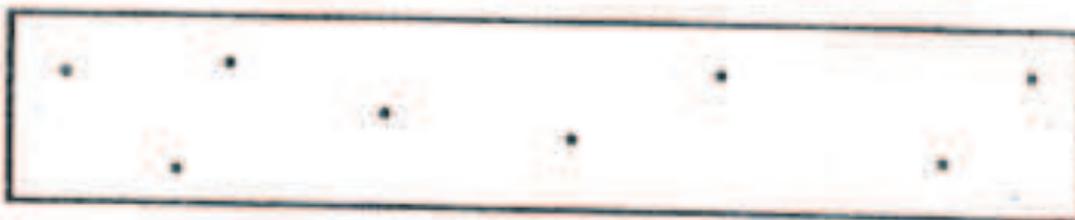
FIG. 8 RADIOGRAPHIC STANDARDS FOR TEST ASSEMBLY IN FIGURE 3



(A) ASSORTED ROUNDED INDICATIONS

SIZE $1/64$ in. (0.4 mm) TO $1/16$ in. (1.6 mm) IN DIAMETER OR IN LENGTH.
 MAXIMUM NUMBER OF INDICATIONS IN ANY 6 in. (150 mm) OF WELD = 15, WITH THE FOLLOWING RESTRICTIONS:

- MAXIMUM NUMBER OF LARGE $3/64$ in. (1.2 mm) TO $1/16$ in. (1.6 mm) IN DIAMETER OR IN LENGTH INDICATIONS = 3
- MAXIMUM NUMBER OF MEDIUM $1/32$ in. (0.8 mm) TO $3/64$ in. (1.2 mm) IN DIAMETER OR IN LENGTH INDICATIONS = 5
- MAXIMUM NUMBER OF SMALL $1/64$ in. (0.4 mm) TO $1/32$ in. (0.8 mm) IN DIAMETER OR IN LENGTH INDICATIONS = 10



(B) LARGE ROUNDED INDICATIONS

SIZE $3/64$ in. (1.2 mm) TO $1/16$ in. (1.6 mm) IN DIAMETER OR IN LENGTH.
 MAXIMUM NUMBER OF INDICATIONS IN ANY 6 in. (150 mm) OF WELD = 5



(C) MEDIUM ROUNDED INDICATIONS

SIZE $1/32$ in. (0.8 mm) TO $3/64$ in. (1.2 mm) IN DIAMETER OR IN LENGTH.
 MAXIMUM NUMBER OF INDICATIONS IN ANY 6 in. (150 mm) OF WELD = 10



(D) SMALL ROUNDED INDICATIONS

SIZE $1/64$ in. (0.4 mm) TO $1/32$ in. (0.8 mm) IN DIAMETER OR IN LENGTH.
 MAXIMUM NUMBER OF INDICATIONS IN ANY 6 in. (150 mm) OF WELD = 30

GENERAL NOTES:

In using these standards, the chart which is most representative of the size of the rounded indications present in the test specimen radiograph shall be used for determining conformance to these radiographic standards.

Since these are test welds specifically made in the laboratory for classification purposes, the radiographic requirements for these test welds are more rigid than those which may be required for general fabrication.

Indications whose largest dimension does not exceed $1/64$ in. (0.4 mm) shall be disregarded.

ANEXO 17: Tablas de defectos permitidos en cordón de soldadura en función de dimensiones de la probeta. SEGÚN NORMA ASME, SECCION II PARTE C. 2007.

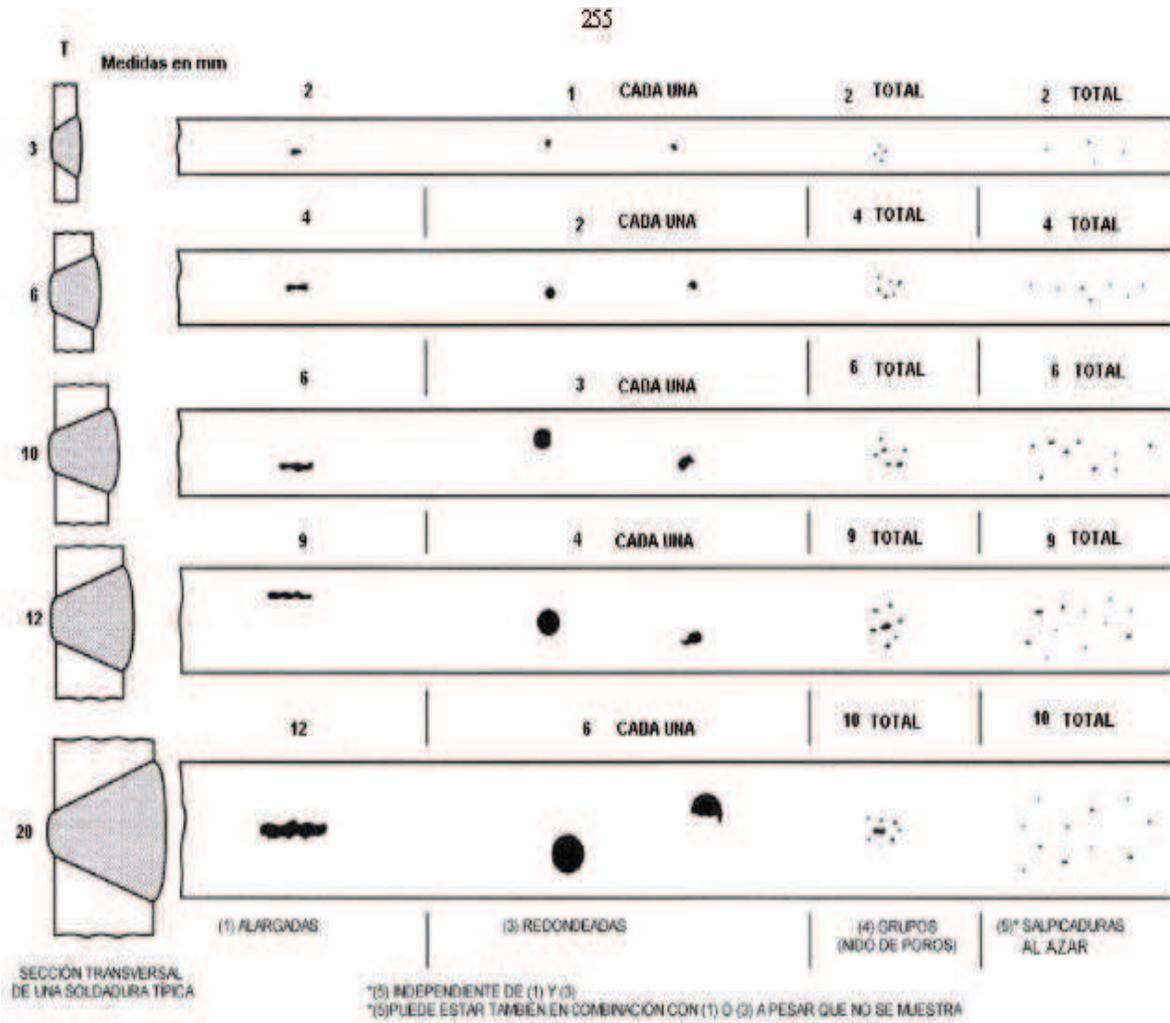
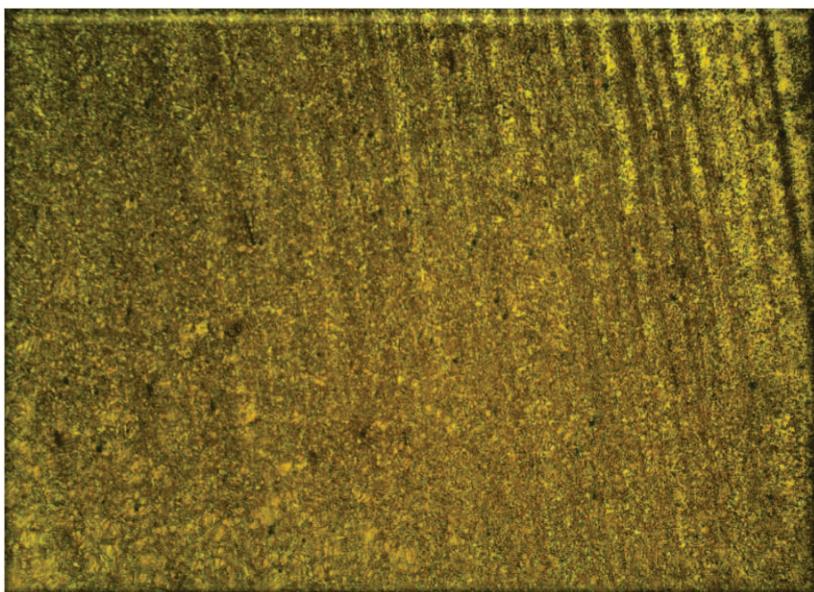
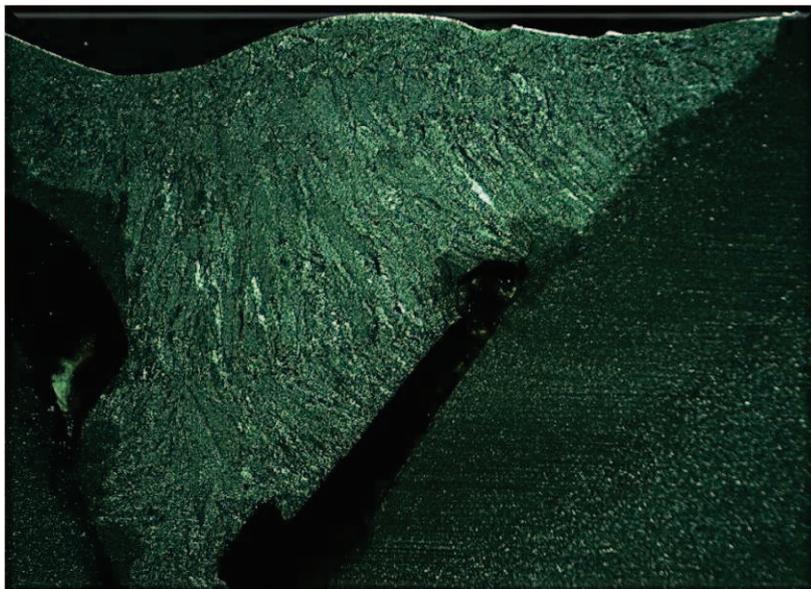
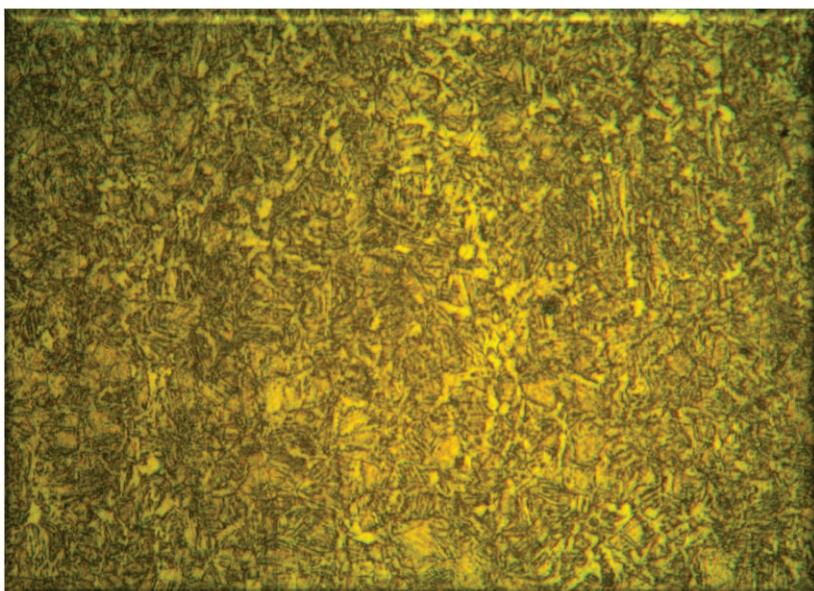
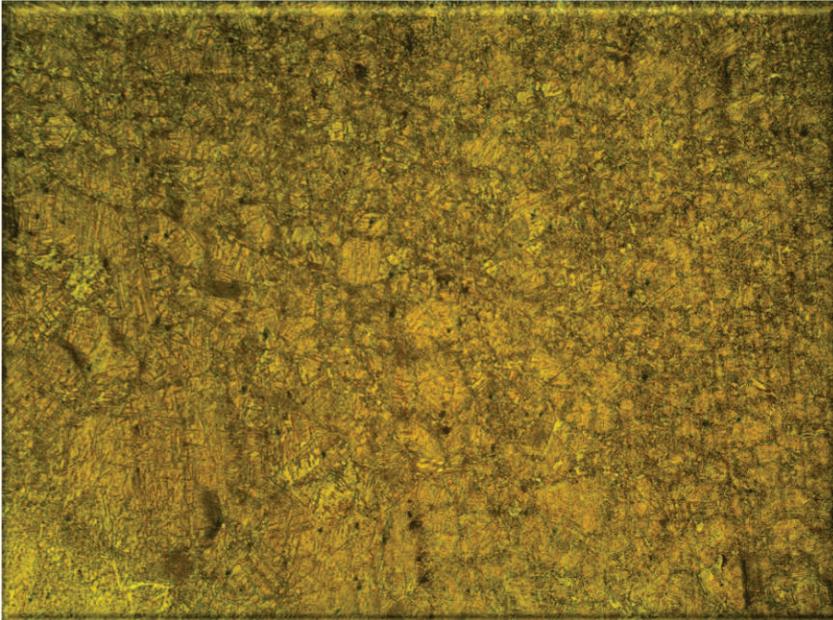


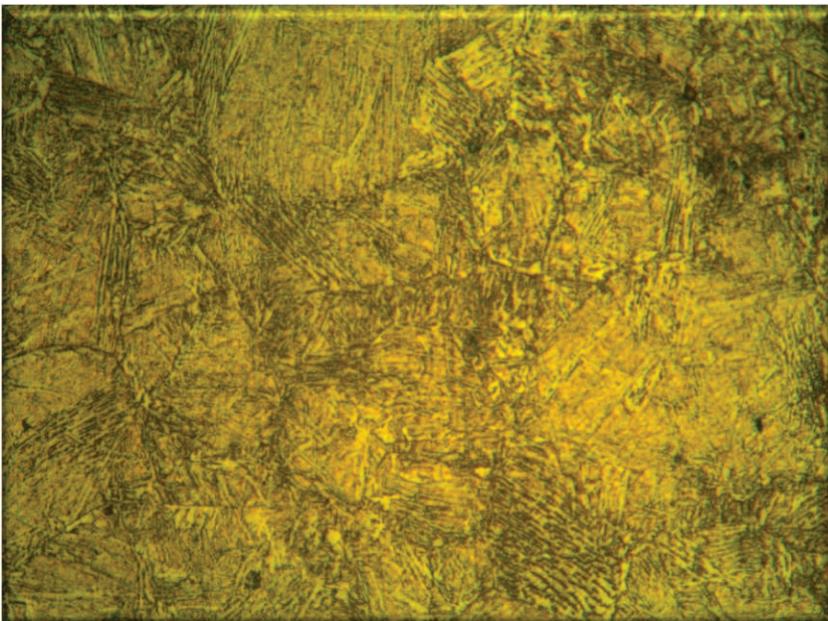
Figura 6.2 - Imágenes Radiográficas Máximas Aceptables

MACROGRAFÍAS Y
MICROGRAFÍAS DE LAS
PROBETAS EN JUNTAS
SOLDADAS Y ENSAYADAS

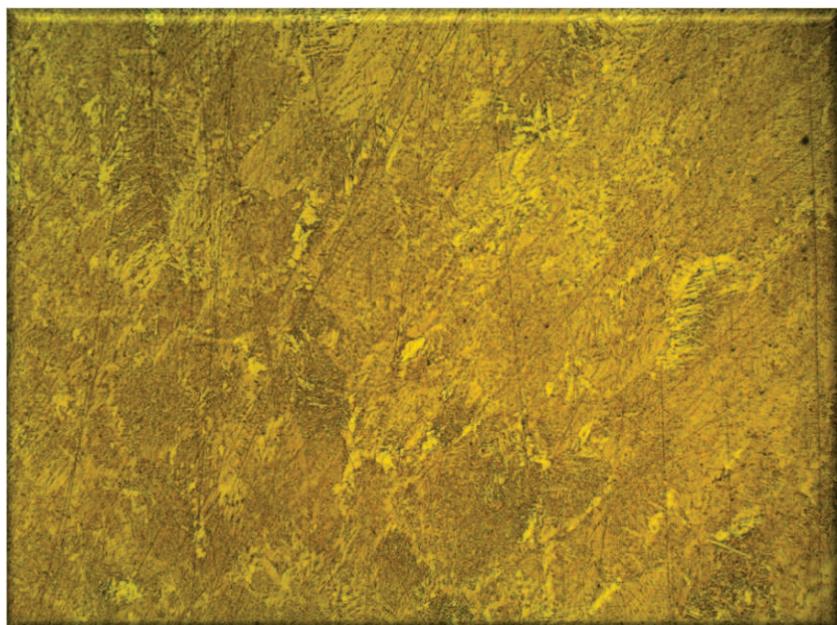
ANEXO 18: ENSAYO VARESTRAINT ACERO ASTM A36 Ww**Micrografía de la ZAC: 100X****Micrografía de la ZAC: 500X**



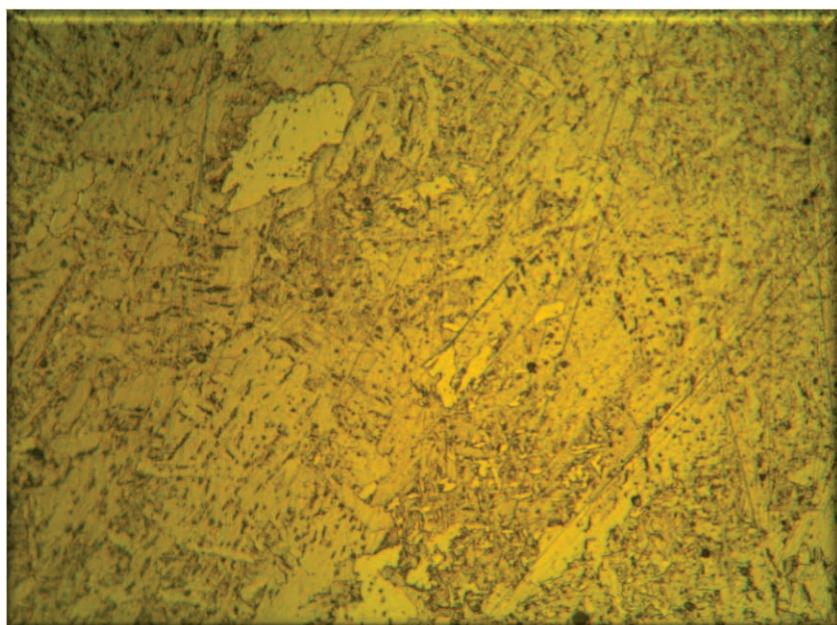
Micrografía de la Zona de fusión parcial: 100X



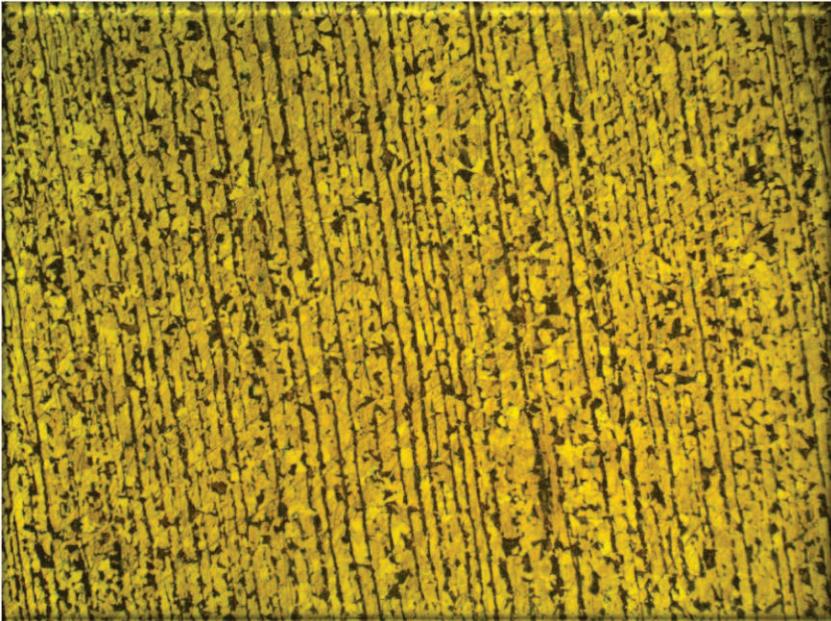
Micrografía de la Zona de fusión parcial: 500X



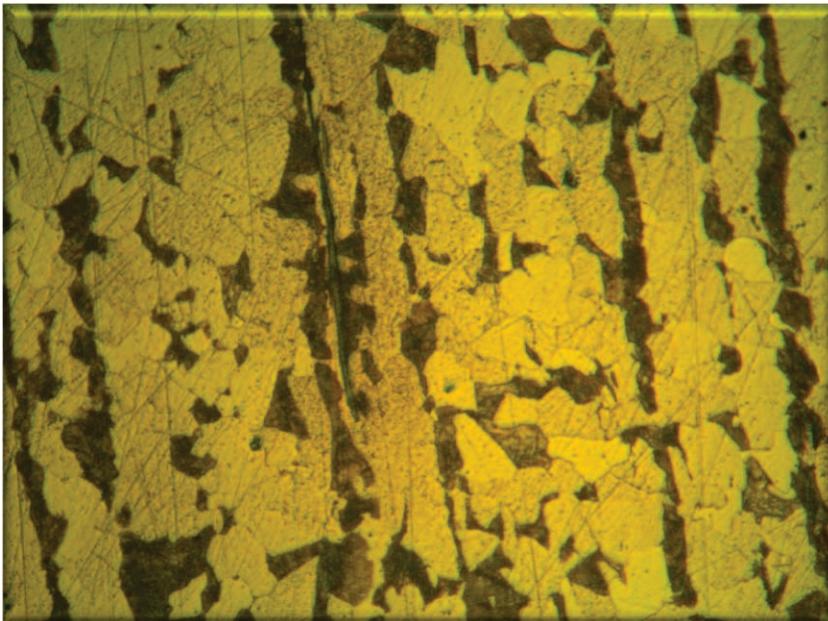
**Micrografía de la Zona de soldadura:
100X**



**Micrografía de la Zona de soldadura:
500X**

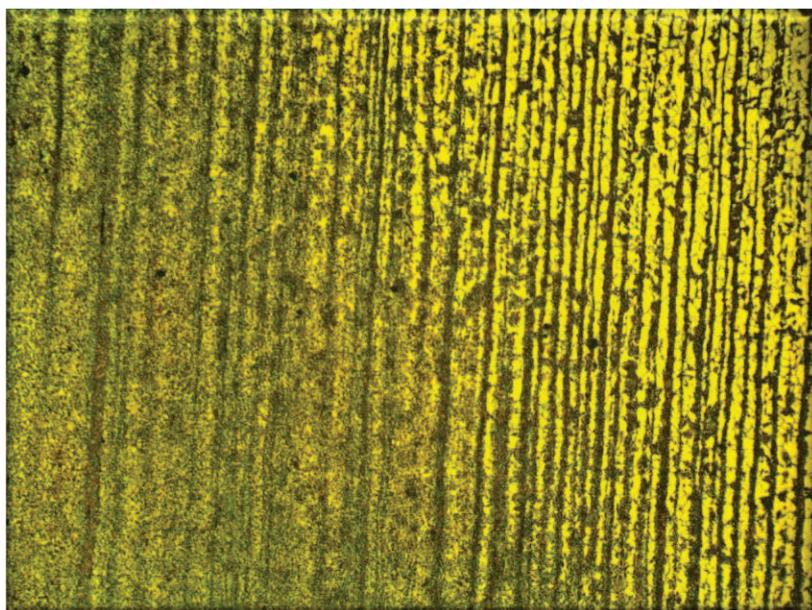
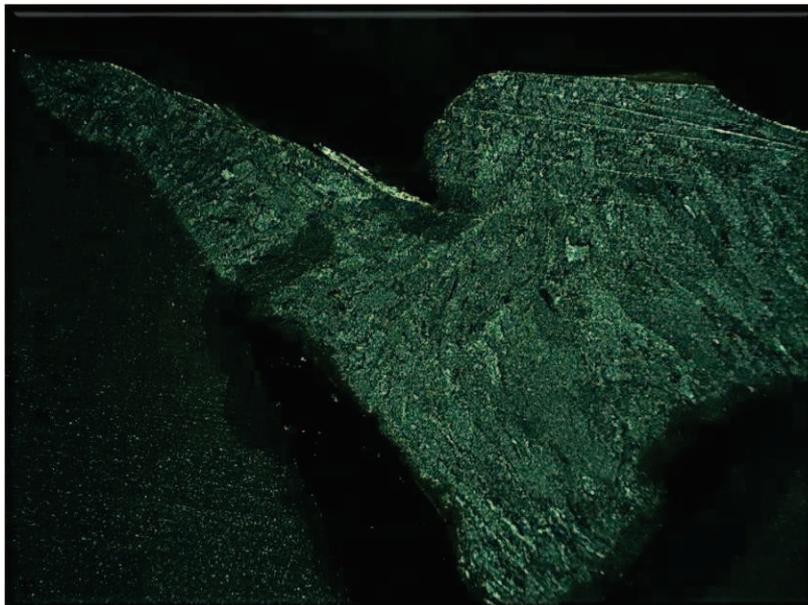


Micrografía de Metal base: 100X

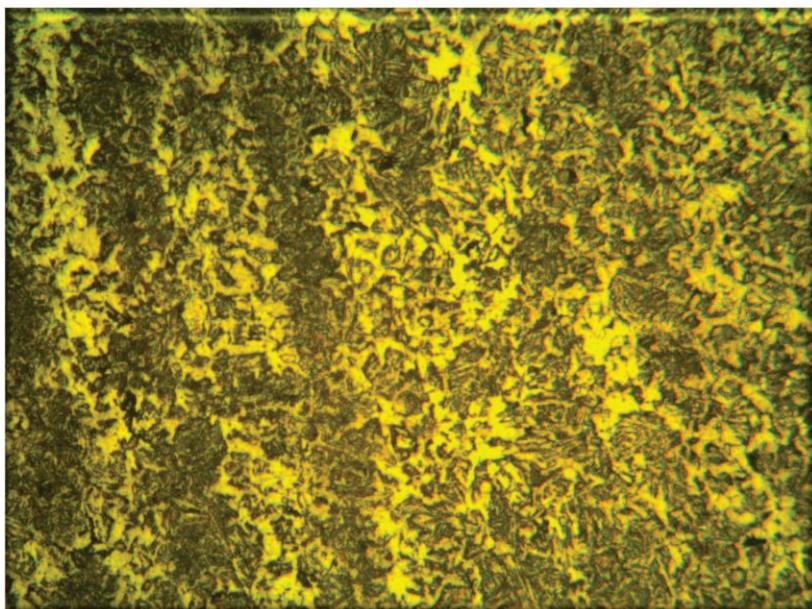


Micrografía de Metal base: 500X

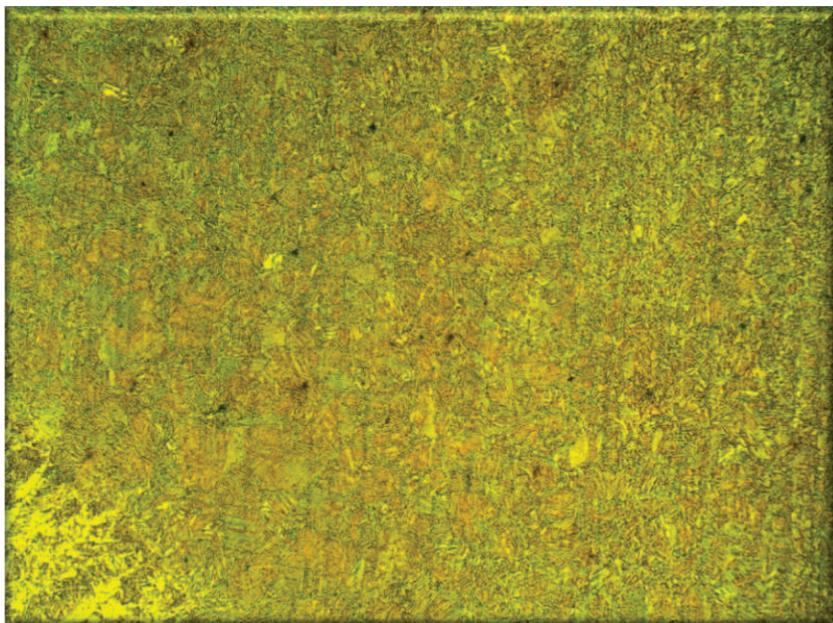
ANEXO 19: ENSAYO VARESTRAINT ACERO ASTM A36-Yy



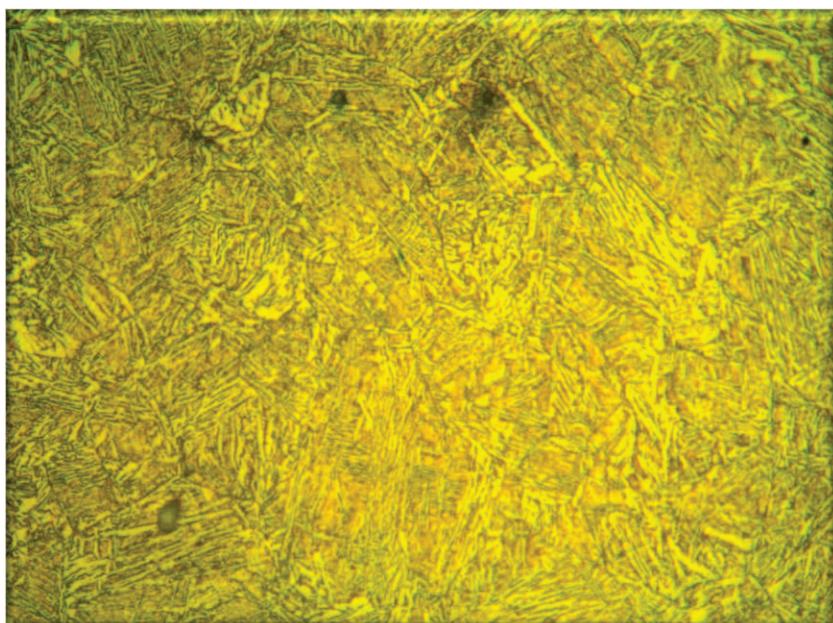
Micrografía de la ZAC: 100X



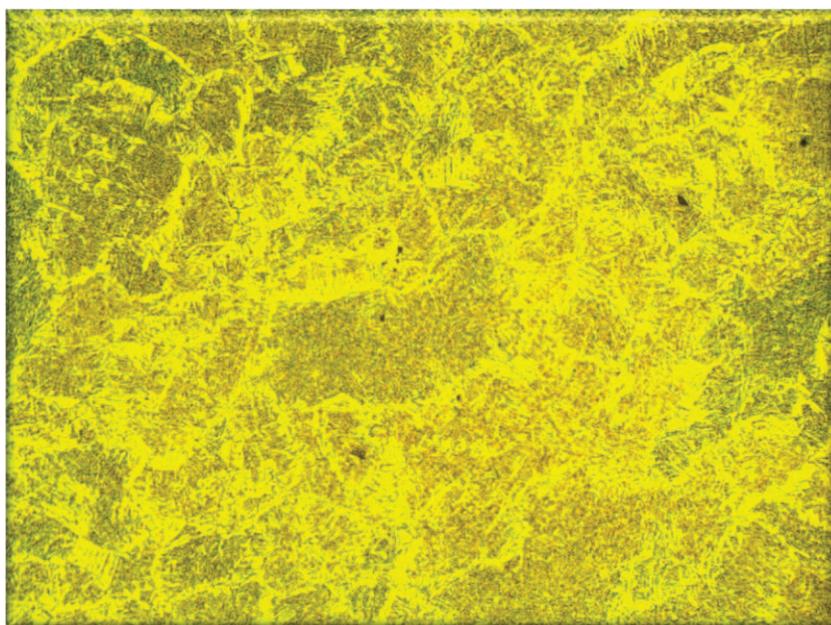
Micrografía de la ZAC: 500X



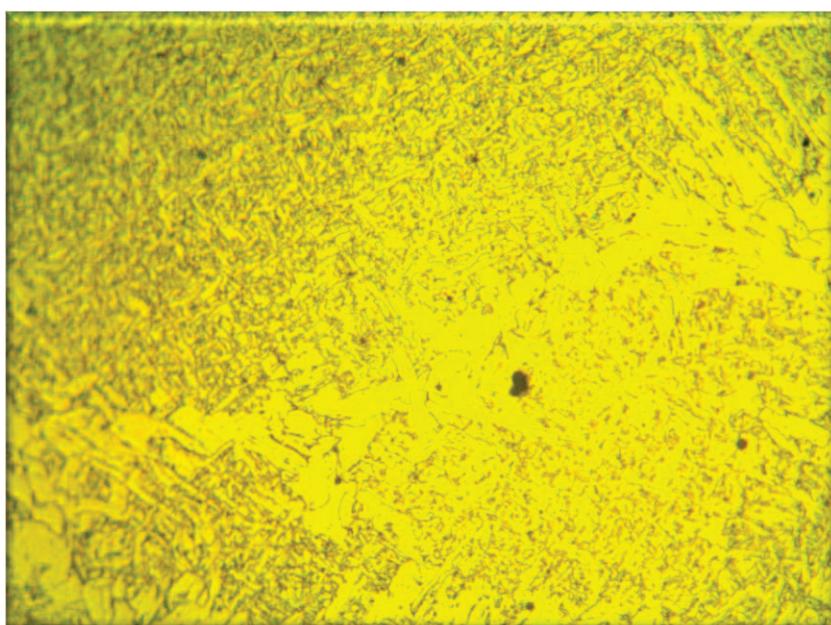
Micrografía de la Zona de fusión parcial: 100X



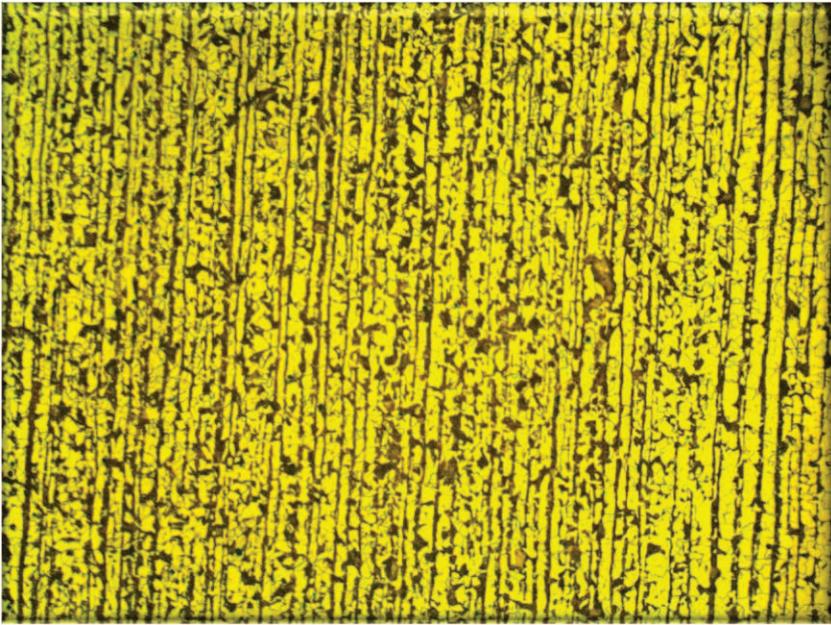
Micrografía de la Zona de fusión parcial: 500X



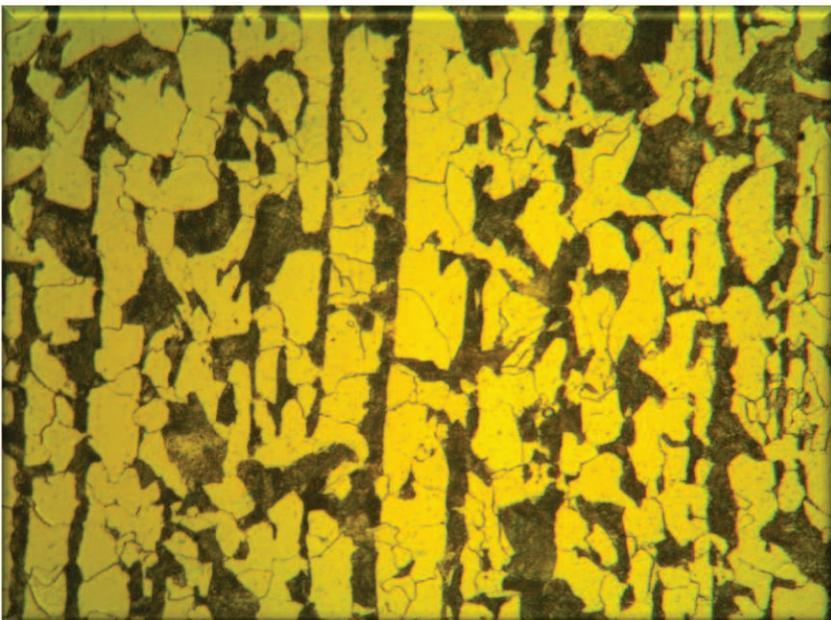
**Micrografía de la Zona de soldadura:
100X**



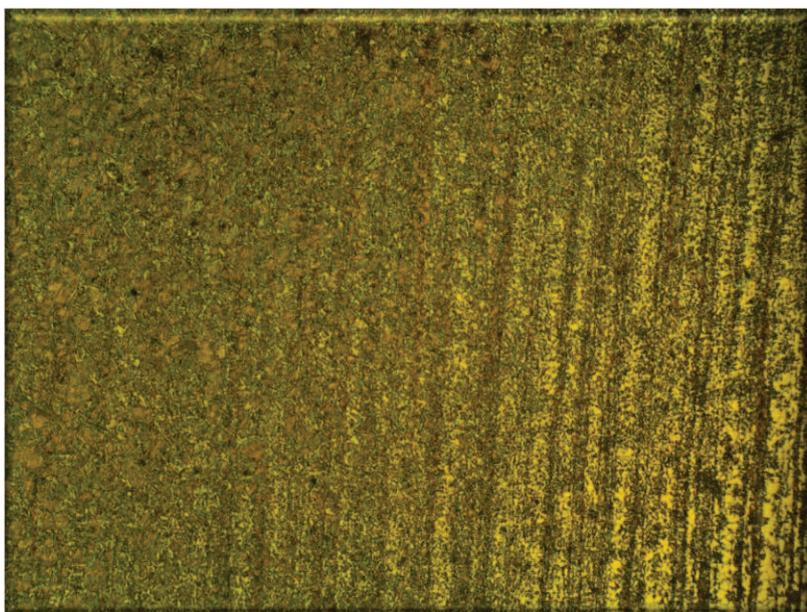
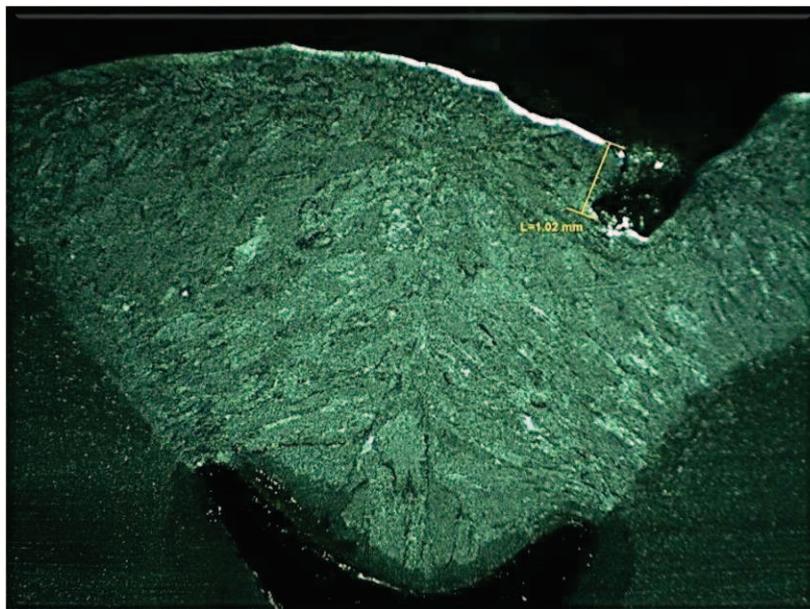
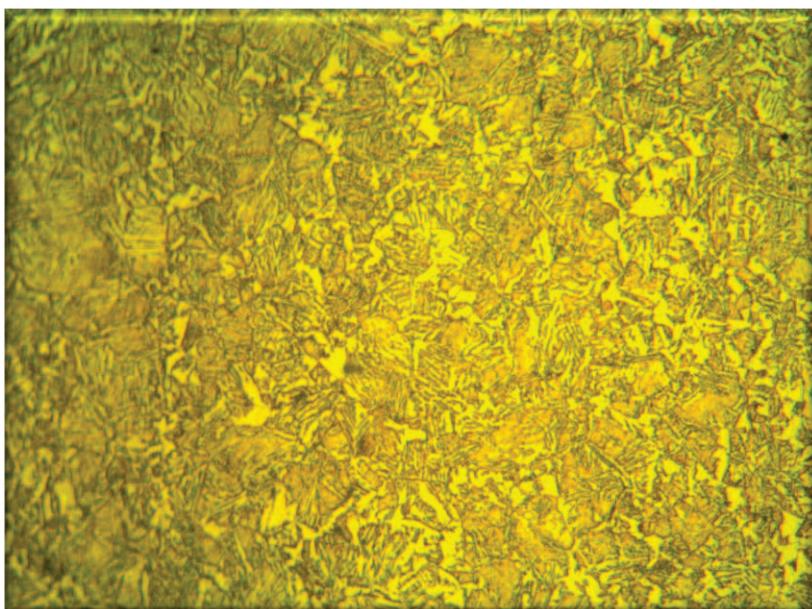
**Micrografía de la Zona de soldadura:
500X**

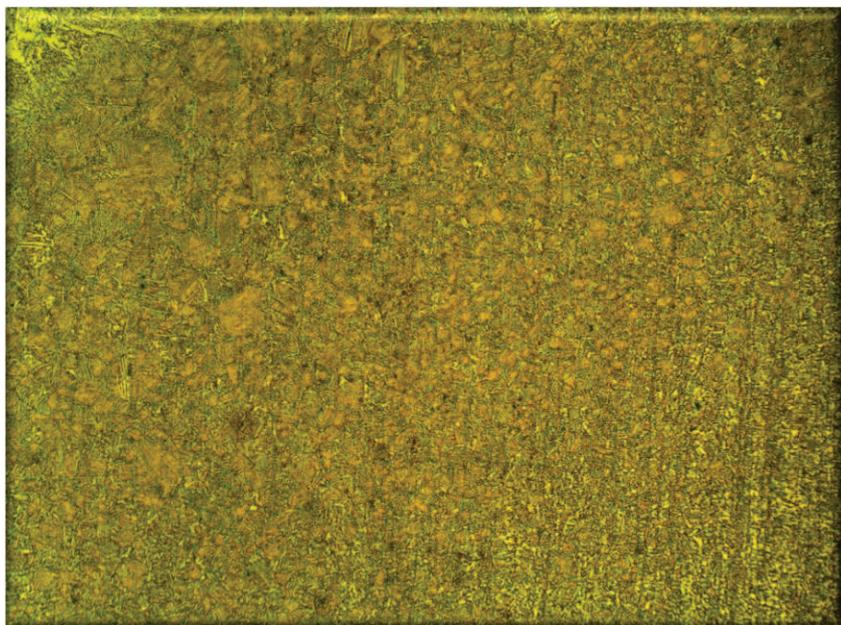


Micrografía de Metal base: 100X

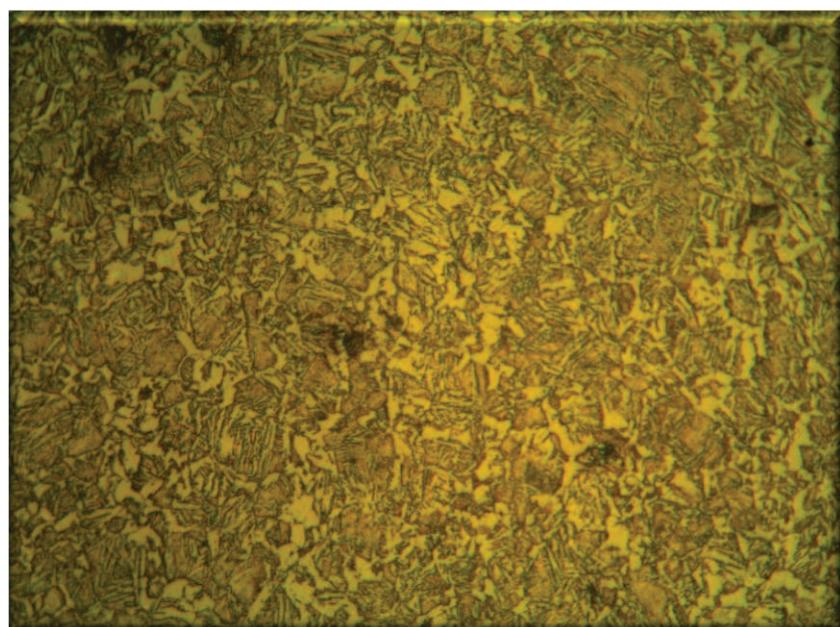


Micrografía de Metal base: 500X

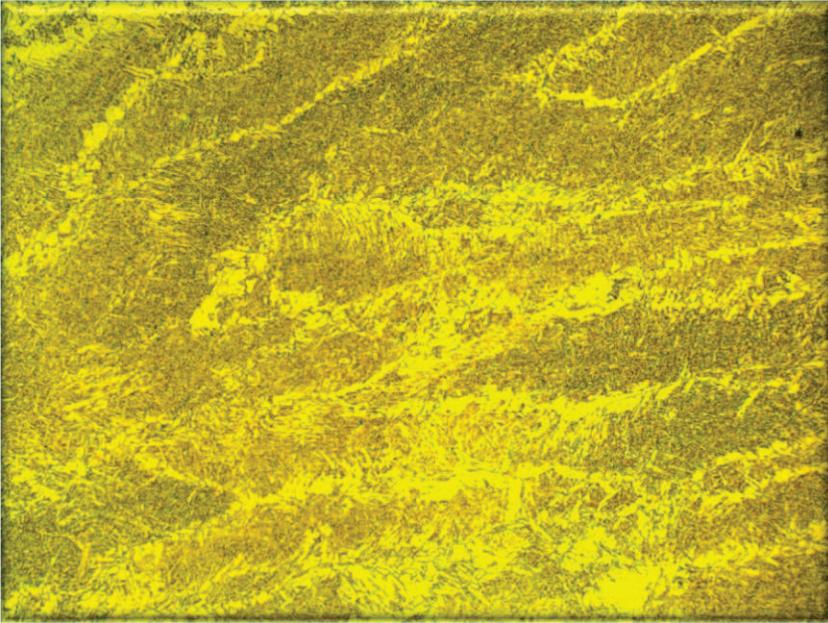
ANEXO 20: ENSAYO VARESTRAINT ACERO ASTM A36-Zz**Micrografía de la ZAC: 100X****Micrografía de la ZAC: 500X**



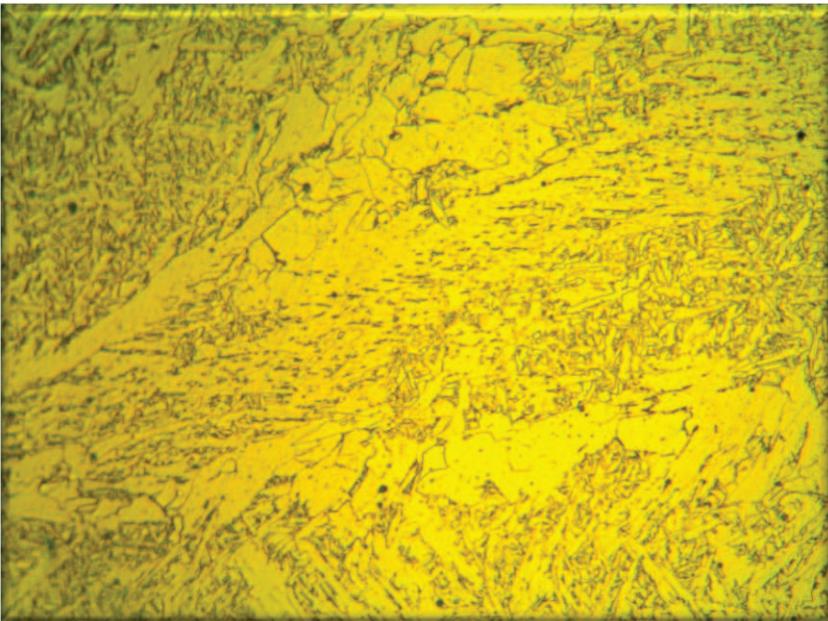
Micrografía de la Zona de fusión parcial: 100X



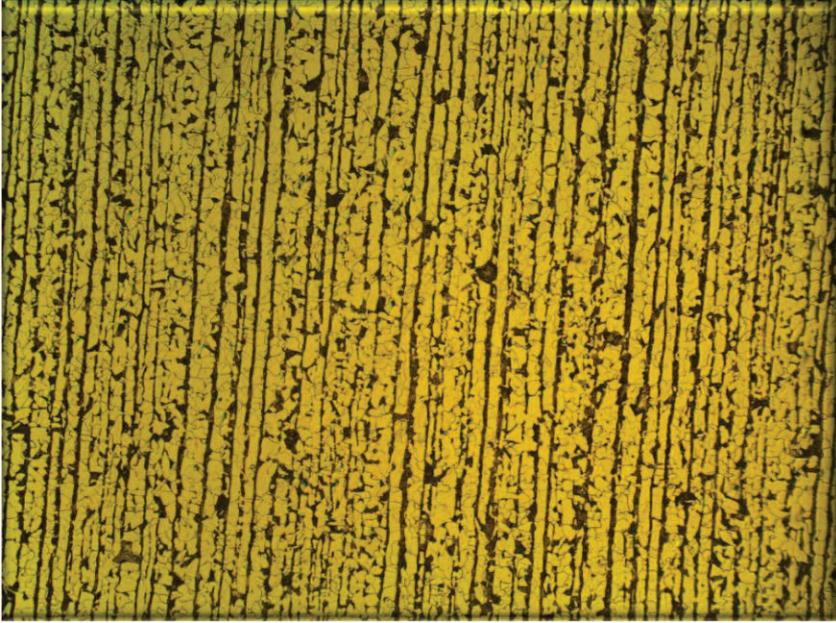
Micrografía de la Zona de fusión parcial: 500X



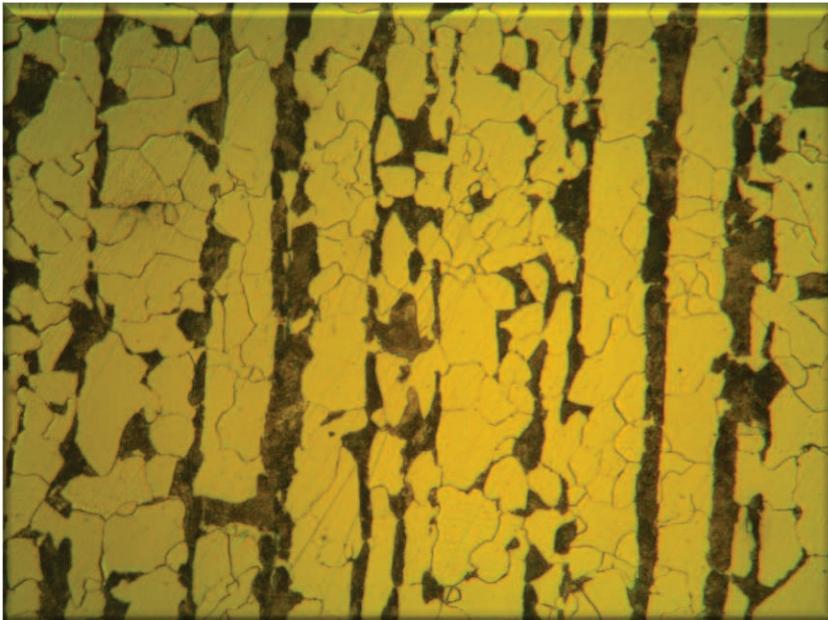
**Micrografía de la Zona de soldadura:
100X**



**Micrografía de la Zona de soldadura:
500X**

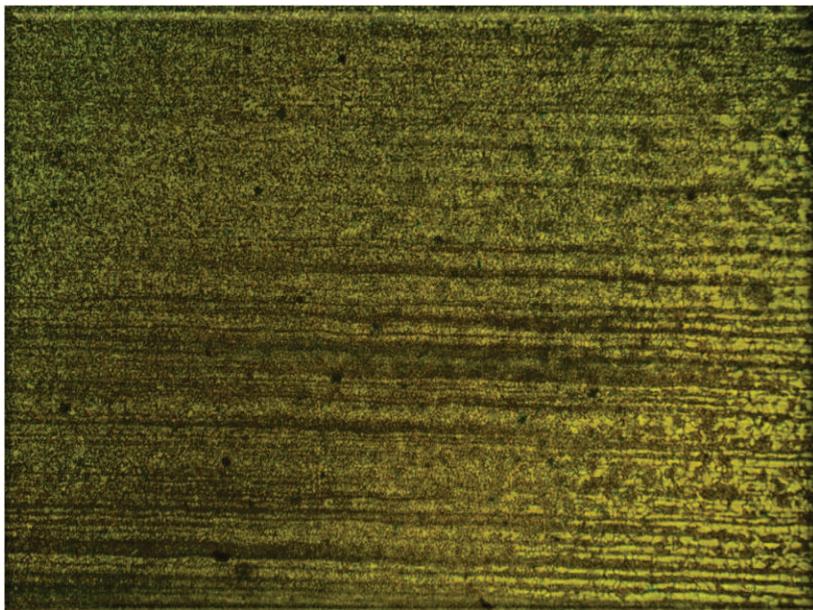


Micrografía de Metal base: 100X

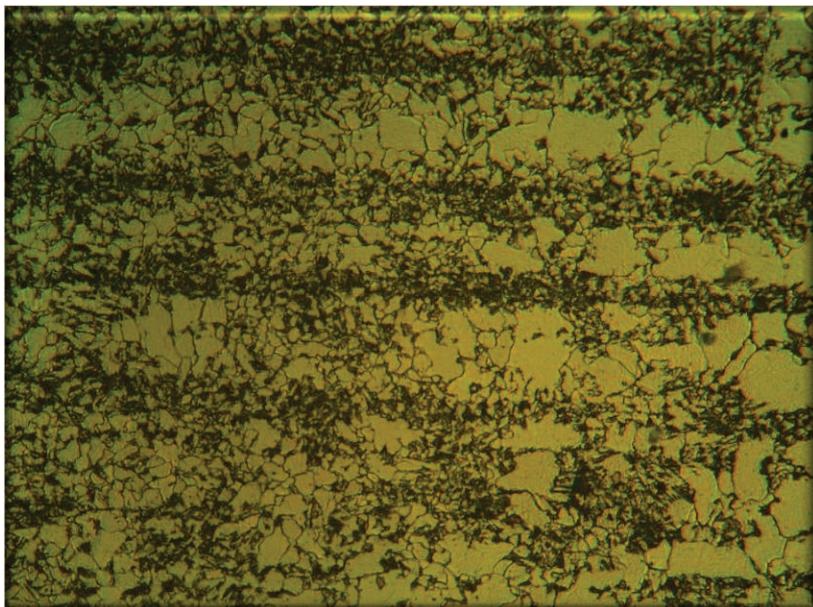


Micrografía de Metal base: 500X

ANEXO 21: ENSAYO Y-GRROVE ACERO ASTM A572-Ww



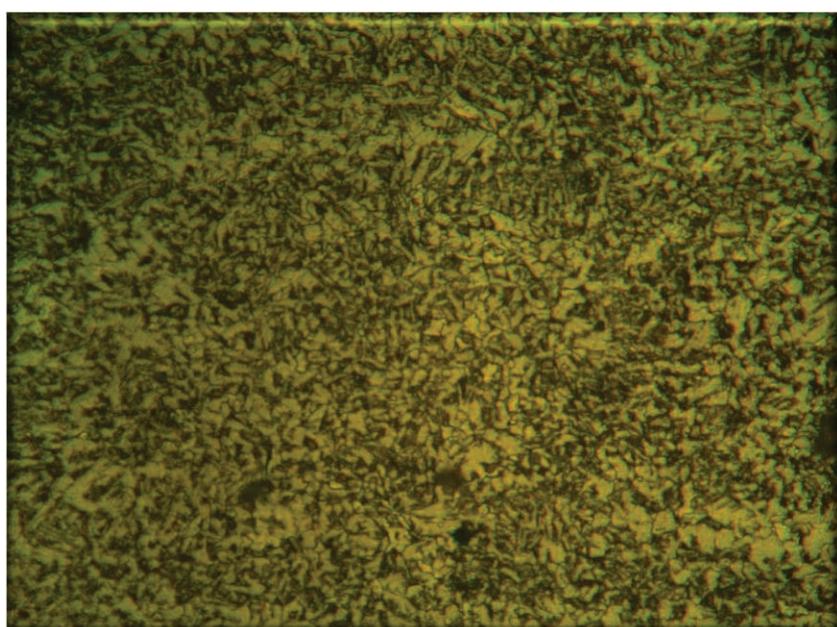
Micrografía de la ZAC: 100X



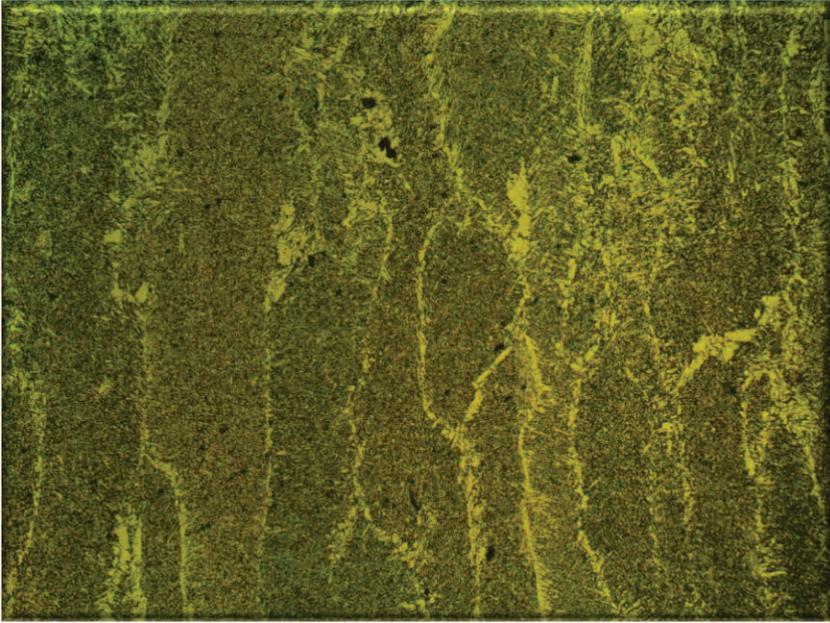
Micrografía de la ZAC: 500X



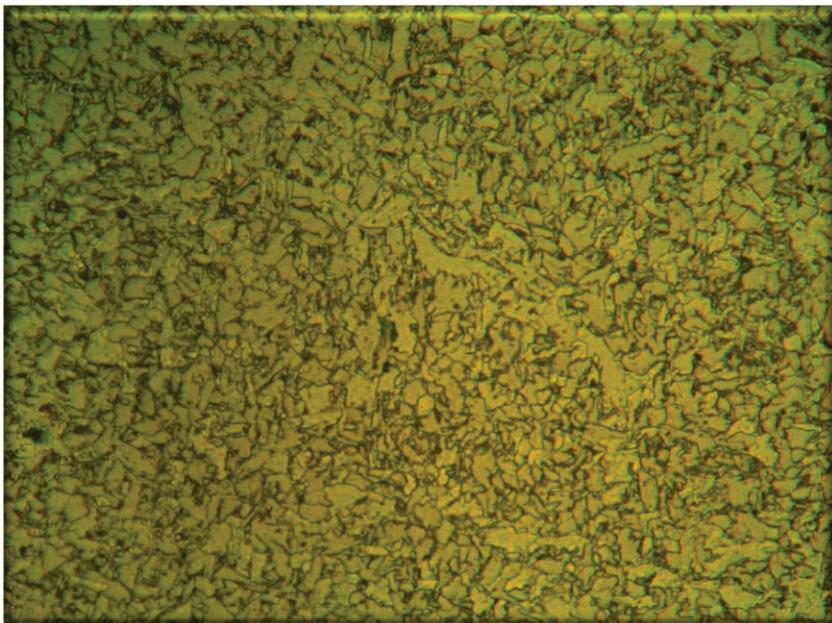
Micrografía de la Zona de fusión parcial: 100X



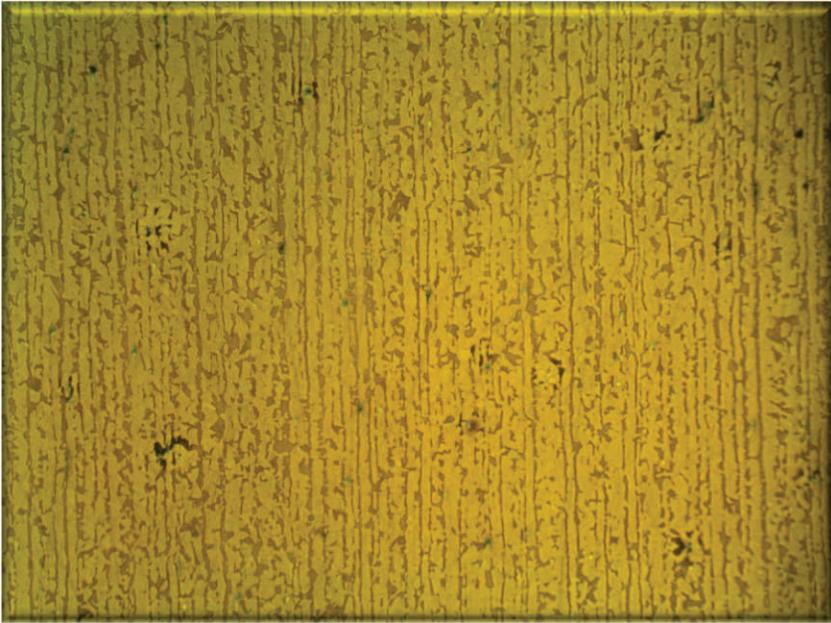
Micrografía de la Zona de fusión parcial: 500X



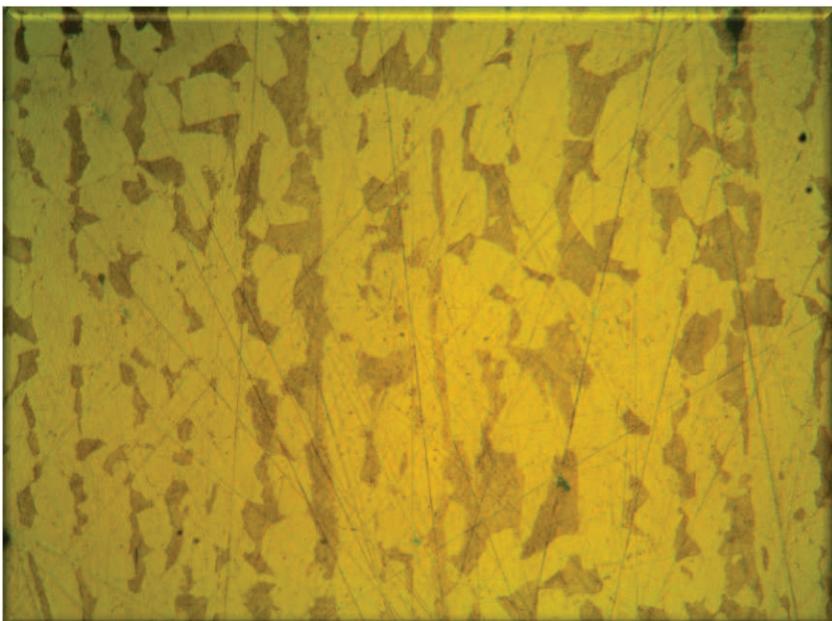
**Micrografía de la Zona de soldadura:
100X**



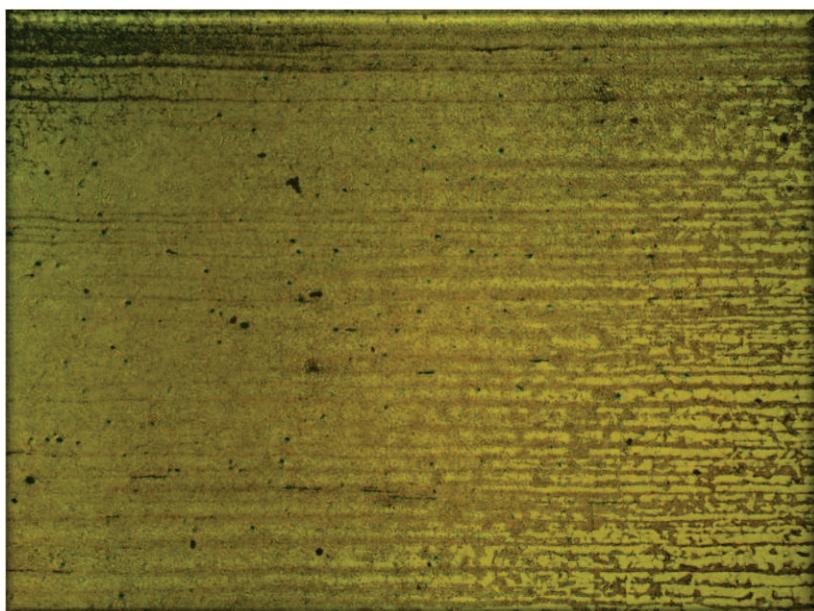
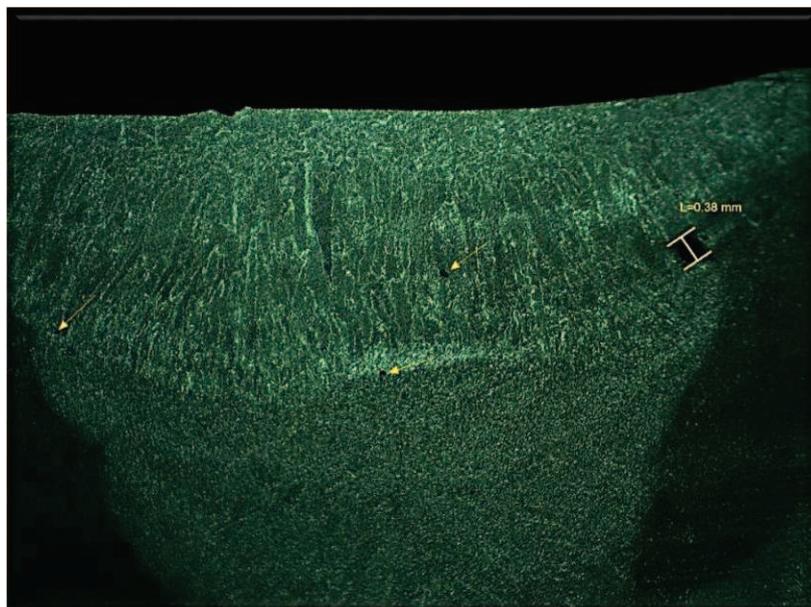
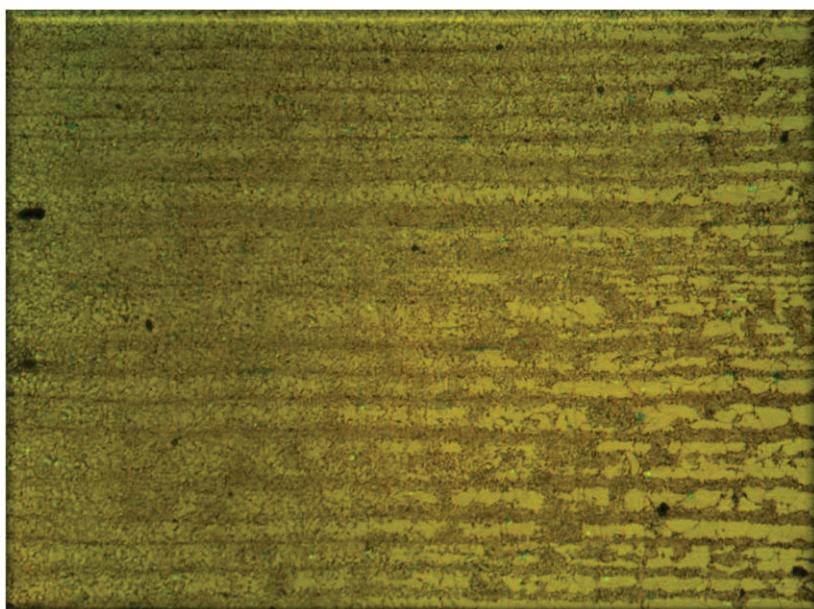
**Micrografía de la Zona de soldadura:
500X**

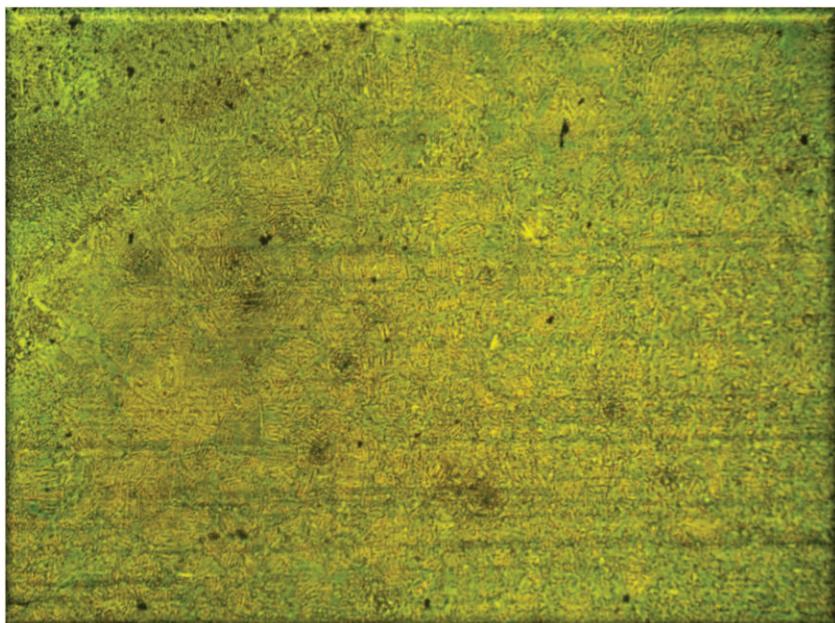


Micrografía de Metal base: 100X

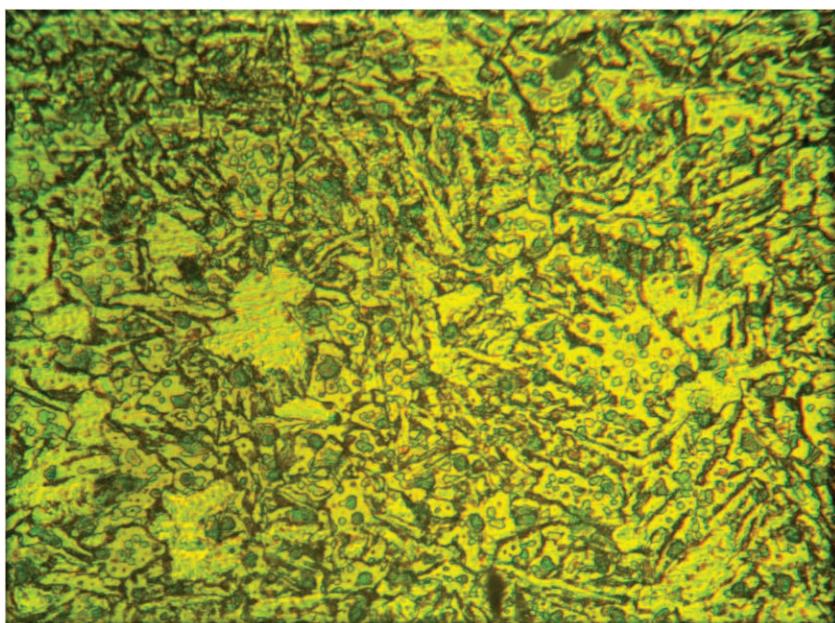


Micrografía de Metal base: 500X

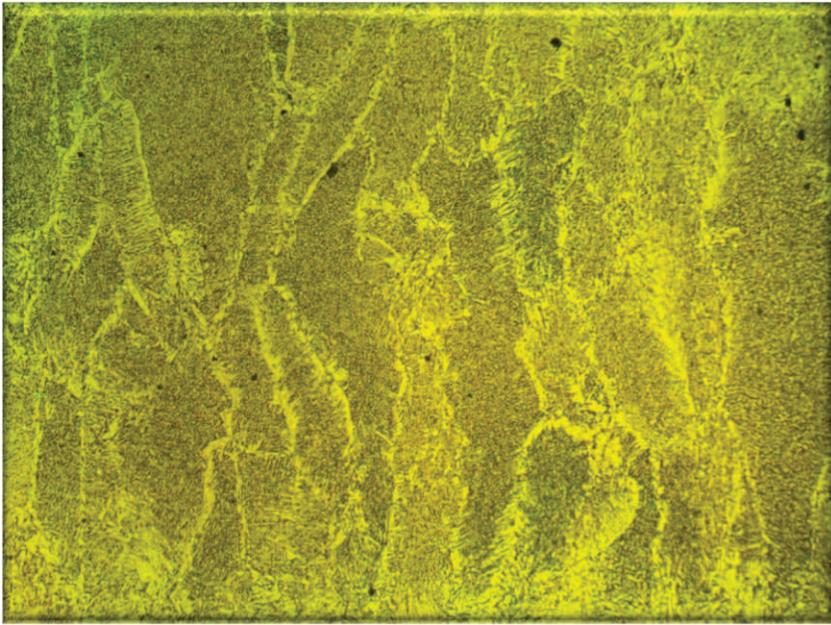
ANEXO 22: ENSAYO Y-GRROVE ACERO ASTM A572-Yy**Micrografía de la ZAC: 100X****Micrografía de la ZAC: 500X**



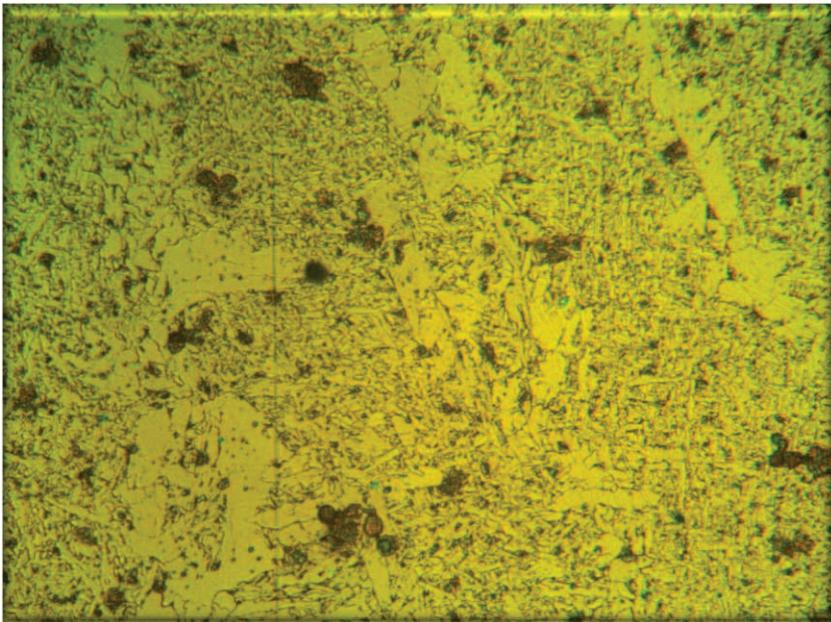
Micrografía de la Zona de fusión parcial: 100X



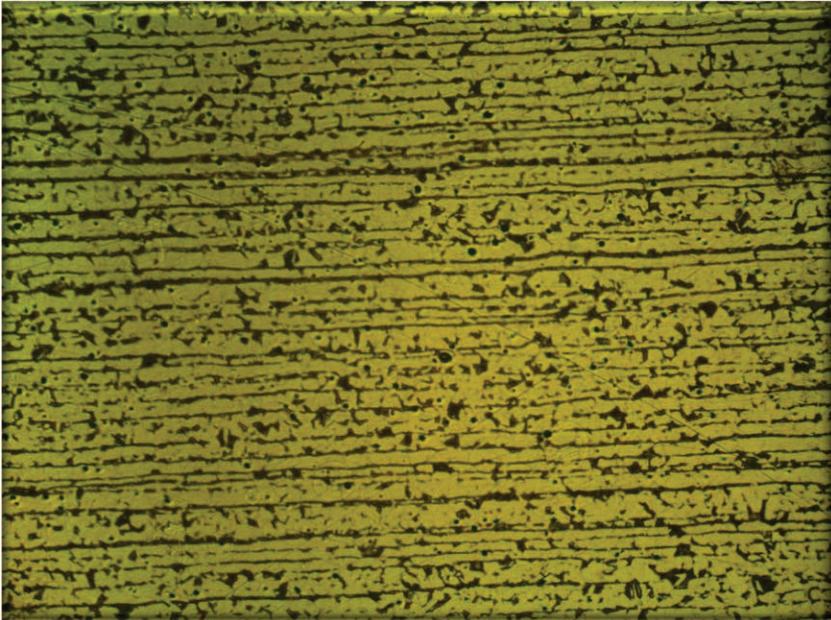
Micrografía de la Zona de fusión parcial: 500X



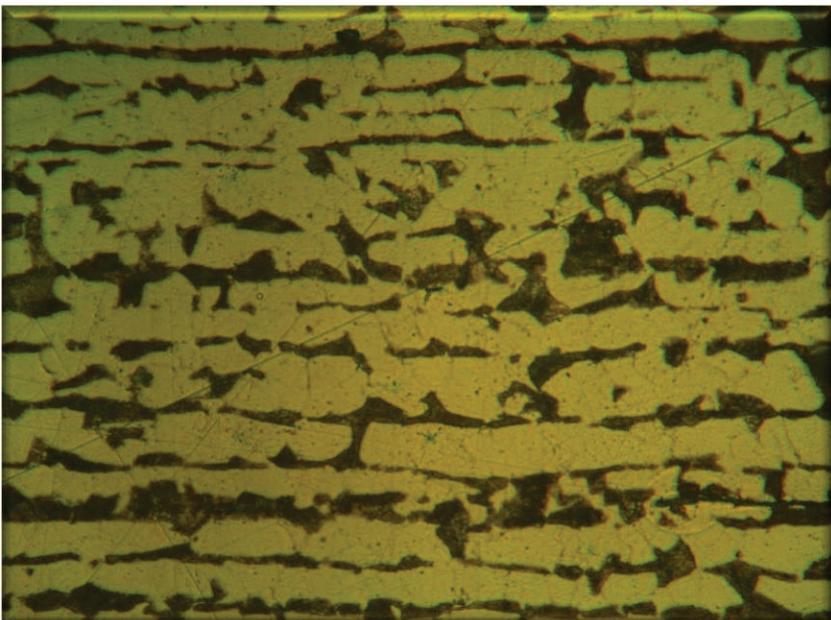
**Micrografía de la Zona de soldadura:
100X**



**Micrografía de la Zona de soldadura:
500X**

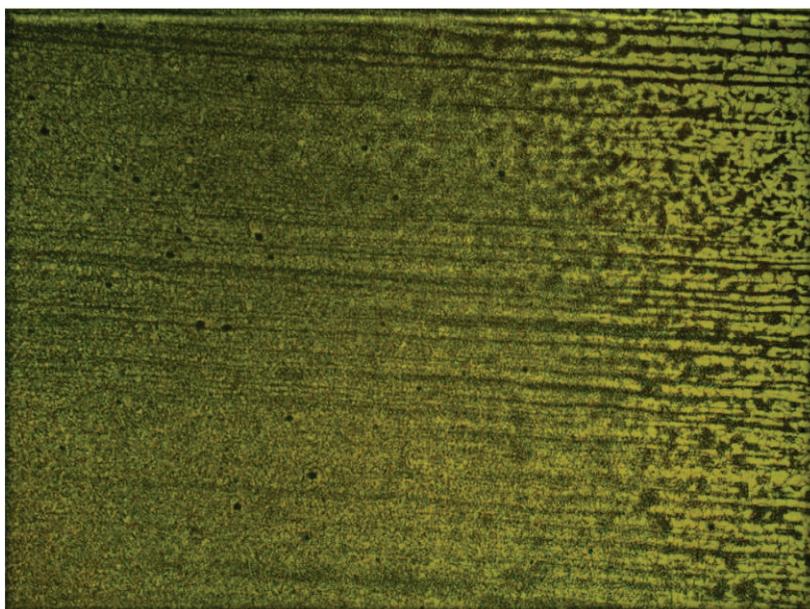


Micrografía de Metal base: 100X

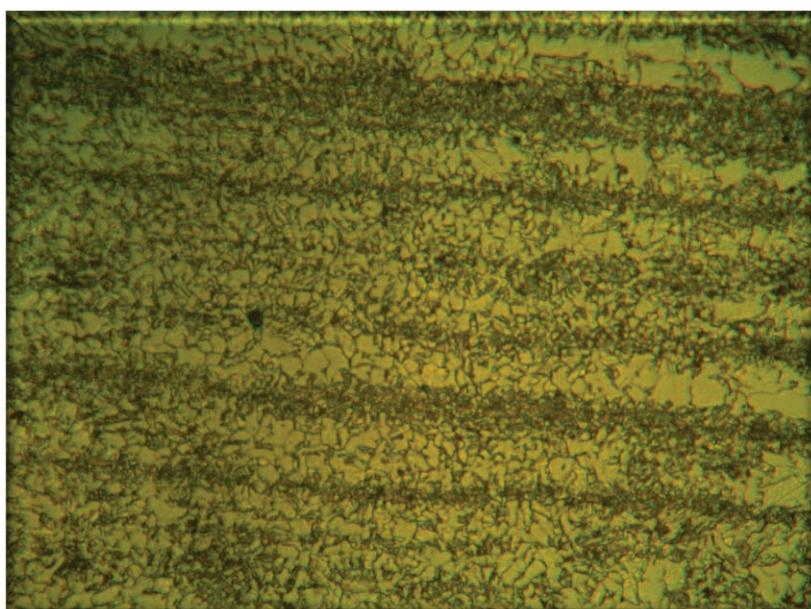


Micrografía de Metal base: 500X

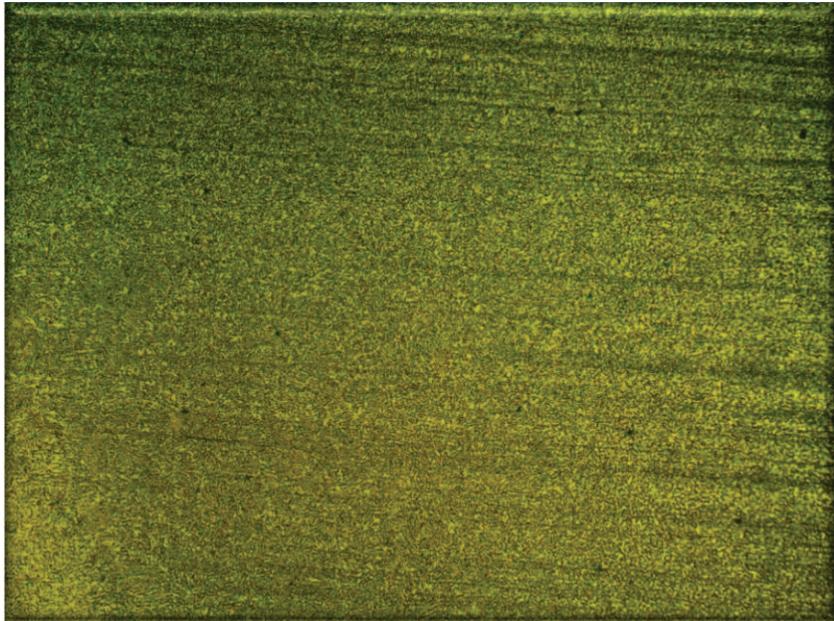
ANEXO 23: ENSAYO Y-GRROVE ACERO ASTM A572-Zz



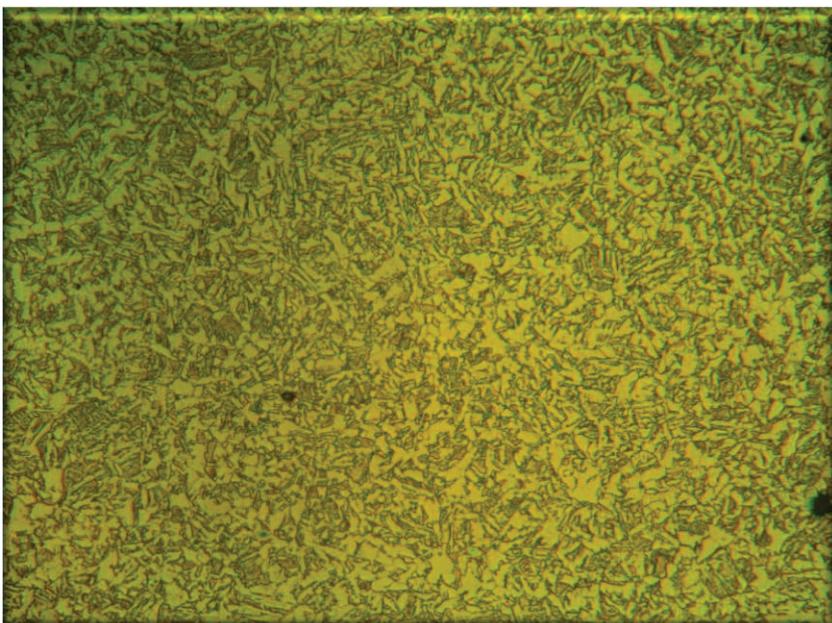
Micrografía de la ZAC: 100X



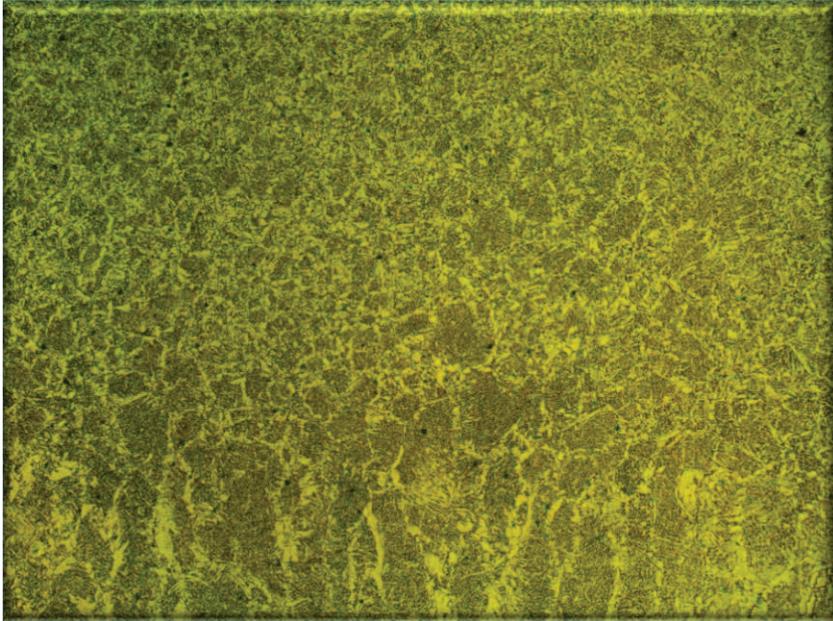
Micrografía de la ZAC: 500X



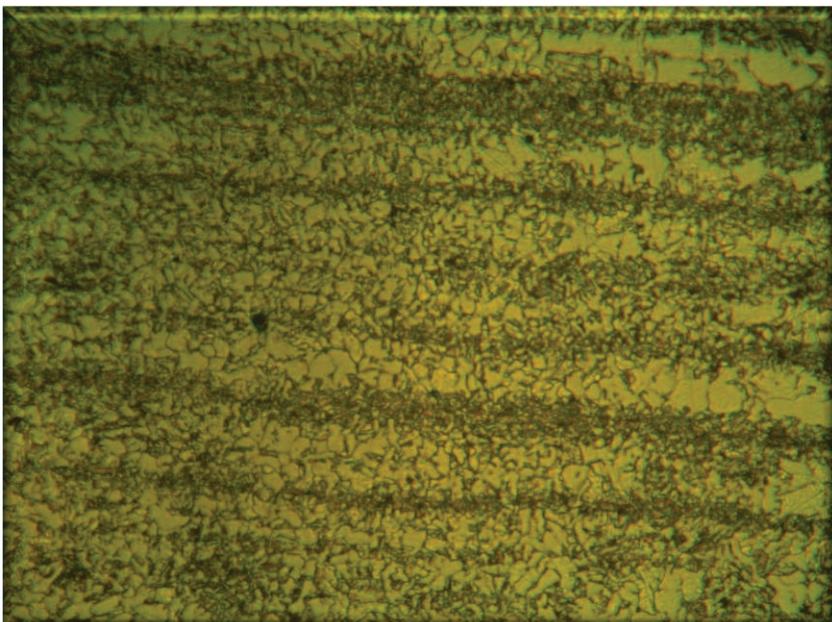
Micrografía de la Zona de fusión parcial: 100X



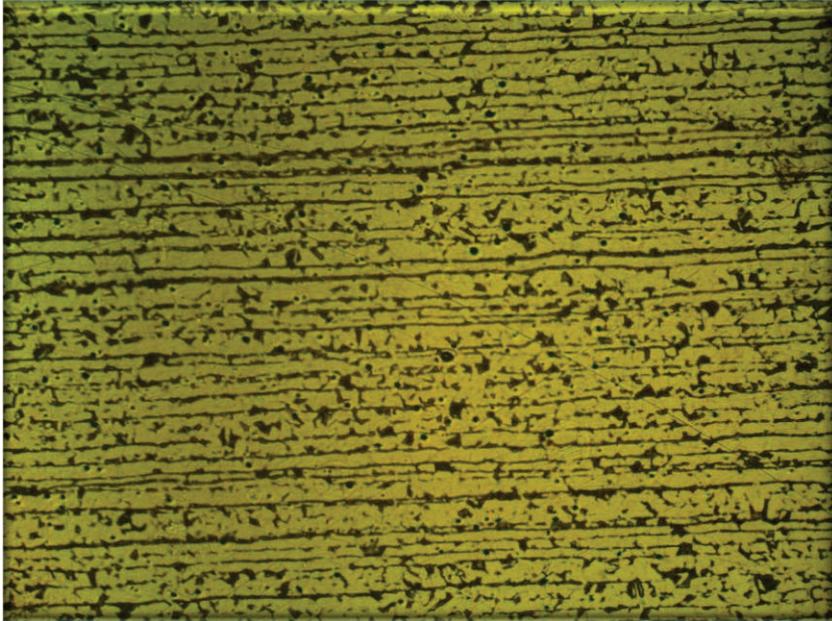
Micrografía de la Zona de fusión parcial: 500X



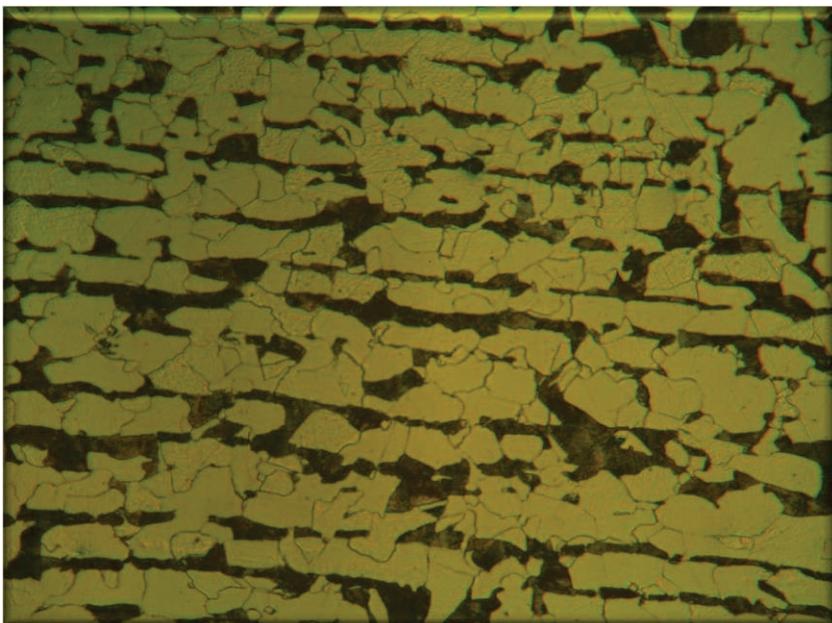
**Micrografía de la Zona de soldadura:
100X**



**Micrografía de la Zona de soldadura:
500X**

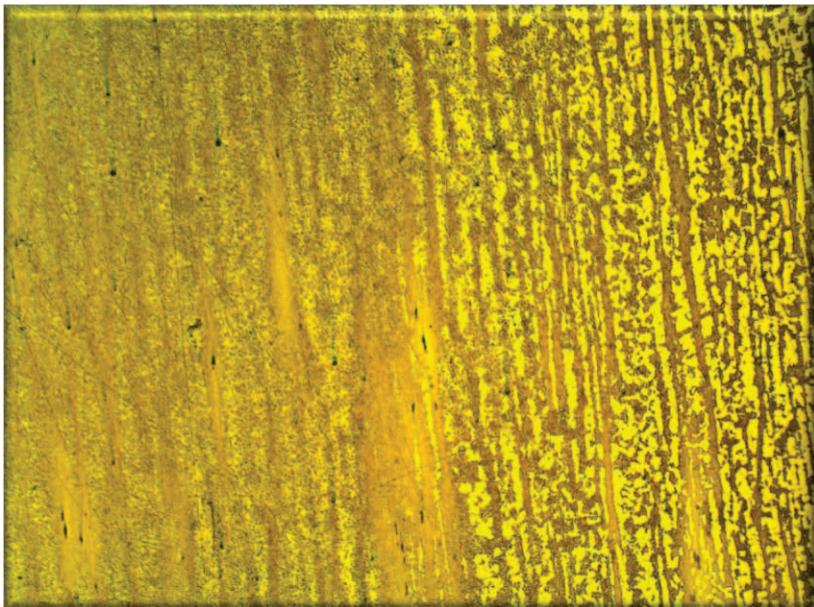


Micrografía de Metal base: 100X

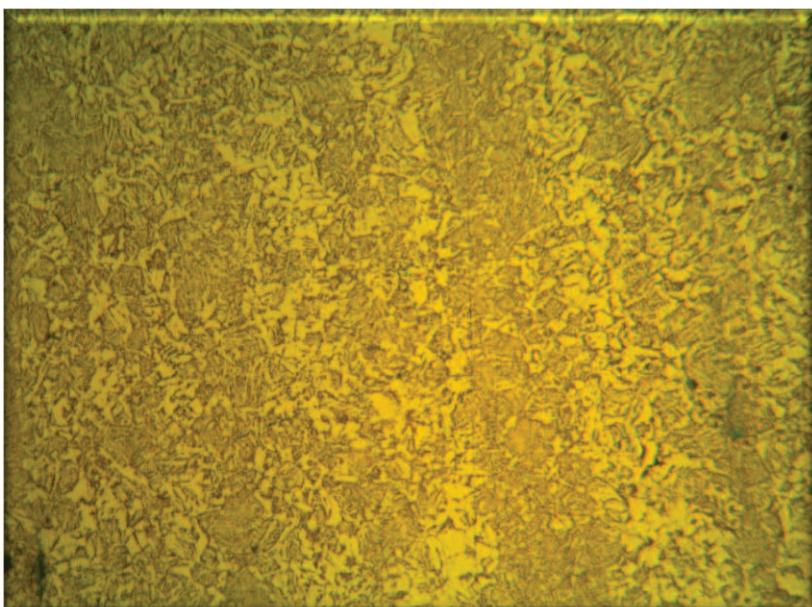


Micrografía de Metal base: 500X

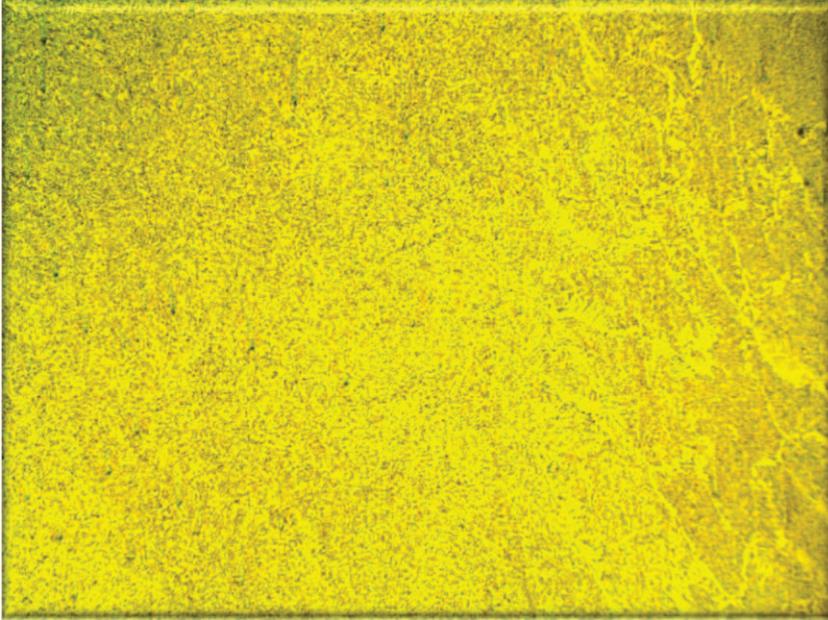
ANEXO 24: ENSAYO Y-GROOVE, ACERO ASTM A588-Ww



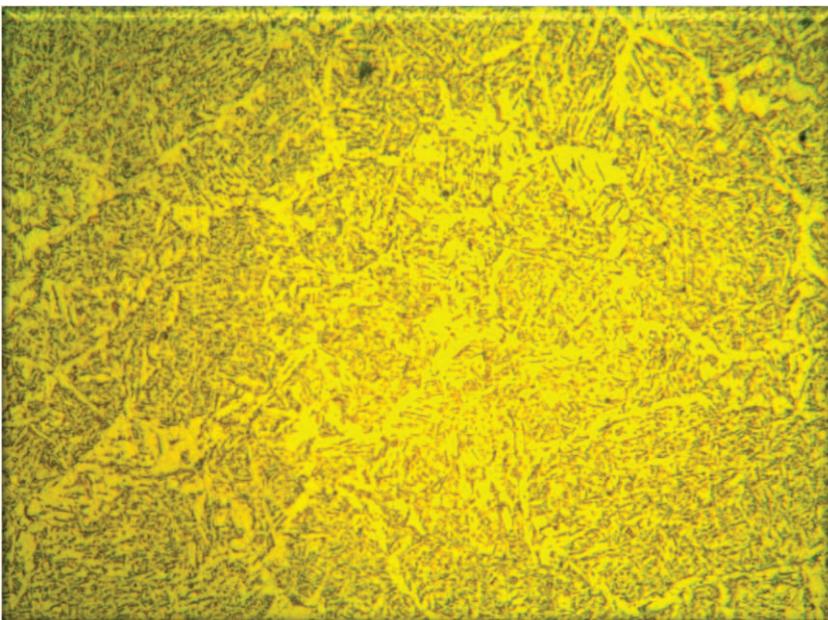
Micrografía de la ZAC: 100X



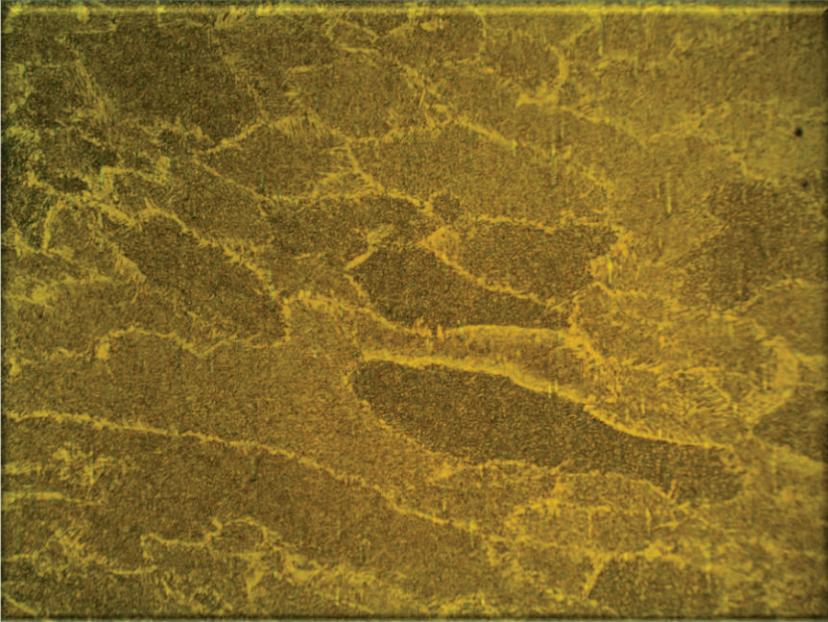
Micrografía de la ZAC: 500X



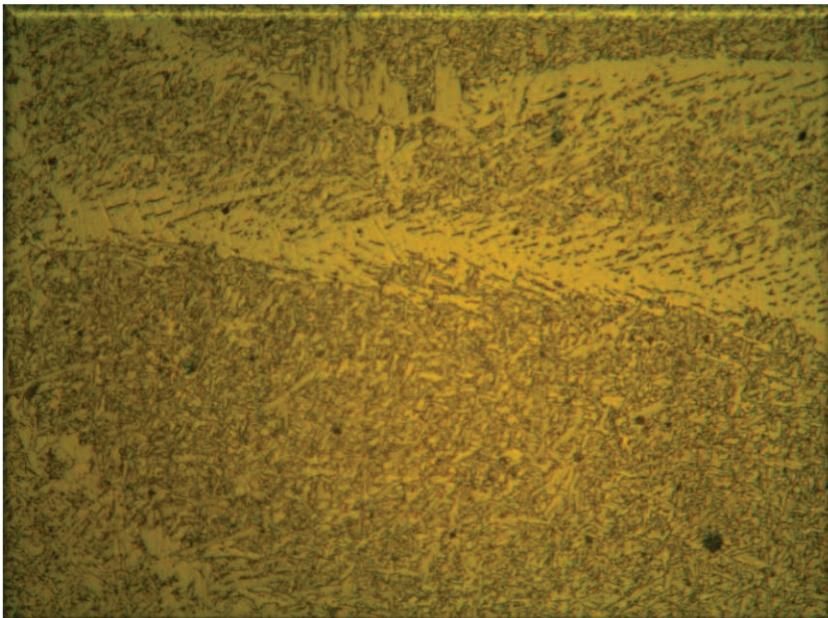
Micrografía de la Zona de fusión parcial: 100X



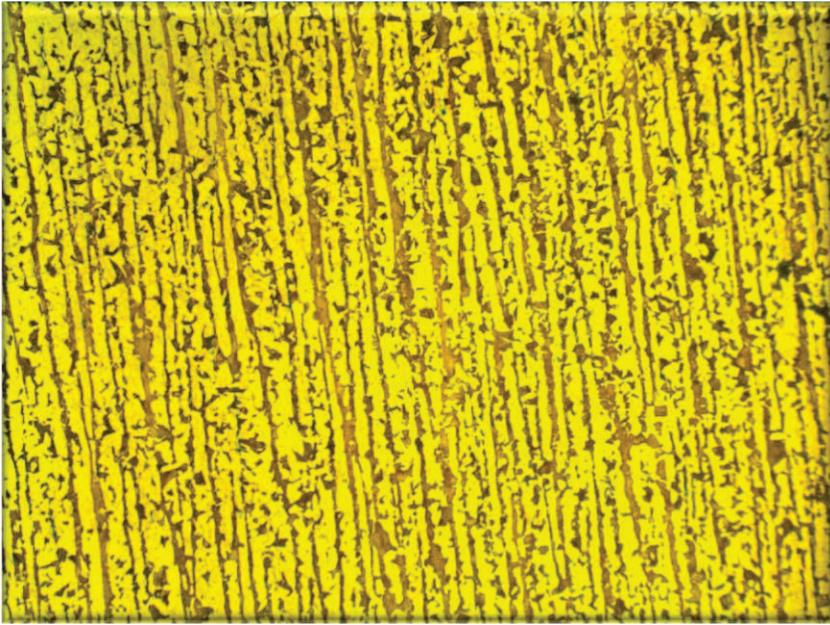
Micrografía de la Zona de fusión parcial: 500X



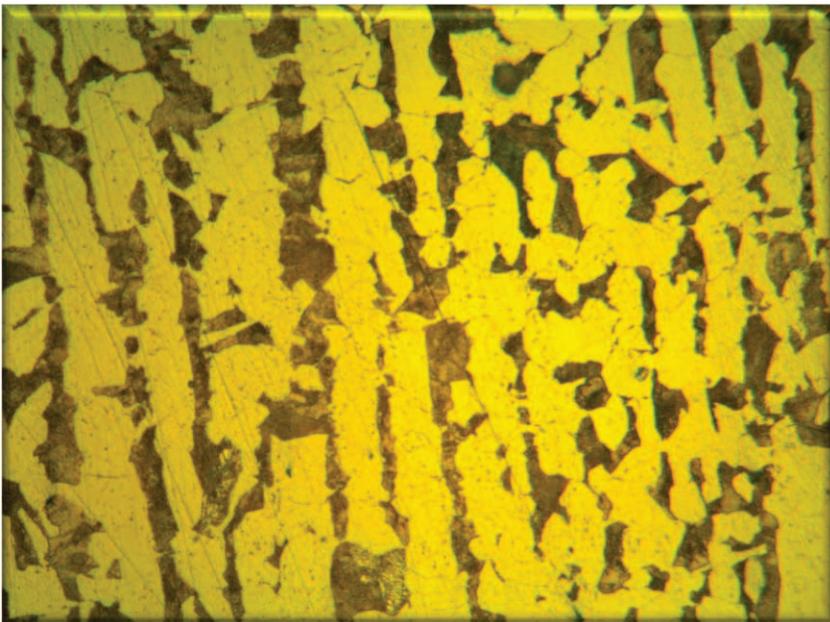
**Micrografía de la Zona de soldadura:
100X**



**Micrografía de la Zona de soldadura:
500X**

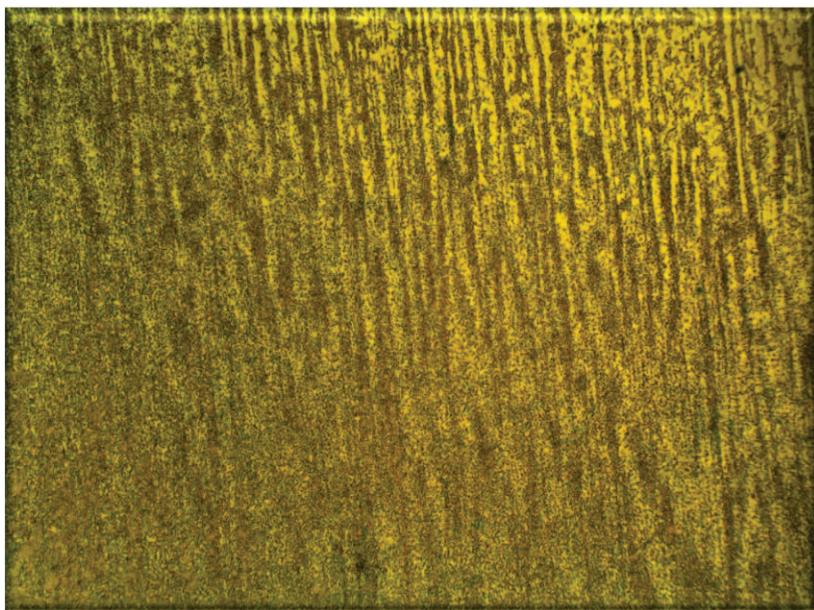


Micrografía de Metal base: 100X

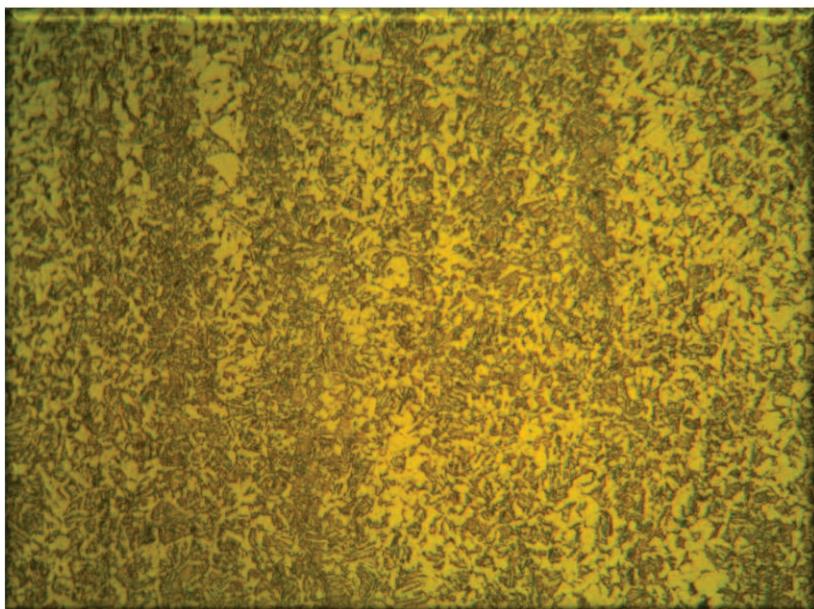


Micrografía de Metal base: 500X

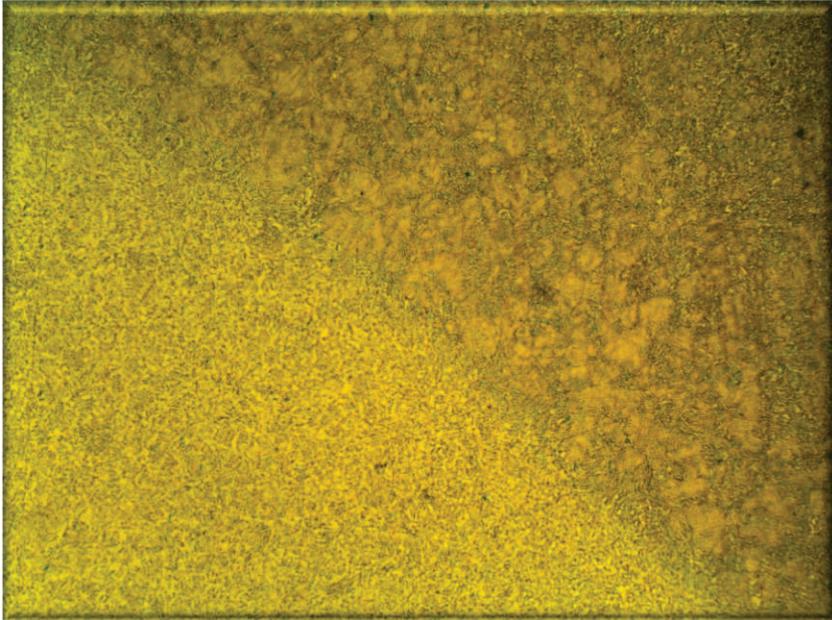
ANEXO 25: ENSAYO Y-GROOVE, ACERO ASTM A588-yy



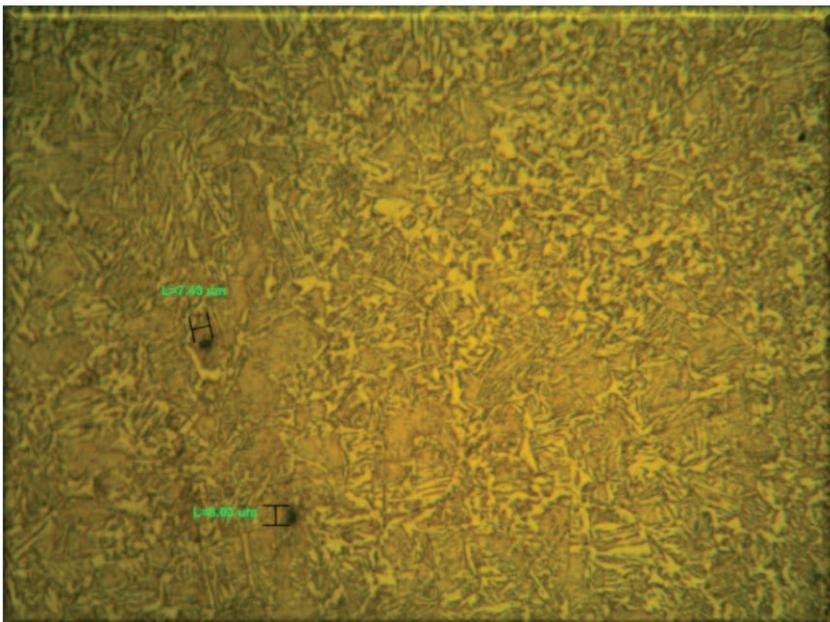
Micrografía de la ZAC: 100X



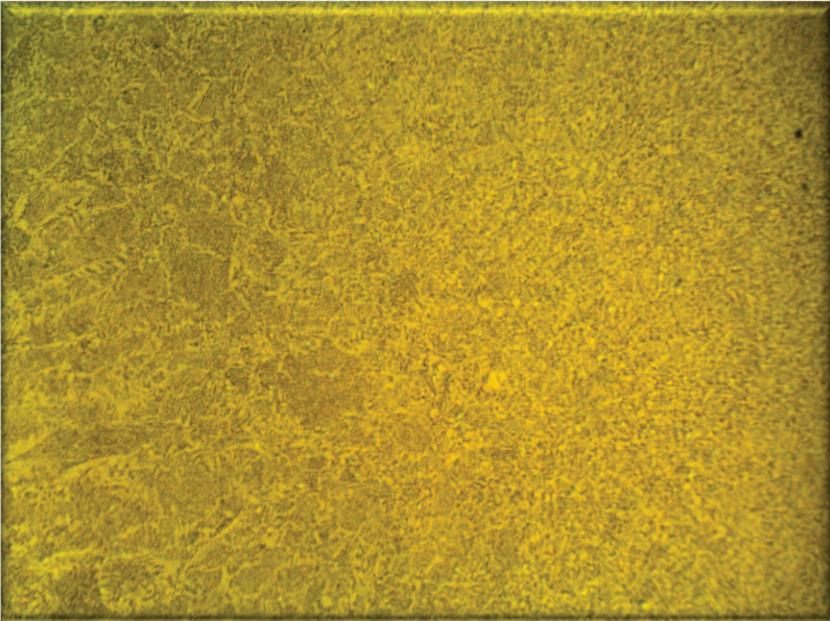
Micrografía de la ZAC: 500X



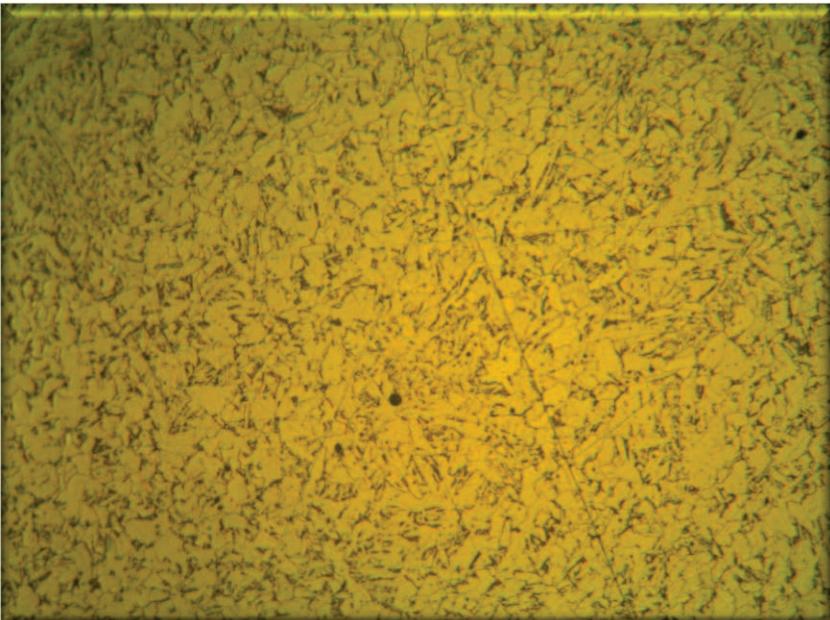
Micrografía de la Zona de fusión parcial: 100X



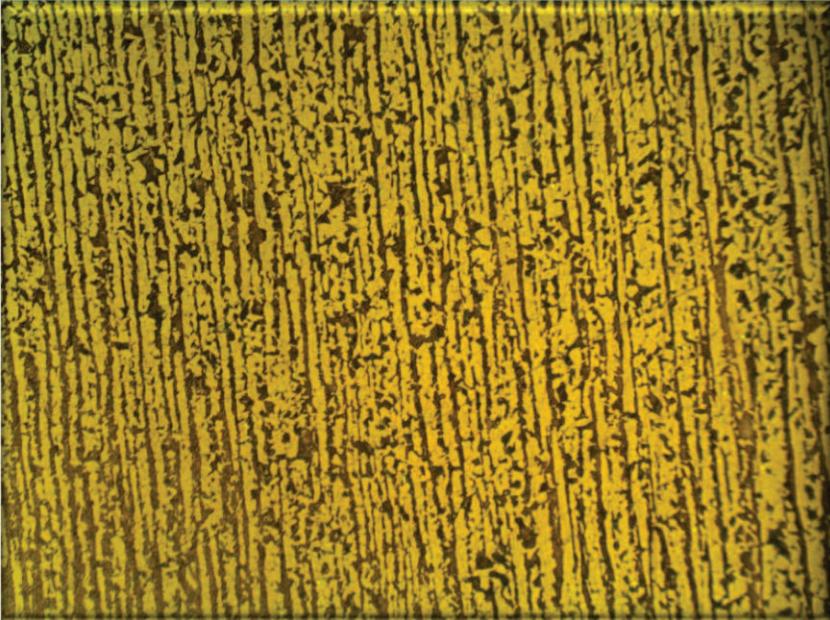
Micrografía de la Zona de fusión parcial: 500X



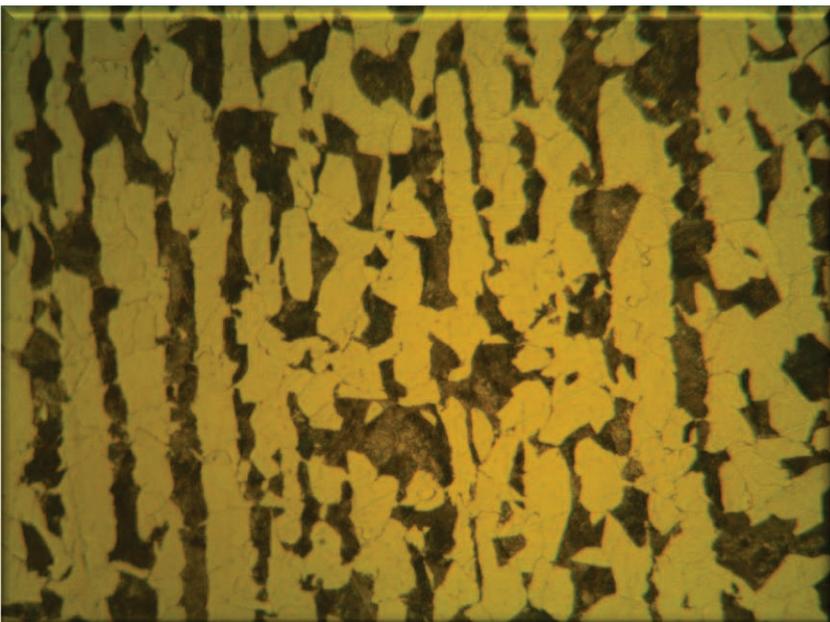
**Micrografía de la Zona de soldadura:
100X**



**Micrografía de la Zona de soldadura:
500X**

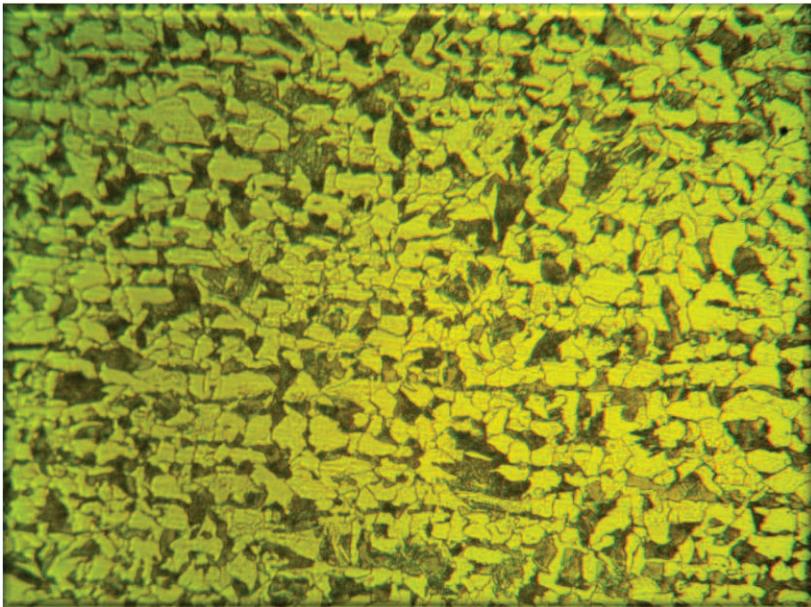
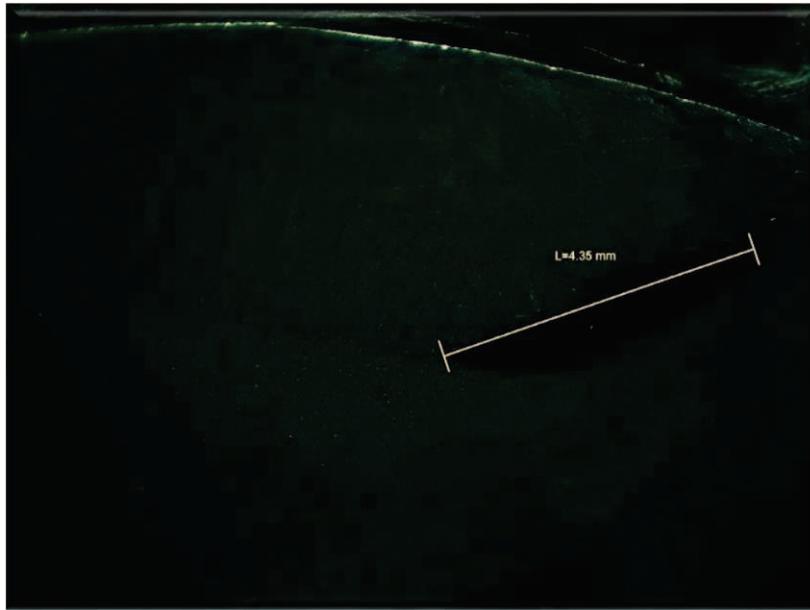


Micrografía de Metal base: 100X

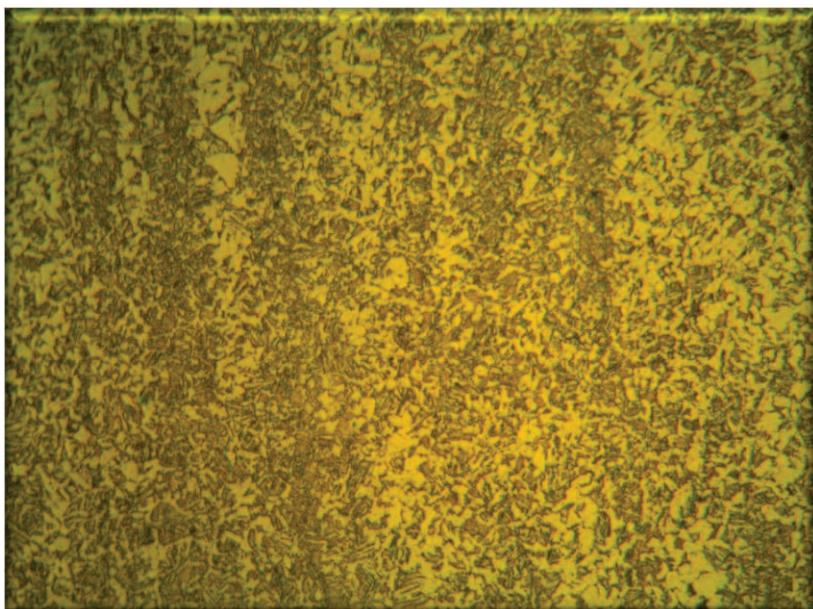


Micrografía de Metal base: 500X

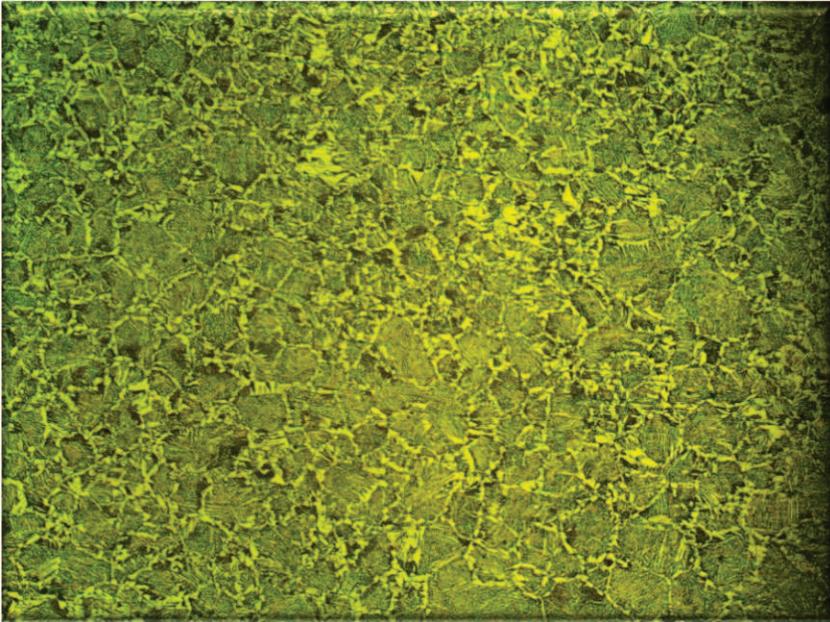
ANEXO 26 : ENSAYO Y-GROOVE, ACERO ASTM A588-Zz



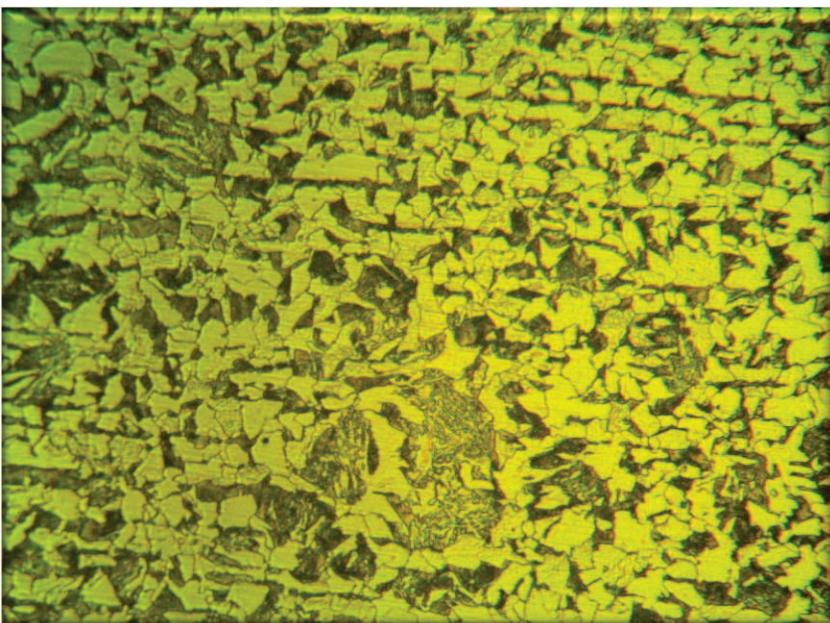
Micrografía de la ZAC: 100X



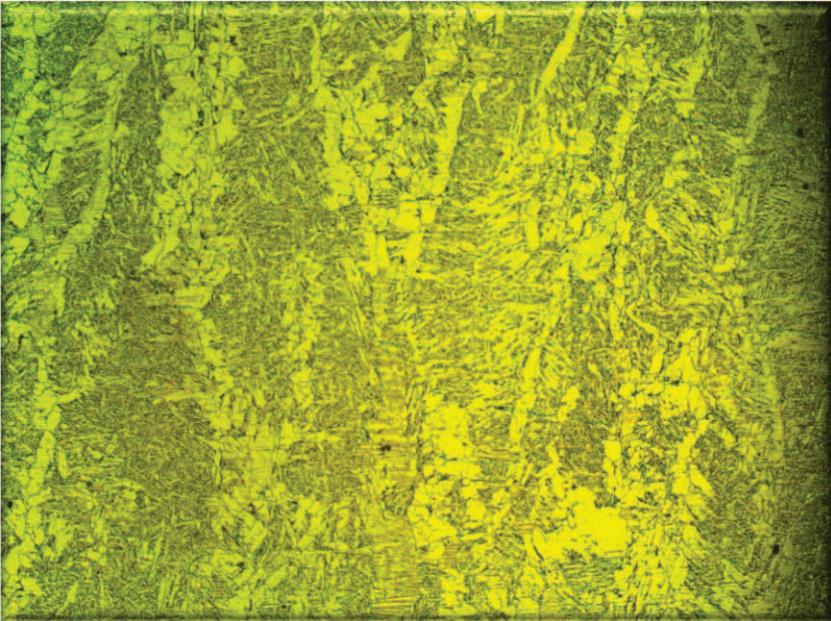
Micrografía de la ZAC: 500X



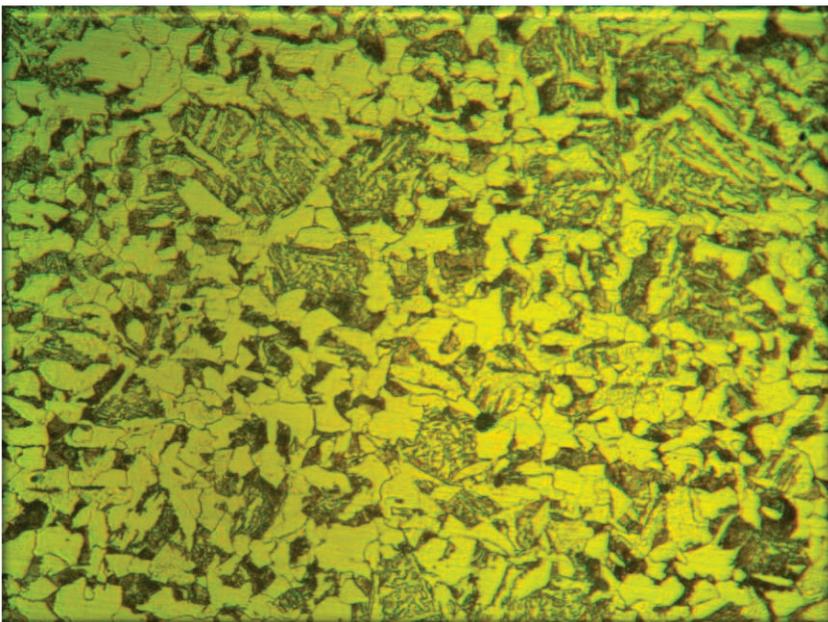
Micrografía de la Zona de fusión parcial: 100X



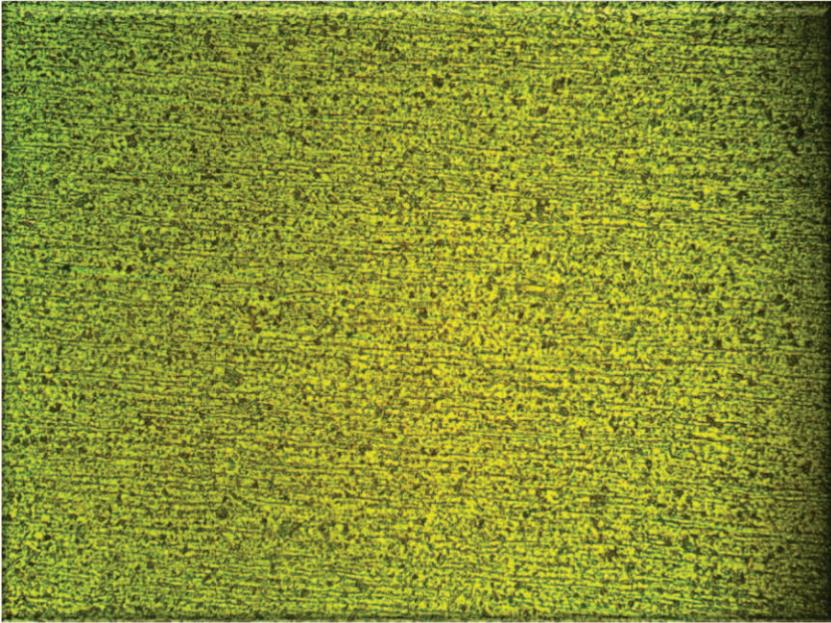
Micrografía de la Zona de fusión parcial: 500X



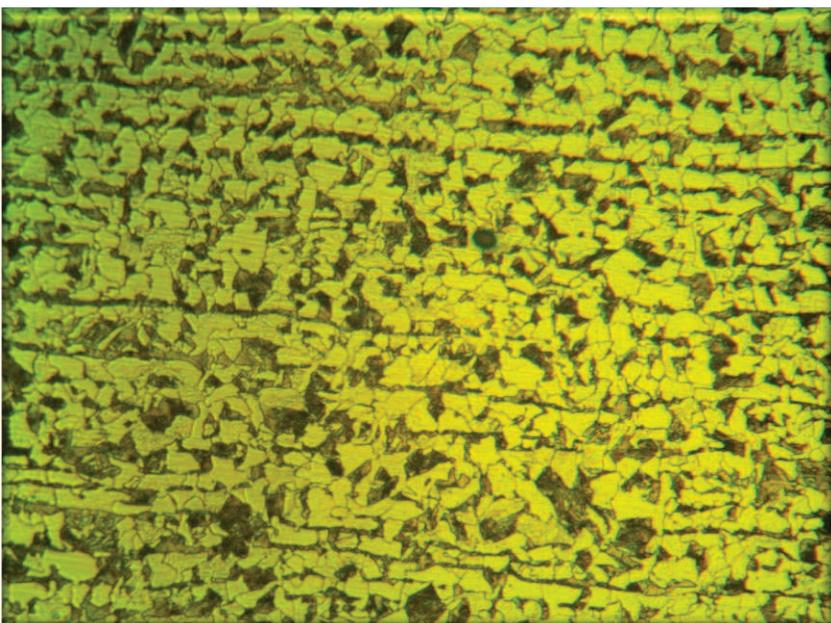
**Micrografía de la Zona de soldadura:
100X**



**Micrografía de la Zona de soldadura:
500X**

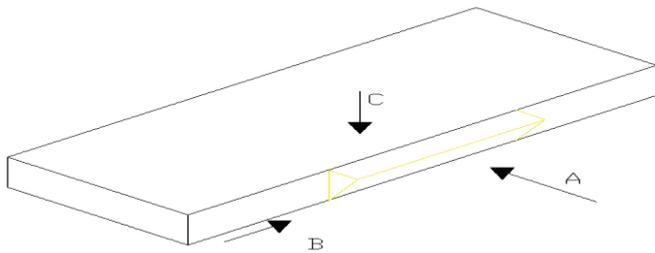


Micrografía de Metal base: 100X

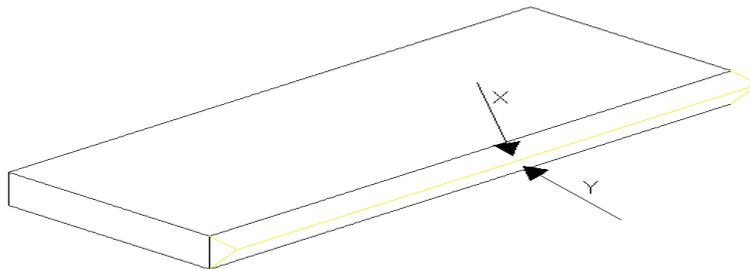


Micrografía de Metal base: 500X

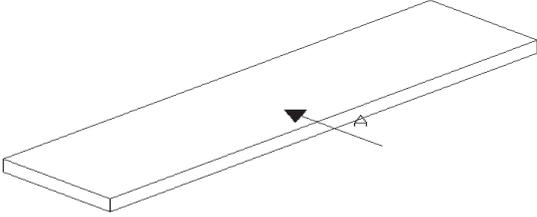
ANEXO 27: HOJAS DE PROCESOS

PROBETA A			
			
N	FASES DE TRABAJO	ESQUEMA	HERRAMIENTA
1	Montar las probetas a ser maquinadas		Reloj comparador, bridas y pernos
2	Fresar las caras frontales y dejar medida 50 X 200		Plato de cuchillas y calibrador
3	Montar en la entenalla		Reloj comparador y pernos
4	Girar el cabezal a 30° sentido horario y realizar el fresado de la cara B		Fresas cilindrica goniometro
5	Fresas a 60° en el cabezal		Apoyo de 60° bridas, pernos y reloj comparador
6	Fresar caras laterales centrada a los biselés y dejar a la medida de 77 X 200		Calibrador
7	Eliminar aristas vivas a 45°		Lima triangular
8	Rectificar las caras A, B y C		Rectificadora

PROBETA B



N	FASES DE TRABAJO	ESQUEMA	HERRAMIENTA
1	Montar las probetas a ser maquinadas		Reloj comparador, bridas y pernos
2	Fresar las caras frontales y dejar medida 50 X 200		Plato de cuchillas y calibrador
3	Montar en la entenalla		Reloj comparador y pernos
4	Girar el cabezal a 30° sentido horario y realizar el fresado de la cara B		Fresas cilíndrica goniómetro
5	Fresar caras laterales centrada a los biseseles y dejar a la medida de 77 X 200		Calibrador
6	Eliminar aristas vivas a 45°		Lima triangular
7	Rectificar las caras A, B y C		Rectificadora

PROBETA C			
			
N	FASES DE TRABAJO	ESQUEMA	HERRAMIENTA
1	Montar las probetas a ser maquinadas		Reloj comparador, bridas y pernos
2	Fresar las caras frontales y laterales		Plato de cuchillas y calibrador
3	Eliminar aristas vivas a 45°		Lima triangular

**ANEXO 28: Hoja ensayo de chispa entregado por el Laboratorio de Metalurgia Extractiva
Escuela Politécnica Nacional**



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA



Resultados de análisis por Espectrometría de Chispa

Solicitante : Ing. Diego Espinosa
Atención : Sr. Jimmy Calderón
No. Referencia : RM - 7082
Fecha : 07 - 09 - 2012
Muestras recibidas : Tres muestras de acero para estructuras

La cuantificación de los metales presentes en la muestra se realizó empleando el Espectrómetro de Chispa marca BRUKER modelo Q4TASMAN. A continuación los resultados obtenidos:

Metales	A 588 (%)	A 36 (%)	A572 (%)
Carbono (C)	0,079	0,145	0,073
Silicio (Si)	0,014	0,153	0,336
Manganeso (Mn)	0,988	1,036	0,966
Cromo (Cr)	0,012	0,027	0,410
Molibdeno (Mo)	0,006	0,008	0,006
Níquel (Ni)	0,002	0,005	0,195
Fósforo (P)	0,009	0,006	0,019
Azufre (S)	0,014	0,024	0,016
Cobre (Cu)	0,011	0,012	0,245
Aluminio (Al)	0,034	0,031	0,034
Vanadio (V)	0,001	0,001	0,027
Hierro (Fe)	98,69	98,53	97,54


Ing. Alija Guevara C.
Jefe de Departamento


Ing. Ernesto de la Torre
Jefe de Laboratorios

Pasaje Andalucía 134 E12A y Mesa Caamaño - TeleFax (593-2) 2 236 562 - Casilla 17-01-2759
Quito-Ecuador

Nota: Estos datos (ANEXO 27) al ser muy alejados de lo esperado, se decide hacer un ensayo diferente o acatar las especificaciones notarizadas enviadas por el proveedor.